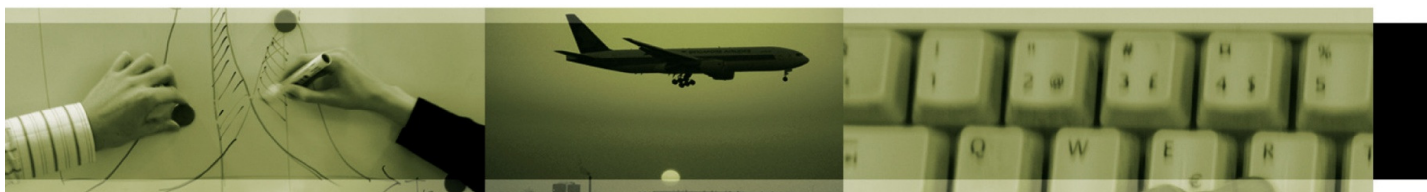

HAVVINDMØLLER PÅ VEJ MOD INDUSTRIALISERING

IMPLIKATIONER FOR DANSK TILGANG | NOVEMBER 2011

INFORMED DECISIONS



COPENHAGEN ECONOMICS

| KOLOFON

Forfatter: Partner, director Helge Sigurd Næss-Schmidt, Senior economist Ulrik Møller

Kunde: Esbjerg Havn

Dato: December 2011

Kontakt: SANKT ANNÆ PLADS 13, 2. SAL | 1250 KØBENHAVN
TELEFON: 2333 1810 | FAX: 7027 0741
WWW.COPENHAGENECONOMICS.COM

INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord og sammenfatning	4
Kapitel 1 Havvindmøller: fra ”demonstration” til industri.....	5
1.1. Havnene er omdrejningspunkter i forsyningskæden	6
Kapitel 2 Implikationer for dansk udbygning med havvindmøller	8
2.1. Gevinst ved flere parker placeret med kort indbyrdes afstand	8
2.2. Samling af parker kan dog udfordre integration af vindenergi	12
Litteraturliste	14
Bilag – Beregninger af driftsomkostninger	16

FORORD OG SAMMENFATNING

Esbjerg Havn har bedt Copenhagen Economics om at komme med en vurdering af, hvordan man mest effektivt kunne realisere den udbygning af havvindmøller i Danmark, som der er lagt op til i regeringsgrundlaget fra efteråret 2011, og som nu skal udmøntes i en energiaftale.

Vores vurdering indeholder fire hovedkonklusioner:

For det første, at havvindmøller er inde i en rivende industrialiseringsproces. Det indebærer en stærkt stigende specialisering hele vejen gennem værdikæden: på fabrikkerne, under installationsfasen og i den efterfølgende driftsfase. Omdrejningspunktet for denne specialisering er nøglehavne omkring Nordsøen, som er det helt dominerende marked for havvindmøller og forventes at fastholde denne position over de næste 20 år. Her satser vindmøllefabrikanter i stigende grad på at samle møllerne i et tæt samarbejde med en underskov af underleverandører og forskningsinstitutioner. Hertil kommer krav til havneanlæggene selv, der skal kunne servicere store specialskibe med stadig større aktionsradius.

For det andet, at denne specialisering, med nøglehavne som omdrejningspunkt, er erkendt ikke mindst i UK og Tyskland som en forudsætning for at reducere omkostninger ved produktion af strøm fra havvindmøller. Esbjerg Havn udpeges i flere internationale studier som en af de 6-8 nøglehavne, der vil kunne servicere reelt hele Nordsøområdet. Esbjergs erfaring fra olie- og gasudvinding er en særlig styrke i denne sammenhæng. Der ligger således en unik udviklingsmulighed med skabelse af højt lønjobs og eksport af tjenester til særligt Tyskland og UK.

For det tredje, at den danske udviklingsstrategi for havvindmøller derfor må tage afsæt i betydningen af en velfungerende infrastruktur. Vurderinger af omkostninger ved forskellige vindmøllerparker er nødt til at inddrage, hvilken faciliteter der er til stede i de havne, som er omdrejningspunkt for installation og efterfølgende servicering. Det er samtidig vigtigt, at markedsaktører – vindmøllerproducenter, energiselskaber, følgeindustri og havne – får nogle langsigtede pejlemærker for udbygningsplaner. Der skal investeres nu, gevinster høstes først om 5-10-15 år. Unødig usikkerhed om strategien vil forsinke processen mod industrialisering og dermed også høstning af lavere omkostninger.

For det fjerde, at en strategi med udbygning i et forholdsvist samlet område i Nordsøen synes at være forbundet med de laveste omkostninger for Danmark. Det skal netop ses som et resultat af mere eksplicit indregning af gevinster ved brug af den store eksisterende infrastruktur omkring Esbjerg, der vil kunne udnyttes ved en sådan strategi. Vi har i rapporten lavet nogle illustrative regnestykker heraf baseret på Energistyrelsens beregninger af forskellige alternativer men tilføjet denne dimension med infrastruktur. Vi foreslår derfor, at selve valget af områder for vindmøllerparker tilrettelægges i en proces, hvor sådanne infrastruktur-effekter får lov at slå igennem. Rapporten indeholder nogle forslag hertil.

Kapitel 1 HAVVINDMØLLER: FRA "DEMONSTRATION" TIL INDUSTRI

Dominerende offshore vindmarkeder UK og Tyskland viser trenden i den industrielle udvikling af vindmøller:

- Større møller for at kunne udnytte vinden bedre
- Stadig længere fra land af samme årsag

Opskalering af kapacitet/nye typer af møller har også ændret strukturen i industrien. Fokus på intensiveret samarbejde med hovedleverandører. Samleaktiviteter mv. flytter fra en "hovedfabrik" til hovedhavn, der kan servicere hele pakken fra projektering, installation og efterfølgende servicering.

Disse strukturændringer er begyndt at sætte sine spor. I UK har ledende vindmølleproducenter annonceret centrale krav til fremtidige infrastruktur: 1) produktionsfaciliteter direkte ved Nordsøkysten, så man også kan producere til andre lande i Nordsøen, 2) krav om betydelig plads til produktion samt 3) tilstrækkelig havnekapacitet med stor dybde samt bagvedliggende gode vejsystemer¹. DONG Energy har f.eks. valgt primært at samarbejde med Siemens om udvikling af fremtidige møller². Siemens, Vestas, General Electric har påbegyndt udbygning af produktionsfaciliteter alle ved dybvandshavne i UK, ledsaget af flere hovedunderleverandører³. I Tyskland har fokus været på Bremerhaven med udvikling af testfaciliteter, opsætning af produktionsfaciliteter for tre vindmølleproducenter og placering af ledende forskningsinstitutioner med speciale i havvindmøller⁴.

Nordsøen er omdrejningspunktet i væksten. Praktisk alt eksisterende kapacitet er placeret i Nordsøen, jf. det lysegrå areal i Figur 1.1. Østersøen kommer med fremadrettet, men Nordsøen forventes fortsat at være i førertrøjen med omtrent 2/3 af kapacitet i 2030 med ca. 80 GW ud af en samlet kapacitet på omkring 130 GW fra havvindmøller, jf. Figur 1.1.

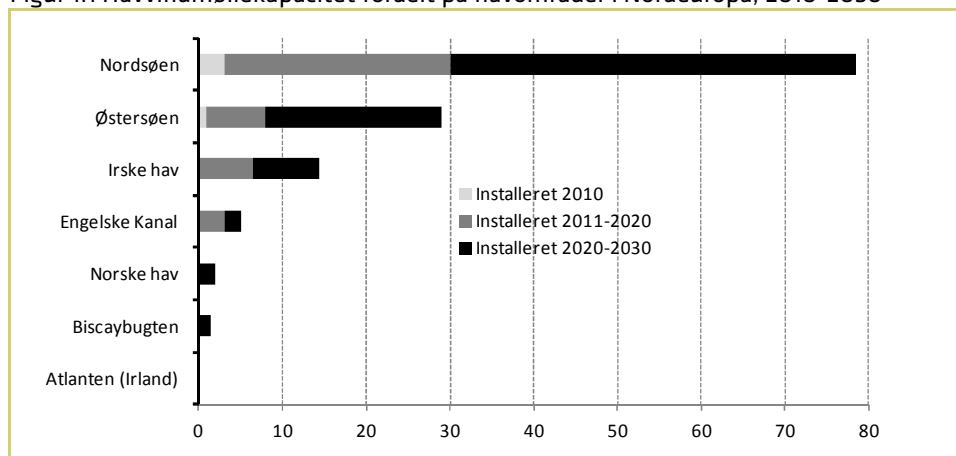
¹ "UK ports for the Offshore Wind industry: time to act", Department of Energy and Climate Change(2009), side 12

² European Energy Review, artikel med administrerende direktør Anders Eldrup.

³ "Offshore Wind: forecasts of future costs and benefits", RenewableUK(2011), side 19 og 20.

⁴ "State of the offshore.....", Ecofys(2011) side 29 og 35.

Figur 1.1 Havvindmøllekapacitet fordelt på havområder i Nordeuropa, 2010-2030



Kilde: "Offshore electricity infrastructure in Northern Europe, Offshoregrid(2011)

1.1. HAVNENE ER OMDREJNINGSPUNKTER I FORSYNINGSKÆDEN

Der er en betydelig fokus på centrale havne som omdrejningspunkt. Internationale studier peger entydigt på behov for koncentreret infrastruktur i få, stærke havne. Knapthed på tilstrækkelige fokuserede havne i UK er udpeget som hovedproblem i UK, således er 2 til 3 dedikerede havne foreslået. Der peges direkte på, at stærkt udviklede havneanlæg i andre dele af Nordsøen på sigt kan servicere udbygning i engelsk farvand i takt med at mere specialisere fartøjer kan foretage montage fra stadig længere afstande⁵.

Havvindmøller deler mange fælles kompetencer med offshore olie og gas. Det gælder både personale og specialskibe. Det giver betydeligt potentiale for samarbejds muligheder⁶

Esbjerg Havn er i en unik position ved at være stærk i begge offshore "segmenter". Havnen udpeges i internationale undersøgelser som en af måske 6-8 fremtidige havne i Nordsøen med mulighed for at håndtere store dele af udbygningen af Nordsøen: Esbjerg ligger således centralt placeret i forhold til både danske, tyske og britiske udbygningsplaner for havvindmøller, jf. Figur 1.2. I tilgift til Esbjerg peges på Bremerhaven i Tyskland, Ijmuiden i Holland, Zeebrugge i Belgien og potentielt Forth, Tyne, Tees og Humber i Storbritannien.

⁵ Se f.eks. "UK offshore wind: building an industry"(Douglas-Westwood, 2010) for UK Renewable side 9 og 39 og "UK Ports for the Offshore Wind Industry: time to act", DECC, side 19,

⁶ Se f.eks. "state...", ECOFYS(2011) side 39.

Figur 1.2: Eksisterende og planlagte vindmølleparker i Nordsøen



Kilde: Kortet og beskrivelse i tekst er baseret på "Offshore electricity infrastructure in Northern Europe", *Offshoregrid*(2011), s. 106 og "State of the offshore wind industry in Northern Europe, *Ecofys* (2011), s. 29-30

Den begyndende industrialisering af havvindmøller kan drive omkostninger ned mod langt lavere beløb. Det er dog også nødvendigt for, at denne energikilde kan være en økonomisk holdbar bidragsyder til dansk og europæisk klima og energipolitik.

Der er en række pejlemærker for den fremtidige offentlige regulering af området, som er helt centrale i denne sammenhæng. På det helt overordnede niveau er havvindmøller karakteriseret ved at være en industri med meget høje kapitalomkostninger i forhold til efterfølgende løbende driftsomkostninger. Hertil kommer fortsat betydelige investeringer i forskning og udvikling, som er nødvendige for at få omkostningerne ned. Det er derfor afgørende, at investorer får nogle troværdige og bindende meldinger om den fremtidige udbygningstakt i Nordsøområdet og en forventning om, hvilke områder opstillinger foregår i. Det gælder for vindmølleproducenter, følgeindustri samt infrastrukturen omkring store, specialiserede havne.

Satsninger på opbygning af havne, samlefabrikker, specialiseret serviceindustri bliver tøven/de/dyr i fravær af stabile udmeldinger om lokalisering af udbygning. Mangel på afklaring og afledt usikkerhed om rentabilitet af investeringer i infrastruktur og samlefabrikker har fået stor fokus i UK⁷. Specialiserede havne er nøgelfaktor i reduktion af omkostninger i offshore vind industrien.

⁷ Se f.eks. Douglas-Westwood(2010) side 39 og "State of the Offshore Wind Industry in Northern Europe: lesson learnt in the first decade(2011), side 28 og 29.

Kapitel 2 IMPLIKATIONER FOR DANSK UDBYGNING MED HAVVINDMØLLER

Kravet til lavere omkostninger via industrialisering af hele forsyningskæden i forbindelse med konstruktion og opsætning af havvindmøller har også implikationer for en effektivitetsorienteret dansk tilgang. Den nuværende ”styk” for ”styk” model med anvisning af placering af parker med forholdsvis begrænset kapacitet med efterfølgende udbud er ikke langtidsholdbar⁸

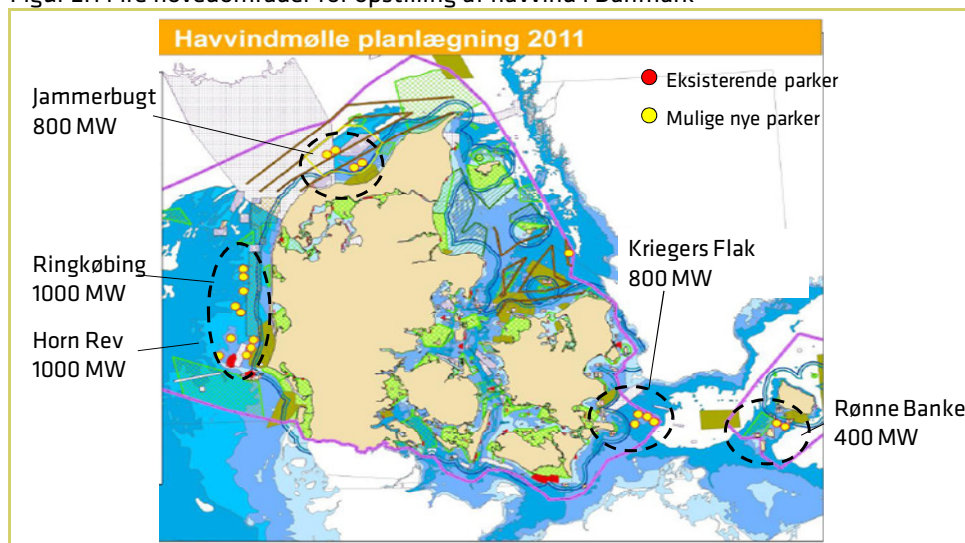
Vi anbefaler, at man ser på en tilgang med følgende hovedtræk. For det første bør man have en 10-15 årig sigtelinje for samlet udbygning med løbende justering, som årene går, herunder hensyntagen til demonstreret evne til at få reduceret omkostninger. Men det bør ikke have karakter af for firkantet stop-go politik med meget betydelige kortsigtede tilpasninger. Justeringer bør foretages efter objektive kriterier kendt af markedsaktører. Det konkrete valg af udbygning bør i højere grad baseres på investorers egne vurderinger snarere end forhånds-beregninger af regulatorer. Det vil i særligt grad være vanskeligt for regulatorer konkret at vurdere fordele og ulemper ved konkrete valg af produktionssteder, når man også skal vurdere muligheder for at bruge eksisterende infrastruktur, specialiseringsfordele samt muligheder for at nedbringe omkostninger ved at satse på store sammenhængende vindparksanlæg.

2.1. GEVINST VED FLERE PARKER PLACERET MED KORT INDBYRDES AFSTAND

Vi har prøvet at bruge denne logik i relation til etablering af vindparker med indbyrdes kort afstand, drevet af en tilgang mod industrialisering og brug af store specialhavne i en vurdering af de aktuelle planer om at udbygge med havvind i Danmark. Der er reelt fire områder i spil, som anskueliggjort (plus Middelgrunden i Kattegat), jf. Figur 2.1. I Nordsøen er der installation ved Horns Rev, ud for Ringkøbing samt i Jammerbugten. Sydøst for Sjælland er der Kriegers Flak og Rønne Banke syd for Bornholm. De konkrete, mulige kapaciteter for de forskellige områder er angivet i figuren.

⁸ Det er blandt den konklusion myndighederne i UK er kommet til (kilde)

Figur 2.1 Fire hovedområder for opstilling af havvind i Danmark



Kilde: Energistyrelsen(2011).

Vi har grupperet disse mulige opstillinger i tre mulige hovedstrategier for udbygning, der tilsammen kunne give et volumen på mellem 1.400- 1.600 MW havvind, jf. Tabel 2.1. Det vil medføre et volumen, der kunne forankre dansk udbygning af havvind som nogle mellemfristede udbygningsniveauer, der er konsistente med de meldinger, som er indeholdt i regeringsgrundlaget om mere vindstrøm i det danske energisystem:

- Strategi 1 svarer til en udbygningsrækkefølge baseret på Energistyrelsens vurdering af billigst mulige udbygningsrækkefølge. Det vil sige Kriegers Flak efterfulgt af Horns Rev A samt Rønne Banke med en samlet forventet kapacitet på 1.600 MW, kaldet "Spredt opsætning" i tabellen nedenfor.
- Strategi 2 har vi kaldt "Spredt Nordsø" med Horns Rev A, Ringkøbing og Jammerbugten med en kapacitet på 1.400 MW.
- Strategi 3 har vi kaldt "Samlet Nordsø" med Horns Rev A og B plus Ringkøbing med en kapacitet på 1.400 MW.

Tabel 2.1 Tre strategier for udbygning af havvind i Danmark

Strategier	Kriegers Flak A	Kriegers Flak B	Horns- rev A	Horns- rev B	Ringkø- bing Fjord A	Ringkø- bing Fjord B	Rønne Banke	Jammer Bugt	I alt, MW
1. Spredt opsætning	600		600				400		1.600
2. Spredt Nordsø pakke			600			400		400	1.400
3. Samlet Nordsø pakke			600	400		400			1.400

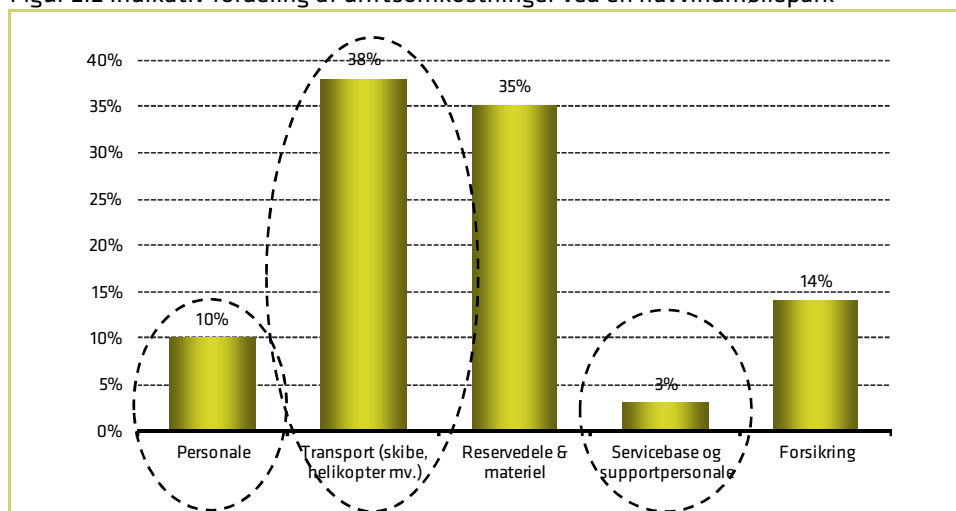
Kilde: Tallene bygger på Energistyrelsen(2011), valg af scenarier er CE's.

Vores vurdering er, at der i de nuværende regnestykker mangler den infrastrukturdimension, som ifølge vores argumentation i stigende grad vil drive udviklingen i omkostninger for havvindmøller. I udgangspunktet er Strategi 1 pakken, som anslås til at være billigst per kWh: 4-5% lavere pris end de to alternative 'Nordsøpakker'. Der mangler imidlertid en infrastrukturtilgang i tre dimensioner:

- For Kriegers Flak betyder det implicit, at Klintholm bliver omdrejningspunkt for al installation og efterfølgende service. Der er imidlertid ikke en eksisterende infrastruktur, der kan understøtte en sådan funktion. Det samme gør sig ikke gældende for andre parker.
- Trafikale adgangsveje: Transport af havvindmøller kræver gode vejfaciliteter. Som beskrevet i indledningen vælges i stigende grad at placere samling af havvindmøller ved store havne med gode faciliteter. Adgangsveje er begrænset til flere parker, herunder Klintholm.
- Inddragelse af besparelser ved skalering. Står alternative parker tilstrækkeligt tæt til at skabe driftssynergier?

Vi har konstrueret et illustrativt regnestykke med inddragelse af nogle af de effekter, der knytter sig til driftsomkostningerne efter opsætning, som udgør omkring en tredjedel af de samlede udgifter til opstilling og drift (jf. Energistyrelsen, se tabel i bilaget). Disse driftsomkostninger er fordelt på 5 hovedposter, hvor de, som har en logistisk/geografisk dimension primært i relation til transport samt udskiftning af reservedele mv., udgør samlet omkring 51 % af de samlede driftsomkostninger, jf. Figur 2.2.

Figur 2.2 Indikativ fordeling af driftsomkostninger ved en havvindmøllepark



Kilde: Deloitte (2011), Analyse vedrørende fremme af konkurrence ved etablering af store havmølleparker i Danmark

For det første har vi indlagt nogle i vores øjne mere realistiske forudsætninger om facilitering i driftsfasen:

- Nordsømøller serviceres efter installationsfase fra Esbjerg eller Hvide Sande/Hanstholm.
- Kriegers Flak fra Rødby
- Rønne Banke fra Rønne og Rødby

Med disse forudsætninger bliver den samlede pris for Strategi 3 (Samlet Nordsø på 55,9 øre/kWh) omkring 5 procent billigere end næstbedste, Strategi 2 (Spredt Nordsø på 59,4 øre/kWh), jf. Tabel 2.2.

For det andet har vi inkluderet synergieffekter ved udbygning i lokalitetsmæssigt sammenhængende blokke:

- Parker i Strategi 1 står langt fra andre områder, og der er derfor ikke indregnet skalerings effekter
- Beskedne effekter fra 'spredt Nordsø pakke' ved Strategi 2
- Større effekter fra 'samlet Nordsø pakke' ved Strategi 3

Med disse forudsætninger bliver Strategi 3 (Samlet Nordsø på 54,3 øre/kWh) samlet 7 procent billigere end næstbedste som er strategi 2 (Spredt Nordsø på 58,6 øre/kWh), jf. Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Beregninger af pris øre/kWh med inddragelse ved ny havn og synergi

Strategi	ENS	Realistisk havn	Realistisk havn plus synergi-effekt
1. Spredt opsætning	51,1	60,4	60,4
2. Spredt Nordsø	52,9	59,4	58,6
3. Samlet Nordsø	53,6	55,9	54,3

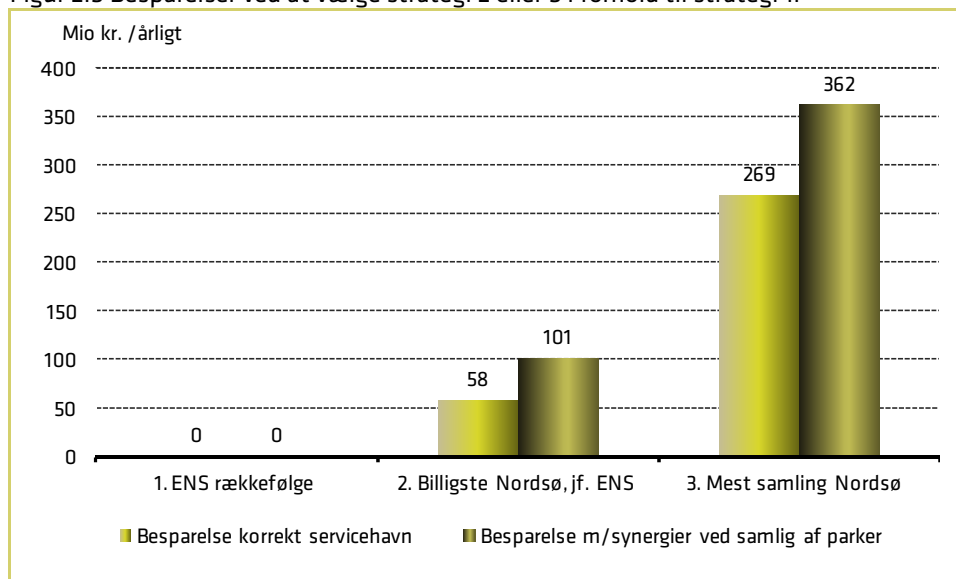
:

Kilde: Beregninger af Copenhagen Economics, se bilag:

I bilaget til rapporten diskuterer vi også omkostninger knyttet til installationsfasen som ikke er "genberegnet" i vores beregninger. Herunder diskuteres udfordringer knyttet til transport til de forskellige havne, som er tænkt som centre for installations- og serviceringsfasen. Inddragelse af sådanne effekter vil også trække i retning af en "Samlet Nordsø" strategi, men vi har ikke specifikt regnet herpå.

Vores samlede konklusion er derfor, at inddragelse af infrastrukturelementer i forhold til servicehavne, kan flytte om på den samfundsøkonomiske rangorden af de forskellige strategier til gunst for en "Samlet Nordsø" strategi. Vores regnestykke tilsiger en besparelse på 300 til 400 mio. Kr. ved valg af strategi 3 i forhold strategi 1, jf. Figur 2.3. Vi anbefaler derfor at man eksplicit inddrager sådanne effekter indenfor rammerne af en samlet 10-15 årig udbygningsplan for havvindmøller i Danmark.

Figur 2.3 Besparelser ved at vælge strategi 2 eller 3 i forhold til strategi 1.



Note: For at udregne den årlige besparelse, vi har ganget den forventede årlige elproduktion med besparelsen i kr. per kWh. 1 MW havmølle producerer ca. 4.300 MWh årligt.

Kilde: Tabel 2.8 og Copenhagen Economics

2.2. SAMLING AF PARKER KAN DOG UDFORDRE INTEGRATION AF VINDENERGI

Et eventuelt valg af Strategi 3 sammenlignet med Strategi 1, betyder, at en ny stor mængde vindkapacitet placeres indenfor samme geografiske område. Et område som allerede har to havvindparker, Horn Rev I og II. Det kan betyde, at omkostninger i forbindelse med integration af elproduktion fra møllerne i elsystemet kan være højere ved Strategi 3 sammenlignet med Strategi 1.

For det første er værdien af elproduktionen aftagende for stigende produktion i et givent område. Værdien på marginalen indikeres af spotpriserne i området. En ligelig fordeling af ekstra 1.200-1.600 MW havindkapacitet i henholdsvis Øst- og Vestdanmark kan sikre en højere værdi af elproduktion sammenlignet med en samlet placering, da spotpriserne formentlig i gennemsnit i de enkelte områder vil være højere. Spørgsmålet er, om det i praksis får noget betydning set i lyset af, at overføringsforbindelserne fra Vestdanmark til Tyskland og Norge forstærkes indenfor en kort årrække, samt den forventede etablering af en forbindelse til Holland (Cobra).

For det andet vil samling af vindparker medføre større ubalancer i elsystemet og dermed muligvis større omkostninger til håndtering af disse. Ubalancer skyldes 'fejl' i vindprognoser, hvorfor 'fejlen' vil give sig udslag på samme tid sammenlignet med en situation, hvor møllerne er spredt, og ubalancer vil optræde tidsmæssigt forskudt.

For det tredje kan samling af møller give større 'skvulp' i elsystemet, når vindfronten pludselig ændres, 'skvulp' som kan have betydning for frekvens- og spændingskvaliteten (=forsyningssikkerhed). Hvis møllerne alternativt placeres spredt, vil ændringer i vindfronte ramme møllerne tidsmæssigt forskudt, og dermed 'udjævne' disse 'skvulp'.

Vi har ikke kvantificeret eventuelle meromkostninger relateret til en samlet placering i Vestdanmark sammenlignet med en mere spredt placering. I praksis er det ikke sikkert, at det har nogen betydning, da regeringens ambitioner på vedvarende energi på den længere bane betyder, at det ikke er et spørgsmål om placering af møller det ene eller det andet sted, men placering begge steder.

LITTERATURLISTE

- BVGassociates (2011), Towards Round 3: Building the Offshore Wind Supply Chain - A review for The Crown Estate on how to improve delivery of UK offshore wind
- Danish Wind (2011), Denmark – Wind power hub, profile of Danish wind industry
- Department of Energy and Climate Change (2009), UK Ports for the Offshore Wind Industry: Tice to Act
- Dong Energy, E-ON og SEAS-NVE (???), Nysted Havmøllepark – Historien om opførslen
- ECOFYS (2011), State of the Offshore Wind Industry in Northern Europe - Lessons Learnt in the First Decade
- EmployRES (2009), The impact of renewable energy policy on economic growth and employment in the European Union, Final report, TREN/D1/474/2006
- Energistyrelsen (2007), Fremtidens havmølleplaceringer – 2025, Udvalget for fremtidens havmølleplaceringer
- Energistyrelsen (2011), Stor-skala havmølleparker i Danmark, Opdatering af fremtidens havmølleplaceringer
- EWEA (2009), Oceans of Opportunity - Harnessing Europe's largest domestic energy resource, A report by the European Wind Energy Association.
- GL Garrad Hassan (2010), Offshore wind energy supply chain opportunities, Final, Document No.: 104551/BR/01
- Klima og Energiministeriet (2010), Klima- og Energiministeriet Tredjepartsvurdering af Anholt Havvindmøllepark, Baggrundsrapport udført af Ernst and Young
- Klima og Energiministeriet (2011a), Energistrategi 2050 – fra kul, olie og gas til grøn energi, Faktaark 1-28
- Klima og Energiministeriet (2011b), Analyse vedrørende fremme af konkurrence ved etablering af store havmølleparker i Danmark, Hovedrapport udført af Deloitte
- Ministry of Climate and Energy (2011), Analysis of the furthering of competition in relation to the establishment of large offshore wind farms in Denmark, Background report 2 by Deloitte and GL Garrad Hassan
- NordVind (2008), Status for Kriegers Flak Projects

Offshore Center Danmark (2005), Supply Chain Study on the Danish Offshore Wind Industry, Final report, A Report conducted in collaboration between Offshore Center Danmark and AC Concult

Offshore Center Danmark (2011), Mere vækst på vandet, Distribueret sammen med Børsen den 8. september 2011.

OffshoreGrid (2011), Offshore Electricity Grid Infrastructure in Europe – A Techno-Economic Assessment

Regeringen (2011a), Energistrategi 2050 – fra kul, olie og gas til grøn energi, Sammenfatning

Regeringen (2011b), Et Danmark, der står sammen, Regeringsgrundlag

Renewable UK (2010), UK offshore Wind: Building an Industry – Analysis and scenarios for industrial development

Renewable UK (2011), Offshore wind – Forecasts of future costs and benefits.

50Hertz Transmission, Energinet.dk and Svenska Kraftnät (2010), Kriegers Flak Combined Grid Solution

BILAG – BEREGNINGER AF DRIFTSOMKOSTNINGER

I havmøllehandlingsplanen⁹ fra 2008 blev placering af havvindmøller på Horns Rev fundet at være den samfundsøkonomisk mest fordelagtige løsning¹⁰ med totalomkostninger på 53 Øre/kWh, jf. Tabel 2.3. Økonomien i Kriegers Flak var på 59 Øre/kWh og dermed lidt dårligere, jf. Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Oversigt over placeringsområderne, middeltal for områderne (5 MW mølle)

	Kapacitet	NET udgift	Anlægs udgift	Samlet investering	Driftsomkostninger	NPV af driftsomkostninger	NPV af omkostninger	Produktionsomkostninger
	MW	Mio.kr/MW	Mio.kr/MW	Mio.kr/MW	kr./kWh	Mio. kr/MW	Mio. kr/MW	kr./kWh
Djursland	2*200	3,3	13,9	17,1	0,14	6,9	24,0	0,48
Horns Rev	5*200	4,4	14,5	18,9	0,18	9,5	28,4	0,53
Læsø	3*200	5,0	13,5	18,5	0,19	9,5	2,8	0,56
Jammerbugt	4*200	5,2	14,6	19,8	0,18	9,3	29,1	0,57
Ringkøbing	5*200	4,2	16,4	20,6	0,18	9,7	30,3	0,57
Kriegers Flak	4*200	5,6	16,6	22,2	0,15	7,8	30,0	0,59
Rønne Banke	2*200	4,3	20,3	24,6	0,14	7,1	31,7	0,63
S. Middelfund	200	3,3	19,6	22,9	0,18	9,3	32,2	0,64

Kilde: ENS (2008) Havmøllehandlingsplan 2008

De totale produktionsomkostninger består overordnet set af to elementer. De faste omkostninger (omregnet til en variabel størrelse) og driftsomkostningerne. De faste omkostninger udgør generelt omkring 2/3 af de samlede produktionsomkostninger beregnet efter nettonutidsværdi (NPV). En række af disse elementer har et afstandsafhængigt element som omkostningsdriver:

- Faste omkostninger:
 - Nettilslutning til elsystem i land
 - Fundamenter, hvor omkostning indekseres med afstand til nærmeste kyst
- Driftsomkostninger, hvor en basisomkostning på 12 Øre/kWh indekseres med afstand, A til nærmeste havn, efter følgende model:
 - Placering i Nordsø: $110 + 1,1 \times A$
 - Indre farvand: $80 + 1,1 \times A$

Den nærmeste havn tænkes benyttet som servicehavn for den efterfølgende servicering af møllerne.

⁹ Se ENS (2008), Havmøllehandlingsplan 2008

¹⁰ Bortset fra Djursland/Anholt som er besluttet

2010 opdatering af beregninger

Havmølleudvalget vurderede i 2010¹¹ beregningerne og fandt, at Kriegers Flak rykker op på en førsteplads fra en femteplads, tilsyneladende af tre årsager:

- Revurdering betød, at møllerne fik en ny placering med lavere vanddybde. Det medfører lavere funderingsomkostninger, hvor gevinsten er opgjort til 4 øre/kWh
- Møllerne er samtidig kommet tættere på land, og Klintholm erstatter Rødvig som servicehavn, hvorfor den kortere afstand har reduceret omkostningerne med 2 øre/kWh
- En kombineret løsning, hvor kablet til landføring af strømmen også benyttes som interconnector mellem Danmark og Tyskland. Gevinsten anslås til 3-5 øre/kWh

Energistyrelsens/havmølleudvalget konkluderer derfor, at Kriegers Flak (Park K2, K3, K4) samlet set er ca. 1 Øre/kWh billigere end Horns Rev (HR3, HR4, HR5), jf. Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Prioriteret rækkefølge af havvindmøller

Område	Park	Kapacitet, MW	Total omkostning, Indeks	Total omkostning, Kr./kWh
Kriegers Flak A	K2, K3, K4	600	100	0,50
Horns Rev A	HR3, HR4, HR5	600	102	0,51
Rønne Banke	RB1, RB2	400	104	0,52
Jammerbugt A	J3, J4	400	106	0,53
Ringkøbing Fjord A	RK1, RK2	400	110	0,55
Horns Rev B	HR6, HR7	400	111	0,56
Ringkøbing Fjord B	RK3, RK4	400	114	0,57
Kriegers Flak B	K1	200	116	0,58
Ringkøbing Fjord C	RK5	200	116	0,58
Jammerbugt B	J1, J2	400	121	0,61
Store Middelgrund	MG1	200	129	0,65

Note: Omkostninger i Kr./kWh er beregnet af Copenhagen Economics med udgangspunkt i en samlet gennemsnitlig omkostning for Horn Rev A og B på 0,53 Kr./kWh

Kilde: ENS (2011), Stor-skala havmølleparker i Danmark og Copenhagen Economics

Det fører til, at Havmølleudvalget anbefaler Kriegers Flak som næste placering.

Energistyrelsens håndtering af afstandafhængige omkostninger

Den konkrete anvendelse af afstandafhængige omkostninger i beregninger kan anfægtes. Afstand indgår reelt i tre forhold (fire med eltilslutning på land); transport af fundamenter, transport af møller og naceller og afstand til servicehavne

Fundamenter

Fundamentomkostningernes afhængighed af afstand mellem udskibning og placering håndteres som indeksering med afstanden til nærmeste kyst. Det er formentlig ikke retvisende, da fundamenter ikke udskibes fra nærmeste kyst, men fra den relevante havn.

Møller og Naceller

Transportomkostninger relateret til møllerne (naceller, generator mv.) er ikke gjort afstandafhængige. Imidlertid er det ikke uvæsentligt hvordan disse håndteres i forbindelse med op-

¹¹ Jf. Energistyrelsen (2010), Notat fra havmølleudvalget,

sætning og kræver betydelige havnefaciliteter ved opsætning. Valg af havn ved opsætning af møller skal formentlig håndteres mere eksplicit i beregninger, da man ikke blot etablerer en ny havn hver gang, der skal opsættes en ny havmøllepark. Opsætning af havvindmøller kræver faciliteter til lagring og klargøring af komponenter samt en lang række support aktiviteter. Det er situationen i forbindelse med opsætning af Anholt parken, jf. Boks 2.1.

Boks 2.1 Grenaa Havn opgraderes som følge af Anholt parken

I forbindelse med opførelse af Anholt parken på 400 MW, kan man læse følgende på Grenaa Havns hjemmeside:

Grenaa Havn rykker op i superligaen

Energi- og miljøvirksomheder er klar til at indtage de 300.000 kvm. havn, som i dag officielt blev indviet af transportminister Hans Christian Schmidt. (...) Det 300.000 kvm. store havneareal bliver nu centrum for DONGs aktiviteter i forbindelse med Anholt Havmøllepark, der skal stå klar i 2013. I den forbindelse vil en lang række følgeindustrier rykke ud på havnen, og der er store forventninger til, at Grenaa Havn nu for alvor vil markere sig som nationalt offshore vindkraftcenter. (...) Der er etableret nye kaj anlæg på 495 meter. Hertil skal lægges nuværende 660 meter kaj med 11 meters vanddybde. Alle 1.155 meter kaj er desuden forbedret til 15 meters vanddybde. Det nye havnebassin er godt 250.000 kvm. (svarende til knap 40 fodboldbaner).

www.port-of-grenaa.com/Default.aspx?ID=363#527

Og DONG Energy skriver i en præsentationsfolder af Anholt Parken:

Omfattende logistik

Opførelsen af Anholt Havmøllepark vil medføre en livlig aktivitet ind og ud af Grenaa Havn. (...) Møllerne vil blive oplagret og forberedt til installation på Grenaa Havn. Møllekabinerne (nacellerne) produceres på Siemens' fabrik i Brande og transporteres med landtransport til Grenaa Havn. Ligeledes vil vingerne fra Siemens' vingefabrik i Aalborg blive kørt til Grenaa Havn.

DONG Energy Anholt Havmøllepark

Avisen ingeniøren skriver d. 11. marts 2011:

Siemens gør Grenaa Havn til centralt udskibningssted for vindmøller

En udvidelse af havnekajerne i Grenaa for 150 millioner kroner giver nu afkast i form af en ordre fra Siemens Wind Power, der lejer 130.000 kvadratmeter til brug for den kommende Anholt-havmøllepark (.....) Projektchef hos Siemens Wind Power, Jens Møller... begrundet beslutningen således: »Vi har set på flere havne, men Grenaa ligger bedst for os«. Direktør i Grenaa havn, Henning Lauersen... »Vi håber at blive et Esbjerg mod øst,«... »Vi har haft de rette faciliteter«

<http://ing.dk/artikel/117057-siemens-goer-grenaa-havn-til-centralt-udskibningssted-for-vindmoeller>

Endvidere kan man forvente, at havnens rolle i forsyningskæden bliver vigtigere. Årsagen er, at møllerne bliver større og større, hvorfor mere af samlearbejdet må foregå på havnen, da transport på landjord bliver mere besværlig, tenderende til umulig. Anholtmøllerne er på 3,6 MW. I beregningerne fortaget af Energistyrelsen antages 5 MW møller opsat, hvilket formentlig med de nuværende metoder, som foregår på landevej, bliver noget besværlig fremadrettet, jf. Boks 2.2.

Boks 2.2 Møller større end 5 MW er besværlige at transportere

I forbindelse med transport af en 6 MW Siemens forsøgsmølle fra Brande til Høvsøre, var nacellen så stor at den kun med nød og næppe kunne transporteres. Brande Maskintransport, som udførte opgaven, lever af at transportere mølleudstyr, men måtte leje en speciel trailer i Norge, da de tre broer man skulle forcere ikke ville kunne klare akseltrykket fra egne vogne, og samtidig krævede en mere flexibel trailer (steering angle of 55 degrees), så rundkørsler og andre 'traffic islands' kunne forceres, jf. nedenstående billede. Transporten krævede ikke bare en lastbil der trak traileren, men også en lastbil der skubbede.



Kilde: www.globaltrailer.com/news/article/nicolas-vehicles-transport-first-prototype-of-the-siemens-new-6-mw-nacelle

Nacellen blev transporteret 138 km, med en gennemsnitsfart på 8 km/time.

Nacellen på Vestas seneste havmølle, den såkaldte V164-7.0 MW, på 7 MW har nogle dimensioner, der ikke synes forenelige med transport på vej. Nacellen er 7,5 m på den mindste led, jf. nedenstående tabel.

Nacelle dimensions (incl. hub and coolers)

Dimension	Meter
Højde	7,5
Længde	24
Bredde	12

Kilde: Vestas (2011), V164-7.0 MW

Det nye offshore center, på det gamle Lindø værft (som naturligt ligger ved havnet) har derfor fået en central placering i håndteringen af denne mølle.

Driftsomkostninger

Basis driftsomkostningen på 12 Øre/kWh håndterer Energistyrelsen ved at indekserer denne til nærmeste havn. For Kriegers Flak tænkes Klintholm Havn benyttet, hvor Hvide Sande tænkes benyttet for Horns Rev. Imidlertid synes Klintholm ikke at være særlig realistisk, da Klintholms betydning som havn er ikke-eksisterende. Omkostning til opbygning af en havn til servicering af Kriegers Flak bør inddrages i beregningerne, alternativt bør der vælges en servicehavn med eksisterende faciliteter. Vi har gennemført beregninger af driftsomkostninger med alternativ servicehavn. Det har vi gjort med udgangspunkt i de metoder som benyttes af Energistyrelsen.

Udgangspunktet for vores beregninger er de givne 2020 mål for vindenergi på 50% af elforbruget. Formentlig betyder det opstilling af havvindmøller i intervallet 1.200 MW til 2.000 MW, jf. Boks 2.3

Boks 2.3 Opgørelse af behov for ny havvind, jf. mål om 50% vind i 2020

I dag (2010) dækkes ca. 22% af det danske elforbrug af produktion fra vindmøller. Vi har nedenfor opgjort behovet for ny havvindmøllekapacitet (udover udskiftning af nedslidte eksisterende møller) hvis andelen skal hæves til 50%. Vi har opgjort behovet både med og uden nye landmøller og kystnære møller, jf. Energi-strategi 2050.

Det danske elforbrug er på 35.500 GWh årligt. Da den nuværende produktion fra vindmøller er omkring 7.800 GWh årligt, skal produktionen fra vindmøller hæves med 10.000 GWh for at nå 50% af elforbruget.

En havvindmølle har en årlig benyttelse på 4.000 timer (Krieger Flak placering), og dermed skal opsættes 2.500 MW nye havvindmøller. Anholt udgør 400 MW, der skal derfor opsættes 2.100 MW derudover.

Hvis produktionen fra nye landmøller (500 MW, 1.100 GWh) og kystnære møller (400 MW, 1.400 GWh) indregnes, jf. Energi-strategi 2050, vil de 10.000 GWh produktionen fra nye møller falde til 7.500 GWh. Produktion af 7.500 GWh betyder, at der skal opsættes 1.475 MW, udover Anholt på 400 MW.

Note:

Kilde: Energi-strategi 2050, ET DANMARK, DER STÅR SAMMEN, regeringsgrundlag 2011, Energinet.dk markedsdata

Vi antager dernæst, at opstilling af havvindmøller i denne størrelsesorden kan følge tre mulige strategier for at nå dette mål:

- Strategi 1: Billigste ENS rækkefølge som er Kriegers Flak A, Horns Rev A samt Rønne Banke. Den er kaldt "Spredt opsætning".
- Strategi 2: Dernæst en pakke med den billigste opsætning af havvindmøller i Nordsøen ifølge Energistyrelsen, som er kaldt "Spredt Nordsø pakke".
- Strategi 3: Endelig et scenario med mere samlet opsætning i Nordsøen, dvs. Horns Rev A og B plus Ringkøbing Fjord A, kaldt "Samlet Nordsø pakke"

Følges en af de tre strategier, vil der blive opsat mellem 1.400 og 1.600 MW havvindmøllekapacitet, jf. Tabel 2.5.

Tabel 2.5: tre mulige strategier for opsætning af havvind i Danmark

Strategi	Kriegers flak A	Kriegers flak B	Horns Rev A	Horns Rev B	Ringkøbing Fjord A	Ringkøbing Fjord B	Rønne Banke	Jammerbugten A	I alt
1. Spredt opsætning	600		600				400		1.600
2. Spredt Nordsø pakke			600		400			400	1.400
3. Samlet Nordsø pakke			600	400	400				1.400

Kilde: Copenhagen Economics

Vi gennemfører beregninger af de totale omkostninger for de tre strategier med udgangspunkt i Energistyrelsens metode. Vi gennemfører beregningen i to trin:

Trin 1 beregning:

- Korrigerer for, at Energistyrelsen foretager et valg af servicehavn, som formentlig ikke afspejler de reelle muligheder. Vi udvælger en alternativ havn, som virker mere naturlig som servicehavn.

Trin 2 beregning:

- Korrigerer for, at Energistyrelsen ikke tager hensyn til mulige synergier ved samdrift af nærliggende havmølleparker, jf. Deloitte rapport: ”Analyse vedrørende fremme af konkurrence ved etablering af store havmølleparker i Danmark”

Netop fordi vi gennemfører beregninger af synergieffekter, er vi nødt til på forhånd at definere nogle opstillingsstrategier. Derfor de tre strategier, jf. ovenfor.

Trin 1 – beregning: håndtering af omkostninger til servicehavn

Energistyrelsen har valgt nærmeste havn som servicehavn. Energistyrelsen inddrager dermed ikke, at havnen eventuelt skal etableres mere eller mindre helt fra bunden. Det er formentlig tilfældet med Klintholm havn. Omkostninger til etablering bør medtages, eller alternativt bør der benyttes havne med eksisterende faciliteter, og dermed længere vej mellem servicehavn og park.

Vi har regnet på, at møllerne serviceres fra havne med allerede etablerede faciliteter. For møller placeret i Nordsøen antager vi servicehavne er Esbjerg i kombination med Hvide Sande for Horn Rev og Esbjerg i kombination med Hanstholm for Jammerbugten. Den valgte kombination er et udtryk for, at ’daglig servicering’ kan foretages fra eksisterende havnefaciliteter i Hvide Sande og Hanstholm og større arbejder fra Esbjerg. Østersømøller ved Kriegers Flak services fra Rødby i stedet for Klintholm og Rønne i kombination med Rødby for Rønne Banke. Rødby er valgt, da der allerede er etableret servicefaciliteter for Rødsand I og II møllerne.

Nedenfor er angivet ’gamle’ og ’nye’ servicehavne med tilhørende afstand fra servicehavn og placering. Generelt gælder, at afstanden til servicehavne forøges, jf. Tabel 2.6.

Tabel 2.6 'Gamle' og 'nye' servicehavne med tilhørende afstande

Område	Park	Kapacitet, MW	Servicehavn (ENS)	Afstand til servicehavn (ENS), Km	Ny Servicehavn (CE)	Gennemsnits afstand til servicehavn (CE), Km
Krigers Flak A	K2, K3, K4	600	Klintholm	32	Rødby	135
Horns Rev A	HR3, HR4, HR5	600	Hvide Sande	36	Hvide Sande/Esbjerg	47
Rønne Banke	RB1, RB2	400	Rønne	20	Rønne/Rødby	130
Jammerbugt A	J3, J4	400	Hanstholm	46	Hanstholm/Esbjerg	163
Ringkøbing Fjord A	RK1, RK2	400	Hvide Sande	24	Hvide Sande/Esbjerg	61
Horns Rev B	HR6, HR7	400	Hvide Sande	49	Hvide Sande/Esbjerg	54

Note: Ved to servicehavne er afstanden beregnet som et simpelt gennemsnit

Kilde: ENS (2011), Stor-skala havmølleparker i Danmark, ENS (2008), Havmøllehandlingsplan 2008, naturstyrelsen; <http://udinaturen.naturstyrelsen.dk/udinaturen/> og Copenhagen Economics

Med udgangspunkt i de nye afstande kan vi nu beregne et nyt sæt af totale omkostninger, som afspejler en forøgelse i driftsomkostninger. Vi benytter samme formel som Energistyrelse for beregning af driftsomkostninger, hvor en basisomkostning på 12 Øre/kWh indekseres med afstand, A til nærmeste havn, efter følgende model:

- Placering i Nordsø: $110 + 1,1 \times A$
- Indre farvand: $80 + 1,1 \times A$

Resultatet viser, at Energistyrelsen undervurderer driftsomkostninger ved valg af servicehavne. Med længere til servicehavnene er en total produktionsomkostning på ca. 60 øre/kWh for Energistyrelsens anbefalede udbygningsrækkefølge (Strategi 1) formentlig mere korrekt end de nuværende ca. 51 øre/kWh, jf. Tabel 2.7. Med ændrede omkostningsestimater for servicehavne betyder det, at strategi 3 nu er den billigste, idet omkostningen ved strategi 3 beregnes til ca. 56 øre/kWh, jf. Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Totalomkostninger ved de tre udbygningsstrategier, Øre/kWh

Strategier	KF A	KF B	HR A	HR B	RB	RFA	RF B	JB A	I alt, MW	Total omkostning 1, Øre/kWh	Total omkostning 2, Øre/kWh
1. Spredt opsætning	600		600		400				1.600	51,1	60,4
2. Spredt Nordsø pakke			600			400		400	1.400	52,9	59,4
3. Samlet Nordsø pakke			600	400		400			1.400	53,6	55,9

Note: Total Omk. 1: Gennemsnitlig total omkostning med ENS estimat for totale omkostninger for de enkelte parker. Total Omk. 2: Gennemsnitlig total omkostning med vores estimat for omkostninger for de enkelte parker

Kilde: ENS (2008), Havmøllehandlingsplan 2008, ENS (2011), Opdatering af Fremtidens havmølleparker 2025 19 april 2011, ENS (2011b), Opdatering af forudsætninger hla 22mar-end og Copenhagen Economics

I trin 1 beregnede vi betydning af driftsomkostninger og dermed på de totale omkostninger af længere afstande til servicehavn. I trin 2 går vi et skridt videre og beregner synergi ved at placere havmølleparkerne tæt på hinanden og dermed optimere serviceringen.

Trin 2- Synergier i driften ved at placere parker i samme område

Deloitte¹² vurderer, at der formentlig er synergier i driften ved at placere parker i samme område. Vi antager derfor følgende synergipotentiale indenfor hver af de tre strategier:

- Strategi 1: Billigste ENS rækkefølge; ingen synergi, parkerne står alle langt fra hinanden
- Strategi 2: Billigste Nordsø, jf. ENS; synergi mellem Horns Rev A og Ringkøbing Fjord A, men ikke Jammerbugten
- Strategi 3: Mest samling Nordsø; synergi for alle, da placering er nærtliggende

Ifølge Deloitte kan der forventes op mod 20% besparelse i driftsomkostninger, afhængigt af antallet af parker. Vi benytter (konservativt) en 10% besparelse ved to parker og 15% besparelse ved tre parker, men kun på de omkostningselementer i de samlede driftsomkostninger, som synes at have en 'logistisk' dimension.

Vi antager således, at der er tre elementer ud af fem, som har en logistisk/geografisk dimension med en andel på 51% af de samlede driftsomkostninger. Vi beregner således de totale omkostninger, hvor 51% af driftsomkostninger kan 'udsættes' for synergier som følge af logistisk optimering.

Resultatet af vores beregninger er, at for:

- I Strategi 2 kan spares 10% på 51% af driftsomkostningerne ved Horn Rev A og Ringkøbing A, men ingen på Jammerbugten A
- Det svarer til 1,8 Øre/kWh i gennemsnit for produktionen fra alle tre parker
- I Strategi 3 kan spares 15% på 51% af driftsomkostningerne ved Horn Rev A, Horns Rev B og Ringkøbing A
- Det svarer til 6,1 Kr./kWh i gennemsnit for produktionen fra alle tre parker

For strategi 1 er der som sagt ingen driftssynergier at hente, da vi antager, at parkerne står for langt fra hinanden. Synergieffekter betyder, at vi beregner en samlet produktionspris på ca. 54 Øre/kWh for Strategi 3, som dermed er billigere end Strategi 1 på ca. 60 Øre/kWh, jf. Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Produktionsomkostninger, ENS og vores med og uden synergieffekter

Strategi	ENS: Gns. total omkostning 1, Øre/kWh	CE: Gns. total omkostning 2, Øre/kWh	Besparelse på produktionen fra alle parker, Øre/kWh	CE: Gns. total omkostning 2, inkl. synergier, Øre/kWh	Besparelse på produktionen fra alle parker, Øre/kWh
1. Spredt opsætning	51,1	60,4	0	60,4	0
2. Spredt Nordsø pakke	52,9	59,4	1	58,6	1,7
3. Samlet Nordsø pakke	53,6	55,9	4,5	54,3	6

Note: Tal er afrundet i tabellen, hvorfor besparelsen ikke præcist udgør forskellen i omkostninger

Kilde: Tabel 2.7, Deloitte (2011) og Copenhagen Economics

¹² Se Deloitte (2011), "Analyse vedrørende fremme af konkurrence ved etablering af store havmølleparker i Danmark", side 186

Besparelsen kan også opgøres som en årlig besparelse ved at vælge strategi 3. Ved en samlet kapacitet på 1.400 MW, der årligt producerer ca. 6 TWh, svarende til ca. 17% af elforbruget i Danmark, kan besparelsen ved at vælge strategi 3 opgøres til ca. 350 mio. kr. årligt sammenlignet med strategi 1.