



# Danmarks fremtid som kompetencecentrum for vindkraft

# Indhold

---

FORORD

Sammenfatning

<b>1 Baggrund</b>	9
1.1 Danmark som kompetencecenter for vindkraft	10
<b>2 Vindkraft i et systemskifte</b>	13
2.1 Markedstendenser	13
2.2 Ændringer i industristruktur og rammevilkår	14
2.3 Fra prototyper til industriel produktion	15
2.4 Fra vindmølle til vindkraftværk	15
2.5 Fra enkeltmandsmølle til basisleverandør af el	16
2.6 Fra entreprenørskab til videnskab	17
2.7 Systemskiftet har konsekvenser	18
<b>3 Et kompetencecenter – styrker og svagheder</b>	21
3.1 Succesfaktorer i ubalance	21
3.2 Udfordrende international konkurrence	24
<b>4 Udfordring for kompetencecentret</b>	27
4.1 Forskning	27
4.2 Uddannelse	30
4.3 Innovation	31
<b>5 Teknologiske og funktionelle udfordringer – nye teknologiske spor</b>	35
5.1 Fra prototyper til industriel produktion	35
5.2 Fra vindmølle til vindkraftværk	38
5.3 Fra enkeltmandsmølle til basisleverandør af el	40
<b>6 anbefalinger</b>	43
6.1 Validering, afprøvning og demonstration	44
6.1.1 Validering, afprøvning og demonstration af komponenter og mølledele	46
6.1.2 Validering, afprøvning og demonstration af vindmøller og vindmølleparker	47
6.1.3 Validering, afprøvning og demonstration af vindkraftværker i elsystemet	47
6.2 Forskning – det lange seje træk	48
6.2.1 Styrk forskningen	48
6.2.2 Strategiske forskningsområder	49
6.3 Næste skridt	50

## Forord

---

Regeringen fremlagde i maj 2006 en redegørelse om fremme af miljøeffektiv teknologi. Heri præsenteres ni initiativer, hvoraf et er partnerskaber for innovation. Partnerskaberne skal styrke offentlig-privat samarbejde mellem staten, virksomheder, videninstitutioner og venturekapital for at accelerere innovations-processer inden for en række teknologiområder.

Et af de konkret foreslåede innovationspartnerskaber er et partnerskab om fremtidens vindkraftværker. Partnerskabet bygger på det eksisterende Dansk Forskningskonsortium for Vindenergi, som i 2002 blev dannet af en række forskningsinstitutioner inden for vindkraft. Det nye partnerskab har dog en stærkere virksomhedstilknytning end det tidligere konsortium.

Partnerskabet har fået navnet Megavind, hvor følgende partnere deltager:

- Vestas Wind Systems A/S
- Siemens Wind Power A/S
- DONG Energy A/S
- Danmarks Tekniske Universitet
- Forskningscenter Risø, Danmarks Tekniske Universitet
- Aalborg Universitet
- Energinet.dk
- Energistyrelsen

Megavind har udarbejdet nærværende rapport med det sigte at vurdere de udfordringer, vi står over for, hvis Danmark skal fastholde sin position som et internationalt førende kompetencecenter for vindkraft. Med rapporten vil partnerskabet Megavind også udpege konkrete initiativer inden for afprøvning, demonstration, innovation og forskning samt give anbefalinger til en styrket uddannelsesindsats, som kan være med til at udvikle Danmark som et internationalt førende kompetencecenter for vindkraft.

Megavind er således katalysator og igangsætter for en styrket afprøvnings, demonstrations og forskningsstrategi for vindkraft i Danmark. Partnerskabet er sparringspartner for hele branchen i forhold til at styrke det samlede danske innovations- og forsknings miljø for vindkraft. Megavinds anbefalinger vil fungere som reference for de kommende års strategiske forskning inden for vindkraft, og bliver således den gældende forskningsstrategi for vindkraft i Danmark. Rapportens anbefalinger bygger på indsamlet materiale mv., samt på viden og inspiration hentet gennem interviews med 25 repræsentanter fra vindkraftbranchen.

Rapporten har tillige været drøftet i Industrigruppen for partnerskabet Megavind. I Industrigruppen deltager: Vestas Wind Systems A/S, Siemens Wind Power A/S, Suzlon Energy A/S, Gamesa Wind Engineering A/S, LM Glasfiber A/S, ABB A/S, Det Norske Veritas, BALLUFF og Force Technology.

Brancheforeningen Vindmølleindustrien er sekretariat for partnerskabet Megavind, og ECON har bistået i udarbejdelse af nærværende rapport.

# Sammenfatning

---

Danmark er et førende kompetencecenter for vindkraft. Industrien beskæftiger flere end 21.000 personer i Danmark og havde på verdensplan en omsætning på ca. 48,5 mia. kr. i 2006. Tallene taler deres tydelige sprog – den danske vindkraftindustri er en stor succes.

I de seneste år er der dog sket et markant teknologisk og markedsmæssigt systemskifte, som på det kraftigste udfordrer denne førende position. Den samlede vindkraftbranche og det politiske system må forholde sig proaktivt til dette systemskifte for at sikre, at Danmark kan fastholde og styrke sin position.

Partnerskabet Megavind er etableret på foranledning af regeringens initiativ til fremme af miljøeffektiv teknologi gennem innovation og forskning. Igennem den nedsatte styregruppe repræsenterer partnerskabet Megavind hele vindkraftbranchen. Megavind er katalysator og igangsætter for en styrket afprøvnings-, demonstrations- og forskningsstrategi for vindkraft i Danmark. Partnerskabet er således sparringspartner for hele branchen i forhold til at styrke det samlede danske innovations- og forskningsmiljø for vindkraft i Danmark.

## Kapitel 1

Udgangspunktet for partnerskabets arbejde er, at Danmark skal bevare sin førerposition på verdensmarkedet og fortsat være et førende kompetencecenter for vindkraft. Derfor tager partnerskabet afsæt i følgende vision og ambition:

Megavinds **vision** er, at Danmark fortsat skal være det førende kompetencecenter i verden inden for vindkraft.

Det er Megavinds **ambition**, at Danmark skal levere den mest effektive vindkraft – vindkraftværker – der sikrer en optimal integrering af vindkraft i det samlede energisystem, så Danmark også i fremtiden kan levere vindkraftteknologi til energisystemer med en meget høj andel af vindkraft.

Megavind fremlægger i denne rapport en række konkrete forslag og anbefalinger, der på afgørende vis kan være med til at opfylde denne vision. Anbefalingerne er ikke kun begrundet i de udfordringer, som vindkraftbranchen står over for. De bunder også i en vilje til at tage et lederskab for udvikling af gode rammevilkår for innovation og forskning inden for vindkraftteknologi.

## Kapitel 2-5

Som grundlag for anbefalingerne har Megavind udarbejdet en analyse af det danske kompetencecenter for vindkraft. Analysen består af tre dele. Kapitel 2 behandler det systemskifte som vindkraftbranchen befinder sig i. Styrker og svagheder ved det samlede kompetencecenter afdækkes i kapitel 3, mens de strukturelle udfordringer inden for forskning, uddannelse og innovation analyseres i kapitel 4.

Analysens overordnede konklusion er, at den danske vindkraftbranche står over for store udfordringer. Danmark har i dag en ganske unik position på verdensmarkedet, der i høj grad hviler på et stærkt industrielt miljø. Dette industrielle miljø er skabt på et fundament bestående af en betydelig indsats inden for forskning og uddannelse samt et innovativt udviklingsorienteret miljø præget af samarbejde og videndeling med en ambition om at finde nye teknologiske udviklingsspor for vindkraft.

---

Men analysen viser, at dette fundament i dag i den grad er svækket. De faktorer der skal skabe morgendagens industrielle miljø og arbejdspladser er under pres. Uddannelse og rekruttering, samarbejde i branchen samt nye teknologiske spor i industrien er tre centrale parametre, der alle er svækket i den danske vindkraftbranche.

Med hensyn til forskning viser analysen, at det danske forskningsmiljø er førende inden for en række områder, men også her er der store udfordringer. I takt med at de internationale markeder udvikler sig lynhurtigt, satser mange internationale forsknings- og universitetsmiljøer i høj grad på vindkraft. Det skaber et stort pres på de danske videncentre i forhold til at fastholde de dygtigste forskere og studerende.

For at imødekomme disse udfordringer og fastholde Danmark som et førende konkurrencedygtigt kompetencecentrum for vindkraft, skal der skabes en ekstraordinær indsats.

## Kapitel 6

Med udgangspunkt i denne erkendelse har Megavind formuleret en strategi med konkrete anbefalinger, der skal styrke det samlede danske kompetencecentrum (se figur 6.1).

Anbefalingerne tager udgangspunkt i at styrke samarbejdet imellem vindkraftbranchens egen forskning og innovation og den forskning, som finder sted på universiteter mv.

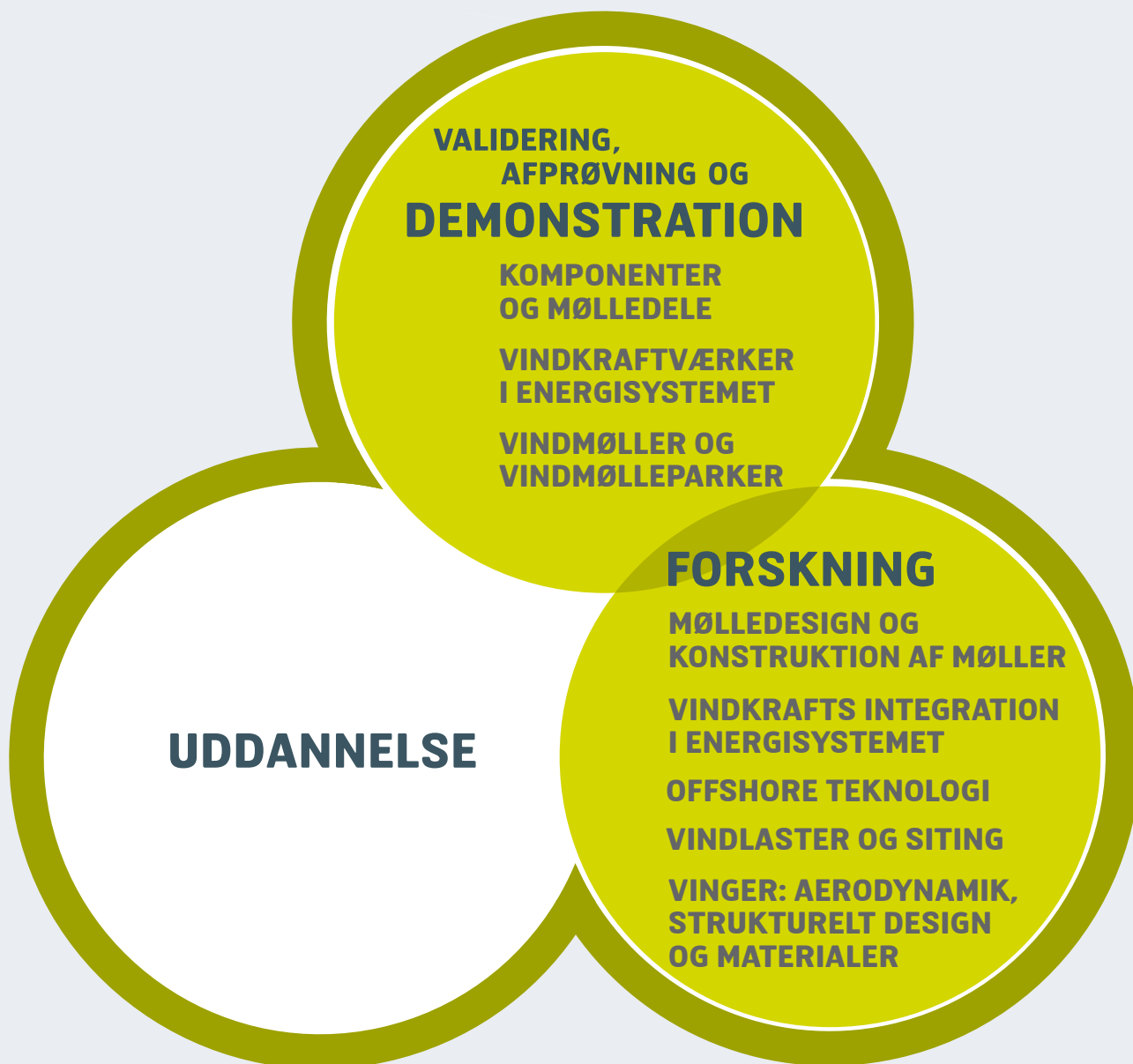
### Samlet strategi for afprøvning og demonstration

Tidligere har innovation og demonstration i høj grad været endimensional med fokus på afprøvning af vindmøller. Megavind ønsker at skabe nytænkning om validering, afprøvning og demonstration inden for vindkraftteknologi og vindkrafts integration i det samlede energisystem. Megavind anbefaler derfor, at der skabes en sammenhængende strategi i forhold til afprøvning og demonstration af:

- Komponenter og mølledele
- Vindmøller og vindmølleparker
- Vindkraftværker i energisystemet

Det er af vital betydning, at afprøvnings- og demonstrationsfaciliteterne omfatter hele værdikæden fra komponent til kraftværk og fra slutbruger til systemansvarlig. Samtidig skal initiativerne spille sammen med de danske spidskompetencer inden for forskning.

For at skabe den sammenhængende strategi for de tre dimensioner for afprøvning og demonstration vil Megavind indtage en central og koordinerende rolle og i første omgang at udarbejde delstrategier for hver af de tre dimensioner.



**Figur 6.1**

Megavinds samlede strategi: Et vel fungerende lærings- og innovationsmiljø forudsætter blandt andet, at validering, afprøvning og demonstration, forskning samt uddannelse spiller sammen.

## Strategisk forskningsindsats

Megavind anbefaler, at den langsigtede universitetsforskning og uddannelse generelt styrkes med en særlig prioritering af de grundlæggende eller generiske teknologier, som indgår i udvikling af vindmøller og vindkraftværker. Forskningsindsatsen må også styrkes i hele værdikæden fra udvikling af komponenter og mølledele til integration af vindkraft i det samlede elsystem. Derfor anbefaler Megavind, at der tages strategiske forskningsinitiativer inden for følgende områder:

- Mølledesign og konstruktion af møller
- Vinger – aerodynamik, strukturelt design og materialer
- Vindlaste og siting
- Vindkrafts integration i energisystemet
- Offshore teknologi

Megavind vil facilitere en udviklings og strategiproces for de fem strategiske forskningsområder, herunder udarbejde roadmaps og målbare kriterier for hvert område. Megavind vil tage udgangspunkt i de eksisterende forskningsmiljøer og bygge videre på den indsats, der allerede er gjort i tidligere forskningsstrategier. Der vil desuden blive taget et konkret initiativ for at styrke forskningsmiljøet for offshore teknologi. Derudover vil partnerskabet tage initiativ til, at der arbejdes med at forbedre rammebetingelserne for samarbejdet imellem forskningsinstitutioner og industri via fælles retningslinier for samarbejdets juridiske rammer (IPR).

## Tidsplan for Megavinds arbejde efterår 2007 og forår 2008

Strategi for validering, afprøvning og demonstration	
September 2007	Komponenter og mølledele
December 2007	Vindmøller og vindmølleparker
Marts 2008	Vindkraftværker i energisystemet
Forskningsstrategi	
Marts 2008	Fem strategiske forskningsområder
	Juridiske rammer for forskningsprojekter

Kun ved en samlet strategisk indsats kan den danske vindkraftbranche fortsat være én af verdens førende. Derfor er implementering af Megavinds anbefalinger et vigtigt skridt for at realisere regeringens vision om Danmark som førende VE-nation.

Denne rapport viser også, at det er på høje tid. Nok er vindkraftindustrien succeshistorien om et industrielt eventyr på et globalt hastigt voksende marked. Men lader man sig forblinde af eventyret – af succesen – er der fare for at glide ind i en ”tornerosesøvn”, så Danmark forpasser chancen for at fastholde positionen som internationalt kompetencecenter for vindkraft.



## 1 Baggrund

Regeringens vision er, at Danmark på lang sigt skal være helt uafhængig af fossile brændsler som kul, olie og naturgas. I denne vision skal vindkraft være en af de bærende energiformer. Regeringen har i sit udkast til energistrategi således foreslået, at andelen af vedvarende energi i det danske energiforbrug fordobles til 30% i 2025. I den forbindelse udpeges vindkraft som en central teknologi og der opstilles et scenario med ca. 6.000 MW i 2025<sup>1</sup>, hvilket svarer til ca. 50% af elforsyningen.

Det vil skabe store muligheder og udfordringer for den danske vindkraftbranche, og alt peger i retning af, at det kan lade sig gøre. Teknologirådet har til illustration heraf gennemført en række teknologiscenarier for at vurdere mulighederne for at integrere store mængder af vedvarende energi i det fremtidige danske energisystem. Ved at opstille et scenarium, der kombinerer flere vedvarende energiformer, viser beregningerne, at det er muligt både at reducere energiforbruget og CO<sub>2</sub>-emissionen og samtidig øge andelen af vedvarende energi i det samlede energiforbrug (se tekstboks 1.1).

I kombinationsscenarioet er størstedelen af elproduktionen baseret på vindkraft (50 %) og biomasse (23 %). Herudover bidrager naturgas med ca. 10 %, kul med 8 %, affald med 8 %, olie med 1 % og solceller med 1/2 %.

Den samlede danske vindkraftkapacitet vil være på i alt cirka 4500 MW, heraf 2600 MW fra land-møller (med højere ydelse end dagens møller) og godt 1800 MW fra havmøller. Til sammenligning var vindkraftkapaciteten i 2004 på cirka 3100 MW. Mængden af havmøller i kombinationsscenarioet svarer til, at der er etableret i alt 9 - 10 havmølleparker som Rødsand 2 (200 MW). Den fluktuerende produktion fra vindmøllerne vil primært blive balanceret af gaskraft, fleksibelt forbrug og varmepumper

KILDE: TEKNOLOGIRÅDET (2007): DET FREMTIDIGE DANSKE ENERGISYSTEM – TEKNOLOGISCENARIER

For at realisere regeringens vision vil der være et ganske stort behov for at udvikle og demonstrere nye typer af vedvarende energiformer (VE-former). For vindkraft er der ikke kun et behov for fortsat udvikling af bedre og mere effektiv vindkraft. Der er også et stort udviklings- og demonstrationsbehov på en række områder, f.eks. i forhold til effektivt samspil mellem vindkraft og andre energiformer, bedre balancering af vindkraft i det samlede elnet, samt optimal udnyttelse af vindkraft i det samlede energisystem.

### Tekstboks 1.1

Kombineret brug af vedvarende energi – et fremtidsscenario

## 1.1 Danmark som kompetencecenter for vindkraft

Megavinds ambition for udviklingen af det danske kompetencecenter for vindkraft vil bidrage til at opfylde regeringens vision, med vindkraft som storleverandør af el til det danske energisystem. Det vil være en udfordring at realisere visionen, men at satse herpå (og lykkes hermed) vil ikke blot have stor betydning for energiforbruget og miljøet. Det vil også bidrage til at realisere regeringens vision for Danmark som førende VE-nation, så Danmark fortsat kan være udstillingsvindue for den nyeste vindkraftteknologi og løsninger til integration af vindkraft i energisystemet.

Vindkraft bidrager i dag med ca. 20 pct. af den samlede el-produktion. Vindkraftindustrien<sup>2</sup> beskæftiger godt 21.000 personer i Danmark og havde i 2006 en omsætning på ca. 48,5 mia. kr. primært rettet mod eksportmarkeder. Vindkraft yder således et overordentligt positivt bidrag til den samlede samfundsøkonomi. Denne succes bygger på den danske tradition for samarbejde og evne til at skabe teknologiudvikling og innovation.

Skal vindkraftbranchen<sup>3</sup> fastholde og gerne styrke denne position, må man se udfordringerne i øjnene. Den store udfordring for vindkraftbranchen er et systemskifte fra vindmølle til kraftværk og fra nationale markeder til et konkurrencepræget globalt marked. Det stiller ikke kun nye krav til industrien, men også til det samlede innovationssystem, hvor der er behov for nytænkning og nye strategiske prioriteringer. Hele branchen skal stå sammen, hvis Danmark skal levere fremtidens vindkraftsystemer.

Megavinds **vision** er, at Danmark fortsat skal være det førende kompetencecenter i verden inden for vindkraft

Det er Megavinds **ambition**, at Danmark skal levere den mest effektive vindkraft – vindkraftværker – der sikrer en optimal integration af vindkraft i det samlede energisystem, så Danmark også i fremtiden kan levere vindkraftteknologi til energisystemer med en meget høj andel af vindkraft.

For at realisere visionen anbefaler Megavind i denne rapport, at der igangsættes en række konkrete initiativer inden for forskning, uddannelse samt validering, innovation og demonstration.

2 Vindkraftindustrien defineres som de industrielle virksomheder, der på den ene eller den anden måde beskæftiger sig med vindmølleproduktion, opstilling og installation af vindmøller, integration af vindkraft i elnettet etc.

3 Vindkraftbranchen defineres som alle virksomheder og institutioner, der på den ene eller den anden måde beskæftiger sig med vindkraft. Dvs. vindkraftbranchen består af forsknings- og uddannelsesinstitutioner, industrielle virksomheder, etc. - med andre ord, hele værdikæden.



Megavinds **vision** er, at Danmark fortsat skal være det førende kompetencecentrum i verden inden for vindkraft

Det er Megavinds **ambition**, at Danmark skal levere den mest effektive vindkraft – vindkraftværker – der sikrer en optimal integration af vindkraft i det samlede energisystem, så Danmark også i fremtiden kan levere vindkraftteknologi til energisystemer med en meget høj andel af vindkraft.



## 2 Vindkraft i et systemskifte

---

Vindkraftindustrien i Danmark er en succes, og Danmark er et attraktivt sted for den internationale vindmølleindustri. Danmarks styrkeposition som kompetencecenter for vindkraft er meget afhængig af, om det lykkes at bygge de mest effektive og bedst integrerede vindkraftværker. Inden for produktion af vindmøller og vindkraftværker ser man i dag nye globale vindmølleproducenter og nye store private energiselskaber, hvilket skaber øget konkurrence og kamp om viden og knowhow mellem producenterne. Også de markedsmæssige rammevilkår er ændret gennem liberalisering af elsektoren.

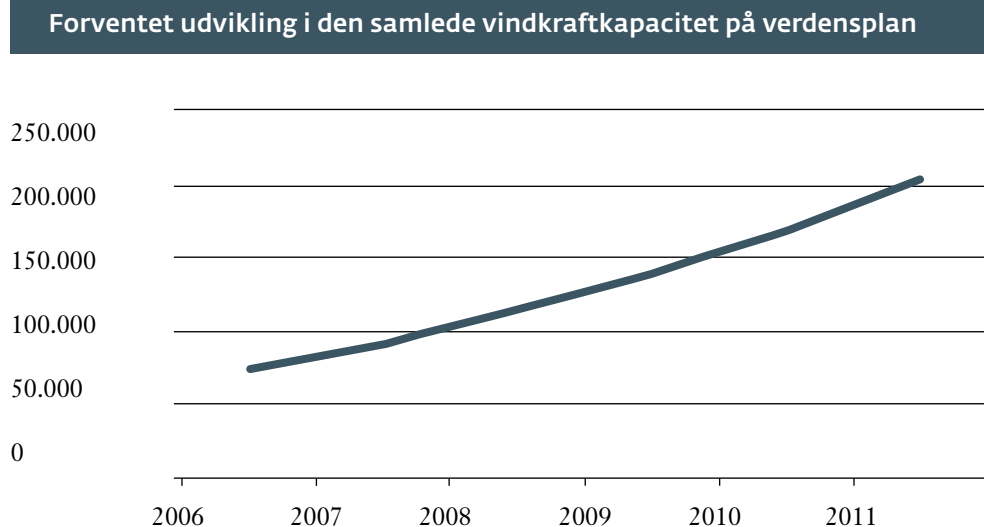
### 2.1 Markedstendenser

Vindkraft har gennem de seneste ti år fået øget opmærksomhed verden over, ikke mindst gennem de seneste par år, hvor der er klare politiske udmeldinger til fordel for vedvarende energi og vindkraft. Nye kunder og ambitiøse politiske mål for vindkraft vil efter al sandsynlighed bidrage til at skabe et hastigt voksende globalt marked præget af:

- Kraftig udbygning af den samlede globale vindkraftkapacitet (se figur 2.1).
- Gennemsnitlig vækst i installeret kapacitet på verdensmarkedet på over 17% over de seneste fem år. Forventning om tocifrede vækstrater de kommende fem år.
- Fortsat store eksportmuligheder for Danmark. I 2006 havde den danske produktion en global markedsandel på ca. 35 pct. målt i MW<sup>4</sup>.
- En globalt organiseret produktion som går efter de billigste leverandører og/eller de bedste og mest udviklingsorienterede leverandører og videninstitutioner (universiteter).
- Nye konkurrenter og store globale industrikoncerner ser muligheder i vindkraft.

**Figur 2.1**

Forventet udvikling i den samlede vindkraftkapacitet på verdensplan.



KILDE: BTM CONSULT

## 2.2 Ændringer i industristruktur og rammevilkår

Udvikling og produktion af vindmøller og vindkraftværker har således udviklet sig til et internationalt forretnings- og forskningsmiljø:

- En stigende international forskningsaktivitet ved udenlandske universiteter og i regi af internationalt forskningssamarbejde som fx EU's 7. rammeprogram eller det Internationale Energiagentur (IEA).
- Danske producenter har etableret F&U-enheder i andre lande, hvor der er et attraktivt videnmiljø.
- Danske møllefabrikanter og leverandører etablerer sig i udlandet for at opnå lavere omkostninger, nærhed til markedet (fx lettere transport, service o. lign.) ligesom krav om lokal produktion også spiller en rolle.
- Koncentrationstendens med en reduktion i antallet af fabrikanter og leverandører på de modne markeder i Europa og USA, mens der skyder mange nye virksomheder op på nye markeder som f.eks. Indien og Kina.
- Udenlandske selskaber har placeret udviklings- og innovationsafdelinger i Danmark.
- Internationale industrikoncerner køber virksomheder i Danmark for at kunne nyttiggøre danske kompetencer inden for vindkraft.

Et enestående kompetencemiljø inden for vindkraft giver Danmark nogle konkurrencemæssige fortrin, men andre lande satser også hårdt på vindkraft. Hvis der ikke bliver gjort en fælles indsats for at fastholde og udvikle kompetencemiljøet er der fare for, at det vil begynde at erodere bort. Dermed vil grundlaget for vindkraftproduktion i Danmark blive forringet betragteligt.

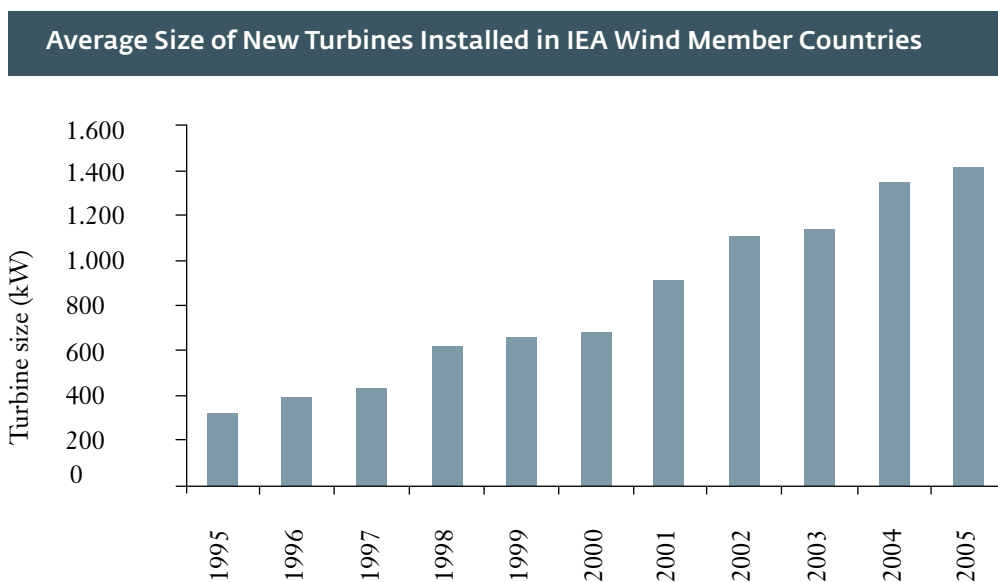
Bag den kraftige vækst inden for vindkraft og de globale strukturelle ændringer inden for produktion og udvikling af videnmiljøer gemmer sig et teknologisk systemskifte. Et systemskifte, der sætter nye vilkår for udvikling og produktion, samt for den måde vindkraft indgår i det samlede energisystem.

## 2.3 Fra prototyper til industriel produktion

Vindmølleproducenter i Danmark har været gode til at udvikle nye og større møller. Størrelsen på de mest moderne møller er mere end fordoblet hver femte år (se figur 2.2).

I gennem mange år har nye prototyper således set dagens lys næsten hurtigere, end man kunne nå at få den tidligere generation af møller gennemtestet og sat i industriel produktion. I løbet af de seneste år er denne tendens dog aftaget, og møllernes kommercielle levetid er generelt forlænget. Det betyder, at der i højere grad er tid og ressourcer til at teste nye teknologier.

I takt med at vindmøllerne er blevet større og nu indgår i vindmølleparker, som leverer en større og større andel af den samlede elproduktion, er der kommet øget fokus på kvalitet, driftssikkerhed, elkvalitet samt reguleringssegenskaber i forhold til elnettet. Nye kunder og systemansvarlige stiller i stigende grad skrappe krav til disse områder. Fremstilling af vindmøller er i dag kendetegnet ved industriel masseproduktion med stigende krav til kvalitetssikring og intern arbejdsdeling. Den "lille smedemester" kan ikke længere være med. Vindmølleproducenterne har udviklet sig til internationale industrikoncerner, ligesom industrikoncerner inden for andre teknologiområder giver sig i kast med produktion af vindmøller og vindkraftværker. Værdikæden for produktion af vindkraft er derfor øget i kompleksitet.



**Figur 2.2**

Gennemsnitlige størrelse på nye vindmøller installeret i IEA medlemslande 1995 til 2005.

KILDE: IEA WIND ENERGY 2005 ANNUAL REPORT

Der er modsatrettede tendenser i forhold til samarbejdsformer mellem producenter og leverandører. På den ene side bliver nogle leverandører ikke i så høj grad inddraget i udviklingsaktiviteter og skal derfor i højere grad primært konkurrere på pris. På den anden side bliver en række leverandører trukket tættere ind på mølleproducenterne som udviklingsorienterede leverandører, der indgår aktivt i fælles udviklingsaktiviteter, fx inden for IT og styringssystemer.

## 2.4 Fra vindmølle til vindkraftværk

Vindmøller er i en årrække blevet udviklet og produceret med sigte på at blive opstillet som enkeltstående møller. I takt med at vindmøller udgør en betydelig større del af elforsyningen, bliver vindmøller oftest opstillet i "parker" såvel onshore som offshore. Vindmøller bliver til kraftværker (se tekstboks 2.1). Viden om vindproduktion, om de geofysiske forholds indvirkning på møllerne, om møllernes påvirkning på hinanden o. lign. er derfor af vital betydning.

Mindre private kunder, som ejer få møller, bliver afløst af store kommercielle kunder. Disse kunder står i nogle tilfælde også selv for planlægning og opførelse af vindkraftværker og køber kun vindmøllerne af møllefabrikanterne. I andre tilfælde leverer mølleproducenterne hele turn key-anlæg eventuelt suppleret med ansvar for drift og service. Entreprenører og rådgivere er trådt ind på dette marked som nye kunder og/eller partnere for vindkraftindustrien.

Alt i alt foregår der en øget specialisering og rationalisering i hele værdikæden, ikke kun blandt fabrikanter og leverandører, men også ved nye aktører som energi- og elnetselskaber samt developere og rådgivere.

## 2.5 Fra enkeltmandsmølle til basisleverandør af el

### Tekstboks 2.1

#### Nyttige definitioner

**Vindmølle:** Selve møllen med tårn, vinger, gear, generator og styring af møllen

**Vindkraftanlæg:** Vindmølle og de umiddelbare nødvendige komponenter for tilslutning af vindmøllen til elsystemet

**Vindkraftsystemer:** En eller flere møller og de nødvendige tilslutnings- og styresystemer for at drive møllerne i relation til elnettet

**Vindkraftværker:** Flere møller samlet fx i en møllepark, der kan styres og reguleres som et konventionelt kraftværk

Mølleparker leverer nu ca. 20 pct. af det samlede elforbrug i Danmark, og der er ambitioner om at øge denne andel. Det er imidlertid forbundet med betydelige udfordringer at øge denne andel, da vindkraft leverer strøm som "vinden blæser". Inden for korte tidsrum kan elproduktionen fra vindmøller svinge ganske betydelig, mens eldistributører efterspørger en elforsyning med en høj elkvalitet (krav til spænding, frekvens, pålidelighed og styring).

Når vindkraft i højere grad får status som basisleverandør af el er det vigtigt at kunne justere og korrigere for korte varige spring i vinden, for vindvariationer i højden og over en hel vindmøllepark. Mølleproducenterne må derfor have fokus på ikke blot at omdanne vind til el, men også at kunne justere og korrigere for vindens variationer for at kunne levere en høj elkvalitet. At have en høj elkvalitet og samtidig kunne forudsige produktionen af el fra vindkraft gør det lettere at integrere vindkraft i det samlede energisystem (se tekstboks 2.2).

### Tekstboks 2.2

#### Energisystem

**Energisystem** defineres som fysisk forbunden energiproduktion (alle energiformer), transmission og distributionsfaciliteter samt forbrug i en integreret enhed eller system.

KILDE: [HTTP://ENERGYTRENDS.PNL.GOV/GLOSE\\_H.HTM](http://energytrends.pnl.gov/glose_h.htm)

Endelig producerer vindkraft i korte perioder mere, end det samlede energisystem i dag kan aftage. Denne produktion afsættes i dag først og fremmest på det internationale elmarked. For at få mest mulig nytte af store investeringer i vindkraft er fokus også blevet rettet mod at regulere produktionen samt at anvende overskydende produktion i Danmark. Der ses blandt andet på intelligent elforbrug samt mulighederne for at lagre vindkraft vha. varmelagre, batterier, mv.<sup>5</sup> Vindkraft kan også indgå i den samlede energiforsyning på andre måder ved at anvende vindkraft til andre formål som transport el.lign. Dette arbejde med at udvikle nye anvendelsesområder og skabe bedre integration af vindkraft i energisystemet skaber mulighed - og behov - for innovation og udvikling.

Over længere perioder - fx et år - er der stor variation i vindkraftens elproduktion afhængig af om det er et "godt vindår". Dette er en udfordring i forhold til, hvordan det samlede energisystem skal sammensættes af forskellige energiformer.

Systemskiftet fra mikroproduktion til basisleverandører af el betyder, at vindkraft må forstås og udvikles som en integreret del af det samlede elsystem. Jo mere viden der er om vindproduktion, forudsigelse af produktionen og bedre integration af vindkraft i det samlede energisystem, des bedre kan vindkraft blive en basisleverandør af el. Heri ligger også, at vindkraft skal kunne reguleres aktivt i et samspil med andre energiformer.

## 2.6 Fra entreprenørskab til videnskab

Den "danske vindmølle" er i høj grad udsprunget af virkelystne og initiativrige fabrikanter, som i et dynamisk samspil med Risø har videreudviklet møllen. Risøs forskningsmæssige og eksperimentelle tilgang til udvikling af vindmøllen har i de første årtier af vindmøllens udvikling været et centralt omdrejningspunkt om Danmarks internationale succes (se tekstboks 2.3).

### Udvikling af vinger - fra test til videnskab

I forbindelse med en tilskudsordning for VE-anlæg fra 1981 blev der stillet krav om typegodkendelse baseret på en fuldskala afprøvning af vingerne på Risøs prøvestation. I første omgang blev der stillet krav om statisk prøvebelastning flapvis (belastning på vingen i vindens retning). Senere blev der stillet krav om statisk belastning og udmattelsesbelastning både flapvis og kantvis. Der er siden hen stillet mere og mere detaljerede krav om dokumentation af vingernes konstruktion, kvalitetskontrol og beskrivelse af produktionsprocesserne. Men den egentlige dokumentation af vingernes styrke er stadig prøvebelastningerne af vingerne.

Med de nyeste videnskabeligt base-rede beregningsmetoder og prøvningsmetoder vil man på sigt kunne afløse fuldskala-afprøvningerne med dokumentation af vingernes styrke med afprøvning af detaljer i vingerne. I et afprøvningshierarki bevæger udvikling og test af møllevinger sig fra fuldskala-afprøvning i toppen mod materialeprøvninger i bunden.

Et ekspanderende marked, udvikling af større møller og udvikling af vindkraftværker, der er velintegreret i energisystemet, stiller også nye og større krav til de samlede uddannelses- og forskningssystemer.

Forskningsmiljøerne har reflekteret dette skifte til det videnbaserede vindkraftværk med øget fokus på forskning inden for en række vindkraftrelevante områder. Denne forskning søger også at imødekomme et stærkt sigende behov for viden, videnskabelige test og eksperimenter.

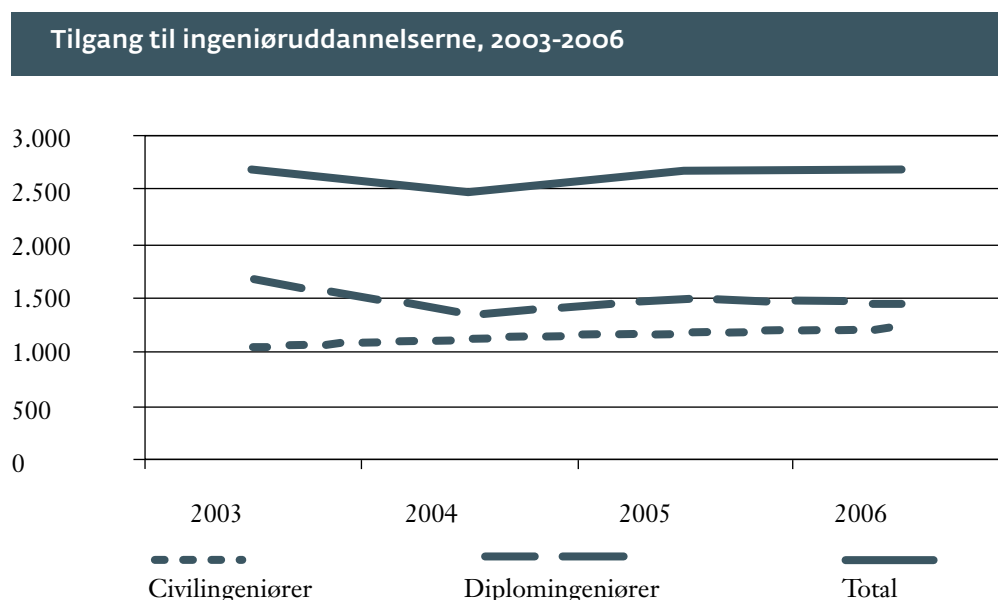
5 Et eksempel: Aktuelt vurderes mulighederne for anvendelse af CAES (Compressed Air Energy Storage) - trykluftlagre - hvor el kan lagres i form af luft under tryk og så gennem en gasturbine omsættes til el igen.

Bevillingerne har imidlertid vanskeligt ved at følge med. Ikke mindst når forskningen både skal spænde over den mere grundlæggende forskning og den anvendelsesorienterede, eksperimentelle forskning forankret i bl.a. test- og demonstrationsanlæg. Deltagelse i offentligt finansierede forskningsprojekter synes samtidig at ske med en stigende tilbageholdenhed for at skærme og prioritere egne F&U-aktiviteter.

Efterspørgslen efter kompetente medarbejdere er også stærkt stigende. Vindmølleindustrien ansætter i øjeblikket mere end 150 nye ingeniører om året, hvilket svarer til ca. 10 pct. af en dimittendårgang<sup>6</sup>. Men tilgangen til de tekniske uddannelser har desværre vanskeligt ved at følge med efterspørgslen (se figur 2.3).

**Figur 2.3**

Tilgang til ingeniør-uddannelserne, 2003-2006



KILDE: UNIVERSITETS- OG BYGNINGSSTYRELSEN: NOTAT OM INGENIØRUDDANNELSERNE, NOTAT NR. 5, 2006

Selvom kampen om den kvalificerede arbejdskraft er tiltagende, er tilgangen til ingeniøruddannelserne fortsat lav. Uddannelsesinstitutionerne er opmærksomme på den øgede efterspørgsel efter teknikere, ingeniører og forskeruddannede ingeniører, men de står over for en stor udfordring på grund af den lave tilgang. Til sammenligning blev der optaget ca. 4500 på ingeniøruddannelserne omkring 1990.

## 2.7 Systemskiftet har konsekvenser

Vindkraftindustriens succes er historien om et industrielt eventyr på et globalt hastigt voksende marked. Men hvis man lader sig forblinde af eventyret er der risiko for at glide ind i en "tornerosesøvn", der overser det systemskifte, som sker i den globale vindkraftindustri. At tage konsekvensen af dette systemskifte er at erkende, at vindkraft er en energiform helt på linie med hvilken som helst anden energiform og give vindkraft en central plads i fremtidens energiforsyning.

Vindkraftindustrien har potentialet til fortsat at skabe innovation, ny forskning og nye arbejdspladser i Danmark. Men systemskiftet viser en branche i stor forandring med mange udfordringer. Derfor er der brug for en indsats i hele branchen, hvis Danmark også i fremtiden skal være et førende kompetencecenter for vindkraft.

6 Vindmølleindustrien (2006): Vindmølleindustrien har brug for nye talenter. Analyse af industriens efterspørgsel på ingeniører.





## 3 Et kompetencecentrum – styrker og svagheder

Den globale udvikling i vindkraftindustrien medfører, at den danske forsknings-, uddannelses- og innovationsindsats skal prioriteres og fokuseres endnu skarpere. Kun på den måde kan vi fastholde et kompetencecentrum inden for vindkraft i Danmark og derigennem sikre vindkraftindustriens fortsatte udvikling og konkurrenceevne.

### 3.1 Succesfaktorer i ubalance

Det internationale forretningsmiljø for vindkraftindustrien i Danmark hviler på et kompetencemiljø, også kaldet en industriel teknologiklynge. Internationale erfaringer peger på en række succesfaktorer, som er stærkt medvirkende til, om teknologiorienterede kompetencemiljøer opnår succes. Selvom et kompetencecentrum ikke sådan lader sig flytte eller kopiere, er det ikke ensbetydende med, at det til tid og evighed vil være internationalt succesfuldt. De faktorer eller forhold som har skabt succesen kan ændre sig eller blive eroderet bort. Fokus på succesfaktorer, og en fortsat fornyelse heraf, er derfor af vital betydning for at fastholde vindkraft som et internationalt kompetencecentrum i Danmark.

Gennem samtaler med en række nøglepersoner inden for vindkraftbranchen er der i figur 3.1 givet en vurdering af, om Danmark kan matche succeskriterierne for et teknologiorienteret kompetencemiljø.

Beskrivelse	Vurdering
<b>Kritisk masse</b> Inden for de seneste år har vindkraft opnået en stærk markedsposition. Industrien investerer betydeligt i forskning. Det samlede vindkraftindustrielle miljø målt på beskæftigelse og eksport er vokset betragteligt. Internationale investorer og industrikoncerner har investeret i udviklings- og produktionskapacitet, og de er opmærksomme på branchens muligheder i Danmark.	😊😊😊😊😊
<b>Industrielt lokomotiv</b> Vindkraft er udviklet gennem en kombination af entreprenørånd og offentlig forskning, national og senere international efterspørgsel. I dag drives udviklingen af industrielle lokomotiver inden for vindkraft og et net af leverandører. I Danmark er der industrielt drivende industrier inden for vindkraft. Når rammevilkårene er internationalt attraktive, er den industrielle råstyrke til stede for fortsat udvikling i Danmark.	😊😊😊😊

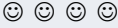



Figur 3.1

Det danske kompetencecentrum for vindkraft vurderet ud fra succesfaktorer for teknologiorienterede kompetencemiljøer.

Vurderet på en skala fra 1-5, hvor 5 er højeste score.

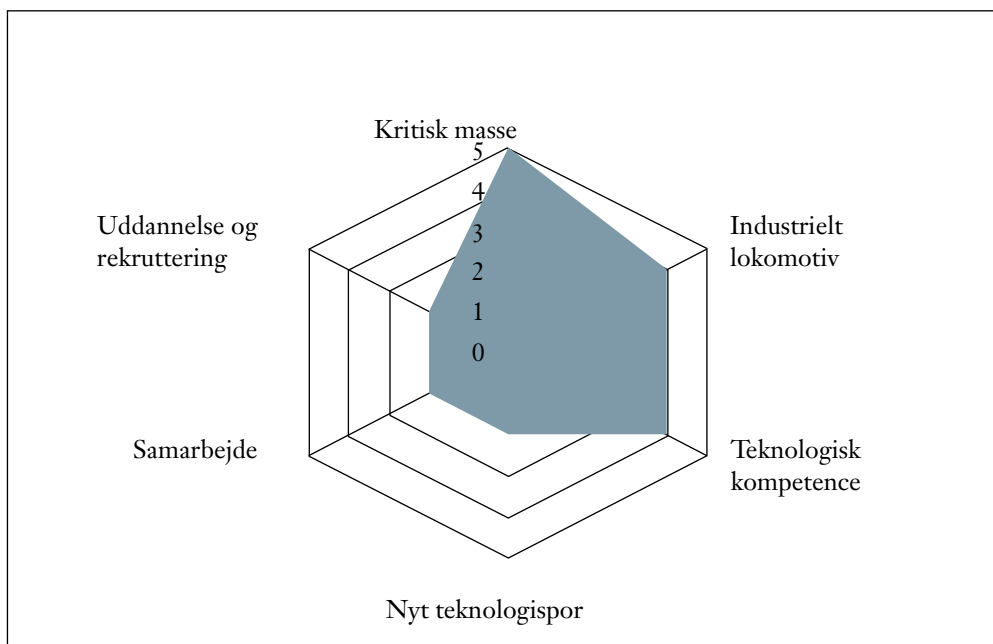
Figur 3.1

Vurderet på en skala fra 1-5, hvor 5 er højeste score.

Beskrivelse	Vurdering
<p><b>Teknologisk kompetence i verdensklasse</b></p> <p>Vindkraft i Danmark bygger på internationalt førende forskningsbaseret viden om bl.a. vind, meteorologi, aerodynamik mv., som har fundet industriel anvendelse. Den industrielle innovation har udviklet sig i tæt samspil med forskningen. Trusler:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Udviklingsmiljøer skyder op uden for Danmark, og den teknologiske kompetence er ikke længere forankret i Danmark.</li><li>• Konkurrencen i vindkraftindustrien skærpes. Viden og vækstspiraler lukkes inde i industrikoncernerne til skade for hele innovationsmiljøet.</li></ul>	
<p><b>Nyt teknologispør</b></p> <p>Nye teknologiske gennembrud giver rum for industriel vækst. Gennem to årtier er udvikling af stadig større og mere effektive møller og vindkraftværker lykkedes. Her er fortsat udviklingsmuligheder, men konkurrenterne synes at indhente det danske teknologiforspring. Nye potentielle teknologispør for fortsat succes kan bl.a. være:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Øget og mere driftsikker integration af vindkraft i elsystemet</li><li>• Nye materialer</li><li>• Nye komponenter – og samspillet mellem komponenter</li><li>• Effektelektronik</li><li>• Drift og vedligehold</li><li>• Offshore teknologi</li></ul>	
<p><b>Samarbejde</b></p> <p>I det danske vindkraftmiljø er der i dag mange, som har erfaringer fra mølleindustriens entreprenante tid, hvor der var et udbredt samarbejde i branchen. Vindkraftbranchen præges stadig af den ånd. I dag er der dog en tendens til, at samarbejdet mellem industrien og forskningsverdenen er mere spredt. I de offentlige forskningsprojekter mangler der i stigende grad deltagere fra industrien. Industrien finder imidlertid, at denne forskning ofte er lidt for fjern fra markedet.</p> <p>En lav jobmobilitet fra industri til forskning og i nogen udstrækning også mellem industrivirksomhederne hæmmer viden- og erfaringsspredning.</p>	
<p><b>Uddannelse og rekruttering</b></p> <p>I takt med en stor vækst i branchen ses en skærpet konkurrence om arbejdskraften – og også en international konkurrence om de bedst kvalificerede medarbejdere. Når der samtidig er en lav tilgang til de tekniske uddannelser, fører det til en tiltagende knaphed på kvalificeret arbejdskraft.</p> <p>Uddannelsesinstitutionerne har i stigende grad taget energiteknologi op som tema, og industrien ligger stigende vægt på at bidrage til rekruttering og kvalificering af uddannelserne, fx gennem studenterprojekter. Resultaterne vil forhåbentlig vise sig i de kommende år.</p>	

KILDE: SAMTALER MED NØGLEPERSONER INDENFOR VINDKRAFTBRANCHEN.

For at vindkraftbranchen fremstår som et stærkt forskningsmæssigt og industrielt miljø må branchen score højt på alle succesfaktorer. Vurderingen er samlet i figur 3.2 i form af det mørke felt. Her er det tydeligt, at der er en ubalance i det samlede kompetencecentrum. Ubalancen skyldes betydelige svagheder inden for uddannelse, samarbejde, nye teknologiske spor og til dels inden for teknologisk kompetence.



**Figur 3.2**

Samlet vurdering af det danske kompetencecentrum for vindkraft

KILDE: SAMTALER MED NØGLEPERSONER INDENFOR VINDKRAFTBRANCHEN

Styrkerne består i at vindkraftbranchen er kendetegnet ved et stærkt industrielt miljø med store globale markedsandele og store udviklingsdrivende virksomheder. Ved et umiddelbart blik på vindkraftbranchen kan styrkerne virke overvældende og imponerende. Men de styrker, som vindkraftbranchen besidder i dag, bygger imidlertid på, at der gennem de seneste årtier har været en satsning på forskning, innovation og teknologisk udvikling og ikke mindst ved, at der har været et innovativt miljø med udbredt samarbejde inden for vindkraft. Denne satsning har netop været forudsætningen for udvikling af et unikt industrielt miljø.

Men der konstateres svagheder på alle de succesfaktorer, som skal skabe morgendagens industrielle miljø, og der er grund til at "råbe vagt i gevær". Uden at skabe en øget indsats inden for succesfaktorerne uddannelse, samarbejde, nye teknologiske spor og teknologisk kompetence vil Danmark ikke kunne bevare et førende kompetencecentrum for vindkraft.

Den politiske opbakning spiller også en vigtig rolle. I de første årtier i den danske vindkraftbranches udvikling var den kendetegnet ved betydelige offentlige investeringer i forskning, innovation og teknologisk udvikling. De senere år har der været en betragtelig reduktion i disse investeringer, men alt tyder på at investeringerne øges de kommende år. Samtidig er der stort set ikke blevet opsat nye møller siden 2003, hvilket mindsker industriens muligheder for afprøvning og test i Danmark. Men her er der også ved at åbne sig nye muligheder.

Endelig har energipolitikken også en afgørende betydning. Allersenest er vindkraft således kommet højt op på den politiske dagsorden såvel i Danmark som internationalt. Hvordan dette udmønter sig i forskning og teknologiudvikling samt markedstiltag til fordel for vindkraft er stadig vanskeligt at vurdere i sommeren 2007.

Alt i alt er svaghederne i det danske kompetencecentrum for vindkraft koncentreret omkring uddannelse, forskning samt samarbejde inden for forskning, innovation og demonstration – alle områder, som det er muligt at styrke.

### 3.2 Udfordrende international konkurrence

Udfordringerne for vindkraftbranchen bliver meget mere konkrete og jordnære, når blikket løftes fra de strukturer, som skaber et kompetencecentrum, til også at se vindkraft i konkurrence- og markedsperspektiv. Der er mange muligheder og trusler, som det er vigtigt at forholde sig til, hvis vindkraft også i fremtiden skal være et stærkt forskningsmæssigt og industrielt miljø i Danmark (se figur 3.3).

Med forventninger om betydelig vækst i efterspørgslen efter vindkraft tegner der sig en spændende fremtid for den globale vindkraftindustri. Vindkraftindustrien i Danmark har vundet betydelige markedsandele, dels ved at være først på markedet, dels ved at være mere innovativ og have større systemforståelse end mange konkurrenter.

Styrker	Svagheder
<ul style="list-style-type: none"><li>• Højt kompetenceniveau</li><li>• Underskov af leverandører</li><li>• Stor eksport</li><li>• Offshore</li><li>• Innovation – F&amp;U</li><li>• Indpasning i vindkraft i elnettet</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Højt omkostningsniveau</li><li>• Lav aktivitet på hjemmemarkedet</li><li>• Mangel på arbejdskraft</li><li>• Industrialisering - pålidelighed og holdbarhed</li><li>• Drift og vedligehold (service)</li><li>• Jobmobilitet</li></ul>
Muligheder	Trusler
<ul style="list-style-type: none"><li>• Stor efterspørgsel - øget eksport</li><li>• Offshore</li><li>• Internationalt kompetencecentrum styrkes</li><li>• Energi- og miljøpolitik i fokus</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Internationale industrikoncerner tager over</li><li>• Billige møller fra Asien - produktion uden for Danmark</li><li>• Nye F&amp;U/kompetencemiljøer skyder op i vækstmarkeder</li><li>• Udvikling af store møller og vindkraft-anlæg økonomisk krævende og risikofyldt</li></ul>

**Figur 3.3**

SWOT - produktion af vindkraftanlæg i Danmark

Analysen viser dog, at vindkraftmiljøet i Danmark fremover i stigende grad vil blive udsat for international konkurrence netop på viden og kompetenceudvikling. En konkurrence, som direkte udfordrer helt afgørende konkurrenceparametre for vindkraftindustrien i Danmark. Om branchen klarer sig afhænger af, hvor stærk den er inden for forskning, uddannelse og innovation.





## 4 Udfordring for kompetencecentret

Fremstilling af vindkraftanlæg står i dag ved en skillevej, hvor kravene til professionalisering og industrialisering er godt i gang med at blive langt større. Krav der adresseres direkte til den industrielle innovation, forskning og uddannelse.

Skal vindkraftbranchen gå sammen om fælles forsknings- og innovationsinitiativer, må man finde en form, hvor alle kan finde sin egen rolle samtidig med, at det har relevans for industrien. Mulighederne ligger først og fremmest inden for den almennyttige, generiske eller precompetitive forskning samt inden for innovation, validering, afprøvning og demonstration.

Men hvor ligger da udfordringerne inden for forskning, uddannelse og innovation?

### 4.1 Forskning

Gode rammevilkår og investeringer i forskning er en vigtig forudsætning for at udvikle et kompetencecentrum. Forskningen universiteterne udfører på den ene side grundlagsskabende forskning, som bidrager til viden- eller teknologispring. Denne forskning har et langsigtet perspektiv, og bidrager med vigtig ny viden og indsigt. På den anden side udføres der også anvendelsesorienteret forskning, ofte i samarbejde med virksomheder. Denne forskning har et lidt kortere perspektiv og kan ofte bruges direkte i branchen. Begge typer af forskning spiller en afgørende rolle for fortsat teknologiudvikling og innovation i vindkraftbranchen.

En række andre lande som Tyskland, Spanien, og USA investerer betydelige midler i forskningsprogrammer inden for vindkraftteknologi (se tabel 4.1). Og ”nye” vindkraftlande som Indien og Kina er stærkt på vej ind på dette forskningsområde.

Retfærdigvis må basismidlerne til de offentlige forskningsinstitutioner også medtages i vurderingen af de offentlige midler. Ved at gøre dette, vurderes de offentlige forskningsbevillinger således til alt i alt at skabe et forskningsmiljø inden for vindkraftenergi på 150-200 årsværk. Endelig er det regeringens mål at øge de offentlige forskningsmidler til energiforskning til 1 mia. kr. årligt i 2010. Dette ændrer dog ikke grundlæggende ved de trusler og udfordringer som Danmark som kompetencecentrum står overfor.

Land	Danmark	Tyskland	Spanien	USA
Mio. kr.	54	123	122	256

NOTE: TALLENE VISER DE LØBENDE EKSTERNE BEVILLINGER OG INKLUDERER IKKE BASISMIDLER TIL DE OFFENTLIGE FORSKNINGSINSTITUTIONER.

Figur 4.1

Eksterne offentlige midler til forskningsprogrammer inden for vindteknologi i udvalgte lande, 2005

Hertil kommer, at de eksisterende forskningsmiljøer på universiteterne i dag har svært ved at følge med industriens forskningstempo. Dette hænger sammen med, at vindkraftindustriens investeringer i ny teknologi og produktudvikling gennem de seneste år er øget ganske betragteligt. Brancheforeningen Vindmølleindustrien anslår, at industriens samlede F&U investeringer i 2005 løb op i ca. 900 mio. kr.<sup>7</sup>

Selv om universiteterne på sin vis halter efter industriens forskningsindsats, har industrien en betydelig interesse i universiteternes forskning. For det første vil industrien gerne have indsigt i universiteternes viden for at følge med i eventuelle teknologiske skift eller nyudviklinger. For det andet er en tæt kontakt til universiteterne også et godt udgangspunkt til at igangsætte fælles forskningsprojekter, som i højere grad retter sig mod den enkelte industris udfordringer. For det tredje er tæt samarbejde et godt grundlag for at rekruttere nye, dygtige medarbejdere.

Flere virksomheder har i dag etableret sig med kontorer el.lign. på universiteter for at have en tættere kontakt til universitetsmiljøet. Det er umiddelbart mulighederne for rekruttering og vidensspredning gennem nyuddannede medarbejdere som tillægges større vægt end selve forskningen.

Forskningen står over for to hoveddilemmaer, nemlig mellem grundlagsskabende og anvendelsesorienteret forskning og mellem et bredt eller et specialiseret forskningsfokus (se figur 4.2).

**Figur 4.2**

Universiteter i spændingsfeltet mellem grundforskning og anvendelsesorienteret forskning

### Universitetsforskningen skaber ny viden og kompetencer, mens industrien efterlyser innovation til gavn for industrien.

Industriens efterlysning af mere industriorienteret forskning på universiteter

Universitetsforskningen er principiel:

- mere langsigtet (grundforskning)
- offentlig tilgængelig
- styret ud fra andre succeskriterier end kommercielle succesmål

Universitetsforskningen forsøger at være anvendelsesorienteret gennem:

- udvikling af design og modelleringsværktøjer
- engageret i testvirksomhed (af møller, vinger, elsystem...)
- rekvireret forskning; konsulentvirksomhed
- industriel deltagelse i forskningsprojekter – styret af universiteter

GTS-institutterne søger at bygge bro mellem forskning og industri

Repræsentanter fra industrien og forskningsverdenen giver samstemmende udtryk for, at forskningen skal skabe den brede grundlæggende viden - den generiske viden - som efterfølgende kan skabe grundlag for den industrielle forskning eller innovation. Med andre ord skal forskning kunne give de grundlæggende svar, men ikke have den tekniske viden om udvikling og produktion af vindkraftanlæg mv. Dette er en industriel kompetence og kommerciel viden, der ligger hos industrien og i nogen udstrækning også hos GTS<sup>8</sup>-institutter eller andre rådgivere. Dette udelukker ikke bilaterale samarbejdsprojekter mellem et universitetsmiljø og en industrivirksomhed, men det præciserer alligevel samarbejdsfladen mellem universiteter og industrien.

Samarbejdet mellem universiteter og industri er dog ikke altid uproblematisk. På den ene side afhænger et succesfuldt samarbejde af åbenhed om de teknologiske udfordringer,

7 SE OGSÅ VINDMØLLEINDUSTRIEN (2005): VIND I VIDENSAMFUNDET. VISION OM DANMARK SOM VINDKRAFTCENTER

8 GTS- INSTITUTTER = GODKENDTE TEKNOLOGISK SERVICEINSTITUTTER, SE WWW.TEKNOLOGIPORTALEN.DK/OMGTS/

men på den anden side holder de industrielle virksomheder kortene tæt ind til kroppen på grund af konkurrencesituationen. Det betyder, at det kan være svært at skabe de rigtige rammer for videndeling. For at imødekomme denne udfordring er der behov for at udvikle metoder omkring etablering af samarbejder, særligt i forhold til de vigtige langsigtede forskningsprojekter.

Der er tillige udbredt enighed om, at de danske universiteter ikke kan være stærke inden for alle teknologiområder af relevans for vindkraft. Budskabet er:

- At universiteterne må specialisere sig inden for de områder, hvor man i forvejen har sine styrkepositioner.
- At universiteterne gennem deres forskning skal bidrage til at fasteholde vindkraftindustriens styrkeposition på det globale marked.
- At universitetsmiljøet inden for vindkraft må samles i internationale slagkraftige forskningsmiljøer.
- At virksomheder, universiteter mv. må hente den viden og forskningsmæssige kompetence, som ikke findes i Danmark, i udlandet. Universiteterne kan med fordel indlede strategiske samarbejder på områder, der komplimenterer forskningen i Danmark.
- At der er et "utappet" potentiale af viden og kompetencer på danske universiteter, som vindkraftindustrien ikke nyttiggør i dag. Ofte er sådanne områder orienteret mod andre produkter/hovedproblemer end vindkraft, men vindkraft burde kunne inddrages i universiteternes forskningsoptik.

Forskning der retter sig mod vindkraft, må således befinde sig på den teknologiske front, samtidig med at den understøtter og videreudvikler teknologiske styrkepositioner af stor betydning for vindkraft. I vindkraftmiljøet fremhæver man, som illustreret i figur 4.3, at de vigtigste forskningsmæssige styrkepositioner blandt andet er inden for vindproduktion, aerodynamik, geofysik, effektelektronik, optimering af konstruktion samt elsystemet.

Styrker	Svagheder
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geofysiske forhold</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mekaniske elementer</li> </ul>
Vindproduktion	Gear og lejer
Vinddata – meteorologi	Generatorer
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vingeteknologi – aerodynamik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nye materialer</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aeroelasticitet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommercialisering af design og modelleringsværktøjer samt af risikoanalyser</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effektelektronik</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Optimering af konstruktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Metoder til rational planlægning af drift og vedligehold</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El-system – regulering og transmission fra vindkraftværker</li> </ul>	

**Figur 4.3**

Vindkraftindustriens vurdering af den universitære forskning

Men det danske forskningsmiljø besidder imidlertid ikke spidskompetencer inden for alle de teknologiområder, som et vindkraftanlæg bygger på. Dette gælder fx inden for gear, bremsere, generatorer og lignende. Universiteterne kan, som industrien, etablere samarbejder med internationale forskningsmiljøer. Heri ligger også et potentiale for at udvikle tværfaglige forskningsprojekter af relevans for vindkraftindustrien.

Der kan også peges på områder, hvor der er et "utappet" potentiale af viden og kompetencer på universiteterne, som vindkraftindustrien burde kunne nyttiggøre. Det drejer sig fx om styringsteknik (systemintegration), materialer, produktionsteknologi, IKT/sensorer mv.

## 4.2 Uddannelse

Vindkraftindustriens konkurrenceevne og fortsatte udvikling hviler i høj grad på adgang til kompetent og veluddannet arbejdskraft. Det gælder både kvalificerede diplom- og civilingeniører, faglærte teknikere mv. Det er derfor af vital betydning, at der uddannes tilstrækkeligt med kvalificerede nye medarbejdere.

Vindkraftindustriens behov for at rekruttere dygtige medarbejdere stiger imidlertid hurtigere end udbuddet. Dette hænger sammen med, at tilgangen til de videregående tekniske uddannelser ikke matcher efterspørgslen, og flere fra vindkraftindustrien giver udtryk for, at de ikke mindst har et stort behov for flere ingeniører.

Det vækker bekymring, at tilgangen til de tekniske uddannelser er svag. Konkurrencen om arbejdskraften vil øges. Dette ses allerede i dag og for at imødekomme behovet sættes der også på international rekruttering, hvilket bliver ledsaget af strategiske overvejelser om opbygning af forretningsaktiviteter i udlandet.

Vindkraftindustrien efterspørger særligt nyuddannede med solide grundkompetencer inden for de klassiske ingeniørdiscipliner og med spidskompetencer inden for generiske teknologier. Et bredt kendskab til branchen, f.eks. via arbejde med cases fra vindkraftindustrien, bliver også efterspurgt.

På universiteterne er der på master- og Ph.d-niveau mulighed for at specialisere sig inden for vindenergi enten med fokus på den elektriske del af vindmøllen eller på den mere mekaniske del. Hertil kommer uddannelses tilbud inden for elteknologi, som omhandler effektelektronik, vindkrafts integration og samspil med det øvrige elsystem (se figur 4.4).

**Figur 4.4**

Vindkraftindustriens vurdering af uddannelser inden for vindkraft

Styrker	Svagheder
<ul style="list-style-type: none"><li>• Forskningsbaserede uddannelser</li><li>• DTU &amp; AAU - MSc in wind energy</li><li>• Electrical</li><li>• Mechanical</li><li>• DTU - Center for el-teknologi</li><li>• MSc i energiteknik og energiplanlægning på Aalborg Universitet</li><li>• Industrien er til rådighed for turnus, praktikophold og "afgangsprojekter"</li><li>• Diplomuddannelser rettet mod vindteknologi, fx HIH og IHA</li><li>• Fusion mellem DTU og Risø</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Svag tilgang af nye studerende</li><li>• Pt. relativt mange på masterniveau men tilgangen synes faldende</li><li>• Stor mangel på ingeniører inden for stærkstrøm</li><li>• Risøs forskningskompetencer ikke integreret i undervisning, fx meteorologi</li></ul>

På uddannelsesfronten tegner der sig også nye (potentielle) muligheder rettet direkte mod vindkraftindustrien.

Mange af de forskningsmæssige ressourcer på Forskningscenter Risø har hidtil kun i begrænset omfang været nyttiggjort i undervisning. Fusionen mellem DTU og Risø rummer potentialer for at udbygge undervisningskapaciteten på DTU ved netop at nyttiggøre disse forskningsmæssige ressourcer. For at komme tættere på dette uddannelses- og forskningsmiljø har Vestas Wind Systems A/S etableret kontor på Risø og Siemens Wind Power A/S på DTU. Denne tendens til at virksomhederne rykker tættere på universiteterne har et stort potentiale i forhold til at styrke branchens samarbejdsrelationer.

Aalborg Universitet reorganiserer deres uddannelser til også at omfatte en ren energiteknologisk linie.

Ingeniørhøjskolerne, eksempelvis Ingeniørhøjskolen i Århus, vil sætte vindrelaterede problemstillinger på undervisningsplanen som led i etablering af ”Navitas Park - et innovationscenter for energi”.

AU-HIH<sup>10</sup> søger at imødekomme industriens behov inden for efteruddannelse ved sammen med Risø og Aalborg Universitet at tilbyde efteruddannelse særligt rettet mod de danske vindmølleproducenter.

Internationalt forskningssamarbejde kan også understøtte mulighederne for at tilbyde forskningsbaseret undervisning på områder, hvor man står forskningsmæssigt svagt. Et strategisk uddannelsessamarbejde med internationale universiteter med spidskompetencer inden for sådanne områder er en mulig vej frem.

### 4.3 Innovation

Udvikling og produktion af driftsikre og effektive vindkraftværker er i lige så høj grad - måske endda i højere grad - et spørgsmål om innovation, udvikling, afprøvning og demonstration - end om egentlig forskning.

Der er store udfordringer forbundet med at udvikle og afprøve nye praktiske løsninger. Dette gælder ikke kun den enkelte vindmølles driftsikkerhed og effektivitet. Fokus er i stigende grad på integration af vindkraft i det sammenhængende elnet.

Der er på en række områder et godt grundlag for innovation i Danmark. I takt med at produktionen bliver industrialiseret, internationale vindmølleproducenter kommer på banen og kunderne domineres af professionelle elproducenter, er der imidlertid sat nye rammer og vilkår for innovation (se figur 4.5).

Forskningen på universiteterne vil uden tvivl spille en vigtig rolle, når det gælder om at gennemføre mere kortvarige forskningsprojekter af en innovativ karakter. Det kan både være bredt anlagte forskningsprojekter med mange (industrielle) deltagere og mere bilaterale og virksomhedsspecifikke forskningsprojekter.

En mere industrialiseret produktion betyder at industrien også har brug for en effektiv tilgang til generelle data om fx meteorologi, analyse- og hjælpeværktøjer, afprøvningsfaciliteter og lign. Denne funktion har forskningen bidraget med for vindkraftindustrien i de første mange leveår. Men det er tvivlsomt, om forskningen (universiteterne) i forening med deres forsknings- og uddannelsesmæssige forpligtigelser vil kunne varetage denne innovative rolle fremover. Det vil kræve ressourcer at være til rådighed for ”konsulentopgaver”, ligesom det kræver en særlig ”serviceorganisation” at stille de rigtige faciliteter til rådighed for industrien.

9 Århus Kommune (2007): Energi og energiteknologi – nye vinde til vækst. Anbefalinger fra en tænketank

10 Århus Universitet – Handels og Ingeniørhøjskolen i Herning

**Figur 4.5**

Vindkraftbranchens vurdering af den industrielt orienterede innovation.

Styrker	Svagheder
<ul style="list-style-type: none"><li>• Kritisk masse i industrien</li><li>• Udvikling af nye vindmøller</li><li>• Offshore vindkraftanlæg - havmøller</li><li>• Højt kompetenceniveau inden for: Aerodynamik (vinger) Strukturdynamik Produktion af møller – vindkraftværker El-systemer i møllen</li><li>• Logistik</li><li>• Industriel produktion Vinger Styring og samling af naceller</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Svag udvikling af procedurer og standarder for minimering af fejl mv. Produkter/komponenter Drift og vedligehold</li><li>• Afprøvnings- og demo-faciliteter</li><li>• Udvikling og udnyttelse af kompetencer/viden hos (udviklingsorienterede) leverandører</li><li>• Design og modelleringsværktøjer udvikles, men svag forankring i en kommerciel organisation for salg, tilpasning og service</li><li>• Kobling mellem vindkraft og el-system</li><li>• Få nye komponenter frem</li></ul>

Den innovative sammenhængskraft, som hidtil har kendetegnet vindkraft i Danmark, er ved at blive svækket. De store industrikoncerner in-sourcer mere og mere forskning og innovation, og bliver mindre interesserede i fælles forsknings- og udviklingsprojekter. En styrke ved det danske vindkraftmiljø er, at det evner at løse teknologiske problemer med afsæt i det sammenhængende elsystem. Denne unikke styrke kan gå tabt, hvis de forskellige led i værdikæden fra mølleproducenter til elproducenter og -distributører glider fra hinanden.

Endelig kan de store industrikoncerner og mølleproducenter i høj grad selv tage vare på den markedsnære innovation og kompetenceudvikling. Men mange af de mindre leverandører kan blive koblet af vindkraftindustriens læringsmiljø, hvis der ikke skabes rum for kompetenceudvikling og innovation hos leverandørerne. Leverandørernes alternativ er at søge samarbejde med GTS-institutterne og andre rådgivere, hvor der i dag også findes industrielle og vindspecifikke kompetencer.

Et stærkt innovativt miljø bygger på, at alle led i værdikæden på den ene eller anden måde involveres i innovation og videndeling gennem fælles udviklingsarbejde. Det kan ske gennem direkte kunde-leverandør-relationer eller på områder, hvor industrien har en fælles interesse.

For at fastholde et dynamisk lærings- og udviklingsorienteret vindkraftmiljø i Danmark er det af vital betydning at forny eller videreudvikle innovative teknologimiljøer. Det kan netop være det "kit", der skaber sammenhængskraft og dynamik i et kompetencecentrum samtidig med, at nye teknologiske spor kan udspringe herfra. Hvilke nye teknologiske spor, der tegner sig i øjeblikket, forfølges i næste kapitel.





## 5 Teknologiske og funktionelle udfordringer

### - nye teknologiske spor

Vindkraftbranchen og det samlede innovationssystem omkring vindkraft må adressere de teknologiske og funktionelle udfordringer, der er forbundet med at udvikle vindkraft til at producere el på linie med konventionelle kraftværker.

I dette kapitel identificeres de centrale strategiske udviklingsområder (de teknologiske spor) der kan udvikle Danmark som kompetencecenter inden for vindkraft. At udvikle de teknologiske spor er en opgave for forskning og innovation.

Den umiddelbare udfordring er at løse de tekniske problemer og funktionelle krav således, at vindkraft bliver en endnu mere effektiv og konkurrencedygtig energiform, der leverer el af en høj kvalitet, som lader sig integrere i det samlede energisystem.

De teknologiske og funktionelle udfordringer relaterer sig til alle aspekter ved udvikling af vindkraftværker. Neden for er der sat fokus på disse udfordringer inden for tre spor:

- Udvikling af vindmøller fra enkeltkomponenter til hele møllen. Denne udfordring har rødder i systemskiftet fra prototyper til industriel produktion.
- Optimering af vindkraftværker. Denne udfordring udspringer af systemskiftet fra mølle til vindkraftværk.
- Vindkrafts integrering i det samlede elnet, hvilket udspringer af at vindkraft nu skal være en basisleverandør af el.

### 5.1 Fra prototyper til industriel produktion

Produktionen i vindkraftindustrien er i dag kendetegnet ved industriel masseproduktion af vindkraftanlæg. Vindkraftanlæg er ikke blot store maskiner, men højteknologiske kraftværker bestående af et kompliceret og dynamisk samspil mellem en lang række teknologisk avancerede komponenter. Vindkraftværker leveres til et marked domineret af store elproducenter. Kunderne efterspørger pålidelige og driftsikre vindkraftværker, der er fuldt ud konkurrencedygtige med konventionelle kraftværker.

For at øge effektiviteten og konkurrencedygtigheden i den industrielle produktion arbejder vindmølleproducenterne bl.a. med følgende udfordringer, som spænder fra fokus på udvikling af komponenter til drift og vedligehold:

## Udvikling af komponenter og optimering af en industriel produktion

Når møllerne skal serieproduceres, er der en tendens til ikke blot at anvende standardkomponenter, men også til at lade specielt designede komponenter bliver en del af møllerne. Dette afstedkommer for det første større behov for validering samt test af påvirkning og belastning af de enkelte, nydesignede komponenter for at sikre, at de lever op til de ønskede kvalitetskrav.

Det store krav til styring af produktionen stiller ikke kun krav hos vindmølleproducenten, men også til styring af leverandører. Det centrale dilemma er her deling af viden mellem mølleproducenten og dens leverandører. Vil en høj grad af videndeling give bedre produkter, eller vil det blot komme dem til skade og deres konkurrenter til gavn? Der er ikke tvivl om, at det vil være til gavn for det samlede industrielle miljø og for Danmarks kompetencecentrum for vindkraft.

## Udvikling og optimering af møllen

Udvikling af nye og større møller foregår ikke helt med samme hast som tidligere. Men der vil stadig være fokus på optimering af møllen uanset om det drejer sig om optimering af kendte møllestørrelser, om udvikling af store 10 MW møller eller måske endnu større møller primært til offshore vindkraftanlæg.

Der findes grundlæggende viden om, hvordan de geofysiske forhold påvirker møllen og det samlede vindkraftanlæg. Men der er stadig udfordringer i at teste møllen/vindkraftanlægget som helhed op mod den kompleksitet af geofysiske forhold, som findes på konkrete lokaliteter. Grundlæggende viden om laster og materialer er i forlængelse heraf stadig vigtig, ligesom det er afgørende i forhold til designverifikation og godkendelser (se tekstboks 5.1).

### Tekstboks 5.1

Udvikling af en lettere mølle – Vestas V90-3,0 MW mølle

Vestas' mål med V90-3,0 MW møllen har været at udvikle en lettere mølle for at reducere omkostningerne ved produktion, materialer, transport og opstilling og samtidig øge effektiviteten.

I konstruktionen af vinger er letvægtmaterialer som kul fibre anvendt i de bærende bjælker, hvilket reducerer vægten og øger vingens styre og stivhed. Samtidig er fokus rettet mod aerodynamikken for at optimere forholdet mellem belastning af møllen og energiproduktion. Dette har ført til en ny vingeform med en kurvet bagkant. V90 møllen har et bestrøget areal, der er 27 % større end V80-2,0 MW, men vejer næsten det samme.

Endelig er møllens vægt også holdt nede ved at gøre tårn og nacelle lettere. Eksempelvis er nacellens generatoreffekt øget med 50 % uden at øge vægten, men ved at montere navet direkte på gearkassen og dermed eliminere behovet for en hovedaksel.

KILDE: VESTAS: V90-3,0 MW. EN LETTERE VEJ TIL MERE ENERGI

Det er afgørende (en udfordring for vindkraftindustrien) at have adgang til afprøvningsfaciliteter for at kunne afprøve hele møllen eller hele vindkraftanlægget i samspil med de geofysiske forhold. Overordnet er der stor viden om, hvilke laster der påvirker møllen, men der er stadig mange uafklarede spørgsmål, når det gælder samspillet og den gensidige påvirkning mellem de forskellige dele og komponenter på møller og i vindkraftanlægget.

Afprøvnings- og demonstrationsbehovet omfatter hele udviklingskæden fra prototype og 0-serie produktion til optimering af den tidlige serieproduktion.

## Havmøller

Danmark er førende inden for havmølleudbygning mht. både at planlægge, opføre og drive sådanne mølleparker. Her er ny viden om samspillet mellem vind, bølger og vindmølle centralt, ikke mindst som følge af at de geofysiske udfordringer skaleres voldsomt ved at gå fra landanlæg til offshore anlæg. Hertil kommer, at udfordringerne øges og kompliceres, når møllen skal placeres på større havdybder, hvilket stiller krav om udvikling af nye fundaments- og installationsprincipper. Kort og godt er der et stort behov for at skærpe evnen til at fastsætte krav- og designspecifikationer for havmøller.

## Driftsikkerhed - systemer for drift og vedligehold af vindkraftanlæg

Det er en stigende udfordring at minimere omkostninger til drift og vedligehold drevet frem af kravet om høj produktivitet og få driftsstop. Der har ikke bare været problemer med kvalitet og driftsikkerhed på møllen, men også med selve procedurerne for drift og vedligehold. Omkostninger til drift og vedligehold er både en direkte omkostning og et produktionstab. For offshoreanlæg bliver denne omkostning ekstraordinær stor pga. møllens vanskelige tilgængelighed. Kunderne ser med stigende utilfredshed på sådanne tab, i takt med at vindkraft udgør en stigende andel af elproduktionen.

Det er en udfordring at udvikle standardprocedurer for drift og vedligeholdelse samt systemer (IT-systemer), der løbende kan overvåge vindkraftanlæggets tekniske stand for at kunne iværksætte en forebyggende vedligeholdelsesindsats. Denne udfordring kan føres tilbage til spørgsmålet, om man ikke kan udvikle et mere rationalt mølledesign, hvor drift og vedligehold er integreret således, at udviklingen kan gå mod den vedligeholdelsesfri mølle. Her ligger både en teknisk udviklingsopgave, men også en trænings- eller uddannelsesopgave.

Adgangen til afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter er en kritisk faktor for at kunne dokumentere, at komponenter og hele møllen lever op til de stillede krav og standarder (fx pålidelighed og levetid). Det er derfor vigtigt at have afprøvningsfaciliteter, som omfatter hele værdikæden fra afprøvning af komponenter, til afprøvning af demo-møller og afprøvning af 0-serie møller mv. Alle har interesse heri, men ikke nødvendigvis ressourcer mv. til at etablere disse faciliteter. Der findes en række afprøvningsfaciliteter i dag, men der er et behov for at styrke og videreudvikle disse faciliteter (se tekstboks 5.2). I forlængelse heraf er det positivt, at der netop er udpeget otte nye steder til placering af 0-serie møller, men det er vigtigt, at dette følges op med andre typer afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter.

De første danske vindmøller skulle godkendes på prøvestationen for mindre vindmøller på Risø. I dag er der flere testfaciliteter for vindmøller som:

- Risøs testcenter for store vindmøller i Høvsøre ved Bøvlingbjerg, hvor der er plads til fem testmøller
- På Aalborg Havn har Risø, Force Technology og Det Norske Veritas i 2005 har etableret vingetestcenteret Blade Test Center A/S (BTC), hvor vinger på op til 75 meter kan testes. Centeret er en udvidelse af Risøs testcenter i Sparkær ved Viborg, hvor vinger op til 50 meter kan testes.

Forsøg med systemintegration foregår også i lidt større skala fx ved at anvende mindre, lukkede el-forsyningsområder som fx Bornholm til systemtest.

Den tværministerielle arbejdsgruppe for forsøgsmøller på land, nedsat af regeringen, har på baggrund af industriens ønsker om at afprøve møller på over 150 meters højde udpeget otte mulige områder til forsøgsmøller (rapporten blev offentliggjort februar 2007). To af områderne er havplaceringer, hvor Energistyrelsen er myndighed. De øvrige seks områder er på land og skal planlægges i samarbejde mellem Miljøministeriet, som nu vil udstikke de overordnede rammer i form af et landsplandirektiv, og kommunerne, som skal stå for den lokale tilpasning. Det forventes, at de første forsøgsmøller vil være i drift inden for det kommende år (2008).

### Tekstboks 5.2

Afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter

## 5.2 Fra vindmølle til vindkraftværk

Traditionelt har hovedfokus været på optimering og effektivisering af vindmøller for at nedbringe omkostningerne og dermed prisen på el. Det er naturligvis stadig et fokuspunkt for industrien at omsætte vindenergi til mest mulig kraft (el). Stor viden om aerodynamik, design af vinger, den elektriske og mekaniske konstruktion for at effektivisere den samlede mølle er stadig en udfordring; også for det samlede vindkraftværk.

Når møllerne nu opstilles som vindkraftværker, bliver viften af teknologiske udfordringer større og mere kompleks. Uanset om vindmøllerne indgår i vindmøllerparker onshore eller offshore bliver viden om de geofysiske forhold (vind, vindens samspil med de lokale forhold, luftens temperatur, fugtighed og indhold af salt og lign.) og dets indvirkning på vindkraftværket samt møllernes påvirkning af hinanden (fx vindturbulens) vigtige forudsætninger.

Vindmøller i kraftværk giver anledning til en række udfordringer:

### Viden om vindproduktion – hvor er det optimalt at placere vindmøller og vindkraftværker

Det kræver store investeringer at etablere et vindkraftværk. Det er derfor vigtigt at have viden om, hvor det vil være mest optimalt at placere vindkraftværker. Her drejer det sig dels om mere generel viden om vindproduktion på forskellige lokaliteter, dels om at kunne estimere den samlede årlige vindproduktion, når der også skal tages højde for de specifikke geofysiske forhold på siden som for eksempel terrænforhold, turbulente vindprofiler mv.

Endelig varierer vindproduktionen også med højden over terræn således, at vinden er kraftigere højere oppe. Der er i dag ikke tilstrækkelig viden om vindforholdene blot 60 meter over terræn, hvilket er af afgørende betydning for at udvikle stadig større og højere møller.

En særlig udfordring er her at videreudvikle de eksisterende beregningsmodeller samt at få dem eftervist.

### Vindproduktion og aerodynamik i vindmøllerparker

Vindproduktion i ”mikroskala” får stadig større betydning i takt med, at møllerne bliver større og indgår i vindmøllerparker. På store møllevinger kan der være vindforskelle over hele vingens længde. Sådanne vindforskelle vil naturligvis også optræde mellem vingerne og dermed påvirke hele møllen og dens funktionalitet. Dette stiller krav om stor viden til aerodynamik og design af vinger. Men udfordringen strækker sig videre til en mere dynamisk styring af møllen. Hvis man kan måle variationer i vindstyrken – ikke bare i højden – men også i aktuelle vindvariationer, så kan denne viden omsættes til et styringssystem. Sådanne styringssystemer har til formål dels at tage højde for ekstreme variationer i vindpåvirkninger, dels at regulere møllens produktion.

En anden udfordring er at få mere viden om, hvordan vindmøller påvirker hinanden (skyggevirkning). Den vind, som passerer en vindmølle, bliver til turbulente vindstrømme. Skal andre vindmøller ”overtage” denne vind, er det vigtigt at kende karakteren af denne ”unaturlige vind”.

### Geofysiske påvirkninger

Møllerparker bliver ofte placeret under forhold, hvor de udsættes for stadig mere ekstreme geofysiske påvirkninger som varme, kulde, kraftig vind, fugtighed, højt saltindhold i luften mv. Dette er en udfordring for møllerne, men der er også et behov for at vide mere

om, hvordan møllen og alle dens dele/komponenter påvirkes heraf. Dette rejser også spørgsmålet om, hvilke nye kvalitets- og design krav, der skal stilles til komponenterne.

## Materialer og strukturelt design

Vindmøllers strukturelle design, materialer og produktionsmetoder har udviklet sig dramatisk siden de første serieproducerede vindmøller kom på markedet i slutningen af 1970'erne. Dokumentationen af vindmøllers strukturelle egenskaber baserede sig i de første år i høj grad på underleverandørers viden og relativt simple prøvninger. Nu er en større og større del af den viden, der anvendes til dokumentation af vindmøllernes strukturelle egenskaber og materialer udviklet i et samspil mellem vindmøllefabrikant, leverandører og forskning. Nye materialer, nye fremstillingsteknologier og nye måder at anvende materialer karakteriserer udviklingen af det strukturelle design, ligesom beregningsmodellerne og prøvningsmetoderne bliver mere og mere forskningstunge. Specielt vingeteknologien har udviklet sig meget dramatisk. Alligevel forventes der på dette område at ligge meget store muligheder for med forskning og udvikling at effektivisere vindmøllers strukturelle egenskaber væsentligt. Dette vil bidrage til at der sker en yderligere effektivisering af udnyttelsen af materialerne og automatiseringen af fremstillingsmetoderne (robotteknologi) ligesom det også fremover kan forventes, at der sker udvikling af nye materialer og nye anvendelser af eksisterende materialer.

## Design og modelleringsværktøjer

Den viden som indsamles, systematiseres og analyseres om vindproduktion, aerodynamik og geofysiske forhold, bliver i en række tilfælde indlejret i design eller modelleringsværktøjer. Der ligger en udfordring i at fortsætte dette forsknings- og udviklingsarbejde. Men der ligger også en særlig innovativ eller markedsorienteret udfordring i, at disse værktøjer bliver stillet til rådighed for industrien, ligesom der ligger en særlig opgave i at vedligeholde værktøjerne og servicere industrien i brugen af disse. Dette er en stor og krævende opgave (se tekstboks 5.3). Indtrykket er, at det er en udfordring for universiteterne ikke bare at udvikle værktøjerne, men også at få dem nyttiggjort. I takt med at disse værktøjer bliver mere komplekse vil det også stille større krav til industriens kapacitet for, at de kan bruge disse værktøjer

### De gode eksempler

I 1987 introducerede Risø ”The Wind Atlas Analysis and Application Program”, WAsP. WAsP er et kraftfuldt værktøj til at analysere vinddata, genere vindatlas og estimere vindforhold for optimal placering af vindmøller. Programmet er over tid blevet en industriel standard til beregning af vindressourcer og placering af vindmøller og vindmølleparker. Programmet er hidtil anvendt i mere end 100 lande.

WindPro er udviklet af EMD International A/S (Energi- og Miljødata) og bygger på 20 års erfaring inden for planlægning, design og dokumentation af vindmølleprojekter. WindPro indeholder en række forskellige programmer til bl.a. siting, støjestimering, vurdering af ‘visual impact’, etc.

### Den langsigtede forskning

EllipSys - et IT-værktøj udviklet i et tæt samarbejde mellem forskere på DTU og Risø - benyttes bl.a. til at beregne strømningsfeltet omkring og på en vindmøllevinge, samt til beregning af vindforhold i kuperet terræn og i vindmølleparker. EllipSys er et meget omfattende CFD-beregningsværktøj, som kræver både en specialistuddannelse og adgang til et kraftigt computeranlæg. Industrien er i gang med en opkvalificering for at kunne bruge EllipSys. Forskerne håber, at industrien vil få øjnene op for potentialerne i EllipSys.

### Tekstboks 5.3

Design og modelleringsværktøjer

## Nødvendige simuleringværktøjer

FLEX er et simuleringværktøj, som er udviklet på DTU til beregning af kræfter, udbøjninger og ydelse. FLEX har haft en afgørende betydning for udviklingen af vindmøller, og er i dag det mest benyttede værktøj til design af vindmøller. FLEX er markedsført udenom DTU af ”opfinderen”.

Horizontal Axis Wind turbine Code - HAWC - er et simuleringværktøj udviklet af Risø gennem en årrække og er en kompleks model af en vindmølle bygget ud fra ”final element teori”. HAWC bliver ligesom FLEX, bliver brugt til at beregne laster og simulere møllen.

KILDE: RISØ (2004) GETTING STARTED WITH WASP 8, RISØ-I-1950(ED.2); RISØ FORSKNING I AEROELASTICITET EFP-2001, RISØ-R-1349

Den almindelige universitetsforskning vil og bør interessere sig for ovenstående problemstillinger, men universiteternes videnproduktionen matcher ikke altid industriens umiddelbare behov for ny viden mv. Der er behov for en stærkere satsning fx i form af en række strategiske forskningsprojekter. En anden mulighed er større udviklingsprojekter i et tæt samspil mellem forskning og industri. Endelig skal den viden der samles, systematiseres og indlejres i design- og modelleringsværktøjer i højere grad arbejde aktivt i industrien.

### 5.3 Fra enkeltmandsmølle til basisleverandør af el

De første årtier med vindmølleproduktion i Danmark var præget af en vis idealisme. Vilkaerne for vindmølleproduktion er i dag i langt højere grad præget af professionalismisme. At levere el, og endda store mængder el, til det samlede elsystem stiller store krav til leverandøren af strøm - til vindkraftværket.

I relation til elnettet står vindkraft over for en række krav til elkvalitet. Med andre ord skal vindkraftanlæggene kunne opfylde kraftværksegenskaber med hensyn til spændings- og frekvensstyring, systemstabilitet mv.:

#### Forudsigelighed af produktion på kort sigt

Det samlede elsystem må kunne korrigere for de ændrede vindforhold, ikke mindst i en markedssituation, hvor den forventede produktion skal indmeldes døgnet før produktion. Det har stor betydning for produktionsplanlægningen, og i forhold til om andre elproduktionsanlæg skal tage over, og om der er over- eller underproduktion fra vindkraft, som skal balanceres gennem køb af reguleringskraft.

Inden for et døgn er det derfor af vital betydning, såvel systemmæssigt som økonomisk, at kunne forudsige vindproduktionen. Stor viden om meteorologi og adgang til pålidelige beregnings- og prognosemodeller er derfor afgørende for den rolle vindkraft får i det samlede elnet.

Udfordringen er at kunne udregne vindprognoser og dermed den samlede elproduktion på kort sigt. Forudsigelighed er en vigtig konkurrenceparameter for vindkraft.

#### Regulering og transmission - stabilisering af elleverancen

En udfordring er at stabilisere elleverancen fra vindkraft, så den opfylder kravene til elkvalitet.

For det første er vindproduktionen ikke konstant, hvilket giver anledning til kortvarige stød eller spring i spændingskvaliteten. Det er en udfordring at få dette udjævnet, så vindkraft kan gå direkte i elnettet, hvilket er forbundet med væsentlige udfordringer i forhold til transformere og generatorprincipper.

For det andet svinger vindkraftens elproduktion og dermed leveringskapaciteten. Det er således en opgave for det samlede elnet (andre elproducenter og systemansvarlige) at balancere elforsyningen fra en række forskellige kilder til en ensartet spænding i nettet. Udfordringen er her at kunne regulere og styre produktionskapaciteten, således at vindkraft indgår i den samlede elforsyning uden, at det giver anledning til (unødigt) overskydende produktion.

Der er behov for øget viden om dynamikken mellem marked, net og vindkraft. Her er en særlig udfordring at udvikle selvstyrende intelligente systemer, der kan balancere elproduktionen mellem flere forskellige leverandører (energiformer) fx i selvstyrende decentrale systemer.

Alt i alt er der behov for øget kompetence om de elektriske systemer og effektelektronik.

Der er også her behov for viden om, hvordan vindkraftanlægget spiller sammen med elsystemet, og om hvordan elsystemet reagerer på og kan integrere vindkraft.

### **Alternativ anvendelse, lagring og intelligente systemløsninger**

I perioder vil vindkraftanlæg kunne producere større mængder el, end der umiddelbart er kunder til. Frem for at sælge denne el billigt, fx til vores nabolande, så er der en stigende udfordring i, om man kan lagre energien fra vindkraftens elproduktion fx til brug for fjernvarme, elbiler, batterier eller andre lagringsmuligheder.

Udvikling af intelligente systemløsninger på mikroniveau vil kunne fremme et mere fleksibelt elforbrug, så forbruget i højere grad følger markedets prissignaler. Dette kan bl.a. sikres ved hjælp af intelligente teknologier, som fx vaskemaskiner, der starter automatisk op, når prisen på el er lavest.

Evnen til at integrere vindkraft i elsystemet bliver helt afgørende for, om vindkraft kan sætte sig på store andele af den samlede elproduktion. Vindkraftindustrien skal demonstrere, at vindkraftværker kan levere el af en høj kvalitet.



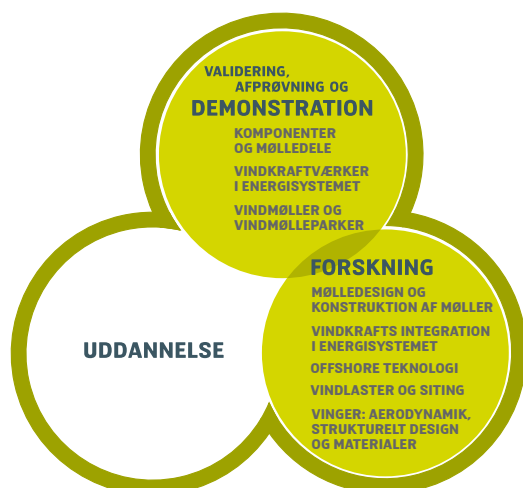
## 6 anbefalinger

Megavinds vision er, at vindkraftbranchen i Danmark skal være det førende kompetencecenter i verden, der udvikler den mest effektive og konkurrencedygtige vindkraft, som er bedst integreret i det samlede energisystem.

På baggrund af analysen, der kortlægger styrker og svagheder i det danske kompetencecenter, har Megavind udarbejdet en række anbefalinger til, hvordan visionen kan opfyldes. Disse anbefalinger tager udgangspunkt i tre primære operationelle mål:

- At skabe **nytænkning om validering, afprøvning og demonstration** inden for vindkraft og vindkrafts samspil med andre energiformer. En nytænkning om afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter der i høj grad ser vindkraft som en basisleverandør af el i samspil med konventionelle energiformer og andre VE-former.
- At igangsætte **strategiske forskningsinitiativer** inden for fem nøgleområder i et samspil mellem industri, universiteter og myndigheder, der tager afsæt i de udfordringer, som følger af systemskiftet fra vindmølle til vindkraftværk. Der vil blive lagt vægt på, at disse strategiske forskningsinitiativer skal være målrettede og målbare.
- At understøtte langsigtede uddannelsesaktiviteter der kan styrke rekruttering af højt kvalificeret arbejdskraft til industrien.

De konkrete anbefalinger og forslag reflekterer de forskningsmæssige og industrielle styrkepositioner inden for vindkraftbranchen. Det er en vital forudsætning, at initiativerne bidrager til at skabe et dynamisk og udviklingsorienteret lærings- og innovationsmiljø. Hvis det lykkedes at skabe et sådant miljø, vil det bidrage til at indfri regeringens målsætning om en fordobling af vedvarende energi i den danske energiforsyning i 2025 med vind som en central teknologi.



Figur 6.1

Megavinds samlede strategi: Et velfungerende lærings- og innovationsmiljø forudsætter, at validering, afprøvning og demonstration, forskning, samt uddannelse spiller sammen.

Megavind anbefaler en nytænkning af arbejdet med validering, afprøvning og demonstration, der afspejler hele værdikæden. Samtidig anbefaler Megavind at den langsigtede forskning styrkes, da det er grundlaget for at udvikle nye teknologiske spor og en central betydning for vindkraftindustriens fremtidige konkurrenceevne.

Megavind sender derudover en kraftig opfordring til at styrke indsatsen inden for de tekniske og naturvidenskabelige uddannelser med et særligt fokus på energirelaterede emner (se tekstboks 6.1).

### Tekstboks 6.1

Opfordring til uddannelsesinstitutionerne

Megavind opfordrer universiteter og uddannelsesinstitutioner til løbende at udbyde grundlæggende uddannelser med en introduktion til energi- og vindkraftrelevante problemstillinger. Dette vil have en betydelig afledt effektivitet i forhold til at øge de studerendes teknisk-naturvidenskabelige interesser på alle niveauer; for de faglærte, diplom- og civilingeniører samt andre teknisk-naturvidenskabelige uddannelser.

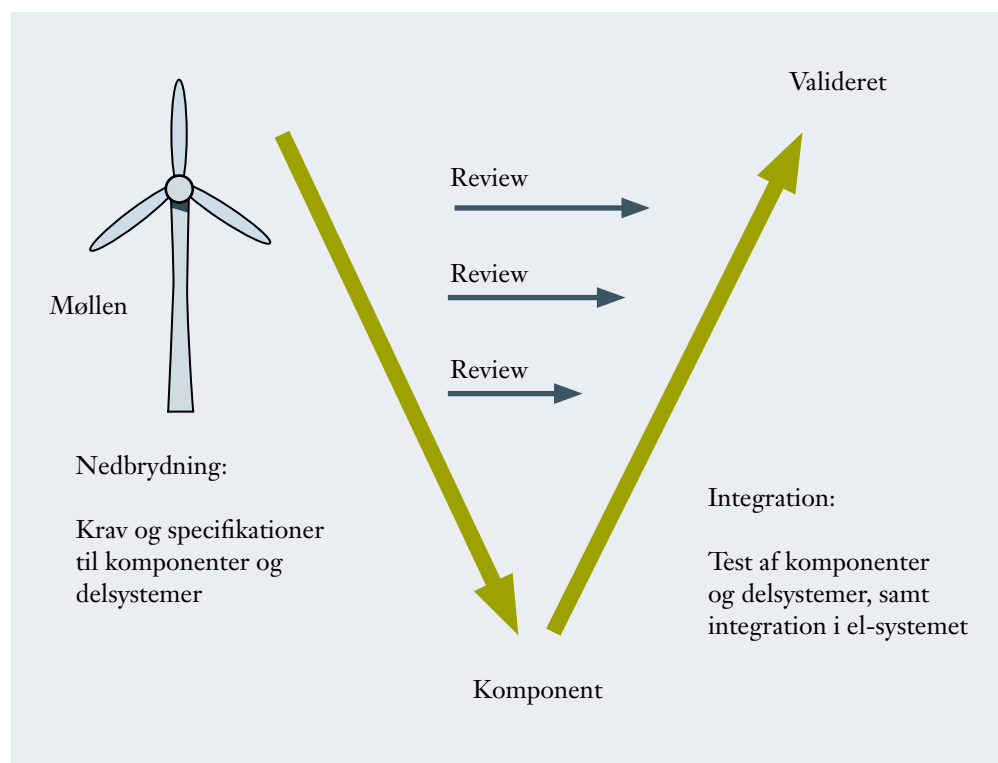
Megavind opfordrer universiteterne til at indlede et strategisk uddannelsessamarbejde med internationale universiteter, der har spidskompetencer inden for de områder, hvor universiteterne i Danmark ikke har spidskompetencer. Dette vil styrke grundlaget for rekruttering til vindkraftindustrien.

## 6.1 Validering, afprøvning og demonstration

Komponenter, vindmøller og vindkraftværker fungerer i et meget komplekst og dynamisk samspil under kraftigt påvirkning af geofysiske forhold. Samtidig skal vindkraftværket fungere som et blandt flere kraftværker i et sammenhængende elsystem. Den teknologiske kompleksitet er stor, og selv om forskningen har udviklet design- og analyseværktøjer, er der stadig et stort behov for validering igennem afprøvning og demonstration for at teste pålidelighed, effektivitet, levetid o. lign. af komponenter og møller og af vindmøllerne som vindkraftværk. Der er ligeledes et stort behov for at teste vindkraftværkers evne til integration i et sammenhængende elsystem.

Figur 6.2

Definition af begrebet validering



På baggrund af de teknologiske og funktionelle udfordringer foreslår Megavind, at der etableres et nationalt samarbejde om udviklingen af en sammenhængende strategi for afprøvning og demonstration bestående af faciliteter inden for:

- Komponenter og mølledele
- Vindmøller og vindmølleparker
- Vindkraftværker i energisystemet

Disse afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter favner hele værdikæden fra afprøvning af komponenter, møller/mølleparker til vindkraftværker (se figur 6.1). Disse faciliteter skal udfylde et behov, som den enkelte virksomhed ikke alene kan varetage. Hertil kommer, at ny forskningsbaseret viden skal være et vigtigt grundlag for udviklingen af ny vindkraftteknologi og afprøvningsmetoder. Forskning spiller i det hele taget en central rolle i forhold til at udvikle metoder til validering, afprøvning og demonstration af komponenter, delsystemer og hele møllen.

Alt i alt rummer en sådan ny afprøvnings- og demonstrationsstrategi også kimen til at styrke det danske forsknings- og innovationsmiljø.

I dag råder industrien over faciliteter til afprøvning og demonstration af enkeltkomponenter eller enkelte vindmøller. Dette er af stor vigtighed, men det er også forventeligt, at industrien ud fra kommercielle interesser selv kan og vil håndtere den umiddelbare test af nye komponenter og møller.

Men herudover mangler der især afprøvningsfaciliteter som viser, hvordan komponenter og møller fungerer sammen i et vindkraftværk og i samspil med det samlede elnet.

Det overordnede udgangspunkt for at etablere en samlet afprøvnings- og demonstrationsstrategi er således, at der både er et stort behov for, og en stor udfordring i, at få komponenter, mølledele, møller og vindkraftværker afprøvet op mod de mest realistiske forhold.

Adgang til afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter med en solid forankring i den nyeste forskning er af vital betydning for udvikling af effektive vindkraftværker.

I sidste ende er det Megavinds håb, at en samlet strategi for validering, afprøvning og demonstration ikke bare vil være en måde at imødekomme teknologiske og funktionelle udfordringer. Strategien vil også kunne åbne nye teknologiske udviklingsspor, styrke samarbejdet i branchen og måske endda bidrage med en øget tilgang til og kvalitet i de teknisk-naturvidenskabelige uddannelser. Et velfungerende samspil med universiteter og GTS-institutter er desuden centralt for at få succes.

De tre dimensioner for validering, afprøvning og demonstration favner alle aktørerne i det samlede kompetencecentrum for vindkraft. Det kan også forventes, at aktørerne inden for de tre områder har overvejende fælles teknologiske interesser. Denne centrering om fælles teknologiske interesser kan – forhåbentlig - skabe et betydeligt medejerskab i branchen. For at tilvejebringe et fælles grundlag mod at realisere strategien, vil Megavind gå ind i en central og koordinerende rolle og i første omgang udarbejde delstrategier for hver af de tre dimensioner. Delstrategierne vil tage udgangspunkt i at koordinere eksisterende projekter, således at det arbejde der allerede er gjort inden for de tre områder, bliver udgangspunktet for Megavinds arbejde.

## 6.1.1 Validering, afprøvning og demonstration af komponenter og mølledele

### Formål:

At validere komponenter og mølledele under forhold, der på bedst mulig vis svarer til de påvirkninger mv., som gives under normal drift af et vindkraftværk.

Ambitionen er den ”vedligeholdelsesfri mølle”.

### Målgruppe:

Leverandører af komponenter og mølledele samt vindmøllefabrikanter.

### Indhold:

Nogle komponenter udvikles og designes direkte til vindmøller andre er standardkomponenter. Men fælles er at de skal indgå i en maskine, der stort set er i drift hele tiden og dermed udsat for ekstreme geofysiske påvirkninger.

Opstilling af store vindkraftværker, ofte på øde egne eller på havet, giver anledning til store vedligeholdelsesomkostninger, bl.a. fordi møllerne er svært tilgængelige. En reduktion af behovet for vedligeholdelse påvirker direkte prisen på vindkraft.

Der er behov for at teste komponenterne efter de forhold, de møder i møllen, så man kan få mere viden om, hvordan komponenter og maskindele reagerer på sådanne forhold. Kan der gennemføres afprøvning, før en masseproduktion bliver igangsat, er der vundet meget. Materialeforskning og udvikling af IKT-systemer vil kunne bidrage til bedre produkter og vedligeholdelsessystemer.

Afprøvningsfaciliteterne skal både kunne tilbyde afprøvning af mekaniske og elektriske påvirkninger. Sådanne faciliteter forventes at have en særlig værdi for leverandørerne til vindmølleproducenterne.

### Organisering og ressourcer:

Megavind har i første omgang igangsat en kortlægning af de eksisterende afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter på forskningsinstitutioner og i industrien for at vurdere behovet for nye testanlæg. En foreløbig kortlægning peger på, at industrien selv kan tage vare på ”almindelige test”, men afprøvning i samspil med andre komponenter og under ekstreme drift forhold mangler. Der er i koordinering med Megavind igangsat et strategiarbejde for at skabe et videntcenter for innovation, dokumentation og demonstration af vindmøllekomponenter. Styregruppe og arbejdsgruppe for projektet er nedsat med Tage Dræbye som projektleder. Strategiarbejdet forventes afsluttet i september 2007.

## 6.1.2 Validering, afprøvning og demonstration af vindmøller og vindmølleparker

### Formål:

At etablere afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter der kan teste hele møllen (0-serie og prototyper).

Ambitionen er at udvikle den intelligente mølle, der kan regulere sig selv.

11 Dræbye (2007): De ydre betingelser for innovation i vindmølleindustriens leverandørvirksomheder. Debat-oplæg. Vindmølleindustriens årsmøde den 20. marts 2007

## Målgruppe:

Vindmøllefabrikanter og operatører af vindmølleparker og vindkraftværker som fx Dong Energy, Vattenfall mv.

## Indhold:

Der er behov for at udvide afprøvnings- og demonstrationsfaciliteterne (testpladser) for at kunne teste hele møllen (0-serie og prototyper).

Et eksempel kan være teknologi, der kan aflæse vindressourcer og omsætte denne information til møllens styringsystem. På den måde vil elkvaliteten blive forbedret, og elsystemet vil i højere grad kunne integrere vindkraft.

Her skal det være muligt at afprøve:

- Det samlede mølledesign og evt. møllernes påvirkning på hinanden;
- Energiudbytte

Afprøvnings- og demonstrationsfaciliteterne skal rumme testmuligheder for placering på land og offshore. I forbindelse med kommende offshore-vindmølleparker vil der være mulighed for, at en del af disse parker dedikeres til særlige afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter.

## Organisering og ressourcer:

Megavind vil i den fælles strategiplan for afprøvning og demonstration af vindkraft i Danmark vurdere kapacitet og kvalitet af de eksisterende testpladser og komme med anbefalinger, der også inkluderer anvendelsen af de otte lokaliteter, som regeringen har udpeget til afprøvning af demonstrationsmøller (se tekstboks 5.2). Der er behov for et langsigtet strategisk arbejde på dette område, der tager udgangspunkt i en koordinering af de otte forsøgspladser, udpeget af den tværministerielle arbejdsgruppe for forsøgsmøller på land. Dette strategiarbejde forventes færdiggjort inden udgangen af 2007.

### 6.1.3 Validering, afprøvning og demonstration af vindkraftværker i energisystemet

#### Formål:

At etablere afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter for at teste systemintegration og samspil med andre energiformer i det samlede energisystem.

Ambitionen er at udvikle det selvregulerende vindkraftværk, der kan spille sammen med andre energiformer i et intelligent elsystem.

#### Målgruppe:

Vindmøllefabrikanter og operatører af vindmølleparker og vindkraftværker som fx Dong Energy, Vattenfall mv., samt systemoperatører som fx Energinet.dk. Andre aktører i det samlede energisystem vil også kunne komme på tale.

#### Indhold:

Det er en stor udfordring at få vindkraft integreret i det samlede elsystem. Et vindkraftværk skal kunne fungere lige så godt som et konventionelt kraftværk, men så langt er udviklingen endnu ikke kommet. På den ene side skal et vindkraftværk være i stand til at styre sin egen produktion ved at kunne prognosticere sin produktion så præcist som muligt og kunne regulere/styre produktionen på kort sigt. På den anden side skal vindkraftværket også kunne regulere sig i forhold til det samlede elforbrug i samspil med andre energiformer.

Her er der et udtalt behov for at gennemføre afprøvninger, der kan udvikle effektive styringsmåder for at integrere vindkraft i elnettet. Validering, afprøvning og demonstration på dette område omfatter både samspillet med andre energiformer, samt andre måder at anvende vindkraft (varme eller transport, alternativt ved lagring).

Her vil det også være relevant at gennemføre modelberegninger, som afdækker hvilken betydning økonomiske og prismæssige strukturer har for integration af vindkraft.

### **Organisering og ressourcer:**

Megavind vil i den fælles strategiplan for afprøvning og demonstration af vindkraft i Danmark konkretisere dette indsatsområde. Dette strategiarbejde forventes færdigt medio februar 2008.

## **6.2 Forskning – det lange seje træk**

I det lange perspektiv er indsatsen rettet mod grundforskning og en generelt styrket forskningsindsats inden for strategiske nøgleområder. Det er afgørende for at sikre den fremtidige teknologiudvikling og innovation inden for vindkraft.

Anbefalingerne retter sig først og fremmest mod forskningspolitikken samt mod universiteters og GTS-institutters strategi- og handlingsplaner.

### **6.2.1 Styrk forskningen**

Megavind anbefaler, at den tekniske universitetsforskning generelt styrkes med en særlig prioritering af de grundlæggende eller generiske teknologier, som indgår i udvikling af vindmøller og vindkraftværker. Den mere langsigtede forskning skal medvirke til at udpege og udvikle de teknologiske spor, som vil udgøre væsentlige hjørnesten i vindkraftindustriens fremtidige konkurrenceevne.

De danske universiteter og GTS-institutters forskning har ikke mulighed for at være i verdensklasse inden for alle vindmøllerelaterede områder. Derfor er det vigtigt at fokusere forskningsindsatsen inden for de danske styrkepositioner, dvs. de strategiske forskningsområder. Samtidig er det dog også vigtigt, at det danske forskningsmiljø har et bredt forskningsberedskab, så vi kan bevare kompetence og viden om hele værdikæden. På den baggrund anbefaler Megavind:

- At styrke forskningen inden for de strategiske forskningsområder, herunder aerodynamik, elektriske systemer (software og elektronik) og elteknologi (elsystem og stærkstrøm), meteorologi (vind & sites), materialer (nanoteknologi og strukturelt design af materialer), offshore vindkraft, mv.
- At de danske forsknings- og rådgivningsmiljøer søger samarbejder med udenlandske universiteter. Dette skal ikke kun ske inden for de områder, hvor Danmark selv står stærkt internationalt, men også på teknologiområder med en svagere position, hvor der er behov for et bredt forskningsberedskab.
- At forskningen inden for vindkraft udvikler samarbejder med forskning inden for andre energiformer. Sigtet er at få større viden om muligheder og vanskeligheder i samspillet mellem vind og andre energiformer. Det gælder både udfordringerne og kravene til den enkelte energiform og til det samlede elnet.
- At forskningen forankres i to slagkraftige forskningscentre, dels på DTU, dels i et samarbejde mellem Aalborg og Århus Universitet, da kritisk masse er en forudsætning for at være i verdensklasse og for at være en attraktiv samarbejdspartner.
- At der skabes bedre rammebetingelser for forskningssamarbejder mellem universiteter og industri via fælles retningslinjer for samarbejdets juridiske rammer (IPR) samt øget fleksibilitet i forskningsprogrammerne. Øget fleksibilitet i forhold til

forskningsprojekternes tidsramme og krav til deltagerantal kan være med til at gøre det mere attraktivt for små og mellemstore virksomheder at deltage.

## 6.2.2 Strategiske forskningsområder

Den strategiske forskning skal medvirke til at udvikle de grundlæggende teknologiske løsninger, som udgør forudsætningen for at fastholde den danske førerposition. Denne forskningsindsats favner nøgleelementer af værdikæden fra udvikling af komponenter og mølledele til integration af vindkraft i det samlede elsystem. Den strategiske forskning går således på tværs i forhold til de tre indsatsområder for validering, afprøvning og demonstration (se figur 6.1). Inden for den strategisk orienterede forskning anbefaler Megavind, at forskningsindsatsen styrkes inden for følgende områder:

### 1. Hvordan bliver vindmøllen en effektiv og driftsikker maskine?

**Mølledesign og konstruktion af møller** med henblik på:

- fortsat udbygning af kompetencen inden for vinger, transmissionssystemer, gear, bremses, support strukturer, effekt elektronik og de geofysiske forholds påvirkning af møllen
- at få mere viden om samspillet mellem møllens enkelte elementer for at fremme effektivitet og driftsikkerhed

### 2. Hvordan udnyttes vinden bedst muligt?

**Vinger – aerodynamik, strukturelt design og materialer** med henblik på:

- at udvikle lettere (billigere) vinger med en høj ydeevne, pålidelighed og holdbarhed
- at reducere lasterne fra vingerne på resten af konstruktionen, både ved passiv og aktiv regulering
- akustiske forhold og innovative designs

### 3. Hvor er vindmøllen – vindkraftværkets optimale placering?

**Vindlaster og siting** med henblik på:

- at få øget viden om vindprofiler og vindressource som funktion af terræn og atmosfæriske forhold
- at forbedre indsigten i lævirkningen fra møller for at minimere produktionstab og laster

### 4. Hvordan får man mest mulig vindkraft indpasset i energisystemet?

**Vindkrafts integration i energisystemet** med henblik på:

- at sikre bedre indpasning af den enkelte mølle og møllepark i elnettet;
- at muliggøre bedre indpasning af store mængder vindkraft i elnettet, herunder styring og regulering af vindmøllerne, så de kan levere høj elkvalitet;
- at udvikle systemtjenester, så vindmøller kan agere som konventionelle kraftværker.

### 5. Hvordan tager vi næste skridt offshore?

**Offshore teknologi** med henblik på:

- at forbedre økonomien fra havmøller, primært ved optimerede koncepter for infrastruktur (fundamenter og transmissionssystem)

- at optimere driftssikkerheden med nye systemer for fejlsikkert design, redundans og fejltolerance.

Megavind vil udarbejde en forskningsstrategi for disse fem forskningsområder, baseret på roadmaps og målbarhed. Strategiarbejdet vil tilgodese større konkrete projekter, der kan være med til at understøtte de eksisterende forskningsmiljøer. Dette strategiarbejde forventes afsluttet i februar 2008.

### 6.3 Næste skridt

Megavind er katalysator og igangsætter for en styrket afprøvnings-, demonstrations- og forskningsstrategi for vindkraft i Danmark. Partnerskabet er således sparringspartner for hele branchen i forhold til at styrke det samlede danske innovations- og forskningsmiljø for vindkraft i Danmark. Megavinds anbefalinger vil fungere som reference for de kommende års strategiske forskning inden for vindkraft, og bliver således den gældende forskningsstrategi for vindkraft i Danmark.

For at opnå en sammenhængskraft og en effektivitet i den videre indsats vil Megavind facilitere en strategiudviklingsproces for at tilvejebringe de organisatoriske rammer for at føre anbefalingerne ud i livet.

- Partnerskabet Megavind bliver et strategisk partnerskab for hele vindkraftbranchen.
- Partnerskabet Megavind påtager sig et strategisk lederskab som brobygger mellem industrielle (kommercielle), forskningsmæssige og offentlige interesser.
- Partnerskabet Megavinds strategiske lederskab forankres i en fælles strategiplan for afprøvning og demonstration af vindkraft i samspil med den strategiske forskningsindsats.

### Afprøvning og demonstration

Partnerskabet Megavind anbefaler, at der etableres en tresporet strategi for validering, afprøvning og demonstration. De tre områder er:

- Komponenter og mølledele
- Vindmøller og vindmølleparker
- Vindkraftværker i energisystemet

I efteråret 2007 vil partnerskabet Megavind udarbejde konkrete delstrategier for hver af de tre dimensioner for afprøvning og demonstration. Disse delstrategier er udgangspunkt for etablering af fysiske afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter. Delstrategierne skal sikre, at afprøvnings- og demonstrationsfaciliteter fungerer effektivt og dynamisk i forhold til industrien og samtidig spiller aktivt sammen med den relevante forskning inden for hver afprøvningsdimension. I delstrategien for hver enkelt dimension indgår specifikke succesmål, organisering og ansvar, tidsplan, finansiering mv. Organisationsformen kan både være som et selskab og/eller som et offentlig-privat partnerskab. Partnerskabet Megavind vil aktivt arbejde for at tilvejebringe det nødvendige ressourcegrundlag for igangsættelse af de tre delstrategier.

### Forskning

Megavind anbefaler, at forskningen især styrkes inden for de fem strategiske forskningsområder;

- Mølledesign og konstruktion af møller
- Vinger – aerodynamik, strukturelt design og materialer

- Vindlaster og siting
- Vindkrafts integration i energisystemet
- Offshore teknologi

Megavind vil facilitere en udviklings og strategiproces for de fem strategiske forskningsområder, herunder udarbejde roadmaps og målbare kriterier for hvert område. Megavind vil tage udgangspunkt i de eksisterende forskningsmiljøer og samarbejde med eksisterende netværk samt bygge videre på den indsats, der allerede er gjort i tidligere forskningsstrategier. Partnerskabet vil desuden tage initiativ til, at der etableres særlige arbejdsgrupper, der påtager sig ansvaret for at styrke de strategiske områder.

Industrielt har Danmark en styrkeposition inden for offshore teknologi, men det er stadig et forholdsvist nyt forskningsområde. Det betyder, at der ikke eksisterer et lige så veludviklet forskningsmiljø for offshore, som der gør for de andre strategiske forskningsområder. Forskningsområdet står derfor overfor nogle helt særlige forskningsmæssige og teknologiske udfordringer. Derfor vil Megavind tage et særligt initiativ til at bidrage med at styrke forskningsmiljøet for offshore teknologi.

Derudover vil partnerskabet tage initiativ til, at der arbejdes med at forbedre rammebetingelserne for samarbejdet imellem forskningsinstitutioner og industri via fælles retningslinjer for samarbejdets juridiske rammer (IPR). Med udgangspunkt i eksisterende retningslinjer for forskningssamarbejde vil Megavind tage initiativ til, at der udarbejdes en række generelle anbefalinger, til hvordan disse kan koordineres og forbedres.

## Uddannelse

Uddannelse har en høj prioritet for hele branchen, og derfor sender Megavind en kraftig opfordring til branchen om at have særligt fokus på den stigende mangel på kvalificeret arbejdskraft. Det gælder både i forhold til rekruttering af studerende til uddannelser, der er relevante for vindkraft- og energibranchen og i forhold til en forbedring af de eksisterende uddannelses tilbud.

Der er dog behov for at prioritere Megavinds arbejdsindsats, og derfor tager partnerskabet i første omgang ikke nogle konkrete initiativer i forhold til uddannelse.

## Tidsplan for Megavinds arbejde efterår 2007 og forår 2008

Strategi for validering, afprøvning og demonstration	
September 2007	Komponenter og mølledele
December 2007	Vindmøller og vindmølleparker
Marts 2008	Vindkraftværker i energisystemet
Forskningsstrategi	
Marts 2008	Fem strategiske forskningsområder
	Juridiske rammer for forskningsprojekter

**MEGAVIND**

### Sekretariat Vindmølleindustrien

Vester Voldgade 106

DK-1552 København V, Danmark

Tel: +45 3373 0330

Fax: +45 3373 0333

E-mail: [danish@windpower.org](mailto:danish@windpower.org)

[www.windpower.org/megavind](http://www.windpower.org/megavind)

Forsidebillede: LM Glasfiber