



# Kystnære Havvindmølleplaceringer

*- en vurdering af de visuelle forhold ved opstilling af store vindmøller nær kystområder*



TITEL

Kystnære Havvindmølleplaceringer

– en vurdering af de visuelle forhold ved opstilling af store vindmøller nær kystområder

UDARBEJDET AF

Sweco Architects A/S

ved

Christian Dalmer, Civilingeniør i Urban Design

Frode Birk Nielsen, Landskabsarkitekt m.a.a.

UDGIVET AF

Energistyrelsen

FORMAT

A3

FORSIDEFOTO

Visualisering med 180 meter høje havvindmøller set fra 6 km afstand

Juni 2012

# Indhold

<b>Forord og metode</b> .....	4
<b>Nye møllemodeller</b> .....	5
<b>Kystlandskabet</b> .....	6
Landskabstyper.....	6
<b>Kystnære havvindmøller og synlighed</b> .....	10
Synlighedsfaktorer .....	10
Konsekvenszoner .....	15
Visuelle vurderinger .....	29
<b>Opstillingsmønstre</b> .....	30
Oplevelsen af havmølleparker.....	30
Opstillinger ved tekniske anlæg .....	33
<b>Sammenfatning</b> .....	37
<b>Kilder</b> .....	38

# Forord og metode

## Forord

Denne rapport behandler de problemstillinger, der knytter sig til visuelle påvirkninger fra kystnære havvindmøller op til 20 km fra kysterne og med særlig fokus på 2 - 12 km. Rapporten omhandler primært synligheden af kystnære havvindmøller og deres samspil med kystlandskabet.

Der er taget udgangspunkt i rapporten, "Fremtidens Havmølleplaceringer 2025" fra 2007, hvor de visuelle konsekvenser ved placering af havmølleparker er beskrevet. I nærværende rapport fokuseres udelukkende på de visuelle konsekvenser ved placering af havmølleparker i de kystnære havområder.

Projektet skal derfor betragtes som et tillæg til rapporten "Fremtidens Havvindmølleplaceringer 2025".

De udarbejdede visualiseringer er udført med udgangspunkt i fotos optaget på forskellige lokaliteter langs den danske kyst. Disse fotos er tænkt som repræsentative for det danske kystlandskab. Derudover er der anvendt fotos af eksisterende kystnære havvindmølleplaceringer til vurdering af de visuelle forhold.

## Metode

Undersøgelsesens primære redskab er visualiseringer af scenarier for opstilling af vindmøller, som giver mulighed for at vurdere de visuelle konsekvenser. Visualiseringerne er udarbejdet i programmet WindPro. Dette program kan ved hjælp af bestemmelseskoordinater opstille vindmøller på præcise placeringer og herudfra generere visualiseringer på baggrund af fotos optaget i de pågældende områder.

Visualiseringerne skal betragtes som en efterligning af virkeligheden, som ikke forklarer alle forhold, der har indflydelse på vindmøllernes fremtræden på et givent sted. Generelt vil møllerne opleves forholdsvis tydeligere, når man befinder sig på stedet, end når man betragter dem på et foto. Især på større afstande kan møllerne 'forsvinde' på visualiseringerne, selv om de måske reelt kan skimtes i virkeligheden.

Møllerne er bevidst fremhævet med en mørkere nuance på de fotos hvor himlen er meget lys, for at gøre dem tydeligere på visualiseringen. Forhold, der har indflydelse på synligheden af havvindmøller, er uddybet under afsnittet 'Synlighedsfaktorer'.

# Nye møllemodeller

Der er taget udgangspunkt i tre møllemodeller, som er dimensioneret til brug for undersøgelserne i denne rapport.

Der er ingen krav til bestemmelse om harmoni i forholdet mellem møllernes højde og vingernes længde for havvindmøller, da de normalt er placeret så langt fra land, at de er svære at opfatte. Retningslinjerne for landmøllers harmoniforhold kan dog gælde for kystnære havvindmøller, da de er placeret tæt på land og derved ofte opleves på tæt hold. For de tre møllemodeller er rotordiameteren og tårnhøjden derfor bestemt ud fra et indbyrdes harmoniforhold, der ligger inden for retningslinjerne for landmøller, dvs. mellem 1:1,1 - 1:1,35.

De tre møllemodeller er defineret ud fra allerede eksisterende møller og tilpasset dette projekt således, at de visuelle vurderinger kan foretages ud fra tre repræsentative møllestørrelser på henholdsvis 110, 150 og 180 meter. Effekten er anslået for hver enkelt af de tre modeller, ligesom rotordiameter og navhøjde er bestemt med udgangspunkt i at opfylde retningslinjerne til harmoniforholdet. Effekt, dimensioner og harmoniforhold er angivet i skemaet nederst til højre.

Mølle 1  
(totalhøjde 110 m)

Mølle 2  
(totalhøjde 150 m)

Mølle 3  
(totalhøjde 180 m)



Visualisering af de 3 anvendte møllemodeller

Mølle	Effekt/MW	Navhøjde/m	Rotordiameter/m	Totalhøjde/m	Harmoniforhold
1	2,3	67,5	85	110	1,26
2	3,6	90	120	150	1,33
3	6,0	110	140	180	1,27

Angivelse af dimensioner og estimeret effekt for de 3 møllemodeller

# Kystlandskabet

Ved opstilling af havvindmøller tilføres kystlandskabet et moderne teknisk element, som ved sin fremtræden ændrer oplevelsen af landskabet. Denne oplevelse kan være neutral, positiv eller negativ alt afhængig af landskabets egnethed og betragterens værdier herfor. Som udgangspunkt er det derfor væsentligt med en overordnet forståelse for kystlandskabets karakter og anvendelse, når der opstilles kystnære havvindmøller.

Kystlandskabet er først og fremmest karakteriseret ved overgangen mellem de to store landskabelige enheder: Land og vand.

Vandet kan klassificeres som en åben, uberørt flade. Her er eksempelvis tekniske anlæg og andre elementer, som befinder sig på eller tæt ved vandet, meget tydelige.

Kystlandskabet er derimod mere komplekst end havets flade. Det er først og fremmest i mødet mellem land og vand, at den overordnede landskabelige oplevelse defineres. Kystlandskaberne kan have forskellig anvendelse, men som udgangspunkt er der tale om rekreative arealer, hvor naturoplevelserne i mødet mellem land og vand står i centrum.

Udsigten over havet fremstår som et primært udflugtsmål og som et symbol på den naturmæssige, rekreative værdi. De fleste kystområder har mange brugere og her finder forskellige aktiviteter sted, der knytter sig til sol, sand og vand.

Det er især fra særlige punkter med god udsigt over havet, at samspillet mellem havvindmøller og kystlandskab har betydning for brugerne. Strandkanten er således det væsentligste udsigtspunkt, hvorfra de fleste vil opleve vindmøllerne.

## Landskabstyper

Kystlandskaberne kan inddeles i flere typer. Landskabstopografisk kan der skelnes mellem bælt- og sundskysterne, de åbne kyster med fri horisont, øhavet samt fjordkysterne.

I denne rapport beskrives to landskabstyper; bælt- og sundskysterne samt de åbne kyster, da det ikke er relevant at beskrive øhavet og fjordkysterne i forbindelse med kystnære havvindmølleplaceringer, da disse landskabstyper ikke vil komme i betragtning som mulige placeringsområder på nuværende tidspunkt.

Herudover findes der landskabelige situationer, hvor kysterne er præget af bebyggelse. Overordnet set kan de bebyggede kyster inddeles i tre typer bebyggelse: Kystnære byer, kystnære sommerhusområder samt kystnære større tekniske anlæg. De forskellige typer bebyggede kyster vil ligeledes blive beskrevet i det følgende.





#### DE ÅBNE KYSTER

Ved de åbne kyster ligger det meste af horisonten åben uden modstående land i sigte. Det åbne hav er utæmmet natur i sin reneste form, og kontrasten til det bagvedliggende, gennemkultiverede danske landskab er her størst.

Åbne kystområder, som er karakteriseret ved en flad og jævn overgang, er typisk områder med hævede havbundsarealer, udligningskyster og inddæmmede områder ligesom det kan være morænekyster med et svagt kuperet bagland. Selve kystzonen kan derfor variere i flere kilometers bredde. De brede, flade kystområder kan være velegnede til opstilling af havvindmøller, idet de ofte har en skala, hvor møllerne kan virke indpassede.

Klint- og klitkysterne er markante, ofte dramatiske overgange mellem land og vand. Her kan store vindmøller placeret tæt på kysten risikere at reducere eller udviske den markante karakter. Generelt vil det dog kun gælde placeringer af møller tæt ved kysten indenfor nærzonegrænsen, hvor møllernes synlighed er markant. Hvorvidt karakteren af klint- og klitkysterne vurderes at være udvisket, afhænger ligeledes af højderne på de pågældende klint- og klitkyster samt møllehøjderne.



#### BÆLT- OG SUNDKYSTERNE

Ved bælt- og sundkysterne indrammes udsigten henover vandet af modstående kyster. Disse landskaber rummer ofte en særlig kvalitet, som kan være sårbar overfor opstilling af vindmøller. Sund og bælder i Danmark er ofte smalle, med kun få kilometer til den modstående kyst. Dette begrænser muligheden for placeringer på længere afstande fra kysten.

Som for de åbne kyster har opdelingen mellem de flade, jævne kyster i forhold til klintkysterne væsentlig betydning ved fjordkysterne.



#### KYSTNÆRE BYER

Der findes mange byer beliggende helt ud til kysten med udsigt til vandet fra byens centrale pladser, gågader eller havneområder.

Oftest vil byområderne nærmest havet være præget af havneindustri, og her kan placeringer af vindmøller fungere som en naturlig del af disse tekniske anlæg. Gennem de senere år er en stor del af industrien dog rykket ud fra havnearealerne og områderne er omdannet til rekreative bynære arealer, der kan virke mere sårbare overfor placering af vindmøller.



#### KYSTNÆRE SOMMERHUSOMRÅDER

Kystnære sommerhusområder præger ofte dele af de danske kyststrækninger. Sommerhusområder adskiller sig overordnet set fra kystnære byer ved en mindre bebyggelsesprocent og beskedne højder på bebyggelsen. Områderne vil normalt ikke være præget af industrianlæg, master eller anden høj bebyggelse. Den beskedne bebyggeshøjde skaber ikke umiddelbart en mere markant overgang mellem land og vand sammenlignet med de åbne kyster, og derfor vurderes områderne at være mindre sårbare overfor placering af kystnære havvindmøller.





#### STORE TEKNISKE ANLÆG

Store kystnære tekniske anlæg forekommer ofte ved havnearealer i større danske byer. Her kan ligge storindustri, der er afhængige af skibstransport som eksempelvis el-kraftværker, olieraffinaderier og skibsværfter.

Større tekniske anlæg, der ikke nødvendigvis er placeret i forbindelse med havnearealer kan være broer - eksempelvis Storebæltsbroen og broerne over Lillebælt.

De store kystnære tekniske anlæg kan fungere fint i skalamæssigt samspil med vindmøller. Opstillingsmønsteret og antallet af møller bør vurderes i henhold til den enkelte landskabelige situation; eksempelvis kan en længere møllerække fungere fint i et parallelt samspil med en bro.

# Kystnære havvindmøller og synlighed

## Synlighedsfaktorer

Kystnære havvindmøllers samspil med landskabet er først og fremmest betinget af, hvor synlige de er.

Dette afsnit redegør for en vurdering af kystnære havvindmøllers synlighed med udgangspunkt i konsekvenszonedefinitionerne fra de to rapporter "Fremtidens Havvindmølleplaceringer 2025" og "Store vindmøller i det åbne land" fra 2007. I de visuelle undersøgelser er benyttet de konstruerede møllemodeller, som er beskrevet i afsnittet om møllemodeller på side 5.

### HAV- OG LANDSKABSELEMENTER

Opfattelsen af størrelse og afstand til en given genstand påvirkes af forholdet til andre elementer indenfor synsfeltet. Det har betydning for, hvordan møllerne opleves i forhold til omgivelserne.

Havet er typisk et helt åbent landskab, hvor det er vanskeligt at afstandsbedømme en genstand, idet der ikke er andre elementer at sammenligne størrelsen med. En genstand på havet tiltrækker endvidere betragterens opmærksomhed, fordi den oftest optræder alene i synsfeltet og derfor opleves som mere synlig, end den ville gøre på samme afstand henover land.

I landskabstyper som bælt- og sundkyster opleves vandfladen ofte i samspil med landskabselementer på en modstående kyst, og vindmøller placeret i disse landskabstyper vil skalamæssigt kunne sammenlignes med andre landskabselementer.

### ANTALLET AF MØLLER

Antallet af møller påvirker synligheden. Flere møller i bredden påvirker en større del af synsfeltet, mens flere møller i dybden forstærker synligheden af den samlede møllepark, hvor møllerne vil være i visuel konflikt fra flere synsvinkler og herved virke mere dominerende i landskabet end enkeltstående møller på en enkelt række.

I denne rapport er anvendt to opstillingsmønstre - én række med 8 møller samt tre rækker

med hver 8 møller. Herved undersøges for de to situationer; hvor møllerne står entydigt på lige linje, og hvor de befinder sig i en gruppe bag hinanden.

### INDBYRDES AFSTAND MELLE MØLLER

For at udnytte vindressourcerne optimalt er det nødvendigt, at vindmøllerne står med en vis indbyrdes afstand. Den indbyrdes afstand vil være afhængig af møllens rotordiameter.

For havvindmøller er en indbyrdes afstand fra 7 til 8 gange rotordiameteren tilstrækkeligt uanset placering i henhold til fremherskende vindretning, hvor en opstillet møllerække på tværs af fremherskende vindretning kan stå ned til 5 gange rotordiameteren. Som udgangspunkt placeres landvindmøller med en afstand på mellem 3 - 5 gange rotordiameteren.

Ifølge vindmølleproducenter kan opstillingsafstande for landmøller som udgangspunkt benyttes, da kystnære havvindmøller kan betragtes som en mellemting mellem hav- og landmøller. Sammenholdes landmøllernes opstillingsprincipper med kravene for havvindmøller, anses 5 gange rotordiameteren at være et realistisk bud på en gennemsnitsafstand, og visualiseringerne i denne rapport tager udgangspunkt i denne afstand.

### UDSEENDE OG FARVE

Udformningen af tårn, vinger og hus har betydning for den visuelle fremtræden. De visualiserede møller, som anvendes i synlighedsvurderingen, er konstrueret med udgangspunkt i eksisterende mølletyper og modificerede til dette projekt således, at der kan laves generelle vurderinger for tre forskellige møllemodeller på henholdsvis 110, 150 og 180 meter.

Visualiseringerne er udført således, at møllerne er maksimalt synlige. Visualiseringsprogrammets digitale lyssætning er derfor indstillet, så skygger og lys falder i den vinkel på møllerne, hvor de fremstår tydeligst muligt. For flere af de optagede fotos er himlen så lys, at visualiserede hvide møller vil forsvinde på billedet. I

disse tilfælde er møllerne gjort mere grå ved hjælp af den digitale lyssætning.

### ANDRE TEKNISKE ANLÆG

Udover selve vindmøllerne indgår også andre strukturelle elementer i en havmøllepark. Hverken fundamenter, transformerstation eller meteorologimast har dog væsentlig betydning for synligheden af parkerne, hvor vindmøllerne er klart mest dominerende. De visuelle vurderinger beror derfor udelukkende på vindmøllerne.

### MØLLESTØRRELSE OG AFSTAND FRA LAND

Relationen mellem størrelse og betragtningsafstand har afgørende betydning for synligheden af kystnære havvindmøller.

Da et opstillingsområde typisk er helt fladt og friholdt fra andre elementer end vindmøller, kan det være yderst vanskeligt at skelne mellem en mindre mølle tæt på eller en større mølle længere væk. Størrelse og betragtningsafstand kan altså betragtes som variable i forhold til synligheden. En vurdering af synligheden må derfor både tage hensyn til varierende møllestørrelser og varierende afstand fra land.

### PLACERING I TERRÆN

For kystnære havvindmøller opereres med så relativt korte afstande, at jordens krumning ikke vil have større indflydelse på, om dele af mølletårnene forsvinder bag horisonten, da dette først forekommer ved 16-18 km. Denne rapport's fokus er placeringsafstande mellem 2 - 12 km fra kysten, og derfor betragtes jordens krumning ikke som en faktor, der har indflydelse på vindmøllernes synlighed.

På side 11 er foretaget visualiseringer af 150 meter-møllen placeret i terrænkote 20 og 50 set fra kysten i henholdsvis 2 og 6 km afstand. Visualiseringer 2 km fra kysten viser, at horisontlinjen vil befinde sig et væsentligt stykke over tårnets fod ved betragtning fra kote 50 sammenlignet med kote 20. Ved 6 km afstand vil forskellen i horisontlinjens placering i for-

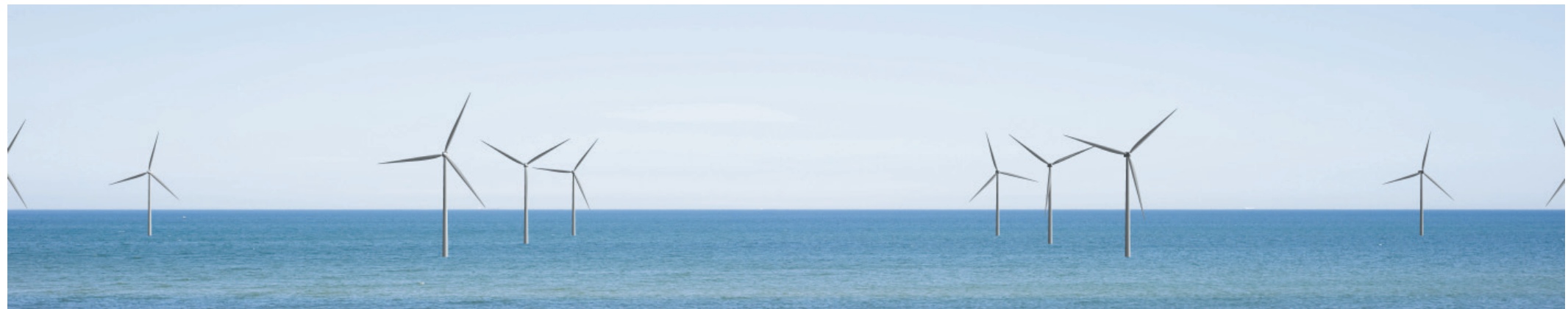
hold til møllerne stadig være forskellig, men noget vanskeligere at observere. Opfattelsen af opstillingsmønstret er stort set uændret for de to undersøgte terrænkoter ved begge undersøgte afstande.

Havet opleves bedst fra kysten, fra strandkanten eller fra de bagvedliggende klitter eller kliner. Her vil også synligheden af kystnære havvindmøller være størst, og visualiseringer til brug for synlighedsvurdering er derfor i det følgende baseret på en placering på selve stranden i en kote, der svarer til havoverfladen eller en placering på en klit, nogle meter over havets overflade.

SYNLIGHED PÅ 2 KM AFSTAND



Terrænkote **20** visualiseret **2 KM** fra kysten med mølletype 2 - 150 meter totalhøjde



Terrænkote **50** visualiseret **2 KM** fra kysten med mølletype 2 - 150 meter totalhøjde

SYNLIGHED PÅ 6 KM AFSTAND



Terrænkote **20** visualiseret **6 KM** fra kysten med mølletype 2 - 150 meter totalhøjde



Terrænkote **50** visualiseret **6 KM** fra kysten med mølletype 2 - 150 meter totalhøjde



Eksisterende kystnær vindmøllepark - **SYD FOR SAMSO**. De 10 møller på hver ca. 103 meter totalhøjde har tilsammen en installeret effekt på 23 MW og befinder sig omtrent 3,7 km fra kysten på fotoet.



Eksisterende kystnær vindmøllepark - **SYD FOR SAMSO**. De 10 møller på hver ca. 103 meter totalhøjde har tilsammen en installeret effekt på 23 MW og befinder sig omtrent 4,3 km fra kysten på fotoet.



Eksisterende kystnær vindmøllepark - **LILLGRUND** i Sverige. De 48 møller på hver ca. 115 meter totalhøjde har tilsammen en installeret effekt på 110 MW og befinder sig omtrent 10 km fra kysten.

## Konsekvenszoner

Konsekvenszoner for havvindmøller angiver møllernes forventede synlighed set fra foto-standpunkter indenfor de angivne zonegrænser.

### ANBEFALEDE KONSEKVENSZONER FOR HAVVINDMØLLER

De anbefalede 3 konsekvenszoner for havvindmøller fremgår af rapporten "Fremtidens Havvindmølleplaceringer 2025". Af diagrammet, der er vist på illustrationen nederst til højre, kan zonegrænsen mellem nær- og mellemzonen aflæses for de 3 møllemodeller, der er udgangspunktet for undersøgelserne i denne rapport. Grænsen mellem nærzone og mellemzone kan aflæses til henholdsvis ca. 8, 10½ og 13 km for de tre møllemodeller på 110, 150 og 180 meter. Grænserne til fjernezone ligger mellem ca. 19 og 28 km. Da denne rapport kun beskæftiger sig med havvindmøller placeret maksimalt 20 km fra kysten, vil der ikke blive foretaget beskrivelse og vurderinger af fjernezone.

Følgende definitioner gælder for de enkelte zonegrænser i forhold til havvindmøller:

#### Nærzone

I nærzonen vil møllerne kunne ses tydeligt og opfattes som værende tæt på. De enkelte møller, deres vinger og rotation fremstår tydeligt.

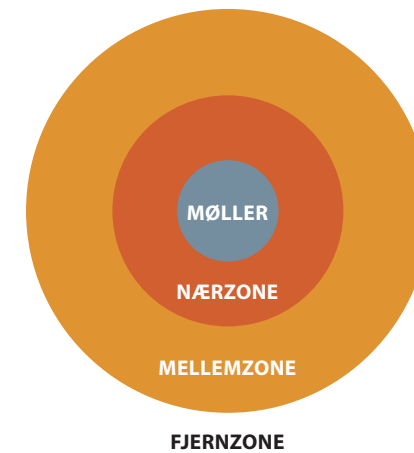
#### Mellemzone

I mellemzonen vil møllerne fortsat fremstå tydeligt. Man kan erkende enkeltmøller og sammenfaldende rækker, ligesom vinger og rotation opfattes tydeligt. Rækkeopstillinger, hvor møllerne står tæt i forhold til synsvinklen, vil dog i højere grad fremtræde som et sammenfald af tårne og vinger, der fremstår markant men uden nogen egentlig form.

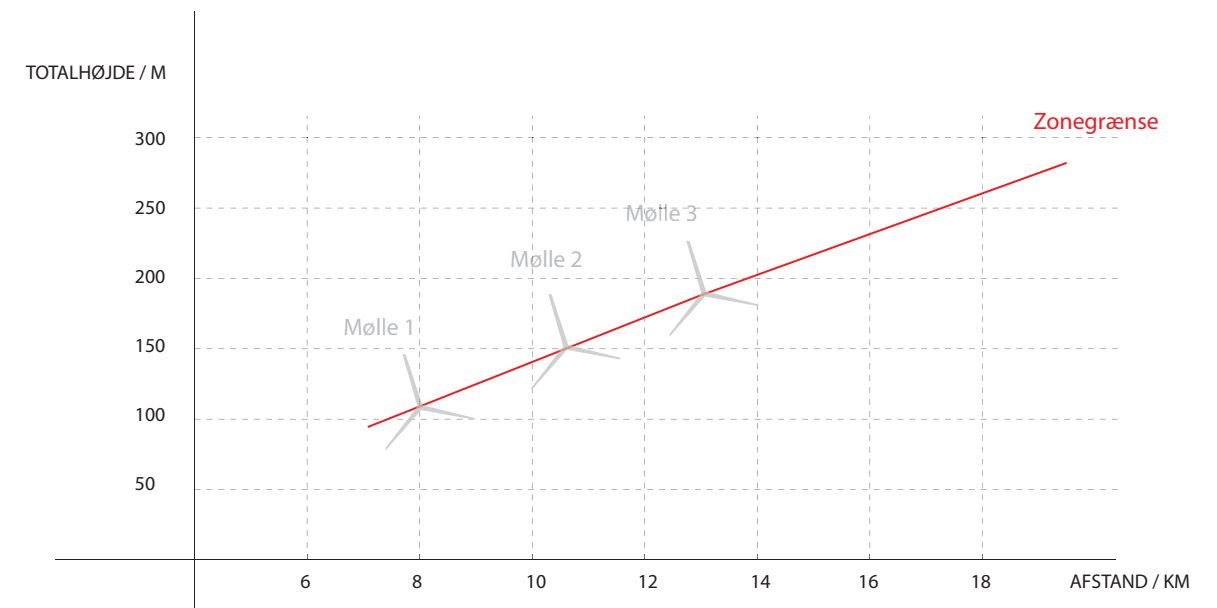
### ERFARINGER MED STORE VINDMØLLER PÅ LAND

Møllegupper tæt på land vil indgå i et samspil med ikke kun kystlandskabet, men også de bagvedliggende landområder. Man kan her bruge erfaringer med opstillinger af vindmøller på land, hvor det er andre kriterier, der ligger til grund for anbefalinger og vurderinger. Eksempelvis kan konsekvenszonegrænserne for landmøller bruges som et supplement til at vurdere synligheden af havmøllegupper tæt på land.

En vindmølle på land med en totalhøjde på 150 meter har en anbefalet nærzonegrænse på 4,5 km, hvilket er væsentligt lavere end de 10½ km, som anbefales for en tilsvarende mølle på havet. Det skyldes, at en række forskellige forhold spiller ind på den visuelle oplevelse af vindmøller på henholdsvis land eller på åbent hav. Særligt forholdet mellem møllerne og de omgivende landskabs-elementer spiller en stor rolle for opfattelsen og synligheden af landmøller, hvorimod møller på åbent hav typisk står helt alene i synsfeltet, uden indblanding fra andre elementer end vandet og himlen.



Illustrationen viser princippet for zonegrænser omkring en møllepark. Afstanden til de enkelte grænser afhænger af møllernes totalhøjde.



Diagrammet viser sammenhængen mellem møllehøjderne og zonegrænsen mellem nærzonen og mellemzonen for havvindmøller.

## ANBEFALEDE KONSEKVENSZONER FOR LANDMØLLER

I rapporten "Store vindmøller i det åbne land" fra januar 2007 er opstillet tre konsekvenszoner for store vindmøller: Nærzone, mellemzone og fjerntone. Konsekvenszonernes rækkevidde afhænger af møllernes totalhøjde. Af diagrammerne, der er vist til højre, kan zonegrænserne aflæses for de tre møllemodeller. Grænsen mellem nærzonen og mellemzonen kan aflæses til henholdsvis ca. 3½, 4½ og 5½ km for de tre møllemodeller på 110, 150 og 180 meter. Grænsen til fjerntonen kan aflæses til henholdsvis ca. 7½, 10 og 12 km.

Følgende definitioner gælder for de enkelte zonegrænser ved landmøller:

### Nærzone

Nærzonen er defineret som det område, hvor vindmøllerne er det dominerende element i landskabsbilledet og deres proportioner tydeligt overgår andre landskabselementer.

### Mellemzone

Mellemzonen er defineret som det område, hvor vindmøllerne er fremtrædende elementer i landskabet, men er i skalamæssig balance med de øvrige landskabselementer.

### Fjerntone

Fjerntonen er defineret som det område, hvor vindmøllerne fortsat er synlige i landskabet, men hvor de er underlagt andre, mere dominerende landskabselementer og ikke påvirker landskabsoplevelsen i væsentlig grad.

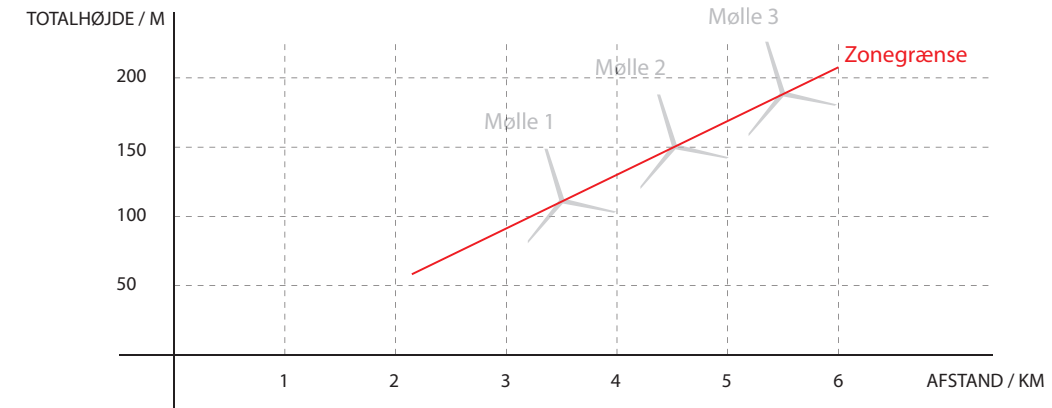
## VURDERING

De omgivende landskabselementer spiller en stor rolle for opfattelsen og synligheden af møller placeret på land, hvorimod møller placeret på åbent hav typisk står helt alene i synsfeltet uden visuel indblanding fra andre elementer end vandet og himlen. Konsekvenszonedefinitionerne er derfor forskellige for havvindmøller og landmøller.

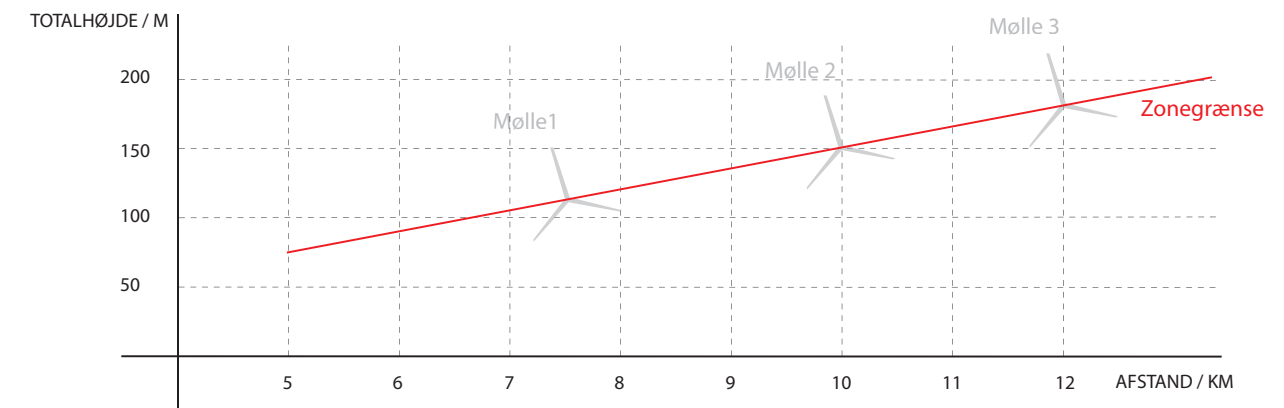
Ved placering af vindmøller på havet vil definitionerne for havvindmøller som udgangspunkt være gældende. Der kan dog være enkelte situationer i forbindelse med placering af kystnære havvindmøller, hvor det vil være relevant at anvende definitionerne for landmøller til vurdering af vindmøllernes visuelle påvirkning. Det kan eksempelvis være situationer, hvor modstående kyster er meget synlige, og der herved opstår visuel indblanding fra andre landskabselementer.

## VISUALISERINGER

I det følgende er vist visualiseringer for afstande på 2, 4, 6 og 12 km ved en åben kystlinje og med alle tre møllemodeller, som er udgangspunktet i denne rapport.



Diagrammet viser sammenhængen mellem møllehøjderne og zonegrænsen mellem nærzonen og mellemzonen for landmøller.



Diagrammet viser sammenhængen mellem møllehøjderne og zonegrænsen mellem mellemzonen og fjerntonen for landmøller.

Mølletype	Nærzone		Mellemzone		Fjerntone	
	Landmøller	Havmøller	Landmøller	Havmøller	Landmøller	Havmøller
<b>1: 2,3 MW (totalhøjde 110 m)</b>	0 – 3,5 km	0 – 8 km	3,5 – 7,5 km	8 - 19 km	Over 7,5 km	Ikke relevant
<b>2: 3,6 MW (totalhøjde 150 m)</b>	0 – 4,5 km	0 – 11 km	4,5 – 10 km	10,5 – 24 km	Over 10 km	Ikke relevant
<b>3: 6,0 MW (totalhøjde 180 m)</b>	0 – 5,5 km	0 – 13 km	5,5 – 12 km	13 – 27,5 km	Over 12 km	Ikke relevant

Skemaet viser de anbefalede zonegrænser for de 3 møllemodeller i afstande, der gælder for landmøller og havvindmøller.





Møllemodel 1 - **110 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **2 KM**



Møllemodel 1 - **110 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **4 KM**



Møllemodel 1 - **110 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **6 KM**



Møllemodel 1 - **110 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **12 KM**



Møllemodel 2 - **150 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **2 KM**



Møllemodel 2 - **150 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **4 KM**



Møllemodel 2 - **150 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **6 KM**



Møllemodel 2 - **150 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **12 KM**





Møllemodel 3 - **180 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **2 KM**



Møllemodel 3 - **180 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **4 KM**



Møllemodel 3 - **180 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **6 KM**



Møllemodel 3 - **180 METER** totalhøjde

Afstand til nærmeste mølle - **12 KM**

## Visuelle vurderinger

### VISUALISERINGER I FORSKELLIGE TERRÆNHØJDER

Opfattelsen af møllernes geometriske orden er stor set uændret uanset, om man befinder sig i en kote 20 eller 50. Dermed kan det generelt konkluderes, at opstillingsmønsteret af en vindmøllepark opfattes stort set ens, uafhængigt af om parken betragtes fra højt beliggende terræn eller fra selve strandkanten nær havoverfladen.

Den mest markante forskel er horisontlinjen, der visuelt set befinder sig nær midten af tårnet ved kote 50 og et stykke længere nede ved kote 20. Ved 6 km afstand vil forskellen i horisontlinjens placering i forhold til mølletårnene stadig være forskellig, men noget vanskeligere at observere ved de to koter. Visuelt syner vindmølleparken lidt mindre jo længere horisontlinjen befinder sig oppe ad vindmøllens tårn. Synligheden af mølleparker vurderes derfor at være lidt større når den betragtes fra stranden i en lav terrænkote end fra eksempelvis en klint i en meget høj terrænkote.

### VISUALISERINGER AF HØJDER OG AFSTANDE

De visuelle undersøgelser af de tre møllemodeller på 110, 150 og 180 meter er i det foregående undersøgt for afstande på 2, 4, 6 og 12 km.

For den mindste mølle på 110 meter er den landskabelige påvirkning stor, set fra både 2 og 4 km afstand. Fra 6 km afstand opleves møllerne stadig tydeligt, men dog knap så markante som set fra 2 og 4 km afstand. Ved 12 km afstand virker møllerne meget lidt dominerende med en begrænset udstrækning og højde i horisonten. I forhold til konsekvenszonedefinitionen for havvindmøller stemmer disse forhold godt overens med observationerne, da visualiseringerne ved 2, 4 og 6 km ligger i nærzonen, defineret som en zone med stor visuel påvirkning og visualiseringen fra 12 km ligger i mellemzonen med en generel mindre landskabelig påvirkning.

For den mellemste mølle på 150 meter, viser visualiseringerne tydeligt møllens større skala og udbredelse. Fra 6 km visualiseringen er møllerækkens udstrækning stadig større end synsvinklen på den pågældende visualisering, og møllerne fylder derved hele horisonten. Til trods herfor opleves møllerne knap så markante som set fra 2 og 4 km afstand. Ligesom for 110-meter møllen viser visualiseringen fra 12 km, at møllerne her virker noget mindre dominerende til trods for, at de er større i udstrækningen og i højden end 110-meter møllen. Zonegrænsedefinitionen stemmer også godt overens i dette tilfælde, da 2, 4 og 6 km visualiseringerne viser nærzone-situationer og 12 km visualiseringen viser en mellemzonestituation.

Den sidste og største mølletype - 180 meter møllen - er klart den mest visuelt dominerende i kraft af dens højde og udbredelse i horisonten. Selv fra 12 km afstand er møllernes påvirkning på landskabet relativt stor. Grænsen til mellemzonen for den pågældende møllestørrelse er ca. 13 km og samtlige fire visualiseringsafstande befinder sig dermed i nærzonen.

Samme forhold mellem betragtningsafstanden og møllestørrelsen vil give samme synlighed. Eksempelvis vil 110 meter møllen på 8 km afstand fremstå med samme højde sammenlignet med 150 meter møllen placeret på 10½ km afstand og 180 meter møllen placeret på 13 km afstand (se grafen side 15). Dog vil store vindmøller på lang afstand være mindre synlige under disede vejrforhold i forhold til mindre vindmøller set fra kortere afstande.

# Opstillingsmønstre

Opstillingen af en havmøllepark kan være et markant synligt element i landskabet. Et vellykket samspil mellem møllepark og omgivelser afhænger af, om man kan finde frem til opstillingsmønstre, der kan indpasses i landskabet. Opstillingen skal være udtryk for en orden, der ikke kun udviser de eksisterende landskabelige forhold men derimod er med til at definere oplevelsen af en ny landskabelig struktur.

## OPSTILLINGSMØNSTRE

Kystnære havvindmølleparker vil bestå af færre møller end havvindmøller placeret længere ude. De kystnære møller vil generelt være mindre og gruppen vil omfatte et mindre areal. Opstillingsmønstret vil afhænge af det landskab, møllerne skal indpasses i. Denne rapport tager udgangspunkt i to opstillingsmønstre - én lige række samt en park med tre rækker.

For en park med færre end 10 møller er enkelt-rækken generelt den mest simple opstilling. Enkeltrækken er stort set altid let opfattelig som struktur, i modsætning til alternative opstillingsmuligheder, der typisk har vinkler med 'svage punkter', hvor møllerne vil fremstå visuelt komplekst. I de visuelle undersøgelser i denne rapport, anvendes en linjeopstilling med 8 møller.

For en park med mere end 10 møller, kan det være hensigtsmæssigt at placere møllerne i flere rækker, afhængigt af stedet og det samlede antal. I de visuelle undersøgelser for denne rapport anvendes en parkopstilling med 24 møller på 3 rækker med 8 møller i hver række.

I praksis vil man ofte vælge at placere mølle-rækkerne helt eller delvist vinkelret på kysten (se eksempelvis fotoet fra Samsø). I denne rapport er mølleparkerne imidlertid placeret parallelt med kysten, med henblik på at vise "worst case" set herfra.

At der er taget udgangspunkt i lineære og rektangulære opstillingsprincipper er primært for at belyse de visuelle konsekvenser på et sam-

menligneligt grundlag. Det udelukker dog ikke, at det på konkrete lokaliteter kan være hensigtsmæssigt at anlægge med andre opstillingsmønstre - med udgangspunkt i det enkelte steds potentiale.

## Oplevelsen af havmølleparker

Oplevelsen af kystnære havmølleparker afhænger af, hvorfra man betragter dem, og hvordan man bevæger sig i forhold til dem. Det er væsentligt at vurdere det æstetiske samspil mellem mølleopstilling og omgivelser ud fra situationer, som svarer til den måde, vi bruger kystlandskabet og havet på.

### BEVÆGELSESMØNSTRE

En havmøllepark opleves først og fremmest fra strandkanten. Stranden er et oplagt udfugtsmål for mange folk, og derfor er fotostandpunkter herfra mest relevante i henhold til at vurdere opstillingsmønstre for vindmølleparker. Det kan være steder, hvor afstand mellem nærmeste mølle og kystlinjen er kortest, eller steder på kystlinjen, som mølleparkens midtpunkt befinder sig ud for.

Når man bevæger sig langs med kysten, vil man samtidig opleve havmølleparken fra mere uhensigtsmæssige synvinkler, hvor parkens geometriske opstilling er svær at opfatte.

Det er væsentligt, at opstillingsmønstre for havmølleparker både kan give en særlig oplevelse fra bestemte standpunkter og samtidig fungere i samspil med landskabet fra de mindre attraktive synsvinkler.

### OPLEVELSE OG PLACERING I TERRÆN

Der er ikke væsentlig forskel på terrænmæssigt at bevæge sig på stranden eller i de bagvedliggende klitter i forhold til oplevelsen af en kystnær havmøllepark (jf. afsnittet om placering i terræn på side 10 og 11).

Udsigten mod parken kan betragtes som et snit gennem opstillingen, hvor man ikke kan overskue den samlede opstilling; dels fordi den arealmæssige udbredelse er stor, og dels fordi beskueren befinder sig i et frøperspektiv i forhold til vindmøllerne. Selv på særlige udsigtspunkter meget højt i terrænet ændrer dette forhold sig ikke væsentligt.

### SÆRLIGE OPLEVELESSESITUATIONER

Oplevelsen af en havmøllepark set fra luften er kun mulig i forbindelse med luftfartstrafik. I forhold til antallet af mennesker, der rent faktisk oplever et opstillingsmønster fra et fly, må det visuelle udtryk af en havmøllepark set fra luften anses for mindre væsentligt.

Fra skibe på vandet opleves havmølleparker som et snit fra forskellige vinkler, der er sammenligneligt med oplevelsen fra kystlinjen. Det kan eventuelt være relevant at belyse opstillingsmønstre fra eksempelvis færgeruter, ligesom områder med megen lystsejls kan have en vis oplevelsesmæssig betydning. I forhold til dette kan man trække på sammenlignelige visualiseringer set fra land.

## REKTANGULÆRT GRID

Den rektangulære møllepark er et typisk opstillingsmønster, som har en umiddelbar logisk sammenhæng.

Rækkeopstillinger, der befinder sig ud for beskueren, opfattes tydeligt, men til gengæld er det svært at opfatte den overordnede grid-opstilling. I størstedelen af parkens udbredelse vil bagvedliggende rækker blande sig med foranliggende på tværs af mønstret, og de krydsende linjer kan - set fra visse vinkler - delvist udviske formen.

Oplevelsen af et grid-mønster er således en blanding af orden, hvor man kan se ned gennem rækkerne og uorden, hvor rækkerne influerer indbyrdes.



Standpunkt 1

150 meter høje møller opstillet i rektangulært grid set vinkelret på rækken



Standpunkt 2

150 meter høje møller opstillet i rektangulært grid set i en 15 grader vinkel



Standpunkt 3

150 meter høje møller opstillet i rektangulært grid set i en 25 grader vinkel



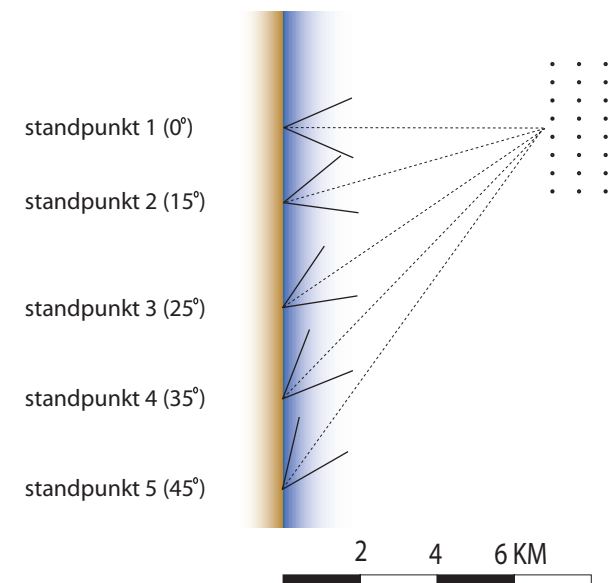
Standpunkt 4

150 meter høje møller opstillet i rektangulært grid set i en 35 grader vinkel



Standpunkt 5

150 meter høje møller opstillet i rektangulært grid set i en 45 grader vinkel



## LINJEOPSTILLINGER

En opstilling i enkeltrækker er det mønster, der visuelt set er lettest at opfatte og som udgangspunkt har den mest velfungerende sammenhæng med landskabet.

For større parker med et stort antal møller vil en linjeopstilling blive lang og derved være synlig over en lang strækning langs kysten. Her kan en opstilling i flere rækker eventuelt være et bedre alternativ.

Til gengæld er enkeltrækker mest anbefalelsesværdige for mindre mølleparker, hvor opstillingen kan indgå i et fint samspil med det omgivende landskab.

Som alternativ kan rækken opstilles i bueform med 5 eller flere møller i parken. Forskellen er dog ikke væsentlig fra en ret linje, og det er derfor nærmere et spørgsmål om en oplevelsesmæssig værdi set fra prioriterede standpunkter, der kan afgøre hvorvidt der opstilles i et buet forløb. Hvis nærmere undersøgelser viser mulighed for at opleve et velfungerende bueforløb fra prioriterede standpunkter, så kan denne opstilling være en god mulighed, der kan give en særlig landskabelig oplevelse.



Standpunkt 1

150 meter høje møller opstillet på linje set vinkelret på rækken



Standpunkt 2

150 meter høje møller opstillet på linje set i en 15 grader vinkel



Standpunkt 3

150 meter høje møller opstillet på linje set i en 25 grader vinkel



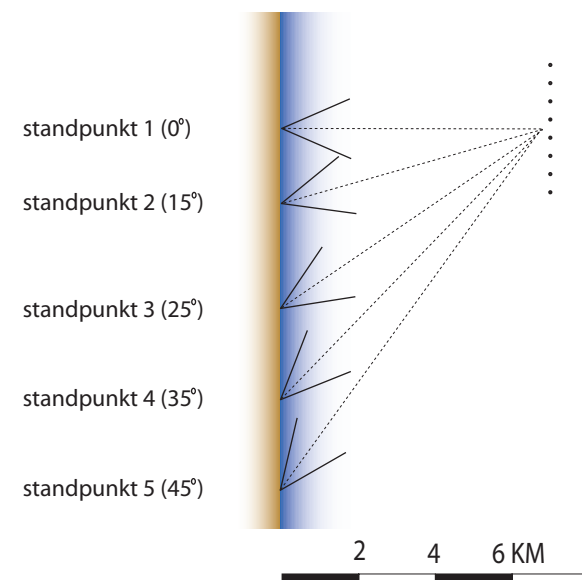
Standpunkt 4

150 meter høje møller opstillet på linje set i en 35 grader vinkel



Standpunkt 5

150 meter høje møller opstillet på linje set i en 45 grader vinkel





## Opstillinger ved tekniske anlæg

Større tekniske anlæg langs kystlinjen skaber særlige landskabssituationer. Når landskabet bliver domineret af tekniske anlæg, opfattes kystlandskabets oprindelige karakter ikke længere som det primære, derimod bliver karakteren af de tekniske anlæg i forhold til omgivelserne afgørende for landskabsoplevelsen.

Kystnære havvindmøller kan med fordel indgå som en del af sådanne tekniske landskaber ved vandet, eksempelvis ved større industrihavne, broer og kraftværker. Her kan møllerne visuelt supplere det eksisterende anlæg, og samtidig friholde andre mere udsatte kystlandskaber for vindmøller.

### TEKNISKE LANDSKABER OG ÆSTETIK

Det kan have betydning, at de tekniske anlæg både vertikalt og horisontalt har en størrelse, der skalamæssigt kan matche havvindmøllerne. Selv om der er tale om et teknisk landskab, vil samspillet mellem havvindmøller og de tekniske anlæg have en væsentlig visuel indflydelse. Vindmølleparker kan udformes således, at de tilpasses et bestemt teknisk anlægs karakter. Under sådanne hensyn vil møller placeret tæt ved tekniske anlæg ofte kunne indpasses, uden at den visuelle påvirkning af omgivelserne øges væsentligt.

### SÆRLIGE HENSYN

Det er nødvendigt at tage særligt hensyn til trafikruter, især omkring havneanlæg, hvor placering af vindmøller ikke må være til gene for skibstrafikken, men der er typisk flere opstillingsmuligheder i denne sammenhæng.

Overordnet set er der således gode muligheder for indpasning af kystnære havvindmøller i tæt forbindelse med tekniske anlæg, hvis opstillingen kan indpasses i det eksisterende trafiknet.

### EKSEMPLER

På de følgende sider er vist eksempler på eksisterende vindmøller ved forskellige typer af tekniske anlæg som broer, havne og kraftværker. Der er vist eksempler fra Storebæltsbroen, Middelgrunden og Frederikshavn Havn.

### *Storebæltsbroen*

Ved Storebæltsbroen er placeret syv 125 meter høje vindmøller parallelt med østbroen med en afstand til broen på op til ca. 1,5 km og ca. 900 meter fra kysten på Sprogø. Fra broen fremstår møllerne tydelige, men er underlagt andre elementer i forbindelse med broen (wirer, køreledninger, bropiller mm.). Visuelt supplerer de to anlæg hinanden fint, og vindmøllernes geometriske opstilling på en lang række fungerer visuelt fint med broens udstrækning.

### *Middelgrunden*

Vindmølleparken ved Middelgrunden består af 20 stk. vindmøller med en totalhøjde på hver 102 meter, opstillet på en svagt buet række fra lidt over 1 km ud for kysten ved København havn. Den samlede udstrækning af rækken er 3,4 km. Havnefronten ved vindmøllerne er præget af industri, boliger og rekreative områder. Udbredelsen af rækken er stor, men møllerne virker godt indpasset i havnemiljøets skala uden at være for dominerende. I denne situation vurderes udstrækningen i længderetningen ikke videre problematisk på grund af Københavns havnefronts meget store skala samtidig med, at møllerne er mindre end de møller, som denne rapport omhandler. På samme måde kunne man forestille sig en noget længere møllerække ved Storebæltsbroen, da broens længde lægger op til det. Det er derfor væsentligt at konkludere, at hvert område skal vurderes særskilt i forhold til opstillingsmønstret.

### *Frederikshavn Havn*

Ved Frederikshavn Havn er der opstillet fire vindmøller på hver 125 meter. Møllerne står på kajkanten med havet til den ene side og havnearealer til den anden. Havnen er præget af megen industri, særligt i området syd for møllerne, hvorfor de virker som en naturlig del af havnens øvrige tekniske anlæg - dog som de største elementer, set fra flere vinkler. Nord for møllerne, langs stranden, er området kun begrænset præget af tekniske anlæg, og her virker møllerne mere dominerende.



Fotos fra eksisterende vindmøllepark ved et teknisk anlæg - **STOREBÆLTSBROEN**. De 7 møller, med en totalhøjde på hver 125 meter, er placeret parallelt med øst-broen i en afstand på op til 1,5 km fra broen.



Fotos fra eksisterende vindmøllepark ved et teknisk anlæg - **MIDDELGRUNDEN**. I alt 20 møller, med en totalhøjde på hver 102 meter, er placeret fra ca. 1 km ud for havnen ved København.



Fotos fra eksisterende vindmøllepark ved et teknisk anlæg - **FREDERIKSHAVN HAVN**. De 4 vindmøller, med en totalhøjde på hver 125 meter, er opstillet på havnekajen.

# Sammenfatning

## FORHOLD MELLEM KYSTNÆRE HAVVINDMØLLER OG LANDSKABSTYPER

Det vurderes, at områder i en vis afstand ud for åbne kystområder, sommerhusområder og byer, kan være velegnede til opstilling af kystnære havvindmøller.

Det vurderes, at landskaber med bælt- og sundkyster med synligt modstående land, kan være sårbare overfor opstilling af større kystnære havvindmølleparker.

## KONSEKVENSZONER

Konsekvenszonedefinitionerne for havvindmøller er gældende, når møller placeres på havet. Der kan dog være situationer, hvor det vil være relevant at anvende konsekvenszonedefinitionerne for landmøller til vurdering af vindmøllernes generelle visuelle påvirkning. Eksempelvis ved tekniske anlæg samt for bælt- og sundkyster, hvor modstående kyster er meget synlige, og der herved er visuel indblanding fra andre landskabslementer, når møllerne betragtes over havoverfladen.

## SYNLIGHED

Vindmøller set fra nærzonen på åbent hav, dvs. op til 8-13 km fra kysten afhængig af møllestørrelse, vil opleves tydelige set fra kysten. Mest markante opleves møllerne set fra 2 - 4 km afstand, hvor de fra 6 km afstand generelt virker lidt mindre markante. Set fra mellemzonen, dvs. på længere afstande end 8-13 km fra kysten, afhængig af møllestørrelsen, vil møllerne generelt fremstå tydelige, men noget mindre markante i forhold til landskabet.

## VARIATION I TERRÆN

Det vurderes, at variationen i terræn ikke giver grundlag for at fastlægge forskellige zonegrænser. Visuelt syner vindmølleparken dog lidt mindre jo længere horisontlinjen befinder sig oppe ad vindmøllens tårn. Synligheden af mølleparker vurderes derfor at være lidt større når den betragtes fra stranden i en lav terrænkote end fra eksempelvis en klint i en meget høj terrænkote.

## TEKNISKE ANLÆG

Kystnære byer vil i mange tilfælde være præget af større tekniske anlæg i forbindelse med havnearealer, hvor et begrænset antal møller kan fungere fint i et indbyrdes samspil med de enkelte anlæg. Fotos fra Middegrunden og Storebæltsbroen viser gode visuelle samspil mellem vindmøller og tekniske anlæg.

## OPSTILLINGSMØNSTRE

Det anbefales, at mindre grupper af havvindmøller ved kystnære placeringer opstilles i enkle geometriske mønstre afhængigt af den landskabelige situation således, at der opnås den mest let opfattede orden og visuelle sammenhæng med omgivelserne.

En opstilling i enkeltrækker er det lettest opfattede mønster, hvor møllerne fremstår visuelt adskilte fra næsten alle synsvinkler. For en opstilling i et rektangulært grid er det vanskeligt at opfatte den overordnede grid-opstilling og møllerækkerne vil rode visuelt sammen og virke mere forstyrrende i landskabsbilledet.

Få møller (3 - 10 stk.) bør placeres på en ret linje, hvor det for større parker kan foretrakkes at opstille møllerne i flere rækker for at minimere udstrækningen. Dog kan der her være undtagelser i helt særlige situationer, hvor tekniske anlæg lægger op til en lang udstrækning af vindmøller - eksempelvis Storebæltsbroen og store havnearealer som ved Københavns Havn.

# Kilder

## LITTERATUR

Birk Nielsen (2007): Store vindmøller i det åbne land – en vurdering af de landskabelige konsekvenser. Rapport for Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, Landsplanområdet

Birk Nielsen (2007): Fremtidens havvindmølleplaceringer 2025 - en vurdering af de visuelle forhold ved opstilling af store vindmøller på havet. Rapport for Energistyrelsen

Siemens Windpower, Andreas Nauen: Vejledning til Projektudviklere - Teknisk afstand mellem møller og ønsker til materiale som Siemens Wind Power skal bruge i forbindelse med disse beregninger

## FOTO

Samtlige fotos er optaget af Sweco Architects med undtagelse af fotos side 31 af Ronny Sørensen

## ILLUSTRATIONER

Samtlige illustrationer og visualiseringer er udarbejdet af Sweco Architects