

JANUAR 2022
ENERGISTYRELSEN

OPDATERING AF DELE AF FINSCREENINGEN FRA 2020 SAMT FINSCREENING AF NYT HAVAREAL TIL ETABLERING AF HAVVINDMØLLEPARKER

1-3 VINDRESSOURCE, LAYOUTS OG ENERGIPRODUKTION FOR NORDSØEN 1,
HESSELØ, KATTEGAT 2 OG KRIEGERS FLAK 2

COWI

JANUAR 2022
ENERGISTYRELSEN

OPDATERING AF DELE AF FINSCREENINGEN FRA 2020 SAMT FINSCREENING AF NYT HAVAREAL TIL ETABLERING AF HAVVINDMØLLEPARKER

1-3 VINDRESSOURCE, LAYOUTS OG ENERGIPRODUKTION FOR NORDSØEN 1,
HESSELØ, KATTEGAT 2 OG KRIEGERS FLAK 2

PROJEKTNR.

A235631

DOKUMENTNR.

A235631-1-3

VERSION

3.0

UDGIVELSESDATO

06-01-2022

BESKRIVELSE

Del-rapport

UDARBEJDET

GNLO

KONTROLLERET

GEMN

GODKENDT

MUAI

INDHOLD

1	Indledning	7
1.1	Delrapportens indhold	8
2	Metode og antagelser	9
2.1	Vindmølletype	9
2.2	Layoutprocessen	10
3	Datagrundlag	12
3.1	Mesoscale modellering	12
3.2	Vindressource	12
4	Potentielle havvindmølleparklayouts	18
4.1	Nordsøen 1	18
4.2	Hesselø	23
4.3	Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2 Nord	26
4.4	Kriegers Flak 2	30
5	Bruttoområder	32
6	Resultater	34
6.1	Flow model	34
6.2	Langtidskorrektion	34
6.3	Tab	35
6.4	Produktionsestimater	36

BILAG

Bilag A Beskrivelse af StormGeos vindmodellering

Bilag B Mesoscale modellering -
Datapunktkoordinater

Bilag C Havvindmølleparklayouts

C.1 Nordsøen 1-layouts

C.2 Hesselø Udvidet Syd layout – HUS1

C.3 Nedskaleret Hesselø layout – HN1

C.4 Hesselø og Kattegat 2 layout – HN1 + KG2

C.5 Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord layout – HN1 +
KF2N

C.6 Kriegers Flak 2 layout (KF2N og KF2S)

Bilag D Bruttoområder

D.1 Nordsøen 1

Bilag E Yderligere layoutkoncept

E.1 Nedskaleret Hesselø-område (1005 MW)

E.2 Kattegat 2 (1005 MW)

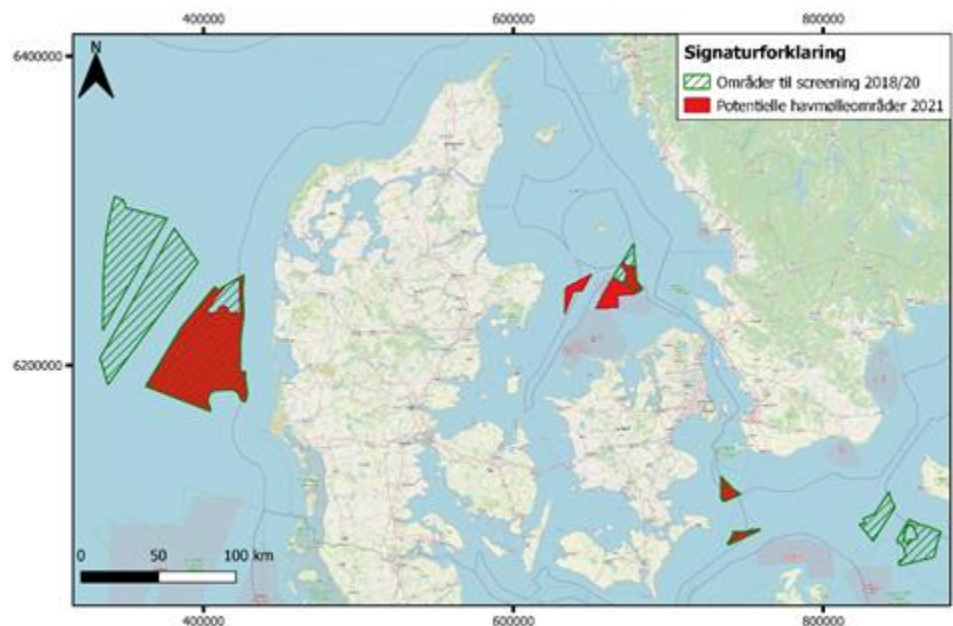
1 Indledning

Energistyrelsen har i 2019 gennemført den såkaldte 10 GW screening som opfølgning på energiaftalen fra 2018. På den baggrund har Energistyrelsen udvalgt fem forskellige projektområder (projektområde A-E) (Figur 1-1) fordelt på 6 underområder, til opstilling af havvind, som i denne undersøgelse finscreenses. Alle områder undtaget Hesselø Udvidet Syd er indmeldt til havplanen til VE.

De fem projektområder med direkte forbindelse til land inkluderer:

- > Projektområde A: 'Nedskaleret Hesselø' + 'Hesselø udvidet syd' (373 km²)
- > Projektområde B: 'Nedskaleret Hesselø' + 'Kattegat 2' (248 km²)
- > Projektområde C: 'Nedskaleret Hesselø' + 'Kriegers Flak 2 Nord' (224 km²)
- > Projektområde D: 'Kriegers Flak 2 Nord' + 'Kriegers Flak 2 Syd' (174 km²)
- > Projektområde E: 'Nordsøen 1' (2901 km²).

Formålet med screeningen er dels at bekræfte, at det er praktisk muligt at etablere havvindmølleparker i de angivne områder, dels at levere økonomiske beregninger og rangordne vindmølleparkerne herefter. Beregningerne belyser økonomien i forbindelse med etableringen af vindmølleparker på de identificerede placeringer ved at tage højde for miljø- og planmæssige forhold, havbundsforhold, vindressource, layouts og energiproduktion samt elektriske systemer.



Figur 1-1: Overblik over det samlede område for undersøgelsen, med projektområderne A-E, beskrevet i teksten ovenfor.

Screeningsopgaven består i at opdatere de områder, som var omfattet af finscreeningerne i 2018 og 2020 med henblik på at inddrage eventuel ny data og viden og ændrede økonomiske forudsætninger samt at finscreene to nye områder, Kattegat 2 og Hesselø udvidet syd.

Både finscreeningen i 2018 og 2020 er gennemført af COWI på bestilling af Energistyrelsen og er et væsentligt element i beslutningen om placering af ny havvind.

Finscreeningen i 2020 bidrog til, at det i 2020 kunne beslutte at park 2 fra Energifaftalen 2018 skulle placeres i området ved Hesselø. Foreløbige forundersøgelser af havbunden viser imidlertid, at især den nordlige og vestlige del af sitet kan være mindre velegnet til opstilling af havvind, da der er fundet blød lerbund i særligt de øverste 20-30 meter under havbunden. Parallelt med at konsekvenserne af havbunden undersøges, afsøges alternative placeringer for etablering af Park 2 som kan bringes i spil, hvis Hesselø ikke kan etableres som forudsat.

1.1 Delrapportens indhold

Denne rapport beskriver opdateringen af finscreeningen af projektområderne A-E med hensyn til vindressourcen. Delrapporten indeholder endvidere potentielle layouts for hvert område samt tilhørende energiproduktion. *Tablet 1-1* er en oversigt over hovedrapporten og delrapporterne. Delrapporten skal sammenholdes med konklusioner og anbefalinger fra de andre delrapporter.

Tablet 1-1: Oversigt over hele finscreeningens hovedrapport og delrapporter

Hovedrapport
1-0 Finscreening af havarealer til etablering af nye havmølleparker med direkte forbindelse til land.
Delrapporter
1-1 Havbundsscreening for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2
1-2 Miljø -og planmæssige forhold for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2
1-3 Vindressource, layouts og energiproduktion for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2
1-4 Elektriske systemer for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2
1-5 Økonomisk ranking af Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2

2 Metode og antagelser

For at fastlægge udgangspunktet for placeringen af havvindmøllerne er der taget udgangspunkt i delrapporterne for miljø- og planmæssige forhold (delrapport 1-2) samt havbund og geologiske forhold (delrapport 1-1). I disse rapporter er der foretaget en screening af de udvalgte områder for at fastlægge, hvilke dele af Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2 der bedst egner sig til opførelse af en havvindmøllepark. Som konklusionen i rapporterne viser, er der ingen områder, som er udelukket, dog varierer egnetheden af områderne.

For at fastlægge udgangspunktet for placeringen af havvindmøllerne, er der taget udgangspunkt i de af Energistyrelsen udpegede områder. Derudover er vindressourcen og den elektriske infrastruktur inddraget i designlayoutet.

2.1 Vindmølletype

Parklayoutet baseres på en 15 MW vindmølle, som vurderes at være et realistisk bud på møllestørrelse anvendt til havvindmølleparker installeret før år 2030. Da udviklingen af havvindmøller går meget hurtigt, forventes det, at 15 MW vindmøller er en realistisk vindmøllestørrelse for fremtidige havvindmølleparker. Den udvalgte havvindmølle til dette formål er Vestas V236-15MW. Ifølge Vestas forventes den første V236-15.0 MW prototype at blive installeret i 2022, mens serieproduktion er planlagt til 2024.

Havvindmøllen har en navhøjde på 150 m og en rotordiameter på 236 m, så den maksimale tiphøjde bliver 268 m og frihøjden 32 m ift. havniveau. Navhøjden på 150 m tilbydes i dag kommercielt på GE Haliade-X 12 MW og SG 14-222DD havvindmølleplatforme, hvilket giver vished for, at strukturfrekvensen kan håndteres.

Da der anvendes samme vindmølletype for alle områder i denne screening, vil selve mølletypen ikke have nogen indvirkning på, hvordan de enkelte områder rangordnes forholdsvis.

Udvælgelsen af vindturbine-modellen til denne undersøgelse afspejler ingen godkendelse af en specifik model eller producent, og det anbefales, at andre vindturbine modeller også overvejes i fremtidige faser af projektevalueringen. Den valgte model illustrerer dog den potentielle ydeevne.

2.2 Layoutprocessen

Det er bestemt, at den nye vindmøllepark skal være på 1 GW installeret effekt. Da der er anvendt en 15 MW vindmølle, betyder det, at hvert layout består af 67 vindmøller (dvs. 1005 MW¹).

De grundlæggende forudsætninger for layoutprocessen er fastlagt i opgavebeskrivelsen:

- > En parkstørrelse på 1 GW
- > En effekttæthed på 4,55 MW/km² (dvs. et arealbehov på 0,22 km²/MW)^{2 3}

De undersøgte områder og havvindmølleparkens layout er skitseret i Tabel 2.

Baseret på ovenstående forudsætning samt information for layout, og sammenholdt med resultaterne fra rapporterne vedr. miljø- og planmæssige forhold samt havbund og geologiske forhold har COWI udarbejdet forskellige potentielle layouts. Som udgangspunkt placeres møllerne optimalt i forhold til hovedvindretningen under hensyntagen til miljø- og havbundsforhold. De mulige layouts er derpå lagt symmetrisk ud fra en betragtning om visibilitet og hensyntagen til kabellægning.

Der gøres opmærksom på mulige eksterne skyggeeffekter i undersøgte layouts (eks. Kriegers Flak 2), men medtages ikke i beregningerne.

Afstande mellem møllerne baseres på en forudsætning om, at skyggetab (*wake loss*) skal være mindre end 6%.

¹ Undtagen Kriegers Flak - 68 havvindmøller og i alt 1020 MW

² I de layouts hvor det totale areal ikke muliggør opstilling af 1 GW med en effekttæthed på 4,55 MW/km² er denne øget.

³ 0,22 km²/MW svarer til et område på 220 km², når der opstilles 1000 MW.

Tabel 2: Oversigt over alle undersøgte vindmølleparklayouts

Projekt-områder (rød farve i Figur 1-1)	Site navn	Scenarie	Layout	Kapacitet [MW]	Mølle-type [MW]	Antal møller
Område A	Hesselø Udvidet Syd + Nedskaleret Hesselø	1	HUS1	1005	15	67
		2	HN1	1005	15	67
Område B	Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2	3	HN1 + KG2	510 + 495	15	67
Område C	Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord	4	HN1 + KF2N	510 + 510	15	68 ⁴
Område D	Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd	5	KF2N + KF2S	540 + 465	15	67
Område E	Nordsøen 1 NS1	6	NS1	1005	15	67
	Nordsøen 1 NS2	7	NS2	1005	15	67
	Nordsøen 1 NS3	8	NS3	1005	15	67

⁴ For at optimere arbejdsindsatsen er KF2N layoutet fra Område D genbrugt i Område C, dog er den østligste række med kun 2 møller fjernet. Denne tilpasning af Område D gennemføres uden genberegning af hele området. Det efterlader en ekstra mølle i layout C, men rationalet er, at en ekstra mølle ikke influerer LCoE, da den ekstra omkostning modsvares af ekstra produktion.

3 Datagrundlag

3.1 Mesoscale modellering

Mesoscale modellering er en anerkendt og "state-of-the art" metode til at fastlægge vindressourcen, når målinger ikke er tilgængelige.

COWI foretog i 2014 en validering af mesoscale vinddata for kystnære projekter i Danmark⁵. Disse data blev leveret af StormGeo A/S (underrådgiver til COWI A/S), som er højt specialiserede inden for metocean forecasting og hindcasting til bl.a. offshore- og vindindustrien. Valideringen blev udført på baggrund af eksisterende målinger fra otte meteorologiske master, som står både til havs og på land. Konklusionen fra valideringen var, at de genererede mesoscale data er i så god overensstemmelse med egentlige målinger, at de kan anvendes til at fastslå en acceptabel usikkerhed med at bestemme vindressourcen for danske havvindmølleprojekter.

COWI har derfor benyttet data fra samme model som i ovenstående validering til at fastlægge vindressourcen i de tre områder. StormGeo benytter WRF⁶ mesoscale modelleringen, med en række implementerede forbedringer.

Hvert udtrukket datapunkt fra mesoscale modellen, som repræsenterer en given position, indeholder vindhastighed, vindretning, temperatur og atmosfærisk tryk i højderne 40, 60, 80, 100, 120 og 140 m. Antallet af udtrukne punkter varierer afhængig af de udvalgte områders størrelse og udformning. I Tabel 3 kan antallet af valgte punkter for hvert af de tre områder ses.

Tabel 3 Antal mesoscale punkter for hvert område.

Område	Antal punkter
Nordsøen	5
Hesselø	4
Kriegers Flak	4

Ud over de to års mesoscale data, er der benyttet 20 års EMD ConWx data til at langtidskorrigere de estimerede produktionstal. Mesoscale koordinater kan ses i Bilag B.

3.2 Vindressource

I dette afsnit beskrives vindressourcen for de tre områder listet i Tabel 3. Vindressourcen estimeres ved hjælp af parametre som aritmetisk vindhastighed, den fremherskende vindretning og Weibull. Disse er baseret på den timelige to-årige simuleringsperiode (dvs.: 01-09-2011 til 31-08-2013). Weibull-funktionen er en analytisk kurve, der beskriver vindhastighedens frekvensfordeling i specifikke

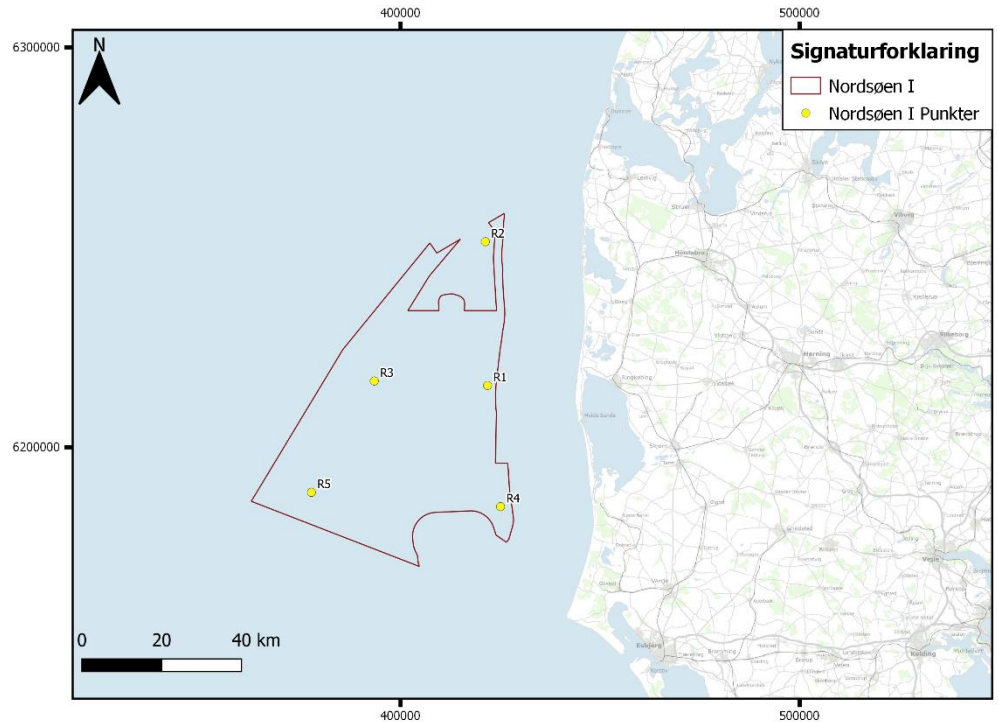
⁵ Six nearshore wind farms, study related to wind resource, Validation report, November 2014 for Energinet

⁶ Weather and Research Forecasting, se Bilag A.

vindhastighedsområder ved hjælp af to parametre. **A** er en skala-parameter relateret til aritmetisk vindhastighed (dvs. en højere A-parameter angiver relativt flere timer med høj vind), mens **k** er relateret til fordelings bredde.

3.2.1 Nordsøen 1

Ved det største område, Nordsøen 1, er der udvalgt fem punkter, hvor der er trukket data fra mesoscale modellen (se Figur 3-1). De fem punkter blev valgt, så de dækker området bedst muligt både i forhold til længdegrad og breddegrad.



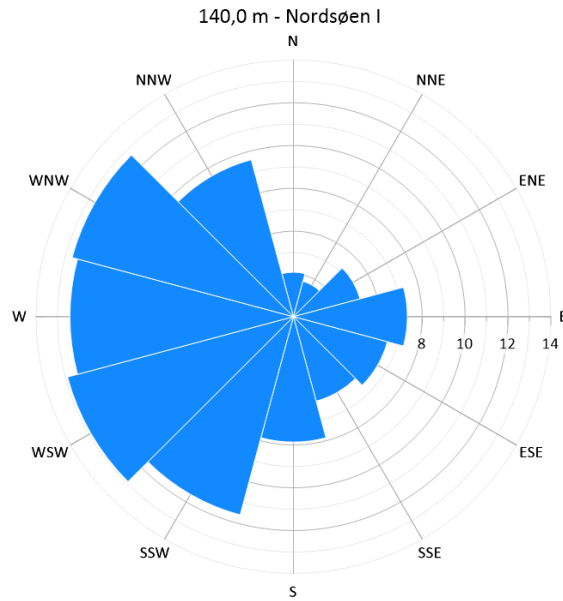
Figur 3-1: Datapunkter i området ved Nordsøen 1.

I Tabel 4 vises den modellerede aritmetisk vindhastighed, samt de tilhørende Weibull parametre for de fem punkter. Vinden varierer 2,0% hen over området, hvor der observeres højere vindhastigheder væk fra kysten.

Tabel 4: Aritmetisk vindhastigheder og Weibull-parametre for datapunkter ved Nordsøen, 140 m over havet.

	R1	R2	R3	R4	R5
Aritmetisk vindhastighed [m/s]	10,40	10,46	10,50	10,29	10,47
Weibull A [m/s]	11,78	11,84	11,83	11,66	11,82
Weibull k [-]	2,313	2,299	2,264	2,314	2,279

Den modellerede vindretning er overvejende ens for de fem punkter. Figur 3-2 (punkt R3) viser, at hovedvindretningen ved Nordsøen 1 er fra vestsydvest til vestnordvest.

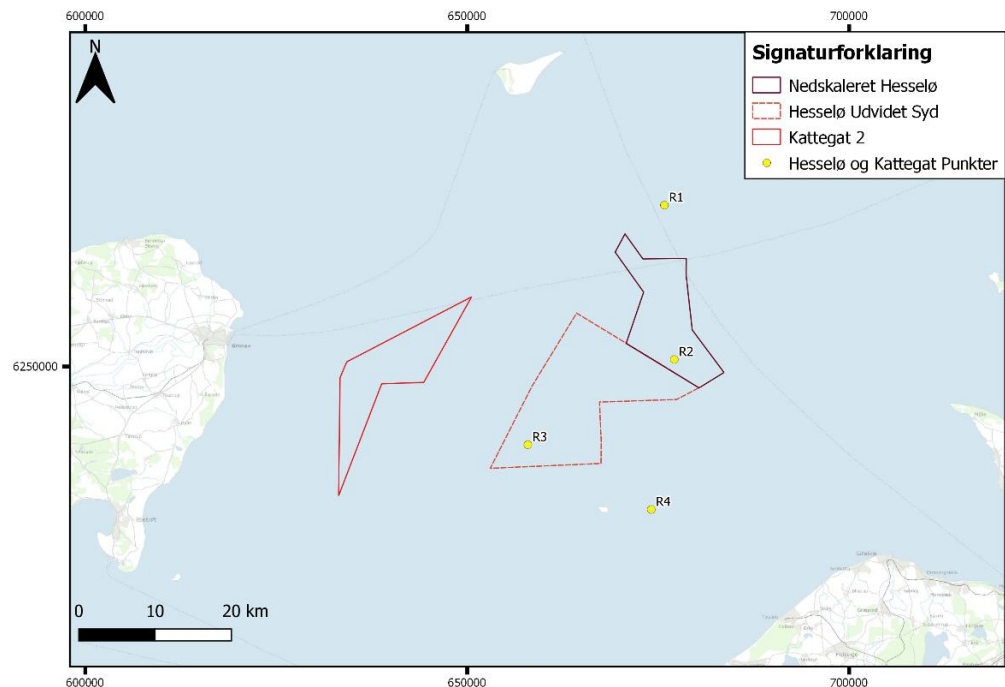


Figur 3-2: Frekvens-vindrose ved Nordsøen 1, punkt R3.

3.2.2 Hesselø og Kattegat 2

Ved Hesselø og Kattegat 2 er der udvalgt fire punkter i tidligere undersøgelser (se Figur 3-3). Det nedskalerede Hesselø er mindre sammenlignet med Hesselø områder fra finscreeningerne fra 2018 og 2020.

På grund af den korte afstand til Hesselø og forholdsvis ens vindressource, blev det besluttet, at der ikke skulle udtages yderligere datapunkter til Kattegat 2-området. Af den grund blev datapunkter fra Hesselø anvendt til estimatet over vindressource og energiproduktion.



Figur 3-3: Datapunkter i området ved Hesselø og Kattegat 2.

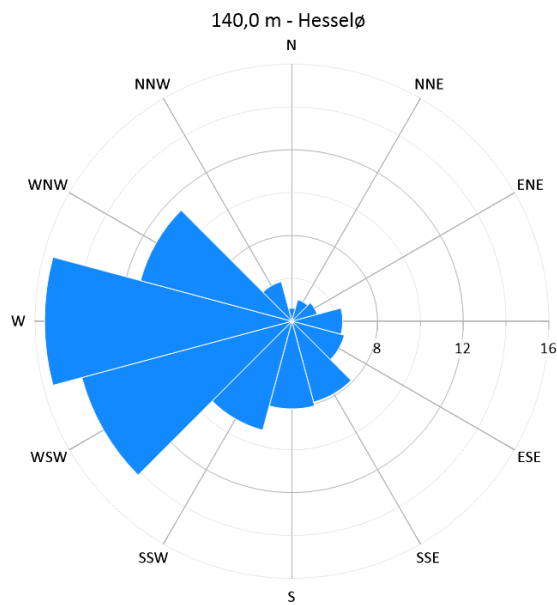
I Tabel 5 vises den modellerede aritmetiske vindhastighed samt de tilhørende Weibull-parametre for de fire punkter. Her kan det ses, at vinden kun varierer 2,1 % hen over området, idet området ligger minimum 30 km fra nærmeste kyst og er ligeligt eksponeret for vind kommende fra hovedvindretningerne.

Tabel 5: Aritmetisk vindhastigheder og Weibull-parametre for datapunkter ved Hesselø, 140 m over havet.

	R1	R2	R3	R4
Aritmetisk vindhastighed [m/s]	9,62	9,55	9,75	9,56
Weibull A [m/s]	11,03	10,94	11,19	10,95
Weibull k [-]	2,336	2,328	2,340	2,328

Den modellerede vindretning er overvejende ens for de fire koordinater. Hovedvindretningen ved Hesselø er vestlig, hvilket kan ses på Figur 3-4, som viser den modellerede vindrose fra koordinat R2.

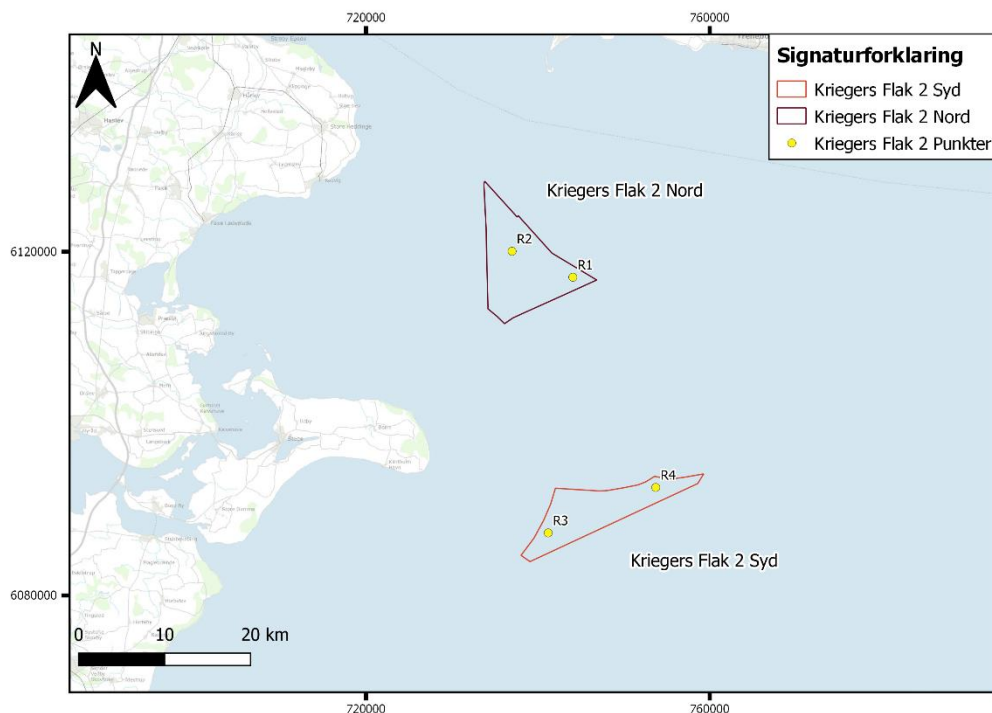
Hesselø er det område, der har den laveste aritmetiske vindhastighed sammenlignet med de øvrige områder. Dette skyldes, at den fremherskende vindretning forstyrres af landområder (Jylland).



Figur 3-4: Frekvens-vindrose ved Hesselø, punkt R2.

3.2.3 Kriegers Flak 2

Ved Kriegers Flak 2 er der udvalgt to punkter i hhv. Kriegers Flak 2 Nord og Kriegers Flak 2 Syd (se Figur 3-5). Som nævnt i finscreeningen fra 2018 blev datapunkter modelleret efter arealjusteringen på grund af opdaterede sejlruiter.



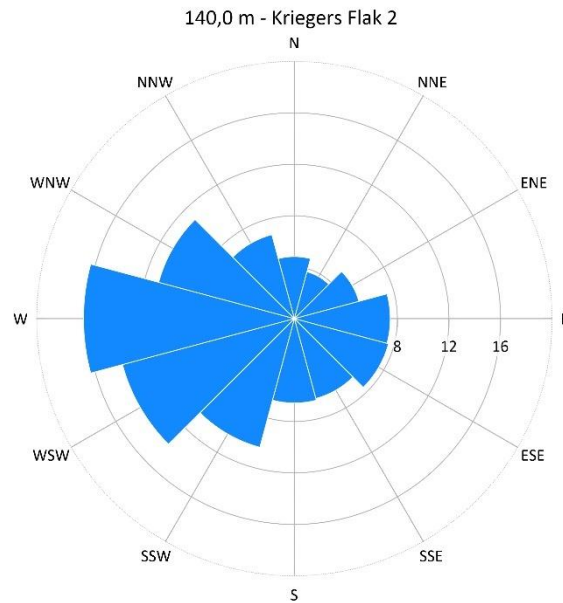
Figur 3-5: Datapunkter i området ved Kriegers Flak 2.

I Tabel 6 vises den modellerede aritmetiske vindhastighed samt de tilhørende Weibull-parametre for de fire punkter. Vinden varierer 0,6 % hen over området. Højeste vindhastigheder forventes ved R1 og R4 pga. den større afstand til land i hovedvindretningen.

Tabel 6: Aritmetisk vindhastigheder og Weibull-parametre for datapunkter ved Kriegers Flak 2, 140 m over havet.

	R1	R2	R3	R4
Aritmetisk vindhastighed [m/s]	9,84	9,79	9,80	9,85
Weibull A [m/s]	11,26	11,20	11,21	11,27
Weibull k [-]	2,348	2,353	2,348	2,323

Den modellerede vindretning er overvejende ens for de fire punkter, og det ses på Figur 3-6, at hovedvindretningen ved Kriegers Flak 2 er fra vest.



Figur 3-6: Frekvens-vindrose ved Kriegers Flak 2, punkt R1.

3.2.4 Vindressourceoversigt

Tabel 7 viser den aritmetiske vindhastighed for de tre områder baseret på de udtrukne mesoscale datapunkter.

Tabel 7: Aritmetisk vindhastighed for de fire områder, 140 m over havet.

Område	Aritmetisk vindhastighed [m/s]
Nordsøen 1	10,42
Hesselø og Kattegat 2	9,62
Kriegers Flak 2	9,82

Weibull-parametrene bekræfter den høje vindressource, der er tilgængelig på disse områder. Værdier for k for lokaliteterne spænder fra 2,32 til 2,35, mens A -værdier spænder fra 10,9 til 11,8 m/s, hvilket indikerer en smallere fordeling og høj vindfordeling og dermed højere energiproduktion.

4 Potentielle havvindmølleparklayouts

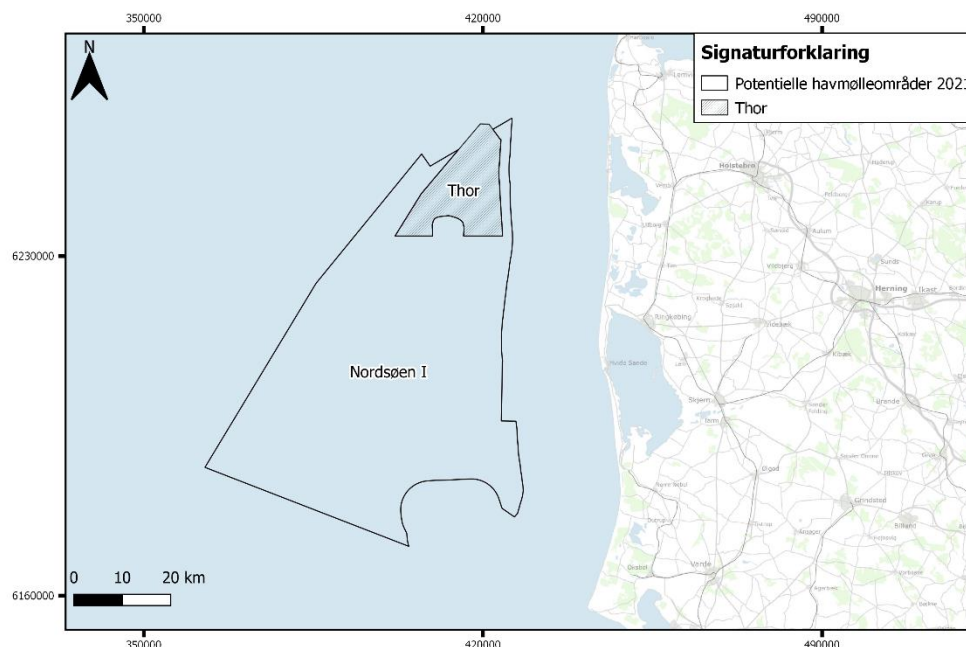
For at fastlægge udgangspunktet for placeringen af havvindmøllerne, er der taget udgangspunkt i kombinationen af forundersøgelingsområdet og de potentielle arealbegrænsninger inden for forundersøgelingsområdet. Det resulterende tilgængelige areal er anvendt til design af layoutet for placeringen af havvindmøller. Derudover er vindressourcen og den elektriske infrastruktur inddraget i designlayoutet.

4.1 Nordsøen 1

Området, som Energistyrelsen har taget i betragtning for Nordsøen 1 er vist på Figur 4-1. Det samlede disponible areal udelukker det areal, der er afsat til Thor havvindmøllepark.

COWI har udført beregninger for at vurdere skyggetabet fra nærliggende parker med en friholdelsesafstand på 6 km. Beregningen viste, at skyggetabet blev øget fra 0,3 % til 0,5 % i forhold til finscreeningen fra 2018. Yderligere analyser med en friholdelsesafstand mellem parkerne på 7,5 km viser, at skyggetabet kan reduceres til 0.3 %.

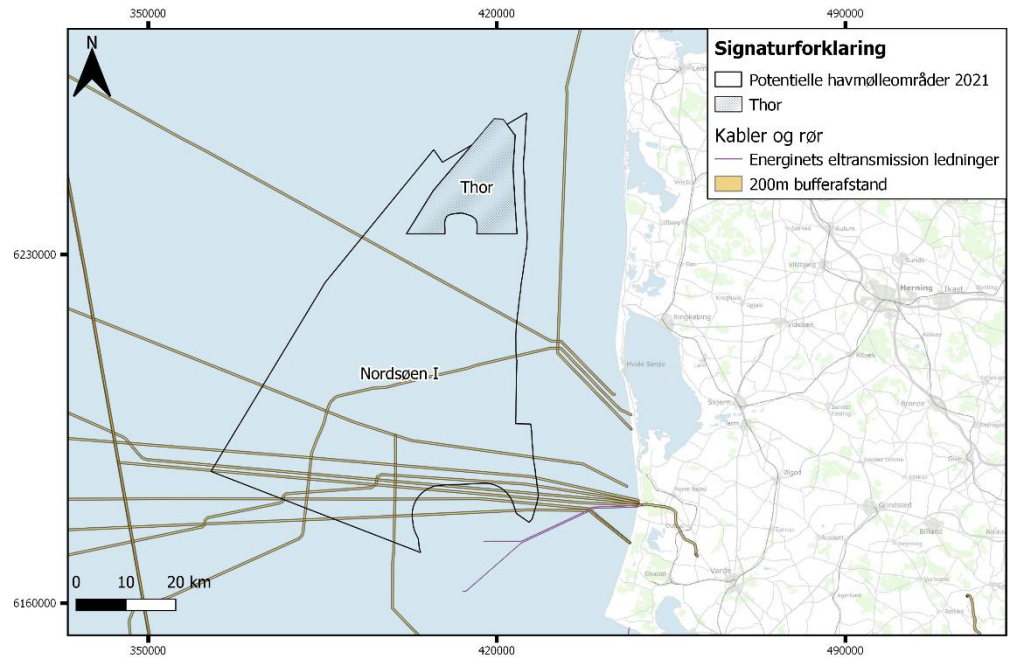
For at sammenligne beregningen fra 2020 med denne undersøgelse, blev det besluttet, at fastholde afstanden mellem havvindmølleparkerne på 7,5 km. Størrelsen af Nordsøen 1 muliggør forøgelse af friholdelsesafstand.



Figur 4-1: Udpeget område ved Nordsøen 1.

Energistyrelsen ønsker mulighed for at placere tre vindmølleparker á 1 GW hver med en friholdelsesafstand på 6km mellem de mulige parker og Thor vindmøllepark. Friholdelsesafstanden er bestemt ud fra at mindske eksterne skyggeeffekter, som parkerne kan påføre hinanden.

En analyse af de planmæssige forhold viser, at der i store dele af den sydlige del af Nordsøen 1 er en række eksisterende og planlagte elkabler og olie-/gasledninger, som skal tilgodeses, se Figur 4-2. Af sikkerhedsmæssige årsager er det et krav, at der anvendes en bufferafstand på 200 m til kabler, olierør og gasrør. Denne bufferafstand begrænser placeringen af havvindmøller i nogle områder og udfordrer placeringen i andre områder med mange installationer på havbunden.



Figur 4-2: Eksisterende og planlagte kabler i og omkring Nordsøen 1.

Bemærk at skyggetabet beregnet med WindPRO kun kan betragtes som vejledende, da den reelle skyggeeffekt kun kan eftervises med CFD⁷- værktøjer og/eller målinger. Tilsvarende gør sig gældende for blokeringseffekter, som eventuelt kan tilgodeses med en tabsfaktor evt. baseret på offentliggjorte artikler⁸.

De valgte layouts kan etableres samtidig eller i forskellige faser, da de ikke er forbundne elektrisk. Miljøscreeningen har vist, at hele området ved Nordsøen 1 er vurderet til at have en lav til middel påvirkning på miljøet, mens størstedelen af området har en lav menneskelig påvirkning. Vurderingen af havbunden viser, at området er fundet velegnet til installation af havvindmøller.

Derudover er vindretningen taget i betragtning, således at der er størst afstand mellem møllerne i hovedvindretningen for at minimere nedstrømseffekter som skyggetab og turbulens.

Koordinater for alle havvindmøllerne i de tre layouts fremgår af Bilag C.1.

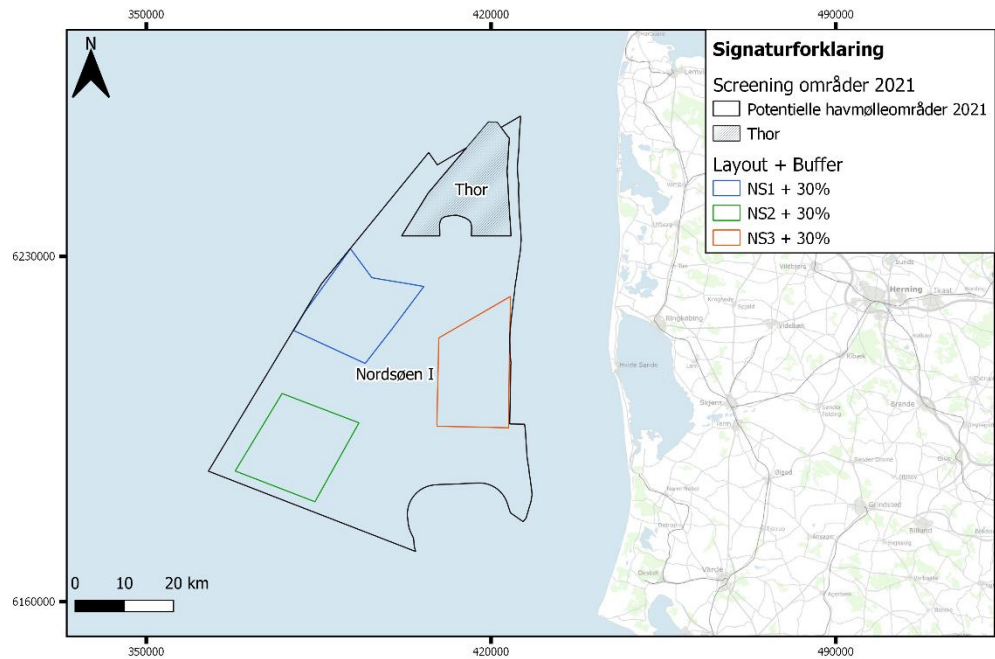
⁷ Computational Fluid Dynamics

⁸ Wind Farm Blockage and the Consequences of Neglecting Its Impact on Energy Production – 20 June 2018

4.1.1 Inddeling af Nordsøen 1 i tre områder

For Nordsøen 1 er der identificeret yderligere tre områder i tillæg til det eksisterende Thor-område, se Figur 4-3. Den mindste afstand mellem parkerne er 7,5 km.

Det samlede Nordsøen 1-område er egnet til vindparker under hensyntagen til miljø- og planmæssige forhold samt havbund og geologiske forhold på nær de sydlige områder, som er påvirket af kabler og olierør.

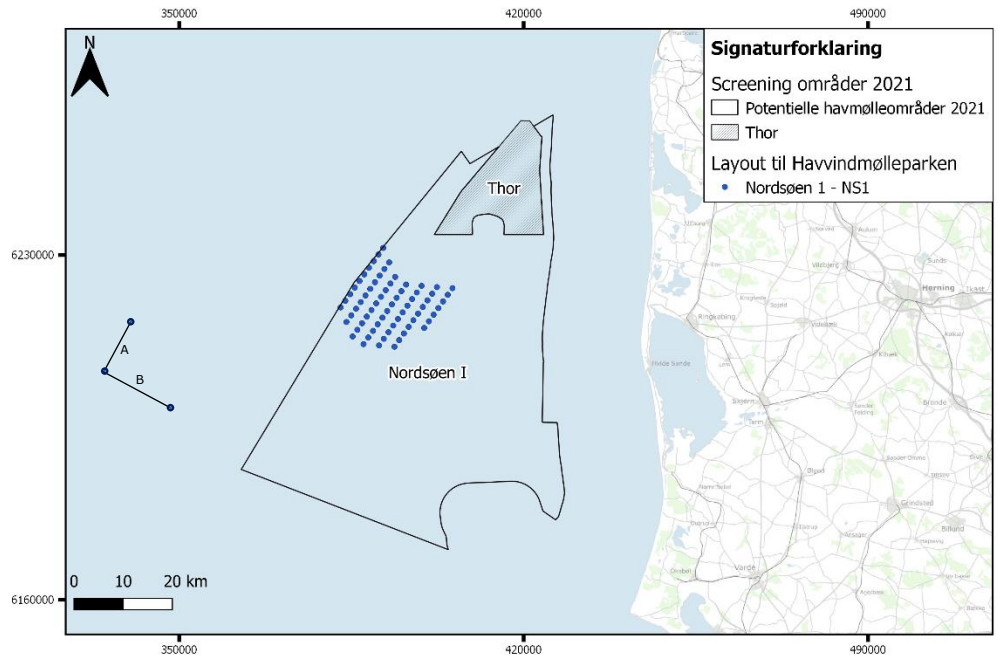


Figur 4-3: Placering af de yderligere tre delområder i Nordsøen 1.

4.1.2 Layout NS1 - Nordsøen 1 nordvest (1005 MW)

På Figur 4-4 ses det foreslåede layout NS1 (jf. Tabel 2. scenarie 6) i det nordvestlige delområde. Dette layout tilgodeser det yderste område af Nordsøen 1, som har mindre kabling og færre rør sammenlignet med den sydlige del.

Et optimalt layout vil resultere i, at enkelte møller placeres u hensigtsmæssigt og vil dermed medføre en fordyrende array-kabelløsning. Disse placeringer indgår derfor ikke i det endelige layout som vist på Figur 4-4.



Figur 4-4: Nordsøen 1-område og forslag til placering af vindmøllerne i Layout NS1.

I dette layout dækker vindmøllerne et område på 218,0 km², som svarer til en mølletæthed på 4,6 MW/km² (dvs. 0,22 km²/MW; 3.25 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-4) er:

- > Afstand A (vinkelret på hovedvindretningen)⁹: 1652 m / 7 RD¹⁰
- > Afstand B (hovedvindretningen): 2714 m / 11,5 RD.

Nærmeste afstand til land er 39,4 km og nærmeste afstand til Thor-området er 10,5 km.

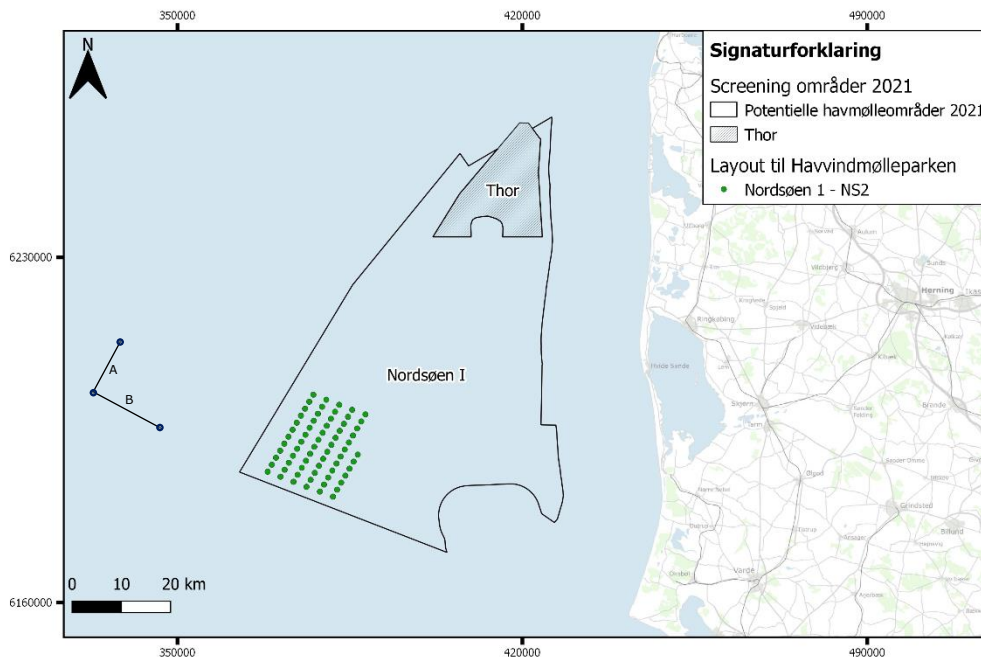
4.1.3 Layout NS2 - Nordsøen 1 sydvest (1005 MW)

Havbundsforhold jf. delrapport 1-1 ved layout NS2 er generelt homogen. Baggrunden for Layout NS2 (jf. Tabel 2. scenarie 7) er derfor at optimere bedst muligt i forhold til vindressourcen. For at mindske skyggetabet mest muligt for Layout NS2, er det besluttet at udlægge parken med færrest mulige antal rækker vinkelret på hovedvindretningen og samtidig overholde friholdelsesarealet på 7,5 km til Layout NS1 og Layout NS3. Derudover blev det besluttet at undgå den sydligste del af Nordsøen 1 på grund af eksisterende og planlagte kabler og rør.

Disse overvejelser har resulteret i layoutet som vist på Figur 4-5.

⁹ A-B-afstanden er ikke skaleret som kortet. Kun illustrationsformål.

¹⁰ RD = Rotordiameter



Figur 4-5: Nordsøen 1-område og forslag til placering af vindmøllerne i Layout NS2.

I dette layout dækker vindmøllerne et område på 230,4 km², som svarer til en mølletæthed på 4,35 MW/km² (dvs. 0,23 km²/MW; 3,44 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-5) er:

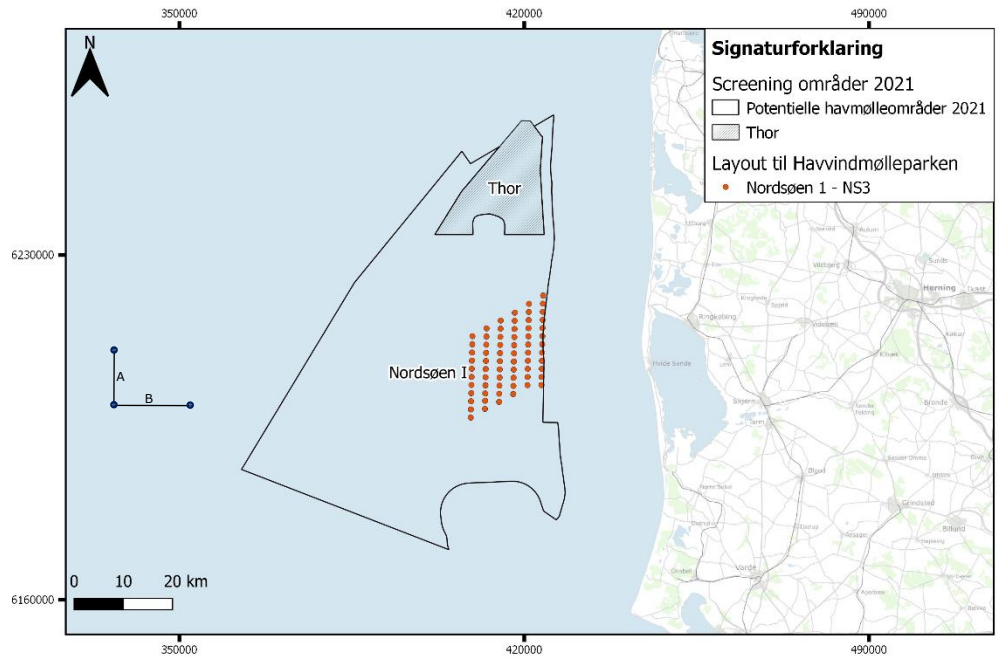
- > Afstand A (vinkelret på hovedvindretningen): 1652 m / 7 RD¹¹
- > Afstand B (hovedvindretningen): 2832 m / 12 RD.

Nærmeste afstand til land er 58 km.

4.1.4 Layout NS3 - Nordsøen 1 øst (1005 MW)

Udformningen af Layout NS3 (jf. Tabel 2. scenarie 8) er som Layout NS2 (dvs. position i forhold til hovedvindretning). Placeringen af møllerne er primært optimeret i forhold til havdybden, hvilket betyder at møllerne er sat ved de laveste vanddybder i Nordsøen 1. Afstanden til land er nærmere end Layout NS2, hvilket vil resultere i kortere eksportkabler. Layout NS3 ses på Figur 4-6.

¹¹ RD = Rotordiameter



Figur 4-6: Nordsøen 1-område og forslag til placering af vindmøllerne i Layout NS3.

I dette layout dækker vindmøllerne et område på 217,9 km², som svarer til en mølletæthed på 4,55 MW/km² (dvs. 0,22 km²/MW; 3.25 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-6) er:

- > Afstand A (vinkelret på hovedvindretningen): 1652 m / 7 RD¹²
- > Afstand B (hovedvindretningen): 2832 m / 12 RD.

Nærmeste afstand til land er 21 km.

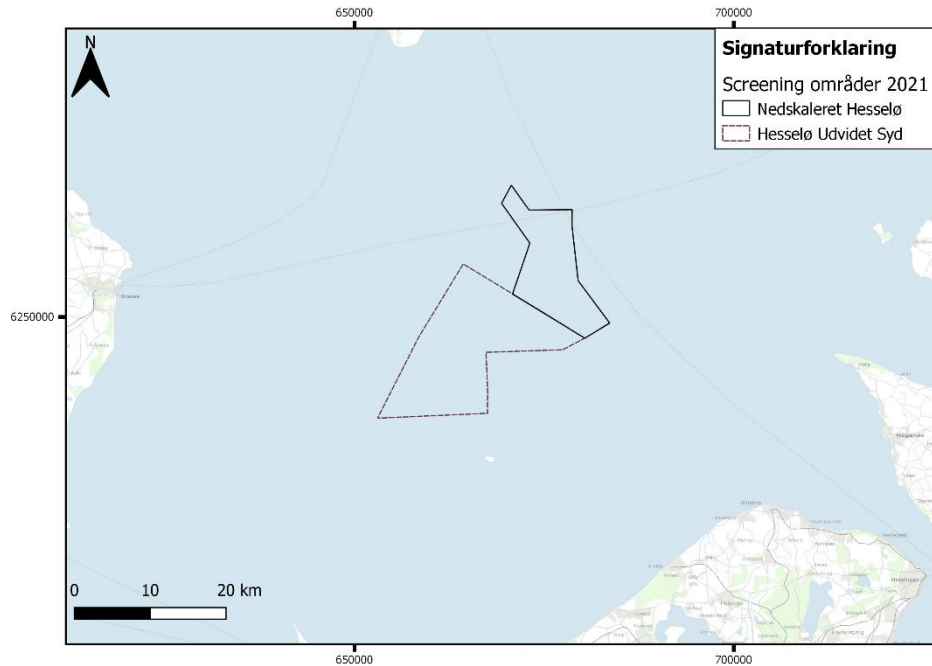
Den samlede konfiguration af vindmølleparker ved Nordsøen 1 vises på Figur 6-1 i Bilag D.

4.2 Hesselø

Det udpegede område ved Hesselø er vist i Figur 4-7. Sammenlignet med finscreeningen fra 2020 er området nedskaleret grundet forundersøgelser af havbunden som viser, at især den nordlige og vestlige del af sitet kan være mindre velegnet til opstilling af havvind. Derfor har man afsøgt alternativ placering af Park 2, som er området syd for det eksisterende Hesselø, benævnt her som Hesselø Udvidet Syd - inddraget i screeningen for derved at belyse, om det kan øge muligheden for, at der kan opstilles en havvindmøllepark i området. Området er i havplanen udlagt til forsvarets aktiviteter. Det nye område har i alt 372 km² fordelt på det nedskalerede Hesselø-område (126 km²) og Hesselø udvidet syd-området (246 km²). Den nordlige del af området er et relativt følsomt område i forhold til miljømæssige vurderinger, dog kun klassificeret som middelfølsomt, og

¹² RD = Rotordiameter

denne del er derfor også inkluderet ift. opstilling af vindmøller. Konklusionen på Hesselø-områderne er, at der kan etableres havvind i området, men med forskellige forbehold for de enkelte områder, som bør undersøges nærmere i en VVM. Det ovenstående skal også sammenholdes med konklusioner og anbefalinger fra delrapporten *1-2 Miljø -og planmæssige forhold for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2*.



Figur 4-7: Udpeget område ved Hesselø.

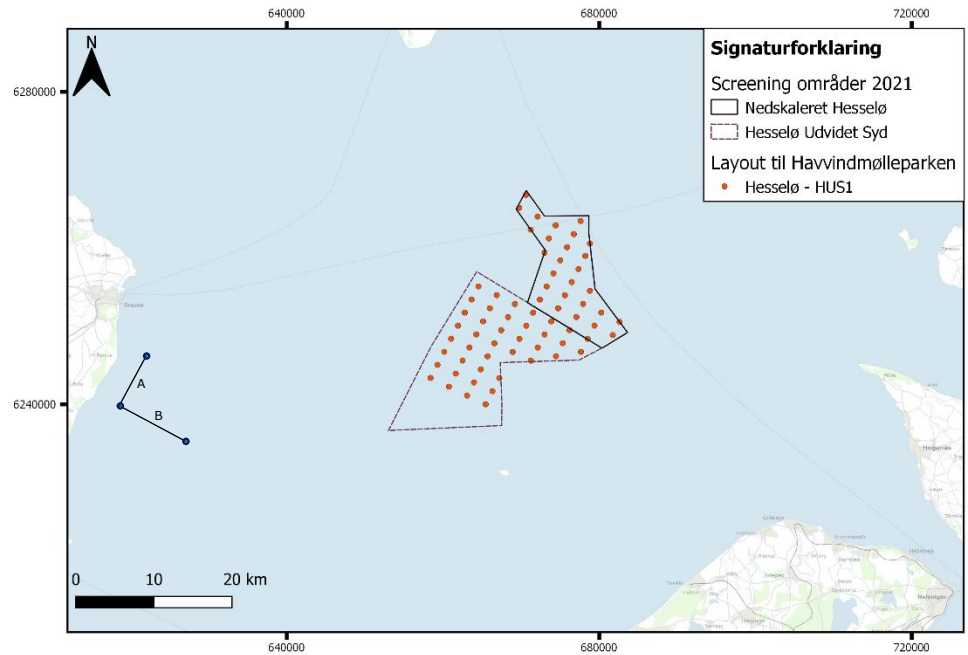
COWI har udarbejdet yderligere designlayouts end dem, der er beskrevet i dette afsnit, herunder et layout, hvor alle 67 vindmøller er placeret i det nedskalerede Hesselø-område, og et andet, hvor alle 67 vindmøller er placeret i Kattegat 2-området. Disse er vedlagt som Bilag E.

4.2.1 Layout HUS1 – Hesselø Udvidet Syd (1005 MW)

På Figur 4-8 ses området og forslag til layout HUS1 (jf. Tabel 2. scenarie 1). Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved udnyttelse af det samlede areal for at reducere skyggetab.

Forskellige designlayouts er blevet undersøgt, herunder anvendelse af layoutafstande, der svarer til dem, der er anvendt i finscreeningen fra 2020 (dvs. en kombination af 7 x 10 RD¹³). Med fokus på at reducere tabene på grund af skygge blev det besluttet at bruge 8 x 11 RD for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 226 km².

¹³ A132994-1-3 Vindressource, layouts og energiproduktion for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II – Maj 2020



Figur 4-8: Hesselø-området og forslag til placering af vindmøllerne i Layout HUS1.

I dette layout dækker 67 vindmøller et område på 226 km², hvilket svarer til en mølletæthed på 4,44 MW/km² (dvs. 0,22 km²/MW; 3.37 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-8) er:

- > Afstand A: 1888 m / 8 RD
- > Afstand B: 2596 m / 11 RD.

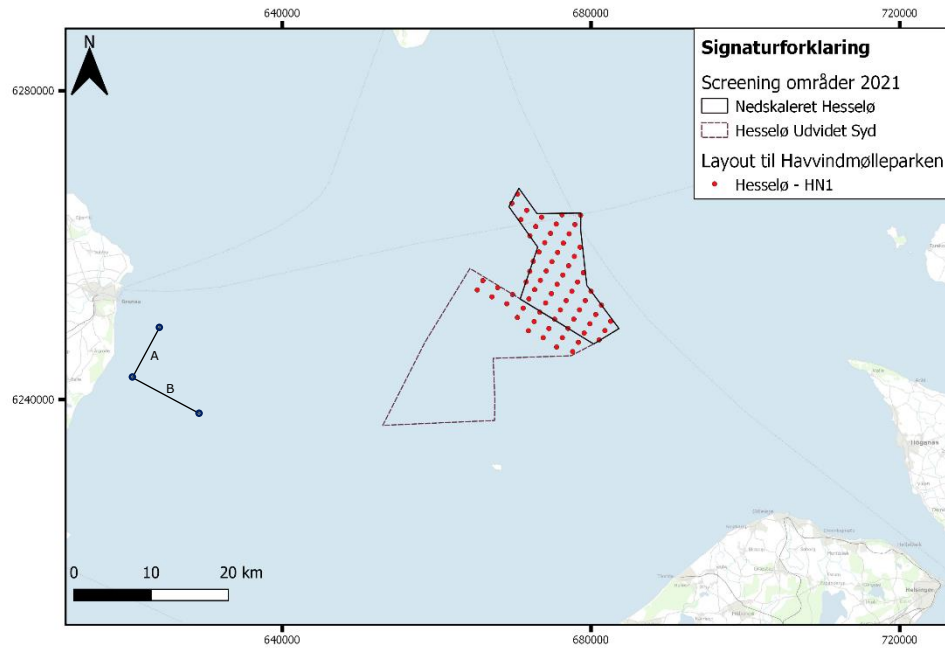
Nærmeste afstand til land er 22 km fra den nordligste vindmølle til Anholt og 31 km fra den østligste vindmølle til Gilleleje. Koordinater for layoutet fremgår af Bilag C.2.

4.2.2 Layout HN1 – Nedskaleret Hesselø (1005 MW)

På Figur 4-9 ses området og forslag til layout HN1 (jf. Tabel 2. scenarie 2). Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved at placere de fleste havvindmøller i det nedskalerede område, og bruge så lidt af området Hesselø udvidet syd grundet at det er et militære øvelsesområde.

Forskellige designlayouts er blevet undersøgt, herunder anvendelse af layoutafstande, der svarer til dem, der er anvendt i finscreeningen fra 2020 (dvs. kombination af 6 x 8 RD og 6 x 10 RD).

Layoutpositioneringen ved hjælp af kombinationen 6 x 9 RD giver mulighed at allokere 49 vindmøller (i alt 735 MW) i det nedskalerede Hesselø-område, og de resterende 18 (i alt 270) i det udvidede sydlige område.



Figur 4-9: Hesselø-området og forslag til placering af vindmøllerne i Layout HN1.

I dette layout dækker 67 vindmøller et område på 134,5 km², hvilket svarer til en mølletæthed på 7,47 MW/km² (dvs. 0,13 km²/MW; 2.01 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-9) er:

- > Afstand A: 1416 m / 6 RD
- > Afstand B: 2124 m / 9 RD.

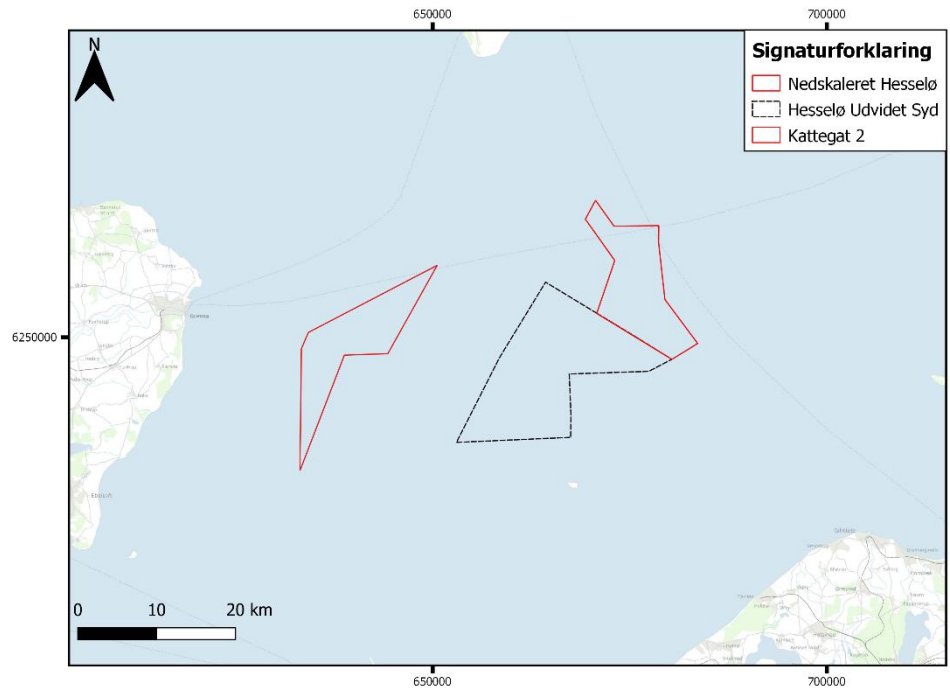
Nærmeste afstand til land er 22 km fra den nordligste vindmølle til Anholt og 31 km fra den østligste vindmølle til Gilleleje. Koordinater for layoutet fremgår af Bilag C.3.

4.3 Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2 Nord

Dette afsnit omhandler to 1 GW-layouts, ét der kombinerer Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2, og ét der kombinerer Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord-området.

- > Hesselø + Kattegat 2 (248 km²)
 - > Hesselø, nedskaleret område (126 km²)
 - > Kattegat 2 (122 km²)
- > Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (224 km²)
 - > Hesselø, nedskaleret område (126 km²)
 - > Kriegers Flak 2 Nord (98 km²).

Det udpegede område ved Hesselø og Kattegat 2 er vist i Figur 4-10.

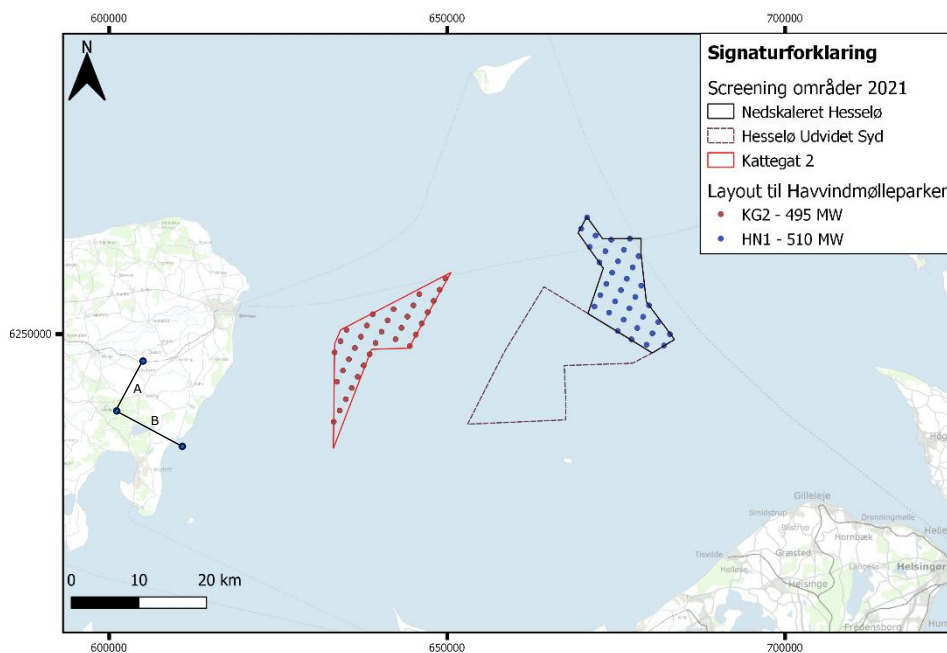


Figur 4-10: Udpeget område ved Hesselø og Kattegat 2.

4.3.1 Layout HN1 + KG2 – Nedskaleret Hesselø (510 MW) og Kattegat 2 (495 MW)

På Figur 4-11 ses området og forslag til layout HN1 + KG2 (jf. Tabel 2. scenarie 3). Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved udnyttelse af det samlede areal. Ved Nedskaleret Hesselø er der placeret i alt 34 vindmøller (dvs. 510 MW), mens 33 vindmøller (dvs. 495 MW) er placeret i Kattegat 2. Afstanden mellem det centrale punkt på de to steder er ca. 37 km.

Forskellige designlayouts er blevet undersøgt. Med fokus på at reducere tabene på grund af skygge blev det besluttet at bruge 8 x 10 RD for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 248 km².



Figur 4-11: Nedskaleret Hesselø- og Kattegat 2-områder og forslag til placering af vindmøllerne i layout HN1 + KG2.

I dette layout dækker 67 vindmøller et område på 248 km²¹⁴, hvilket svarer til en mølletæthed på 4,05 MW/km² (dvs. 0,25 km²/MW; 3.70 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-11) er:

- > Afstand A: 1888 m / 8 RD
- > Afstand B: 2360 m / 10 RD

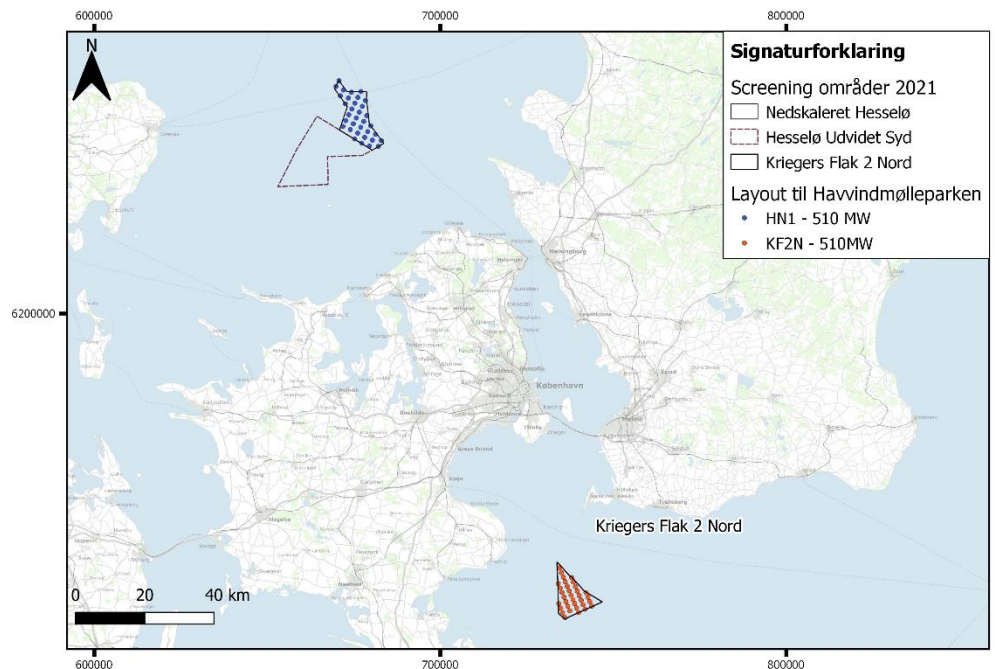
Nærmeste afstand til land er 15 km fra den vestligste vindmølle til Grenea (KG2). Koordinater for layoutet fremgår af Bilag C.4.

¹⁴ Summen af det samlede areal for både Kattegat 2 og nedskaleret Hesselø.

4.3.2 Layout HN1 + KF2N – Nedskaleret Hesselø (510 MW) og Kriegers Flak 2 Nord (510 MW)

På Figur 4-12 ses området og forslag til layout HN1 + KF2N (jf. Tabel 2. scenarie 4). Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved udnyttelse af det samlede areal. Ved nedskalerede Hesselø er der placeret i alt 34 vindmøller (dvs. 510 MW), mens 34 vindmøller (dvs. 510 MW) er placeret i Kriegers Flak 2 Nord. Dette område indeholder en mølle mere end de andre områder, men rationalet er, at en ekstra mølle ikke influerer på LCoE, da den ekstra omkostning modsvares af ekstra produktion.

Forskellige designlayouts er blevet undersøgt. Med fokus på at reducere tabene på grund af skygge blev det besluttet at bruge 8 x 10 RD (nedskaleret Hesselø-område) og 6 x 9 RD (Kriegers Flak 2 Nord) for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 224 km².



Figur 4-12: Nedskaleret Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord-områder og forslag til placering af vindmøllerne i Layout HN1 + KF2N.

I dette layout dækker 68 vindmøller et område på 224¹⁵ km², hvilket svarer til en mølletæthed på 4,55 MW/km² (dvs. 0,22 km²/MW; 3.29 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-12) er:

- > Afstand A: 1416-1888 m / 6-8 RD
- > Afstand B: 2124-2360 m / 9-10 RD.

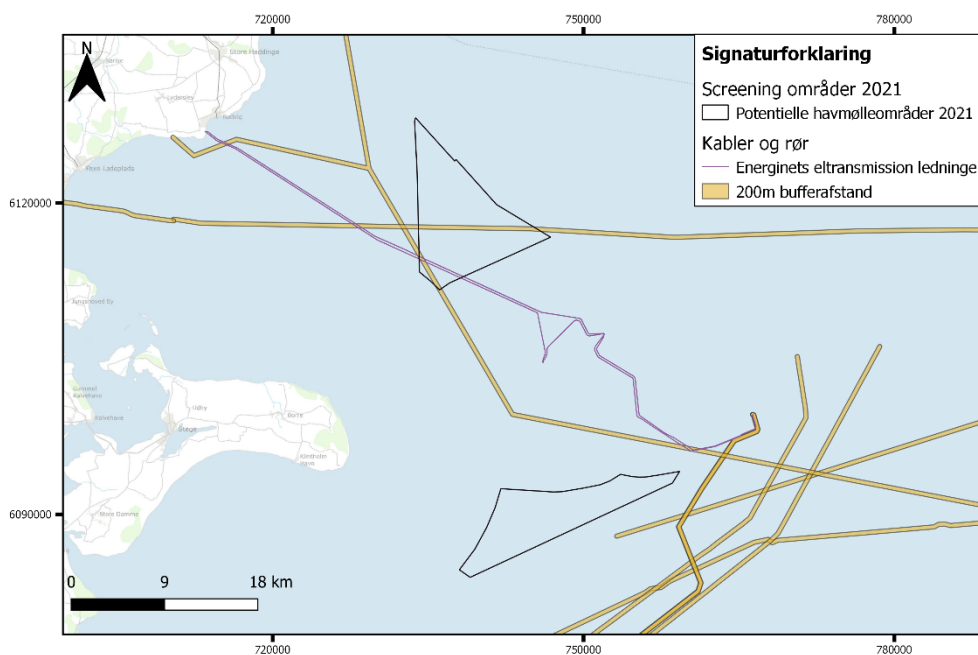
¹⁵ Summen af det samlede areal for både nedskaleret Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord.

Nærmeste afstand til land er 16 km fra den nordøstligste vindmølle til Højerup (KF2N) og 32 km fra den østligste vindmølle til Gilleleje (HN1). Koordinater for layoutet fremgår af Bilag C.5.

4.4 Kriegers Flak 2

Området ved Kriegers Flak 2 består af to delområder; den nordlige del (Kriegers Flak 2 Nord, KF2N) og den sydlige del (Kriegers Flak 2 Syd, KF2S) som vist på Figur 4-13. De to områder er tilsammen 174 km², og derfor vil det ikke være muligt at placere en vindmøllepark på 1 GW og samtidig opretholde en mølletæthed på 0,22 km²/MW. Efter test med forskellige layoutkombinationer er det besluttet at anvende en vindmølleafstand, der kan sammenlignes med finscreeningerne fra 2018 og 2020, da hele området er det samme disponible areal.

Den fremherskende vindretning på stedet er for det meste i vest, og det område, der er tildelt den eksisterende havvindmøllepark Kriegers Flak 1, er lokalitetens centrale region (dvs. mellem KF2N og KF2S) i en afstand, der er højere end 6 km. Det kan dog anbefales, at der foretages en detaljeret vurdering af den mulige påvirkning på et senere tidspunkt. Dette vil kræve detaljerede oplysninger om parklayoutet for naboparkerne.



Figur 4-13: Udpeget område ved Kriegers Flak 2.

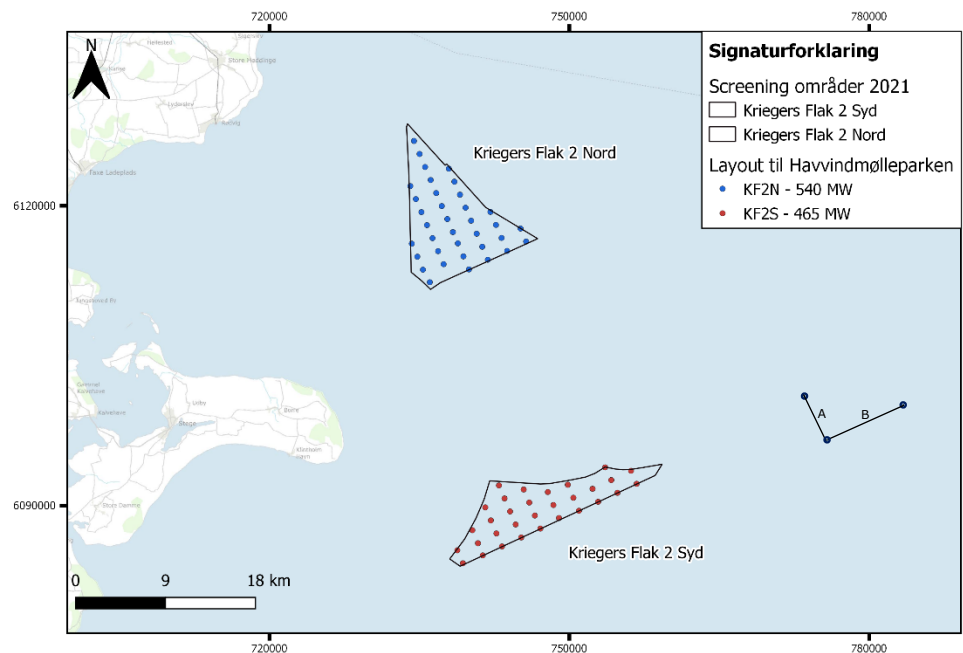
4.4.1 Layout KF2N + KF2S – Kriegers Flak 2 Nord (540 MW) og Kriegers Flak 2 Syd (465 MW)

På baggrund af miljøanalysen er der ingen områder i Kriegers Flak 2, der ikke bør benyttes til opstilling af vindmøller. Der refereres igen til konklusioner og anbefalinger fra delrapporten 1-2. For Kriegers Flak 2 gøres der opmærksom på, at der forefindes havvind i området i forvejen, så de kumulative effekter kan være ret

sigende for området og specielt på trækfugle. Derfor anbefales der for Kriegers Flak 2 området, at de kumulative effekter undersøges nærmere i en VVM.

Havbundsforholdene ved Kriegers Flak 2 er relativt mere komplekse sammenlignet med de øvrige områder Hesselø og Nordsøen 1. Da Kriegers Flak allerede er et havvindområde, der er benyttet til vindmøller, vurderes området som egnet til etablering af endnu en havvindmøllepark.

For at få så lidt skyggetab som muligt og for at allokere 1 GW installeret kapacitet, er hele området benyttet til udformningen af layoutet og der blev placeret flere havvindmøller i det nordlige område (dvs. 36 havvindmøller i KF2N og 31 i KF2S), som ses i Figur 4-14.



Figur 4-14: Kriegers Flak 2 samt foreslået placering af vindmøllerne i Layout KF2N + KF2S.

I dette layout dækker vindmøllerne et område svarende næsten til det samlede disponible område - 174 km², som svarer til en mølletæthed på 5,78 MW/km² (dvs. 0,17 km²/MW; 2,60 km²/mølle). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 4-14) er:

- > Afstand A: 1416 m / 6 RD
- > Afstand B: 2124 m / 9 RD.

To vigtige aspekter, der skal fremhæves for Kriegers Flak 2, er kabelruterens tilstedeværelse, hvilket fører til en lille forskydning af nogle vindmøllerækker; og det visuelle påvirkningsområde (dvs. Møn ca. 15 km fra nærmeste vindmølle). Den visuelle påvirkning er ikke taget i betragtning ved udarbejdelse af vindmølleparkens layout.

Koordinater for layoutet fremgår af Bilag C.6.

5 Bruttoområder

Energistyrelsen har i tidligere udbud givet fleksibilitet til udvikleres optimering af den endelige opstilling af vindmølleparken. Derfor har man i tidligere udbud defineret hvert parkområde med et bruttoområde, som var ca. 30 % større end det område, som den endelige havvindmøllepark måtte dække. En havvindmøllepark med 1005 MW og en mølletæthed på 4,55 MW/km² (0,22 km²/MW) skulle således udbydes med et bruttoområde på ca. 287 km². For nogle vindmølleområder (dvs. HN1, HN1+KG2, HN1+KF2N, KF2N+KF2S) udgør størrelsen det samlede disponible areal.

Ikke alle disponible områder i nærværende rapport giver mulighed for at tilvejebringe et sådant 30 % buffer areal, og slet ikke såfremt den hidtidigt anvendte mølletæthed på 4,55 MW/km² skulle opretholdes. Erfaringer fra bl.a. Tyskland viser, at man udmærket kan opstille havvindmølleparker med en noget højere vindmølletæthed, uden at det medfører betydelige skyggetab, og der vil således stadig være visse muligheder for at en fremtidig opstiller kan optimere sit layout i alle områderne.

Konklusionen med hensyn til bruttoområder bliver således, at der for de tre layouts i Nordsøen vil være et bufferareal til rådighed, mens layoutene i de øvrige sites stort set fylder hele området med udgangspunkt i en mølletæthed på ca. 4,5 MW/km².

Bruttoområderne er defineret ved at udvide parkområdet i de mulige retninger, således at screeningområdegrensene ikke overskrides. Afstanden (i Nordsøen 1) mellem parkerne fastholdes på 7,5 km, og det tilstræbes at holde områderne inden for de områder, hvor havbundsforholdene er bedst. Bruttoområderne for Nordsøen 1 kan ses i Bilag D.

I Tabel 8 nedenfor vises størrelserne på potentielle havvindmølleparklayouts samt et evt. bruttoområde. Som det fremgår, er området for Kriegers Flak 2 174 km², og mølletætheden bliver derfor tættere end de 4,55 MW/km² (0,22 km²/MW).

Det samlede areal for Hesselø er 372 km², og da det er irregulært, bliver vindmølletætheden tættere end 4,55 MW/km² (0,22 km²/MW). Dette område har begrænsninger i forhold til både skibsruter og militærzoner.

Tabel 8: Bruttoområdestørrelser.

Park	Layoutet Park [km ²]	Bruttoområde areal [km ²]
Nordsøen 1 - NS1	218,0	296,7
Nordsøen 1 - NS2	230,4	308,5
Nordsøen 1 - NS3	217,9	322,1
Hesselø - HUS1	226,0	293,8
Hesselø - HN1	134,5 ¹⁶	-
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 HN1+KG2	248,0 ¹⁷	-
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord HN1+KF2N	224,0 ¹⁸	-
Kriegers Flak 2 - KF2N + KF2S	174,0 ¹⁹	-

¹⁶ Hesselø (nedskaleret område) - Vindmølleområdet udgør størrelsen på det samlede disponible areal.

¹⁷ Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 - Vindmølleområdet udgør størrelsen på det samlede disponible areal.

¹⁸ Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord - Vindmølleområdet udgør størrelsen på det samlede disponible areal.

¹⁹ Kriegers Flak 2 - Vindmølleområdet udgør størrelsen på det samlede disponible areal.

6 Resultater

Baseret på layoutene for de tre områder, der er vist i afsnit 4, er produktionen for hver af parkerne blevet beregnet. I de kommende afsnit beskrives det, hvilken model og langtidskorrektion der er anvendt, samt hvilke tab, udover elektriske tab, der er inkluderet.

Alle metoder og antagelser for opdatering af finscreeningen er de samme som for finscreeningen fra 2020. Den eneste ændring er den anvendte effektkurve, som må antages at svare til en Vestas V236-15MW mølletype.

6.1 Flow model

Beregningerne er foretaget i WindPRO med WAsP 11 modellen. Til beregning af skyggetab er der brugt N.O Jensens skyggetabsmodel med en offshore *wake decay* faktor på 0,050, som er anbefalet af DTU for havvindmølleparker. Det skal nævnes, at der for store havvindmølleparker i nogle områder kan være et større skyggetab end det, den anvendte model angiver. Det er vurderet, at de beregnede skyggetab er tilstrækkeligt nøjagtige til en relativ vurdering.

6.2 Langtidskorrektion

StormGeo mesoscale data dækker over en tidsperiode på to år, men det er velkendt at vinden varierer fra år til år, og det er derfor nødvendigt at lave en vurdering af, hvordan vinden har været over en længere periode. I vindindustrien er det normalt at bruge 15-20 års langtidssdata for at få et repræsentativt resultat. Til langtidskorrektionen af de to års mesoscale data for de tre områder, er det valgt at benytte EMD ConWx²⁰ data, som COWI har adgang til gennem WindPRO. Der er anvendt et 20-års datasæt fra hvert område. For at kunne vurdere om ConWx data kan benyttes til at langtidskorrigere de to års mesoscale data er der lavet en korrelationsanalyse mellem mesoscale data og EMD ConWx data. I Tabel 9 ses det, at der er en god lineær korrelation for alle områderne, og det er derfor vurderet, at EMD ConWx data kan benyttes til langtidskorrektion.

Tabel 9: Lineær korrelationsfaktor, R, på månedligt gennemsnit.

Område	R (månedligt gennemsnit)
Nordsøen	0,98
Hesselø	0,98
Kriegers Flak 2	0,98

Langtidskorrektionen for hvert af de tre områder for de to års mesoscale data ift. en 20-års periode er vist i Tabel 10.

²⁰ http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=EMD-ConWx_Meso_Data_Europe

Tabel 10: Langtidskorrektion af vindhastigheden for hvert af de tre områder.

Område	Langtids korrektion [%]
Nordsøen 1	- 2,0
Hesselø	- 0,9
Kriegers Flak 2	0,0

Baseret på forholdet mellem produktion (P) og vind (V), P/V, omregnes langtidskorrektionen på vinden til en langtidskorrektion på produktionen. Resultatet ses i Tabel 11.

Tabel 11: Langtidskorrektion af produktionen for hvert af de tre områder.

Område	P/V	Langtidskorrektion [%]
Nordsøen 1	0,95	- 1,9
Hesselø	1,16	- 1,0
Kriegers Flak 2	1,11	0,0

6.3 Tab

Følgende tab, udover skyggetab og beregnede elektriske tab, er medregnet i produktionsestimaterne for hvert af de foreslåede vindmøllelayouts i hver af de tre områder:

- > Rådighedstab for vindmølleparken: 4,0 %
- > Møllens eget forbrug: 1,2 %
- > Effektkurvetab: 1,0 %
- > **Samlet tab: 6,1 %**

Rådighed – et anlæg eller en vindmølle siges at være til rådighed, når den er i stand til at generere sin fulde nominelle produktion. Rådighedstab forekommer, når nogle af vindmøllerne i et projekt, eller hele projektet, er ude af drift af forskellige årsager. Rådighedstab dækker over tabt produktion ved planlagt service, reparationer og evt. fejl på vindmøllerne.

Vindmøllens eget forbrug – dette tab tegner sig for den energi, der forbruges af udstyret i vindmøllen.

Tab af effektkurve – dette tab skyldes mangler som følge af den ideelle ydeevne på grund af suboptimale vindmølleindstillinger. Typiske eksempler omfatter yaw fejlstilling, kontrol af anemometer kalibrering, bladhøjdeunøjagtigheder eller misligholdelse, og andre kontrolindstillingsproblemer.

Bemærk, at de nævnte tab, bortset fra tab relateret til skyggetab, skal vurderes og besluttes af entreprenøren, da de er afhængige af de faktiske forhold omkring

ledningsnet, udformning, kontrakter (forsyning samt drift og vedligeholdelse) samt vindmøllens forventede driftssikkerhed.

6.4 Produktionsestimater

I Tabel 12 ses et resumé af input til beregningen af layouts-energi, og i Tabel 13 ses bruttoproduktion, skyggetab, parkproduktion (efter skyggetab er fratrukket), tab og korrektioner samt nettoproduktionen for hvert af de foreslåede havvindmøllelayouts i de tre områder.

Tabel 12: Beregningsinputoversigt for alle de foreslåede vindmøllelayouts.

Park	Vindmølleafstand [RD ²¹]	Parkområde [km ²]	Effekt-tæthed [MW/km ²]	Mølle-tæthed [km ² /MW]	Brutto-område [km ²]
Nordsøen 1 – NS1	7 x 11,5 RD	218,0	4,61	0,22	296,7
Nordsøen 1 – NS2	7 X 12 RD	230,4	4,36	0,23	308,5
Nordsøen 1 – NS3	7 X 12 RD	217,9	4,61	0,22	322,1
Hesselø – HUS1	8 X 11 RD	226,0	4,45	0,22	-
Hesselø – HN1	6 x 9 RD	134,5	7,47	0,13	-
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 HN1+KG2	8 x 10 RD	248,0	4,05	0,25	-
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord HN1+KF2N	6-8 x 9-10 RD	224,0	4,55	0,22	-
Kriegers Flak 2 KF2N + KF2S	6 X 9 RD	174,0	5,78	0,17	-

Som vist i Tabel 13 er de mest produktive områder placeret ved Nordsøen 1, da dette område har den højeste vindressource sammenlignet med alle de evaluerede områder. Der blev observeret en produktionsforskel på ca. 6,0 % sammenlignet med alle havmølleparker.

Ved Nordsøen 1 har layoutet NS1 flere vindmøllerækker sammenlignet med NS2 og NS3. Rækkerne kan øge skyggeeffekten mellem vindmøllerne, hvilket øger tabet. På trods af den samme vindmølleafstand har layout NS2 lidt højere skyggetab end NS3. En mulig årsag er øget skyggetab i NS2 som følge af placeringen af første række af vindmøller i forhold til den fremherskende vindretning.

Tabene og den langsigtede korrektion har den højeste samlede værdi i Nordsøen 1. Den langsigtede korrektion, som indikerer, at den korte tidsvariabilitet øges sammenlignet med langvarige vindforhold på stedet, er højere sammenlignet med Hesselø og Kriegers Flak 2.

²¹ Rotordiameter = 236 m.

Ved Hesselø er skyggetabene størst da den overvejende vindretning er mere koncentreret, og da der er flere rækker i den overvejende vindretning grundet områdets irregulære udformning.

Hesselø (HN1) har den højeste effekttæthed i forhold til de resterende undersøgte layouts på grund af arealstørrelsen af området.

For Kriegers Flak 2 er det samlede disponible areal opdelt i to underområder (dvs. KF2N og KF2S), og vindmøllerne er placeret som to klynger, hvilket medfører mindre skyggestab end for Hesselø. Det samlede tab er lavere på grund af den langsigtede korrektion (dvs. den kort- og langsigtede vindhastigheder er næsten identiske).

Når man sammenligner de kombinerede layouts af HN1 + KG2 og HN1 + KF2N, er de væsentligste forskelle pga. den forskellige vindmølleafstand. Dette resulterer i et lavere skyggetab ved HN1 + KG2 sammenlignet med HN1 + KF2N. Pga. de forskellige vindforhold har HN1+KF2N sammenlignet med HN1 + KG2 stadig en højere nettoproduktion (ca. 0,8 %).

Tabel 13: Produktionsestimater for alle de foreslåede vindmøllelayouts.

Park	Brutto- produktion [GWh/y]	Skygge- tab ²² [%]	Park Produktion ²³ [GWh/y]	Tab og LT-korrektion ²⁴ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ²⁵
Nordsøen 1 - NS1	5684,6	4,9	5404,3	-7,9	4977,4
Nordsøen 1 - NS2	5688,0	5,0	5406,1	-7,9	4979,0
Nordsøen 1 - NS3	5687,9	4,5	5430,7	-7,9	5001,7
Hesselø - HUS1	5377,3	4,6	5130,9	-7,0	4771,8
Hesselø - HN1	5345,9	6,7	4986,6	-7,0	4637,5
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 HN1+KG2	5398,2	3,7	5196,2	-7,0	4832,5
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord HN1+KF2N	5492,2	4,6	5241,2	-7,0	4874,3
Kriegers Flak 2 KF2N + KF2S	5479,1	5,1	5200,7	-6,1	4883,4

²² Internt skyggetab i vindparken.

²³ Inklusive skyggetab.

²⁴ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

²⁵ Eksklusiv elektriske tab

Bilag A Beskrivelse af StormGeos vindmodellering

StormGeo has been running nested, limited area numerical weather prediction (NWP) models for real-time weather prediction since early 2003. The main tool is the Weather and Research Forecasting (WRF) model. This is a state-of-the-art community model which is being maintained by the National Centers for Atmospheric Research (NCAR) in the U.S., one of the leading meteorology research institutions worldwide. StormGeo uses twice-daily global forecasts from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) as initial and boundary forcing for our operational forecasts. The resolution of the ECMWF forecasts is currently one-eighth of a degree, which corresponds to about 16 km. These forecasts allow running the model in nested domains with horizontal resolutions of 6 and 2, or 9, 3 and 1 km. However, for long hindcasts, one runs into problems with using the ECMWF forecasts as forcing. This is because the horizontal resolution has changed rather frequently; for instance, it changed from 25 km to 16 km early in 2010, and from 40 km to 25 km in 2006. In addition, there have been many changes to the assimilation system and the wave models. These historical changes mean that the long-term ECMWF forecast data set is not consistent. It has therefore been common to use consistent data sets such as the ECMWF ERA-40 reanalysis, or the NCEP/NCAR reanalysis, which are available for the periods 1958–2002 and 1948 to present, respectively, as forcing for long-term high-resolution hindcasts. But after the introduction of the high-resolution ECMWF ERA-Interim reanalysis²⁶, in 2009, the Era-Interim has become the de facto standard data set used for initialization and boundary forcing.

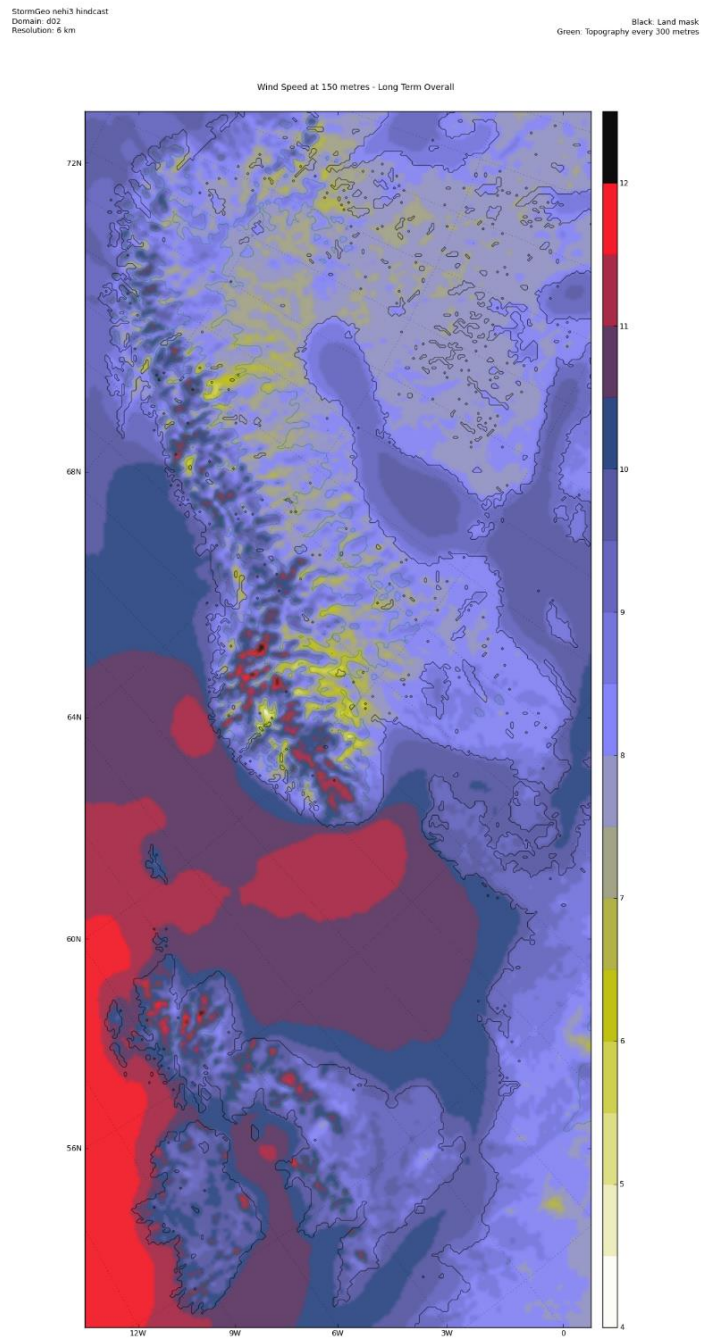
The main attractions of ERA-Interim are:

- > the high quality of the forecast model used,
- > the high horizontal resolution (80 km) relative to ERA-40 and the NCEP/NCAR reanalysis (both 125 km),
- > the use of 4D-Var assimilation (which means that the data assimilation is consistent with the preceding forecasts),
- > the use of a two-way coupling between ocean waves and the atmosphere,
- > the long time period covered (1979–present),
- > and – with reference to the above discussion regarding consistency – the main attraction with relevance for hindcasts, is that the ERA-Interim data set is consistent in time (because the same model system was used for the whole analysis period).

A horizontal grid resolution of 16 km, which is the current resolution of the ECMWF operational forecasts, enables the model to resolve weather patterns with a length

²⁶ D. P. Dee et al. (2011): The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 656, p. 553–597.

scale of about 100 kilometers. Similarly, a resolution of 80 km (the resolution of ERA-Interim) allows the model to resolve features with length scales of about 500 km. This is clearly not sufficient to resolve localized sub-scale features such as sea breeze or topographic effects. A very important part of a historical assessment of winds is therefore to use high-resolution NWP models to *downscale*, i.e., increase the horizontal resolution, of the reanalysis. At StormGeo WRF is used to provide hindcasts with significantly higher resolution than the ERA-Interim. As an example of the hindcasts, the figure below shows the mean 100-meter wind speed for 2011 from the 33-year, 6 km high-resolution hindcast for North-West Europe, also known as NEHI.



The NEHI domain covers all of Norway, Sweden, Finland, Denmark, as well as the British Isles and parts of continental Europe. The horizontal resolution of the hindcast is 6 km, and the vertical resolution in the lower atmosphere is roughly 40 metres, starting at 20 metres above the surface. Winds at other heights can be readily obtained by means of vertical interpolation. Ten-metre winds are derived in order to comply with observations. The period covered by the hindcast is from January 1979 to November 2012, and in addition to that operational forecasts are produced twice daily to keep the hindcast up to date.

StormGeo's long experience with using high-resolution NWP models, and the frequent validation of operational model runs, has led StormGeo to implement a wide range of improvements with respect to the default WRF model setup.

Bilag B Mesoscale modellering - Datapunktkoordinater

Simuleringen af WRF-modellen er udført over to kalenderår, med en tidsopløsning på 1 time og med en horisontal opløsning på 3 km. Detaljer for modellen er vist nedenfor samt i yderligere beskrivelse i Bilag A.

- > WRF Version 3.5.
- > Simuleringsperiode: 01-09-2011 til 31-08-2013.
- > Nesting/opløsning: 27-9-3 km.
- > Input data: ERA-Interim.
- > Hindcast strategi: Kold start, så hver individuel kørsel i modellen har en varighed på 180 timer, men de første 12 timer bliver kasseret, da det er vurderet til indkørselstid. Spektral tilpasning er anvendt for at være i overensstemmelse med randbetingelserne.
- > Vertikal opløsning: 46 eta niveauer, meget høj opløsning nær overfladen med lag på ca. 16, 48, 79, 111, 143, og 176 meter.
- > Land overflademodel: NOAH (27-9-3 km).
- > Land-use data: MODIS-afledte (Original data: 0.00833 grader, gridded til 27-9-3 km).
- > Model top: 50 hPa.

Tabel 14, Tabel 15 og Tabel 16 viser koordinaterne for de mesoscale datapunkter for henholdsvis Nordsøen 1, Hesselø og Kriegers Flak.

Tabel 14: Mesoscale punkter koordinater Nordsøen 1 (UTM Nord - ETRS89 Zone 32).

Nordsøen	X	Y
1	421807	6215402
2	421237	6251375
3	393409	6216514
4	425050	6185094
5	377669	6188676

Tabel 15: Mesoscale punkter koordinater Hesselø (UTM Nord - ETRS89 Zone 32).

Hesselø	X	Y
1	675825	6271133
2	677112	6250903
3	657936	6239748
4	674101	6231253

Tabel 16: Mesoscale punkter Kriegers Flak 2 (UTM Nord - ETRS89 Zone 32).

Kriegers Flak 2	X	Y
1	744054	6117031
2	736973	6120048
3	741177	6087270
4	753702	6092560

Bilag C Havvindmølleparklayouts

C.1 Nordsøen 1-layouts

Tabel 17: Nordsøen 1 – Layout NS1-kordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	391.451	6.231.426	51	400.459	6.220.774
2	390.489	6.230.083	52	399.500	6.219.429
3	389.527	6.228.740	53	398.541	6.218.083
4	388.565	6.227.397	54	397.583	6.216.738
5	387.602	6.226.054	55	396.624	6.215.393
6	386.640	6.224.711	56	395.665	6.214.048
7	385.678	6.223.368	57	394.706	6.212.703
8	384.715	6.222.026	58	393.747	6.211.357
9	383.753	6.220.683	59	405.531	6.223.248
10	382.790	6.219.340	60	404.574	6.221.901
11	392.660	6.228.483	61	403.616	6.220.555
12	391.698	6.227.139	62	402.658	6.219.209
13	390.737	6.225.796	63	401701	6217863
14	389.775	6.224.453	64	400743	6216517
15	388.813	6.223.110	65	399785	6215171
16	387.851	6.221.767	66	384954	6217720
17	386.890	6.220.424	67	383982	6216385
18	385.927	6.219.081			
19	393.880	6.225.534			
20	392.919	6.224.190			
21	391.958	6.222.846			
22	390.996	6.221.503			
23	390.035	6.220.159			
24	389.074	6.218.816			
25	388.112	6.217.473			
26	387.150	6.216.129			
27	386.189	6.214.786			
28	385.227	6.213.443			
29	396.099	6.223.983			
30	395.139	6.222.639			
31	394.178	6.221.295			
32	393.218	6.219.951			
33	392.257	6.218.607			
34	391.296	6.217.263			
35	390.335	6.215.919			
36	389.374	6.214.575			
37	388.413	6.213.232			
38	387.452	6.211.888			
39	399.248	6.223.721			
40	398.289	6.222.376			
41	397.330	6.221.031			
42	396.370	6.219.686			
43	395.410	6.218.342			
44	394.451	6.216.997			
45	393.491	6.215.652			
46	392.531	6.214.308			
47	391.571	6.212.963			
48	390.611	6.211.619			
49	402.376	6.223.465			
50	401.417	6.222.120			

Tabel 18: Nordsøen 1 – Layout NS2-koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	370.898	6.185.484	51	375.889	6.199.284
2	371.743	6.186.903	52	375.045	6.197.864
3	372.588	6.188.323	53	374.202	6.196.443
4	373.433	6.189.742	54	373.358	6.195.023
5	374.278	6.191.162	55	372.515	6.193.602
6	375.123	6.192.581	56	371.671	6.192.182
7	375.968	6.194.001	57	370.828	6.190.761
8	376.813	6.195.421	58	369.984	6.189.341
9	377.657	6.196.840	59	369.140	6.187.921
10	378.502	6.198.260	60	368.296	6.186.501
11	379.347	6.199.680	61	386.587	6.189.970
12	380.191	6.201.100	62	385.747	6.188.547
13	373.535	6.184.456	63	384.907	6.187.125
14	374.379	6.185.876	64	384.067	6.185.702
15	375.223	6.187.296	65	383.226	6.184.280
16	376.067	6.188.716	66	382.386	6.182.858
17	376.911	6.190.136	67	381.546	6.181.436
18	377.755	6.191.557			
19	378.599	6.192.977			
20	379.443	6.194.397			
21	380.287	6.195.817			
22	381.131	6.197.237			
23	381.975	6.198.658			
24	382.818	6.200.078			
25	376.174	6.183.430			
26	377.018	6.184.851			
27	377.861	6.186.271			
28	378.704	6.187.692			
29	379.548	6.189.112			
30	380.391	6.190.533			
31	381.234	6.191.954			
32	382.077	6.193.374			
33	382.920	6.194.795			
34	383.763	6.196.216			
35	384.606	6.197.637			
36	385.449	6.199.057			
37	388.138	6.198.121			
38	387.299	6.196.698			
39	386.459	6.195.276			
40	385.619	6.193.853			
41	384.779	6.192.431			
42	383.939	6.191.008			
43	383.099	6.189.585			
44	382.259	6.188.163			
45	381.419	6.186.741			
46	380.579	6.185.318			
47	379.739	6.183.896			
48	378.899	6.182.473			
49	377.575	6.202.125			
50	376.732	6.200.705			

Tabel 19: Nordsøen 1 – Layout NS3-koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	409.482	6.213.489	51	420.715	6.206.855
2	409.447	6.211.838	52	420.684	6.205.203
3	409.413	6.210.186	53	420.654	6.203.552
4	409.378	6.208.534	54	423.829	6.221.758
5	409.343	6.206.883	55	423.800	6.220.106
6	409.308	6.205.231	56	423.770	6.218.454
7	409.274	6.203.580	57	423.741	6.216.802
8	409.239	6.201.928	58	423.712	6.215.151
9	409.204	6.200.276	59	423.682	6.213.499
10	409.170	6.198.625	60	423.653	6.211.847
11	409.135	6.196.973	61	423.621	6.210.157
12	412.353	6.215.076	62	423.590	6.208.506
13	412.319	6.213.424	63	423.559	6.206.854
14	412.285	6.211.772	64	423.528	6.205.202
15	412.252	6.210.121	65	423.497	6.203.551
16	412.218	6.208.469	66	412.050	6.200.376
17	412.184	6.206.817	67	412.017	6.198.724
18	412.151	6.205.166			
19	412.117	6.203.514			
20	412.083	6.201.862			
21	415.222	6.216.670			
22	415.189	6.215.019			
23	415.157	6.213.367			
24	415.124	6.211.715			
25	415.091	6.210.063			
26	415.059	6.208.412			
27	415.026	6.206.760			
28	414.994	6.205.108			
29	414.961	6.203.457			
30	414.929	6.201.805			
31	414.896	6.200.153			
32	418.085	6.218.266			
33	418.054	6.216.614			
34	418.022	6.214.962			
35	417.991	6.213.310			
36	417.959	6.211.659			
37	417.928	6.210.007			
38	417.896	6.208.355			
39	417.865	6.206.704			
40	417.833	6.205.052			
41	417.802	6.203.400			
42	417.770	6.201.749			
43	420.958	6.220.069			
44	420.928	6.218.417			
45	420.897	6.216.765			
46	420.867	6.215.114			
47	420.836	6.213.462			
48	420.806	6.211.810			
49	420.776	6.210.159			
50	420.745	6.208.507			

C.2 Hesselø Udvidet Syd layout – HUS1

Tabel 20: Hesselø Udvidet Syd – Layout HUS1-koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	670,644	6,266,818	51	663,389	6,247,278
2	669,772	6,265,144	52	662,515	6,245,604
3	672,109	6,264,037	53	661,641	6,243,931
4	671,237	6,262,362	54	660,767	6,242,257
5	674,428	6,262,914	55	669,207	6,252,840
6	673,557	6,261,238	56	668,334	6,251,165
7	677,624	6,263,466	57	667,461	6,249,491
8	676,755	6,261,790	58	666,588	6,247,817
9	675,886	6,260,114	59	665,715	6,246,143
10	675,016	6,258,438	60	664,842	6,244,469
11	674,147	6,256,762	61	663,968	6,242,796
12	673,277	6,255,086	62	663,095	6,241,122
13	672,407	6,253,410	63	662,213	6,243,359
14	671,537	6,251,735	64	666,339	6,241,686
15	670,667	6,250,059	65	665,465	6,240,012
16	669,797	6,248,384	66	673,008	6,259,414
17	668,927	6,246,708	67	678,819	6,260,590
18	678,225	6,258,998			
19	677,356	6,257,322			
20	676,487	6,255,646			
21	675,618	6,253,970			
22	674,748	6,252,294			
23	673,879	6,250,619			
24	673,009	6,248,943			
25	672,139	6,247,267			
26	671,270	6,245,591			
27	678,817	6,254,531			
28	677,948	6,252,855			
29	677,079	6,251,179			
30	676,210	6,249,503			
31	675,341	6,247,827			
32	674,471	6,246,151			
33	680,266	6,251,745			
34	679,398	6,250,068			
35	678,529	6,248,392			
36	677,661	6,246,716			
37	682,608	6,250,546			
38	681,740	6,248,869			
39	664,542	6,255,090			
40	663,668	6,253,417			
41	662,793	6,251,744			
42	661,918	6,250,071			
43	661,043	6,248,398			
44	660,168	6,246,725			
45	659,293	6,245,052			
46	658,418	6,243,379			
47	666,885	6,253,972			
48	666,011	6,252,298			
49	665,137	6,250,625			
50	664,263	6,248,951			

C.3 Nedskaleret Hesselø layout – HN1

Tabel 21: Nedskalerede Hesselø – Layout HN1-kordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	676,251	6,263,935	51	681,367	6,252,219
2	675,505	6,262,731	52	680,620	6,251,016
3	674,760	6,261,527	53	679,872	6,249,814
4	674,014	6,260,323	54	679,125	6,248,611
5	673,268	6,259,120	55	678,378	6,247,408
6	672,523	6,257,916	56	677,630	6,246,206
7	670,494	6,266,611	57	682,561	6,250,132
8	669,751	6,265,405	58	681,814	6,248,929
9	671,667	6,264,511	59	681,067	6,247,726
10	670,924	6,263,306	60	672,078	6,256,607
11	673,593	6,263,614	61	669,850	6,253,607
12	672,844	6,262,413	62	669,099	6,252,406
13	672,094	6,261,211	63	667,926	6,254,501
14	678,666	6,263,876	64	667,175	6,253,300
15	677,921	6,262,671	65	666,003	6,255,407
16	677,176	6,261,467	66	665,266	6,254,198
17	676,431	6,260,263	67	671,605	6,255,240
18	675,686	6,259,059			
19	674,941	6,257,855			
20	674,196	6,256,651			
21	673,451	6,255,447			
22	672,705	6,254,243			
23	671,960	6,253,039			
24	671,214	6,251,835			
25	670,469	6,250,631			
26	678,597	6,259,741			
27	677,852	6,258,537			
28	677,107	6,257,333			
29	676,362	6,256,129			
30	675,617	6,254,924			
31	674,872	6,253,720			
32	674,126	6,252,516			
33	673,381	6,251,313			
34	672,636	6,250,109			
35	671,890	6,248,905			
36	679,021	6,256,430			
37	678,276	6,255,225			
38	677,531	6,254,021			
39	676,786	6,252,817			
40	676,041	6,251,613			
41	675,296	6,250,409			
42	674,551	6,249,205			
43	673,805	6,248,001			
44	680,016	6,254,026			
45	679,271	6,252,822			
46	678,527	6,251,617			
47	677,782	6,250,413			
48	677,037	6,249,209			
49	676,292	6,248,005			
50	675,547	6,246,800			

C.4 Hesselø og Kattegat 2 layout – HN1 + KG2

Tabel 22: Hesselø og Kattegat 2 layout HN1 + KG2-koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	670,711	6,267,265	51	638,523	6,247,008
2	669,839	6,265,591	52	637,640	6,245,340
3	671,963	6,264,579	53	636,756	6,243,671
4	671,091	6,262,904	54	635,872	6,242,003
5	674,281	6,263,945	55	634,987	6,240,335
6	673,410	6,262,270	56	634,103	6,238,667
7	672,539	6,260,594	57	633,219	6,236,999
8	677,023	6,264,123	58	638,993	6,252,934
9	676,154	6,262,447	59	638,108	6,251,266
10	675,284	6,260,772	60	637,223	6,249,598
11	674,414	6,259,096	61	636,339	6,247,930
12	673,545	6,257,420	62	635,454	6,246,263
13	672,675	6,255,744	63	634,568	6,244,595
14	671,805	6,254,069	64	633,683	6,242,927
15	678,317	6,261,530	65	635,109	6,250,610
16	677,448	6,259,854	66	634,222	6,248,943
17	676,578	6,258,178	67	633,336	6,247,276
18	675,709	6,256,502			
19	674,840	6,254,826			
20	673,971	6,253,150			
21	678,712	6,257,153			
22	677,843	6,255,477			
23	676,974	6,253,801			
24	676,105	6,252,125			
25	675,236	6,250,449			
26	679,861	6,254,234			
27	678,993	6,252,557			
28	678,124	6,250,881			
29	677,255	6,249,205			
30	681,238	6,251,767			
31	680,370	6,250,091			
32	679,502	6,248,414			
33	682,957	6,249,967			
34	682,090	6,248,290			
35	649,755	6,258,234			
36	648,875	6,256,564			
37	647,994	6,254,894			
38	647,114	6,253,223			
39	646,233	6,251,553			
40	645,352	6,249,883			
41	644,472	6,248,214			
42	645,881	6,255,914			
43	644,999	6,254,244			
44	644,117	6,252,575			
45	643,235	6,250,906			
46	642,352	6,249,236			
47	642,058	6,253,682			
48	641,174	6,252,013			
49	640,291	6,250,345			
50	639,407	6,248,676			

C.5 Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord layout – HN1 + KF2N

Tabel 23: Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord layout HN1 + KF2N -koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	670,711	6,267,265	51	736,858	6,115,452
2	669,839	6,265,591	52	736,302	6,116,755
3	671,963	6,264,579	53	735,746	6,118,058
4	671,091	6,262,904	54	735,190	6,119,361
5	682,957	6,249,967	55	734,634	6,120,664
6	682,090	6,248,290	56	734,078	6,121,967
7	674,281	6,263,945	57	738,340	6,117,362
8	673,410	6,262,270	58	737,784	6,118,665
9	672,539	6,260,594	59	737,228	6,119,968
10	681,238	6,251,767	60	736,671	6,121,270
11	680,370	6,250,091	61	736,115	6,122,573
12	679,502	6,248,414	62	735,559	6,123,876
13	679,861	6,254,234	63	735,003	6,125,179
14	678,993	6,252,557	64	734,446	6,126,482
15	678,124	6,250,881	65	736,030	6,112,346
16	677,255	6,249,205	66	734,224	6,116,204
17	678,712	6,257,153	67	734,782	6,114,902
18	677,843	6,255,477	68	735,341	6,113,600
19	676,974	6,253,801			
20	676,105	6,252,125			
21	675,236	6,250,449			
22	678,317	6,261,530			
23	677,448	6,259,854			
24	676,578	6,258,178			
25	675,709	6,256,502			
26	674,840	6,254,826			
27	673,971	6,253,150			
28	677,023	6,264,123			
29	676,154	6,262,447			
30	675,284	6,260,772			
31	674,414	6,259,096			
32	673,545	6,257,420			
33	672,675	6,255,744			
34	671,805	6,254,069			
35	741,835	6,114,593			
36	741,278	6,115,895			
37	740,721	6,117,198			
38	740,163	6,118,500			
39	739,606	6,119,803			
40	739,049	6,121,105			
41	738,492	6,122,408			
42	737,935	6,123,710			
43	743,767	6,115,474			
44	743,210	6,116,777			
45	742,652	6,118,079			
46	742,094	6,119,381			
47	739,951	6,113,628			
48	739,394	6,114,931			
49	738,837	6,116,234			
50	737,414	6,114,150			

C.6 Kriegers Flak 2 layout (KF2N og KF2S)

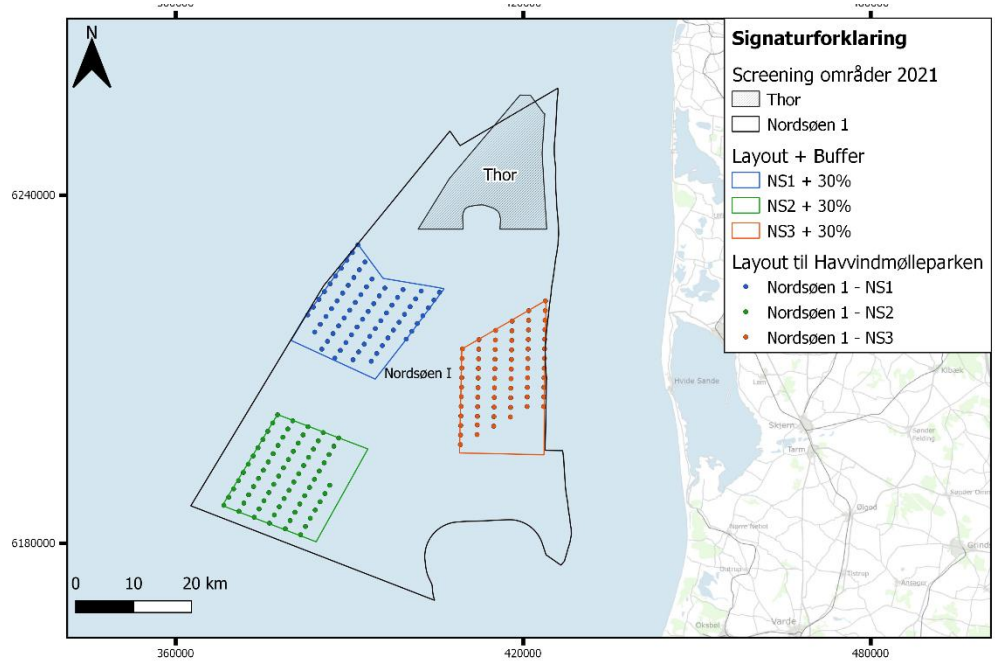
Tabel 24: Kriegers Flak 2 – Layout KF2N-KF2S-koordinater (UTM Nord – ETRS89 Zone 32).

Mølle nr.	X	Y	Mølle nr.	X	Y
1	741,835	6,114,593	51	735,190	6,119,361
2	741,278	6,115,895	52	734,634	6,120,664
3	740,721	6,117,198	53	734,078	6,121,967
4	740,163	6,118,500	54	740,846	6,086,228
5	739,606	6,119,803	55	740,290	6,087,530
6	739,049	6,121,105	56	738,340	6,117,362
7	738,492	6,122,408	57	737,784	6,118,665
8	737,935	6,123,710	58	737,228	6,119,968
9	743,767	6,115,474	59	736,671	6,121,270
10	743,210	6,116,777	60	736,115	6,122,573
11	742,652	6,118,079	61	735,559	6,123,876
12	742,094	6,119,381	62	735,003	6,125,179
13	745,668	6,116,415	63	734,446	6,126,482
14	745,110	6,117,717	64	736,030	6,112,346
15	739,339	6,084,220	65	734,224	6,116,204
16	738,783	6,085,523	66	734,782	6,114,902
17	741,330	6,085,010	67	735,341	6,113,600
18	743,253	6,085,905			
19	742,696	6,087,207			
20	742,139	6,088,510			
21	741,582	6,089,812			
22	745,179	6,086,800			
23	744,621	6,088,102			
24	744,063	6,089,405			
25	743,506	6,090,707			
26	742,948	6,092,009			
27	747,100	6,087,694			
28	746,542	6,088,996			
29	745,984	6,090,299			
30	745,426	6,091,601			
31	750,959	6,089,475			
32	750,399	6,090,777			
33	749,840	6,092,079			
34	748,959	6,088,744			
35	748,400	6,090,046			
36	747,841	6,091,348			
37	752,877	6,090,372			
38	752,317	6,091,673			
39	754,809	6,091,268			
40	754,193	6,092,544			
41	753,576	6,093,820			
42	756,733	6,092,171			
43	756,172	6,093,472			
44	739,951	6,113,628			
45	739,394	6,114,931			
46	738,837	6,116,234			
47	737,414	6,114,150			
48	736,858	6,115,452			
49	736,302	6,116,755			
50	735,746	6,118,058			

Bilag D Bruttoområder

D.1 Nordsøen 1

I Figur 6-1 vises bruttoområderne for hver af de tre potentielle vindmølleparklayouts.



Figur 6-1: Nordsøen 1 – Layouts NS1, NS2 OG NS3 inkl. bruttoområde og Thor område.

I Tabel 25 vises koordinaterne for de tre bruttoområder.

Tabel 25: Koordinater for bruttoområder på Nordsøen 1 – NS1, NS2 og NS3 (UTM North ETRS89 Zone 32).

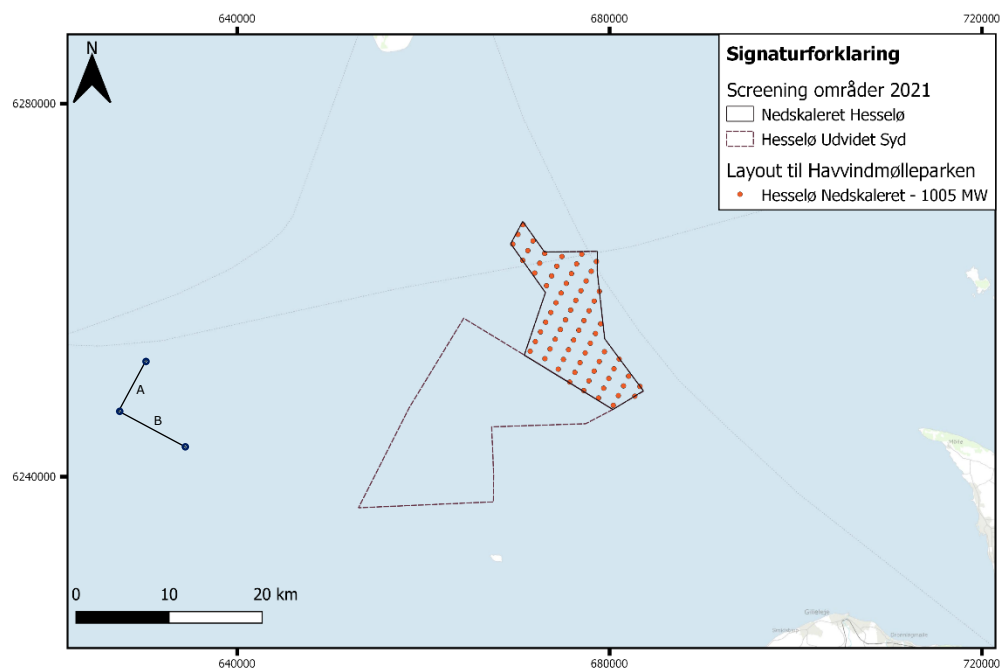
Nordsøen 1 – NS1		Nordsøen 1 – NS2	
X	Y	X	Y
391441	6231541	377554	6202176
395796	6225653	368037	6186462
403875	6224315	393171	6196233
406350	6223873	384237	6180224
394432	6208276		
379912	6214950		
382170	6218700		
Nordsøen 1 – NS3			
409391	6213457		
423941	6221871		
423617	6203358		
408989	6195545		
423590	6195229		

Bilag E Yderligere layoutkoncept

E.1 Nedskaleret Hesselø-område (1005 MW)

I Figur 6-2 ses området og forslag til layout. Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved udnyttelse af det nedskalerede Hesselø-område.

For at kunne placere alle vindmøller inden for det reducerede område er forskellige designlayouts blevet undersøgt. Med fokus på at reducere tabene på grund af skygge blev det besluttet at bruge 5 x 7.5 RD for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 126 km².



Figur 6-2: Nedskalerede Hesselø-området og forslag til placering af møllerne.

I dette layout dækker 67 vindmøller et område på 126 km², som svarer til en mølletæthed på 7,98 MW/km² (0,13 km²/MW). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 6-2) er:

- > Afstand A: 1180 m / 5 RD
- > Afstand B: 1770 m / 7,5 RD.

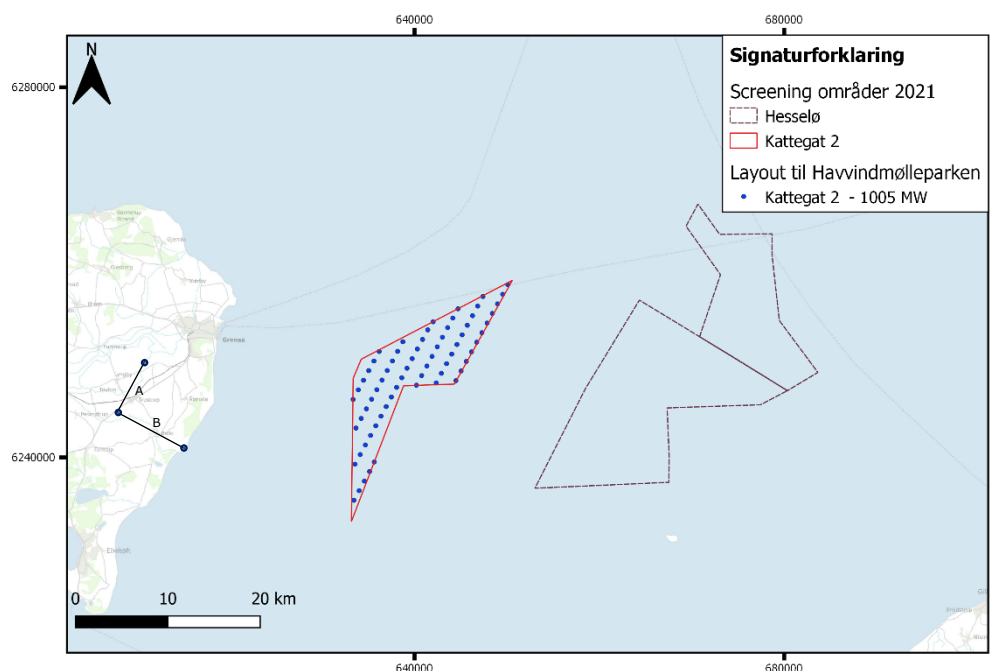
Tabel 26: Produktionsestimater for det nedskalerede Hesselø-område for det foreslåede vindmøllelayout.

Park	Brutto- produktion [GWh/y]	Skygge- tab ²⁷ [%]	Park- produktion ²⁸ [GWh/y]	Tab og LT-korrektion ²⁹ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ³⁰
Nedskaleret Hesselø Ekstra	5339,2	8,4	4892,8	-7,0	4550,3

E.2 Kattegat 2 (1005 MW)

I Figur 6-3 ses området og forslag til layout. Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved udnyttelse af Kattegat 2-området.

For at kunne placere alle vindmøller inden for det reducerede område er forskellige designlayouts blevet undersøgt. Med fokus på at reducere tabene på grund af skygge blev det besluttet at bruge 5 x 7.5 RD for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 122 km².



Figur 6-3: Kattegat 2-området og forslag til placering af møllerne.

I dette layout dækker 67 vindmøller et område på 122 km², hvilket svarer til en mølletæthed på 8,24 MW/km² (0,12 km²/MW). Afstandene mellem møllerne (A og B på Figur 6-3) er:

- > Afstand A: 1180 m / 5 RD
- > Afstand B: 1770 m / 7,5 RD

²⁷ Internt skyggetab i havvindparken.

²⁸ Inklusive skyggetab.

²⁹ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

³⁰ Eksklusiv elektriske tab

Tabel 27: Produktionsestimater for Kattegat 2 for det foreslåede vindmøllelayout.

Park	Brutto- produktion [GWh/y]	Skygge- tab ³¹ [%]	Park- produktion ³² [GWh/y]	Tab og LT-korrektion ³³ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ³⁴
Kattegat 2 Ekstra	5457,3	7,9	5028,6	-7,0	4676,6

³¹ Internt skyggetab i havvindparken.

³² Inklusive skyggetab.

³³ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

³⁴ Eksklusiv elektriske tab



ADRESSE COWI A/S
Parallevej 2
DK-2800
Kongens Lyngby
Danmark

TLF 56 40 00 00

FAX 56 40 99 99

E-MAIL cowi@cowi.dk

WWW cowi.dk