

MARCH 2022
ENERGISTYRELSEN

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

1-0 FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING AF NYE HAVMØLLEPARKER MED
DIREKTE FORBINDELSE TIL LAND.



COWI

MARCH 2022
ENERGISTYRELSEN

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

PROJEKTNR.

A235631

DOKUMENTNR.

A235631-1-0

VERSION

5.0

UDGIVELSESDATO

18-02-2022

BESKRIVELSE

Hovedrapport

UDARBEJDET

KONTROLLERET

GODKENDT

MUAI

INDHOLD

1	Forkortelser	7
2	Indledning	8
2.1	Hovedrapportens indhold	9
2.2	Generelle forudsætninger	9
3	Opsummering og konklusion	11
3.1	Havbundsscreening	13
3.2	Miljø	14
3.3	Vindressource, layouts og energiproduktion	16
3.4	Elektriske transmissionsanlæg	19
4	Havbundsforhold	21
4.1	Metode	21
4.2	Overordnet konklusion	22
4.3	Opsummering af geologiske og geotekniske parametre	27
5	Miljø	28
5.1	Metode	28
5.2	Overordnet konklusion	28
5.3	Konklusion og anbefalinger for projektområde A	31
5.4	Konklusion og anbefalinger for projektområde B	32
5.5	Konklusion og anbefalinger for projektområde C	34
5.6	Konklusion og anbefalinger for projektområde D	36
5.7	Konklusion og anbefalinger for projektområde E	38
6	Vindressource, layouts og energiproduktion	40
6.1	Nordsøen 1	40
6.2	Hesselø og Kattegat 2	43
6.3	Kriegers Flak 2	47

6.4	Resultater	48
7	Elektriske transmissionsanlæg	53
7.1	Generelle forudsætninger	53
7.2	Koncept for elektrisk transmissionsanlæg	55
8	Endelig energiproduktion	67
9	Omkostninger	68
10	Økonomisk rangordning	70
11	Bilag A Kriegers Flak 2 Layout med 2xOSS	71
11.1	Elektriske Transmissionsanlæg	71
11.2	Omkostninger og LCoE	75
12	Bilag B - Hesselø Layout (område F)	78
12.1	Havbundsscreening af Hesselø område F	78
12.2	Miljøscreening af Hesselø område F	91
12.3	Vindressource, layouts og energiproduktion	111
12.4	Elektrisk layout	114
12.5	Omkostninger og LCoE	119

1 Forkortelser

Følgende forkortelser og termer, men ikke nødvendigvis alle, er anvendt i denne rapport:

AEP	Annual Energy Production / Årlige energiproduktion
Arraykabler	66 kV sø-kabler, der forbinder en række havvindmøller til havtransformerstationen
CAPEX	Capital expenditure – anlægsomkostning
GIS	Geographic Information System
LCoE	Levelized Cost of Energy
INTC	Interconnector cable
KP	Kilometer punkt
kV	Kilovolt (1.000 V)
MVar	MegaVAr (reaktiv effekt)
MW	Megawatt (aktiv effekt)
OFAC	Offshore array cable (havkabel fra vindmølle til transformer)
OFEC	Offshore export cable – eksportkabel til søs – kabel fra transformer til tilslutningspunkt
ONEC	Onshore export cable – eksportkabel på land
OSS	Offshore substation (havbaseret transformerplatform, havtransformerstation)
POC	Point of connection (Energinets tilslutningspunkt)
RCS	Reactive compensation station (reaktiv kompenseringsstation)
SR	Shunt reactor
TSO	Transmissionssystemoperatør
UXO	Unexploded Ordnance (ikke-eksploderede ammunition)
VE	Vedvarende energi, energikilder
WTG	Wind turbine generator (hele vindmøllen med fundament)

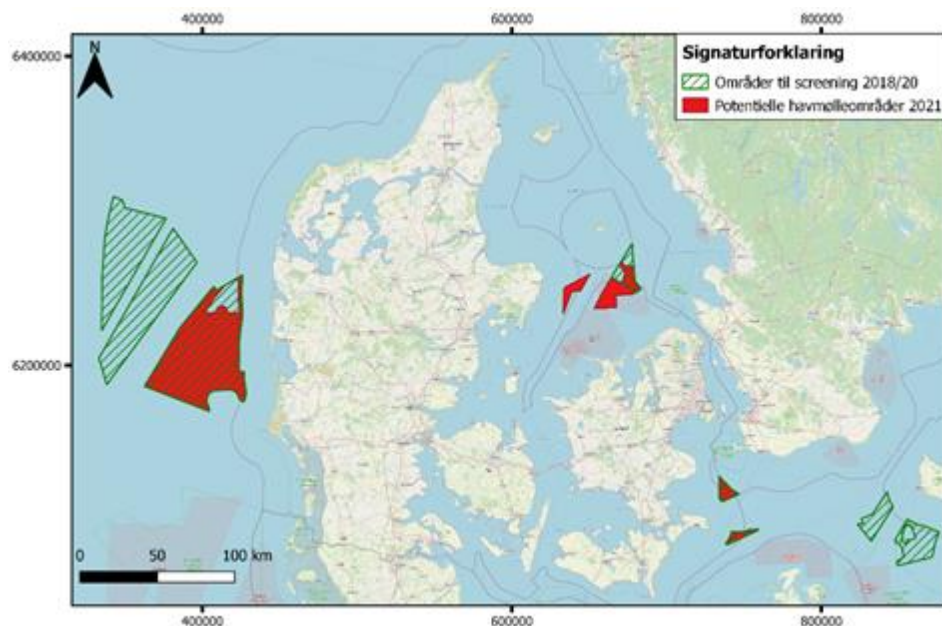
2 Indledning

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 2-1) 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: 'Hesselø Nedskaleret' + 'Hesselø udvidet syd' (373 km²)
- > Projektområde B: 'Hesselø Nedskaleret' + 'Kattegat 2' (248 km²)
- > Projektområde C: 'Hesselø Nedskaleret' + '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 med specifik placering i de angivne områder og dels at levere økonomiske beregninger og rangordne vindparkerne herefter. Beregningerne belyser økonomien i at opstille parker på de specifikke, identificerede placeringer ved at tage højde for miljø- og planmæssige forhold, havbundsforhold, vindressource, layouts og energiproduktion samt elektriske systemer.



Figur 2-1 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 Energifaen 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.

2.1 Hovedrapportens indhold

Denne rapport opsummerer hovedresultaterne fra de underliggende delrapporter med en opdatering af dele af finscreeningen fra 2020 samt finscreening af nyt havareal (Kattegat 2 og Hesselø udvidet Syd) til etablering af havvindmølleparker, og beregninger af LCoE på baggrund af estimeret energiproduktion og forventede investerings- og driftsomkostninger. På baggrund af levetidsberegninger (LCoE) rangordnes layoutene fra billigst til dyrest. Tabel 2-1 er en oversigt over hovedrapporten og delrapporterne.

Tabel 2-1 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

2.2 Generelle forudsætninger

De potentielle layouts som behandles i rapporter jf. Tabel 2-1 er præsenteret i Tabel 2-2. Finscreeningen er foretaget med udgangspunkt i følgende kriterier givet af Energistyrelsen:

- > et maksimalt arealoptag på 0,22 km²/MW svarende til en MW tæthed på 4,5 MW/km², eller hvilken større MW tæthed der kan begrundes hensigtsmæssigt for det enkelte parklayout for at balancere skyggeeffekter og kabellængder for store vindmøller opstillet i perioden 2027-2030
- > en fremtidig mølle med en effekt på 15 MW

- > en parkstørrelse på 1 GW som tilsluttes transmissionsnettet i land
- > et bruttoområde til opstiller, som for hver park er 30 % større end nødvendigt for at give opstiller fleksibilitet i den endelige optimeringsproces.

Tabel 2-2: Oversigt over projektområder, scenarie og layouts

Projekt-områder (rød farve i Figur 2-1)	Site navn	Scenarie	Layout	Kapacitet [MW]	Mølletype [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 ¹
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

¹ 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 Opsummering og konklusion

Analysen har overordnet vist, at det er muligt at bygge havvindmølleparker i samtlige projektområder. LCoE (levetidsomkostninger) for de otte layouts (scenarier) er vist i Tabel 3-1. I Tabel 9-1 findes en gennemgang af de nødvendige investeringsomkostninger, som ligger til grund for LCoE-beregningerne. Levetidsomkostningerne er afhængige af den årlige nettoproduktion af elektricitet, investeringsomkostningerne (CAPEX) og drift- og vedligeholdelsesomkostningerne (OPEX). Forskellene i levetidsomkostningerne er primært drevet af store forskelle i investeringsomkostningerne til eksportsystemet og arraykablerne. Dette på trods af, at disse investeringsomkostninger kun udgør en mindre del af de samlede investeringsomkostninger.

LCoE beregningen er baseret på, at installation af vindturbiner kan ske på den konventionelle måde, hvor der benyttes jack-up skibe, som stabiliserer sig vha. ben nedsænket på havbunden. Der er derfor ikke foretaget yderligere analyser ift. havbund og vægtens effekt på stabilitet eller mangel på bæreevne. Dette kræver en specifik vurdering og der opfordres til at undersøge dette nærmere på projektområde A, B og C, hvori det nedskalerede Hesselø indgår. Såfremt fremtidige vurderinger konkluderer, at installationen af vindturbiner ikke er muligt med jack-up skibe, skal der benyttes avancerede skibe med kapabilitet for flydende installation. Disse typer skibe vil være betydelig dyrere end konventionelle skibe. I Bilag B - Hesselø Layout (område F) er der foretaget en analyse for omkostningsmæssige indvirkninger på et projekt i det oprindelige Hesselø-område screenet i 2020 og 2018.

Tabel 3-1: Rangordning af havmølleparker ud fra levetidsomkostningerne inklusiv udgifter til eksportsystemer

LAYOUT	(kr/kWh)	(kr/MWh)	(EUR/MWh)
Nordsøen 1, Layout 3 (NS3)	0,38	379	51
Nordsøen 1, Layout 1 (NS1)	0,38	383	51
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1 + KF2N)	0,39	387	52
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	0,39	388	52
Nordsøen 1, Layout 2 (NS2)	0,39	393	53
Nedskaleret Hesselø (HN1)	0,40	401	54
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1 + KG2)	0,41	410	55
Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N + KF2S)	0,41	410	55

Siden finscreeningen 2020 er den årlige energiproduktion (AEP) steget for alle sites. Yderligere er omkostningerne til arraykabler i gennemsnit steget med ca. 50 %. For Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd er arraykablerne dog 100 % dyrere end i 2020. Det skyldes, at der er lavet et nyt elektrisk systemdesign, som fører til, at der skal bruges en øgede mængde af arraykabler. I Bilag A Kriegers Flak 2 Layout med 2xOSS er der analyseret et projekt i Kriegers Flak 2 områderne med et elektrisk system, der ligner det, der blev fremlagt i 2020-screeningen.

Energinet har leveret oplysningerne om det samlede energitab samt CAPEX-estimer for eksportsystemet. I forhold til Finscreening 2020 er der blevet større forskel på områder ift. både CAPEX og tab i denne finscreening. Forskellene mellem scenarierne ift. CAPEX og tab var dermed mindre i finscreeningen for 2020.

Priserne for fundamentene er baseret på monopæl fundering. Priserne på fundamentene varierer fra site til site, hvilket primært skyldes forskellige havdybder og havbunde, samt om der er behov for at beskytte fundamentet mod erosion. I Nedskaleret Hesselø og Kriegers Flak 2 Syd skal monopælene bankes længere ned i havbunden, hvilket betyder, at der skal bruges mere stål og arbejdstid. I Kriegers Flak 2 Nord, kan havbunden vise sig at være hårdere i nogen områder, hvilket resulterer i lidt længere arbejdstid. Tages der højde for svære havbundsforhold på de ovenstående sites, stiger omkostningerne til fundamentene 12-22 % i forhold til fundering på sites med ukompliceret havbund.

Havbunden i Nordsøen 1 området er evalueret til at være velegnede til monopæle, men grundet havstrømme på bunden kræver de beskyttelse mod erosion, hvilket øger CAPEX. Der er ikke behov for erosionsbeskyttelse på de øvrige sites.

Ligesom i finscreeningen 2020 er LCoE lavest i Nordsøen, dog ikke for layout Nordsøen 1 NS2. Sammenlignet med Finscreening 2020 er levetidsomkostningerne for de tre layouts i Nordsøen faldet ca. 5 %. Dette skyldes primært den forbedrede AEP.

Det site med den højeste LCoE er Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd. Det skyldes især høje omkostninger til eksportsystemet og arraykabler i forhold til de andre sites. AEP er sammenligneligt med de andre sites. I forhold til Kriegers Flak scenariet fra Finscreening 2020 er omkostningen til arraykabler steget med ca. 100%. Samlet set er Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd blevet dyrere sammenlignet med Kriegers Flak scenariet fra Finscreening 2020, hvad angår samlet CAPEX, men ift. LCOE er der ikke sket nogen ændringer af betydning, da energiproduktionen samtidig er steget. I Bilag A Kriegers Flak 2 Layout med 2xOSS er der analyseret et projekt med lignende elektrisk system ift. 2020-screeningen for en park i Kriegers Flak 2 områderne. Resultaterne af dette viser, at LCoE sænkes til 0,40 kr/kWh. Denne analyse blev foretaget efter de andre screeninger præsenteret i Tabel 2-2, hvilket forklarer hvorfor den ligger som et bilag.

3.1 Havbundsscreening

På nuværende tidspunkt og vidensniveau er der ikke fundet geologiske eller geotekniske faktorer, der vurderes at være en forhindring for placering af havvindmøllefundamenter. Den samlede vurdering skal derfor betragtes som en relativ rangordning i forhold til de andre områder vurderet i screeningen og alle områder kan anvendes til opstilling af havvindmøller ud fra en geologisk og geoteknisk betragtning.

Områderne er rangordnet efter havbundssediment, overordnet geologi, geoteknisk vurdering, længden af og forholdene langs eksportkabelføring til land, vanddybde samt variationsmulighed for placering af havvindmøllerne. Som eksempel er Hesselø Udvidet Syd vurderet bedre egnet end Kattegat 2, da der er flere muligheder for placering af havvindmøllerne samt kortere eksportkabelrute i ensartede havbundsforhold. Kriegers Flak 2 Syd, underområde Øst, er rangeret lavere end Kriegers Flak 2 Syd, underområde Vest, på grund af større havdybde og mere dyndet havbundssediment. På grund af den interne variation af havbundssedimenterne i øst og vest, inden for Kriegers Flak 2 Syd, har det været medvirkende til at området er blevet opdelt i to delområder der er kategoriseret forskelligt.

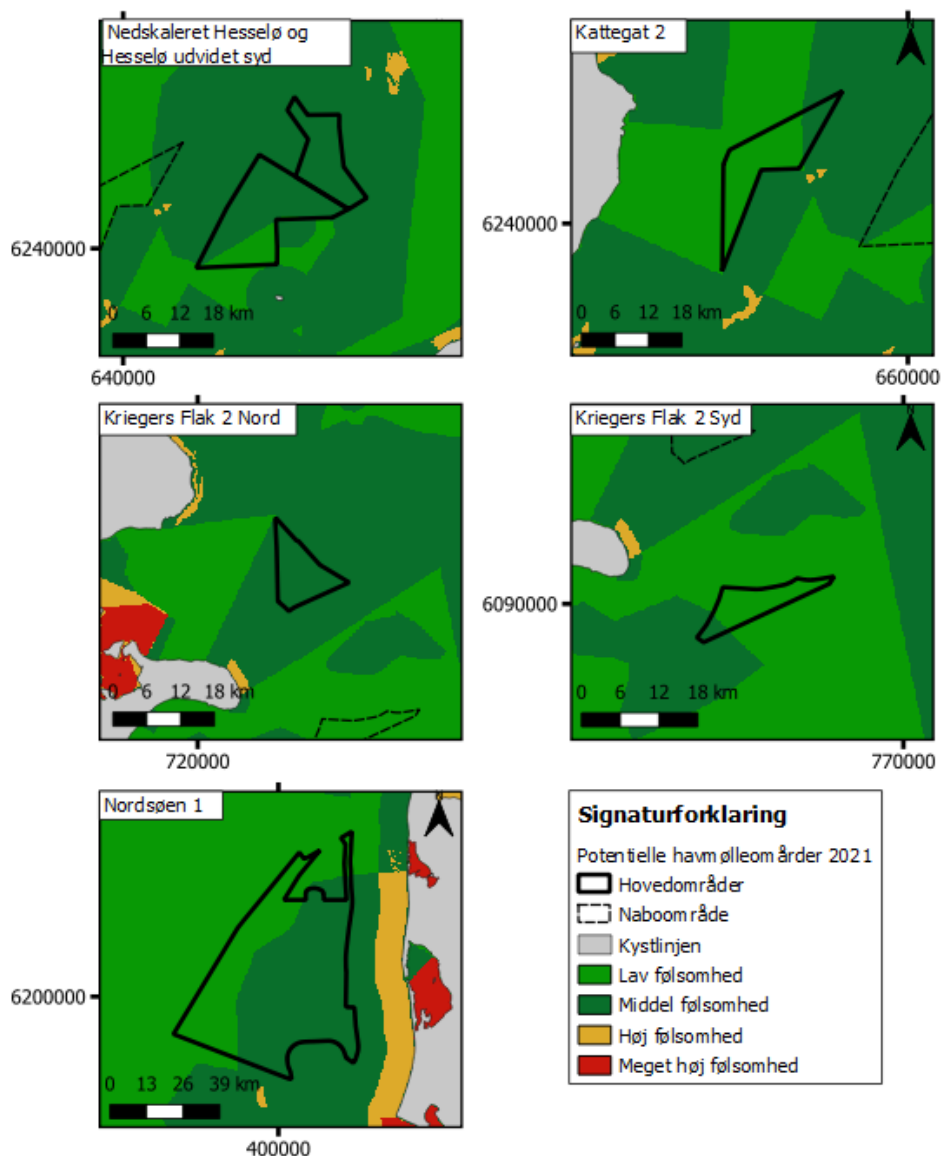
Delrapport 1-1 vedrørende havbundsforhold deler sin analyse op ud fra et geografisk afgrænset område og ikke ud fra hvert layout jf. Tabel 2-2. En samlet oversigt af vurderingen og rangordningen er vist i Tabel 3-2.

Tabel 3-2 Samlet vurdering og rangordning af de screenede projektområder samt del- og underområder.

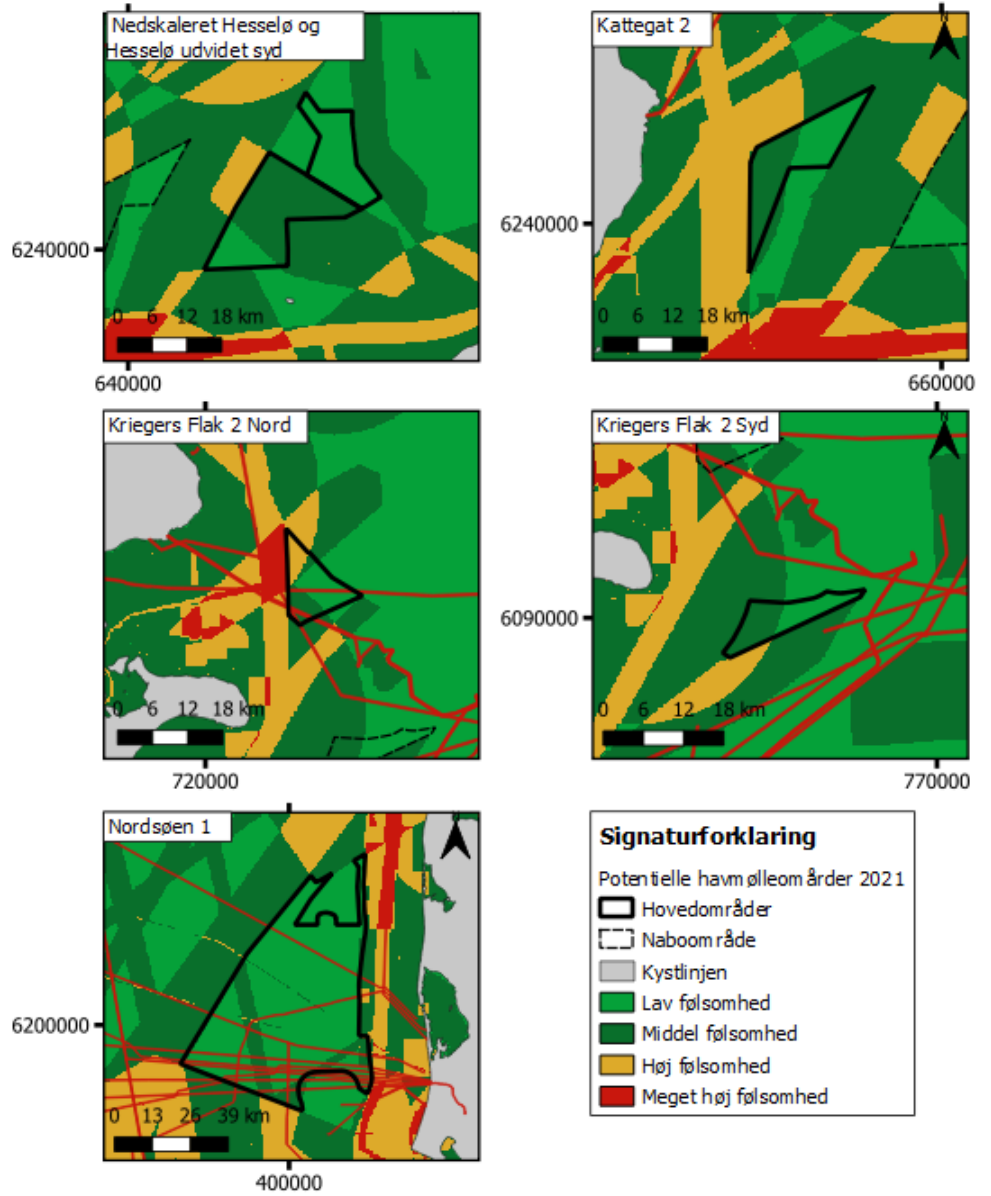
Rang	Område	Kategori
1	Hesselø Udvidet Syd	Velegnet (V)
2	Kattegat 2	Velegnet (V)
3	Nordsøen 1	Velegnet (V)
4	Kriegers Flak 2 Syd (vest)	Velegnet (V)
5	Kriegers Flak 2 Syd (øst)	Mindre Velegnet (V-)
6	Kriegers Flak 2 Nord	Mindre Velegnet (V-)
7	Nedskaleret Hesselø	Mindre Velegnet (V-)

3.2 Miljø

Overordnet vurderes der ikke at være forhold, der på forhånd gør de screenede områder (projektområde A-E) uegnede til opstilling af havvindmølleparker (Figur 3-1 og Figur 3-2). Områderne vurderes, i overvejende grad, enten at have lav eller middel følsomhed i forhold til miljø- og planmæssige forhold. I forhold til finscreening i 2020 (COWI, 2020) er større områder kategoriseret med middel miljøfølsomhed, hvilket skyldes, at der er tilvejebragt yderligere data og vurderinger på især overvintrende fugle samt trækfugle. Det drejer især om at større områder omkring Hesselø, ved Kriegers Flak 2 Nord, samt hele den østlige del af Nordsøen 1 er udpeget til at have middel miljøfølsomhed. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede havvindmølleparker undersøges som en del af de miljøvurderinger, der foretages i forbindelse med etablering af en park i et specifikt område.



Figur 3-1. Samlet oversigt over miljøfølsomhed for de seks områder, nedskaleret Hesselø, Hesselø udvidet syd, Kattegat 2, Kriegers Flak 2 Nord, Kriegers Flak 2 Syd og Nordsøen 1.



Figur 3-2. Samlet oversigt over de menneskelige interesser for de seks områder, nedskaleret Hesselø, Hesselø udvidet syd, Kattegat 2, Kriegers Flak 2 Nord, Kriegers Flak 2 Syd og Nordsøen 1.

3.3 Vindressource, layouts og energiproduktion

3.3.1 Vindressource

Tabel 3-3 viser den aritmetiske vindhastighed for de tre områder baseret på de udtrukne mesoscale datapunkter.

Tabel 3-3: Aritmetisk vindhastighed for de tre 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

Vindressourcen i Nordsøen 1 er højere end ved Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2. Hesselø og Kattegat 2 er det område, der har den laveste aritmetiske vindhastighed sammenlignet med de øvrige områder. Det har betydning for energiproduktionen og derigennem LCoE.

Vinden varierer 2,0% hen over området i Nordsøen 1, hvor der observeres højere vindhastigheder væk fra kysten. I Hesselø og Kattegat 2 området, varierer vinden med 2,1 % hen over området, idet området ligger minimum 30 km fra nærmeste kyst og er ligeligt eksponeret for vind kommende fra hovedvindretningerne. Kriegers Flak 2 har den lavest vindvariation, med en forskel på kun 0,6 % mellem datapunkterne hen over området.

Weibull-parametrene² bekræfter den høje vindressource, der er tilgængelig på disse områder. Værdier for k for lokaliteterne spænder fra 2,32 til 2,35, mens værdierne for A spænder fra 10,9 til 11,8 m/s, hvilket indikerer en smallere fordeling og høj vindfordeling og dermed højere energiproduktion.

3.3.2 Layouts

For at fastlægge udgangspunktet for placeringen af havvindmøllerne, er der taget udgangspunkt i kombinationen af forundersøgelsesområdet og de potentielle arealbegrænsninger inden for forundersøgelsesområdet. Det resulterende tilgængelige areal er anvendt til design af layoutet for placeringen af havvindmøller. Derudover er vindressourcen og den elektriske infrastruktur inddraget i designlayoutet. Da der er anvendt en 15 MW vindmølle, betyder det, at hvert layout består af 67 vindmøller³ (dvs. 1005 MW).

I Tabel 3-4 ses en oversigt over de input, som indgår i hvert layout og tilhørende beregninger. I Tabel 3-5 ses bruttoproduktion, skyggetab, parkproduktion (efter

² Weibull-funktionen er en analytisk kurve, der beskriver vindhastighedens frekvensfordeling i specifikke vindhastighedsområder ved hjælp af to parametre; A og k. 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 I Layout HN1+KF2N er der placeret i alt 68 vindmøller (dvs. 1020 MW)

skyggetab er fratrukket), tab og korrektioner samt nettoproduktionen for hvert af de foreslåede layouts.

Tabel 3-4: Beregningsinputoversigt for alle foreslåede layouts præsenteret i delrapporterne.

Layout	Vindmølleafstand [RD ⁴]	Layoutstørrelse [km ²]	Effektæthed [MW/km ²]	Mølletæthed [km ² /MW]	Bruttoområde [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	293,8
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 3-5 er de mest produktive områder placeret ved Nordsøen 1, da dette område har den højeste vindressource sammenlignet med de resterende områder. Der blev observeret en produktionsforskel på ca. 6,0 % hen over de forskellige layouts. Nettoenergiproduktionen er ens blandt de tre layouts i Nordsøen 1. Variationen er cirka 0,5 %. Dette hænger sammen med den relativt homogene vindressource i dette område.

På Hesselø er den væsentligste forskel mellem de to layouts (hhv. HUS1 og HN1) det anvendte areal, hvilket giver lavere skyggetab og højere produktion for HUS1, som bruger et større areal end HN1. Den samlede forskel mellem nettoenergiproduktionen er ca. 2,8 %. Hesselø (HN1) har den højeste effektæthed i forhold til de resterende undersøgte layouts på grund af arealstørrelsen af området.

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 %).

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

⁴ Rotordiameter = 236 m.

mindre skyggestab. Det samlede tab er lavere på grund af den langsigtede korrektion (dvs. de kort- og langsigtede vindhastigheder er næsten identiske).

Lignende resultater er observeret for layout HN1 + KG2. De laveste skyggestab er observeret for dette layout.

Tabel 3-5: Produktionsestimater for alle foreslåede layouts.

Layout	Brutto- produktion [GWh/y]	Skyggestab ⁵ [%]	Park Produktion ⁶ [GWh/y]	Tab og LT- korrektion ⁷ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ⁸
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

⁵ Internt skyggestab i vindparken.

⁶ Inklusive skyggestab.

⁷ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

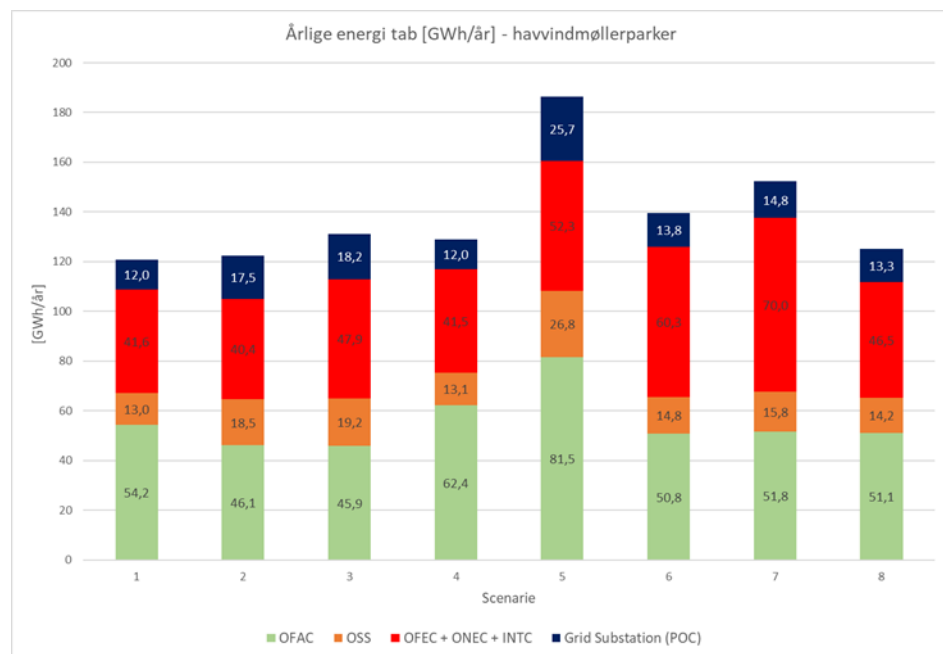
⁸ Eksklusiv elektriske tab

3.4 Elektriske transmissionsanlæg

Den elektriske infrastruktur omfatter elektriske fordelingsanlæg fra vindmøllerne til nettilslutningspunkt (PoC) på land. Den fastlagte elektriske infrastruktur danner grundlag for udarbejdelse af CAPEX-overslag og fastlæggelse af samlede årlige energitab til brug for beregning af LCoE for de udvalgte vindmølleparker. CAPEX-estimatet for arraykablerne (OFAC) for de enkelte scenarier (ref. til Tabel 2-2) er baseret på konkrete placeringer af vindmøllerne og individuelle traceer og derved længder af kablerne. I denne finscreening er der tilvejebragt et mere nøjagtigt CAPEX-estimat for arraykablerne i forhold til 2020 finscreeningen, hvor en standard arraykabel system blev antaget for en 1 GW vindmøllepark.

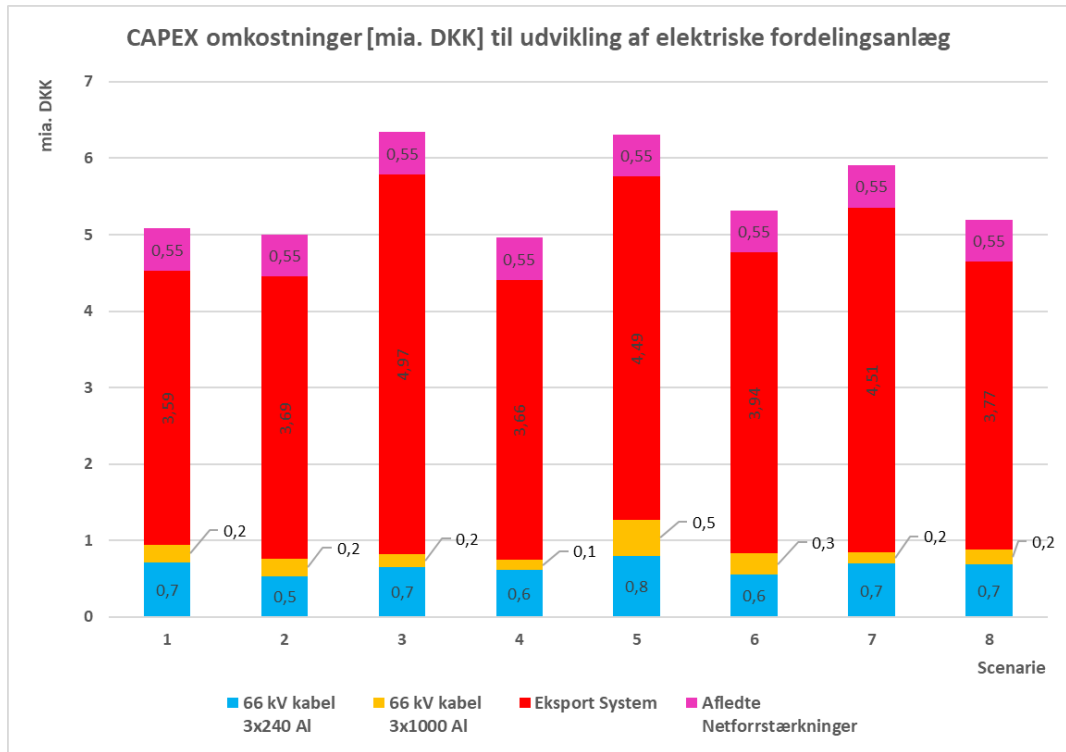
Den elektriske infrastruktur anvendt til de 8 scenarier afviger fra område til område, men der er ikke fundet forhold, som gør at ét område er åbenlyst mere attraktivt end andet, da CAPEX & OPEX for den elektriske infrastruktur kun udgør en mindre del af den samlede økonomiske beregning.

De akkumulerede årlige elektriske tab fordelt på de forskellige anlægskategorier fremgår af Figur 3-3.



Figur 3-3: Årlige energitab for scenarie 1-8.

CAPEX fordelt på de forskellige anlægskategorier fremgår af Figur 3-4.



Figur 3-4: CAPEX-estimat for scenarie 1-8.

For eksportsystemet er der en række ændringer i forhold til Finscreeningen 2020 som skal bemærkes for resultaterne. Den aktuelle finscreening tilgodeser ændringer på længderne af eksportkablerne og på behovet for reaktiv kompensering for kabelanlæggene.

Der antages nu forskellige placeringer og ændringer i tilslutningspunkter i land som følge af ny viden og opdatering af projekterne siden den oprindelige finscreening. Dette betyder eksempelvis for Hesseløs tilslutning i Hovegård er en ændring fra den oprindelige tilslutning i Gørløse som medfører ekstra 18 km kabel for dette projekt.

For den reaktive kompensering blev der som et konservativt overslag regnet med etablering af reaktive kompenseringplatforme langs kablet til 0,6 mia. kr. per projekt ved lange kabler over 30-40 km. Siden 2020 er det med erfaringerne fra Kriegers Flak Havvindmøllepark valgt at fjerne dette fra denne opgørelse. Der regnes stadig med reaktiv kompensering ved platformen og ved tilslutningspunktet.

I forhold til Kriegers Flak 2 Nord og Syd er der regnet med anden struktur end i Finscreening 2020, med kun én central havplatform nær Kriegers Flak Havvindmøllepark i stedet for to i hvert delområde. Begrundelsen for dette er at placeringen er nær Kriegers Flak Havvindmøllepark, hvilket giver muligheder for sammenkobling af Kriegers Flak 2 til andre områder eks. mulighed for udlandsforbindelse til Tyskland og mindre behov for udbygning af elnettet i DK2.

4 Havbundsforhold

I det følgende afsnit er hovedresultaterne af havbundsforholdene i delrapport 1-1 Havbundsscreening for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2 kort opsummeret.

4.1 Metode

Havbundsscreeningen af de geologiske- og funderingsmæssige forhold i relation til etablering af nye havvindmølleparker omfatter:

- > En GIS-baseret vurdering af de geologiske- og funderingsmæssige forhold i forbindelse med rangordning af lokaliteterne og delområder inden for de udpegede områder med henblik på vurdering af egnethed i forhold til etablering af havvindmøller.
- > En GIS-baseret vurdering af foreslåede kabeltracéer fra havvindmølleparken til ilandsføringspunktet for nettilslutningspunktet på land.
- > Konceptuelle geomodeller, der karakteriserer de seks undersøgte områder.

Egnetheden er vurderet gennem følgende to trin:

- > Trin 1: Samling og analyse i GIS af data for havbund, geologi- og funderingsmæssige forhold. Vurdering af parametre, der erfaringsmæssigt kan gavne eller besværliggøre etableringen af havvindmøller.
- > Trin 2: Kategorisering og rangordning af områdenes og delområdenes egnethed til etablering af en havvindmøllepark på de tre lokaliteter samt fremstilling af GIS-kort.

Under trin 2 er underområderne blevet givet en overordnet kategorisering, V+, V eller V-, som placerer deres egnethed til konstruktion af vindmøller ud fra de geologiske og geotekniske parametre fra trin 1.

- > Kategori V+: Meget velegnet
- > Kategori V: Velegnet, men med enkelte fordyrende parametre
- > Kategori V-: Mindre velegnet, med flere fordyrende parametre
- > Da flere af områderne er blevet tildelt samme kategori, er disse rangordnet i forhold til hinanden.

4.2 Overordnet konklusion

På nuværende tidspunkt og vidensniveau er der ikke fundet geologiske eller geotekniske faktorer der vurderes at være en forhindring for placering af havvindmøllefundamenter. Den samlede vurdering skal derfor betragtes som en relativ rangering af områderne, og at alle områder kan anvendes til opstilling af havvindmøller ud fra en geologisk og geoteknisk betragtning.

Ud fra ovenstående vurderinger og konklusioner opstilles rangordningen af områderne som vist i Tabel 4-1 fra Velegnet (V) til Mindre Velegnet (V-). Delrapport 1-1 vedrørende havbundsforhold deler sin analyse op ud fra et geografisk afgrænset område og ikke ud fra hvert layout jf. Tabel 2-2. Da flere af områderne er blevet tildelt samme kategori, er disse rangordnet i forhold til hinanden. Dermed er underområderne rangordnet relativt til hinanden.

Tabel 4-1: Samlet vurdering og rangordning af de screenede hovedområder samt del- og underområder.

Rang	Område	Kategori
1	Hesselø Udvidet Syd	Velegnet (V)
2	Kattegat 2	Velegnet (V)
3	Nordsøen 1	Velegnet (V)
4	Kriegers Flak 2 Syd (Vest)	Velegnet (V)
5	Kriegers Flak 2 Syd (Øst)	Mindre velegnet (V-)
6	Kriegers Flak 2 Nord	Mindre velegnet (V-)
7	Nedskaleret Hesselø	Mindre velegnet (V-)

Områder og underområder er rangeret efter den geotekniske vurdering, overordnet geologi, havbundssedimentet, længden af og forholdene langs eksportkabelføring til land, vanddybden samt variationsmulighed for placering af havvindmøllerne. For eksempel er Hesselø Udvidet Syd vurderet bedre egnet end Kattegat 2, da længde af eksportskablet er kortere og der er bedre mulighed for alternative placeringer af havvindmøller. På nuværende vidensniveau vurderes de geologiske og geotekniske forhold at være tilsvarende hinanden. Kriegers Flak 2 Syd er underopdelt i en vestlig og østlig del, da det vurderes, at der kan forekomme bløde sedimentter i den østlige del. Derfor er det østlige område kategoriseret lavere end det vestlige område.

4.2.1 Konklusion og anbefalinger for Nordsøen 1

Nordsøen 1 er placeret vest for Jylland ca. 27 km fra kysten. Området dækker et areal på ca. 2.900 km². Den nordligste del af området grænser op til den planlagte Thor Havvindmøllepark. Der er for Thor Havvindmøllepark i 2021 udført geotekniske og geofysiske undersøgelser, og der er udarbejdet en geologisk model for området. Dele af dette arbejde er integreret i den endelige vurdering af Nordsøen 1.

Området ligger på ca. 10-42,5 m vanddybde (gennemsnitligt ca. 29 m). Havbunden består primært af mobilt sand, groft sand og grus. Kun i det sydøstligste hjørne af området er der kortlagt dyndet sand, hvilket er sammenfaldende med de laveste vanddybder. Det vurderes, at der kan forventes mobile sandbanker på 5-10 m tykkelse med en bølgelængde på 100-200 m.

Området vurderes at være velegnet for fundering med monopæle. Glaciale og interglaciale aflejringer i områder kan have høje styrker og tykkelser på op til 50 m.

På det foreliggende grundlag vurderes det, at eksportkablet kan spules ned på hovedparten af strækningen.

Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko.

Konklusion: (Nordsøen 1)

- > **Positivt:** Fundering er mulig med monopæle.
- > **Negativt:** Vejrforholdene i Vesterhavet giver risiko for megen standby ifm. installation. Bløde postglaciale aflejringer i den sydøstlige del af området kan medføre problemer med jack-up operationer under installation. Installation af monopæle kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale aflejringer. Der vurderes at være en betydelig sedimenttransport i området.

4.2.2 Konklusion og anbefalinger for Kriegers Flak 2 Nord og Kriegers Flak 2 Syd

Kriegers Flak 2 består af to underområder: Kriegers Flak 2 Nord og Kriegers Flak 2 Syd. Kriegers Flak 2 Nord har et areal på ca. 98 km² og ligger ca. 23 km fra Rødvig på Stevns. Området ligger på ca. 20-35 m vanddybde (gennemsnitligt ca. 29,4 m). Kriegers Flak 2 Syd har et areal på ca. 75 km² og ligger ca. 17 km fra Møn. Området ligger på ca. 18-42 m vanddybde (gennemsnitligt ca. 28,5 m).

I Kriegers Flak 2 Nord består havbunden af dyndet sand og moræne/diamikt. De postglaciale aflejringer udgør 0-1,5 m marint sand og ferskvandsler. I Kriegers Flak 2 Syd består havbundssedimentet overvejende af 1-8 m sand med øgede mængder dynd mod øst. Den prækvartære overflade ligger overordnet over kote -40 m. I Kriegers Flak 2 Nord vurderes det, at tykkelsen af de kvartære og holo-cæne aflejringer er relativt tynde i forhold til Kriegers Flak 2 Syd, hvilket betyder, at kalkoverfladen ligger tættere på havbunden. Derfor vurderes det, at Kriegers

Flak 2 Nord skal kategoriseres lavere end Kriegers Flak 2 Syd. Derudover er Kriegers Flak 2 Syd blevet opdelt i to underområder – underområde Øst og underområde Vest. Kriegers Flak 2 Syd, underområde Øst, er rangordnet lavere end underområde Vest, grundet større havdybde og mere dyndet havbundssediment.

På det foreliggende grundlag vurderes det, at eksportkablet forventes delvist at kunne spules ned (sand) og delvist at skulle pløjes/graves ned (ler, moræne og kalk). Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko.

Konklusion (Kriegers Flak 2 Nord):

- > **Positivt:** Fundering med monopæle er muligt, dog er området vurderet til at være mindre velegnet.
- > **Negativt:** Installation af monopæle kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt højtliggende hård og flintrig kalk/skrivekridt. Relativ lang eksportkabelrute i forhold til de andre områder.

Konklusion (Kriegers Flak 2 Syd):

- > **Positivt:** Fundering med monopæle vurderes at være mulig.
- > **Negativt:** Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt højtliggende hård og flintrig kalk/skrivekridt. Bløde aflejringer i dele af området kan medføre problemer med jack-up under installation. Det er den længste eksportkabelrute relativt til de andre vurderede eksportkabelruter i nærværende rapport. Eksportkabelruten krydser et område, hvor kalk vurderes at ligge tæt på havbunden.

4.2.3 Konklusion og anbefalinger for Nedskaleret Hesselø

Nedskaleret Hesselø er placeret i Kattegat mellem Hesselø og Anholt og har et areal på ca. 126 km². Området er beliggende ca. 50 km øst for Grenå og ca. 35 km nordvest for Gilleleje. Området ligger på 25-33 m vanddybde (gennemsnitligt ca. 30,5 m). Områdets udbredelse er blevet nedskaleret i forhold til tidligere screeninger af Hesselø-området, blandt andet fordi geotekniske og geofysiske undersøgelser i 2021 konstaterede tykke, lerede sekvenser med lav styrke i den nordlige og sydvestlige del af det oprindelige område.

Havbundssedimentet i Nedskaleret Hesselø-området består primært af holocænt dyndet sand og ler med en vurderet tykkelse på 20-30 m. Det vurderes, at installation af monopæle besværliggøres af bløde sedimenter med store tykkelser. Jordlag med mellem til høj styrke ses fra ca. 30 m under havbunden.

På det foreliggende grundlag vurderes det, at eksportkablet forventes delvist at kunne spules ned (sandet dynd og sand) og delvist at skulle pløjes/graves ned i havbunden (moræne).

Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko.

Konklusion (Nedskaleret Hesselø):

- > **Positivt:** Fundering med monopæle er mulig, men vurderet som mindre velegnet. Kort eksportkabelrute relativt til de andre områder undersøgt i denne rapport.
- > **Negativt:** Installation af monopæle besværliggøres af store tykkelser af bløde sedimenter med lav styrke (geotekniske styrkeparametre). Der er relativ høj vanddybde i forhold til de andre områder.

4.2.4 Konklusion og anbefalinger for Hesselø Udvidet Syd

Hesselø Udvidet Syd er placeret i det sydlige Kattegat umiddelbart syd og sydvest for Nedskaleret Hesselø. Den nordvestlige del af området ligger ca. 45 km øst for Grenaa. Den sydlige del af området ligger ca. 35 km nord for Nykøbing Sjælland. Hesselø Udvidet Syd har et areal på ca. 247 km². Området ligger på ca. 14-32 m vanddybde (gennemsnit på ca. 24 m).

Havbunden består primært af holocænt dyndet sand og har en vurderet tykkelse på 2-20 m. Under dette findes senglaciale lerede aflejringer med en tykkelse på 5-25 m og glaciale moræneaflejringer med en tykkelse på 20-35 m overlejrende marine sand- og lersten fra Nedre Kridt og Jura. Der er tolket en kanalstruktur med en nord-sydlig orientering gående igennem Hesselø Udvidet Syd. Kanalstrukturen har flanker af moræneler og er opfyldt af holocæne og senglaciale lerede sedimenter. Det vurderes, at de sedimenter, der findes i kanalstrukturen, har styrker, der er sammenlignelige med styrkerne fundet i det oprindelige Hesselø-område i tilsvarende sedimenter. Dybden af kanalstrukturen er ukendt, men vurderes til minimum 15 m. Det vurderes, at installation af monopæle er muligt, men at installation besværliggøres i områder med bløde sedimenter med store tykkelser.

På det foreliggende grundlag vurderes det, at eksportkablet forventes delvist at kunne spules ned (sandet dynd og sand) og delvist at skulle pløjes/graves ned i havbunden (moræne).

Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko.

Konklusion (Hesselø Udvidet Syd):

- > **Positivt:** Fundering med monopæle er mulig. Kort eksportkabelrute relativt til andre undersøgte områder. Relativt lav vanddybde i forhold til de andre områder og sammenlignelig med den gennemsnitlige havdybde på Kattegat 2.
- > **Negativt:** Installation af monopæle kan besværliggøres i områder med store tykkelser af bløde sedimenter med lav styrke samt i områder med glaciale moræneaflejringer med høj styrke.

4.2.5 Konklusion og anbefalinger for Kattegat 2

Kattegat 2 er placeret i Kattegat med den vestlige del af området ca. 16 km fra Grenå og ca. 34 km fra Hesselø mod øst (fra den sydlige del af området). Kattegat 2 har et areal på ca. 122 km². Området ligger på ca. 17-38 m vanddybde (gennemsnit på ca. 22 m).

Havbundssedimentet bestående af holocænt dyndet ler og sand har en vurderet tykkelse på 1-13 m i den sydlige del, mens dette kun er vurderet til 1-5 m i den nordlige del. Under dette findes senglaciale lerede og sandede aflejringer med en tykkelse på op til 10 m og glaciæle moræneaflejringer med en tykkelse på 10-28 m overlejrende Danien kalk og marine sand- og lersten fra Nedre Kridt og Jura. Det vurderes, at installation af monopæle er muligt.

På det foreliggende grundlag vurderes det, at eksportkablet forventes delvist at kunne spules ned (sandet dynd og sand) og delvist at skulle pløjes/graves ned i havbunden (moræne).

Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko.

Konklusion (Kattegat 2):

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle. Generel lav vanddybde, sammenlignelig med den gennemsnitlige havdybde på Hesselø Udvidet Syd.
- > **Negativt:** Installation af monopæle kan besværliggøres af muligt hårdt og stenfyldt moræneler samt potentielt Danien kalk ved stor rammedybde.

4.3 Opsummering af geologiske og geotekniske parametre

De konkrete geologiske- og geotekniske parametre er opsummeret i Tabel 4-2. Disse parametre er også taget betragtning i forbindelse med den økonomiske beregning vist i oversigten i Tabel 9-1.

Tabel 4-2: Geologiske og geotekniske parametre anvendt til den geologiske og geotekniske vurdering.

Parameter	Hesselø Udvidet Syd	Kattegat 2	Nordsøen 1	Kriegers Flak 2 Syd (vest og øst)	Kriegers Flak 2 Nord	Nedskaleret Hesselø
Gennemsnitlig vanddybde i havmølleparken (m) (range)	-24,0 (-14 - -32)	-22,0 (-17 - -38)	-29,0 (-10 - -42,5)	-28,5 (-18 - -42)	-29,4 (-20 - -35)	-30,5 (-25 - -33)
Vanddybder 0-30 m	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vanddybder 30-40 m	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vanddybder >40 m	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
Dybde til kalk (m)	45+	60+	100+	10+	1,5 - 5+ m	75+
Bløde havbundssedimenter	Ja	Ja	Nej*	Nej/Ja**	Nej	Ja
Høj sediment transport	Nej	Nej	Ja	Muligt	Muligt	Muligt
Tykt lag af sand i overfladen	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Ja
Tyndt lag af sand i overfladen	Ja	ja	Nej	Ja	Ja	Nej
Moræneaflejringer (kote)	-15m- -70m	-25m- -35m	-30m- -70m	-20m- -40m	-30m- -40m	-55m- -80m
Andre hårde sedimenter	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Eksportkabelrute (ca. km)	38	83	49-72	83	54	42
Samlet vurdering	V	V	V	V / V-	V-	V-

* Generelt er Nordsøen 1 vurderet til ikke at have bløde havbundssedimenter, men der er en mulighed for, at dette kan forekomme i den sydøstlige del af området.

** Bløde havbundssedimenter vurderes tilstede i større udbredelse i Kriegers Flak 2 Syd (øst).

5 Miljø

I det følgende afsnit er resultaterne af de miljø- og planmæssige forhold i delrapport 1-2 Miljø- og planmæssige forhold for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2. Afsnittet er en kort opsummering af resultaterne.

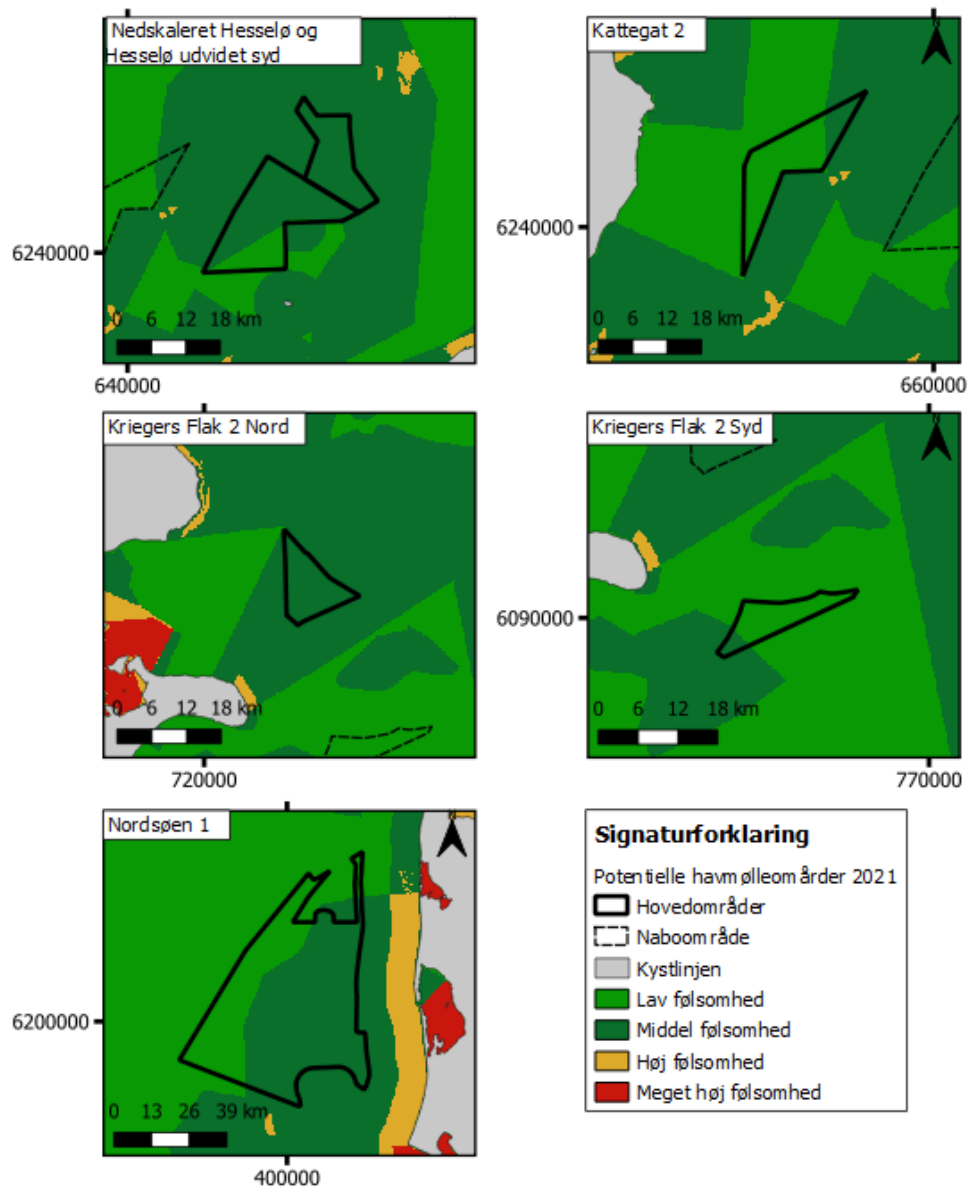
5.1 Metode

Den opdaterede screening af de miljø- og planmæssige forhold i relation til etablering af nye havvindmølleparker omfatter:

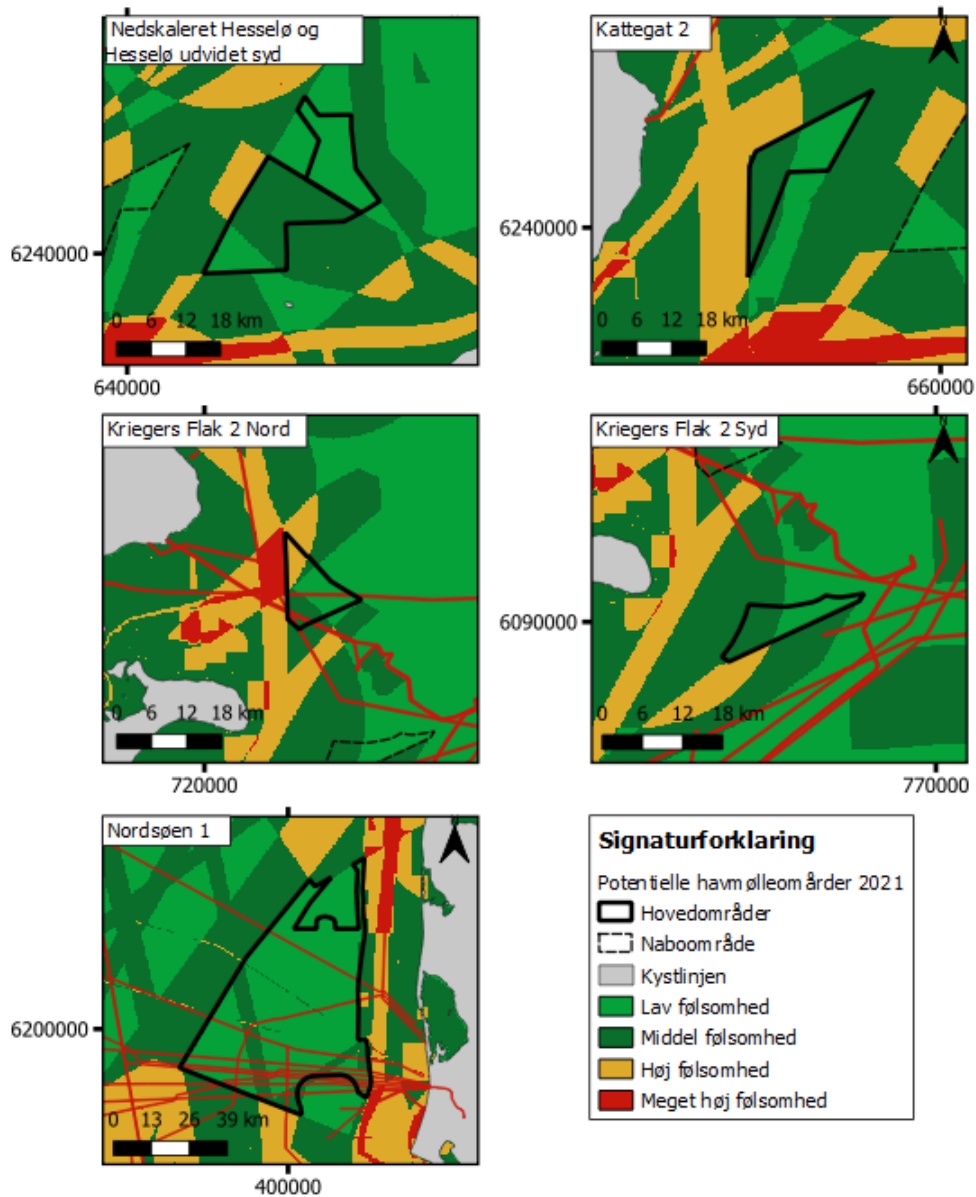
- > En GIS-baseret analyse af miljø- og planmæssige forhold, der rangordner lokaliteter (og delområder inden for lokaliteterne) i relation til følsomhed over for etablering af havvindmøller og kabler. Herved identificeres områder (og delområder), hvor miljøpåvirkningen er mindst.
- > En beskrivelse af de miljø- og planmæssige forhold i hver af de potentielle projektområder og tilhørende ilandføringskorridorer.
- > Det vurderes ligeledes, om det er muligt at etablere en havvindmøllepark i de potentielle projektområder uden at forårsage alvorlige skader på natur-, miljø- og planforhold. Baseret på resultaterne af følsomhedsanalysen, vurderes det inden for hvert af områderne, hvor en eller flere havvindmølleparker bør placeres, så natur, miljø- og planforhold påvirkes mindst muligt.

5.2 Overordnet konklusion

Overordnet vurderes der ikke at være forhold, der på forhånd gør de screenede områder (projektområde A-E) uegnede til opstilling af havvindmølleparker (Figur 5-1 og Figur 5-2). Områderne vurderes, i overvejende grad, enten at have lav eller middel følsomhed i forhold til miljø- og planmæssige forhold. I forhold til finscreening i 2020 (COWI, 2020) er større områder kategoriseret med middel miljøfølsomhed, hvilket skyldes, at der er tilvejebragt yderligere data og vurderinger på især overvintrende fugle samt trækfugle. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede havvindmølleparker undersøges som en del af de miljøvurderinger, der foretages i forbindelse med etablering af en park i et specifikt område.



Figur 5-1 Samlet oversigt over miljøfølsomhed for de seks områder, nedskaleret Hesselø, Hesselø udvidet syd, Kattegat 2, Kriegers Flak 2 Nord, Kriegers Flak 2 Syd og Nordsøen 1.



Figur 5-2: Samlet oversigt over de menneskelige interesser for de seks områder, nedskaleret Hesselø, Hesselø udvidet syd, Kattegat 2, Kriegers Flak 2 Nord, Kriegers Flak 2 Syd og Nordsøen 1.

5.3 Konklusion og anbefalinger for projektområde A

5.3.1 Følsomhed i relation til miljø

En stor del af projektområde A (nedskaleret Hesselø og Hesselø udvidet syd) er kategoriseret med middel miljøfølsomhed. Dette er en ændring i forhold til finscreeningen af Hesselø området foretaget i 2020 (COWI, 2020), som viste at størstedelen af Hesseløområdet havde lav miljøfølsomhed. Ændringen i følsomhed skyldes at der er tilvejebragt yderligere data og vurderinger, der viser at især i de nordlige og østlige dele af projektområde A kan fuglene forekomme i store antal, såsom sule, alkefugle og måger (herunder rider).

Der er på nuværende tidspunkt ikke lavet en vurdering af, hvorvidt de konkrete fuglearter, der forekommer i området, rent faktisk er følsomme overfor de forstyrrelser som opførsel af havvindmøller, ligesom omfanget af forstyrrelse vil afhænge af den mere præcise placering af havvindmøllerne indenfor området. Det anbefales, at der i forbindelse med konsekvensvurdering af et konkret projekt gennemføres en mere detaljeret analyse af følsomheden af alkefugle, lommer, sule og ride i området i relation til opstilling af havvindmøller. Habitategnethed og risikoen for fortrængningseffekter for de enkelte arter bør undersøges for at afgøre hvorvidt opstilling af havvindmøller i området vil være problematisk for netop de arter, der forekommer her. F.eks. er ride, ifølge (Vanermen, et al., 2015) ikke vurderet følsom overfor opførsel af havvindmøller, men angives tværtom i højere grad at fouragere indenfor havvindmølleparkområderne end udenfor.

Mindre betydende for miljøfølsomheden i projektområde A er det, at marsvin også benytter området, da disse fouragerer over store afstande. Derfor vurderes det, at marsvin relativt let vil kunne fouragere i andre områder af Kattegat og Bælterne og dermed ikke vil blive væsentlig påvirket i forbindelse med opførsel af en havvindmøllepark.

5.3.2 Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Hele den centrale del af projektområde A er kategoriseret som middel følsomhed i relation til menneskelige interesser (Figur 5-2). Dette skyldes, at området her er udlagt til militærområde. Derudover foregår der fiskeri, især efter jomfruummer, i området. Det bør undersøges nærmere om projektområde A er et vigtigt område for det fiskeri der udføres her, hvis det vælges at gå videre med dette område for opførelse af havvindmøller.

5.3.3 Anbefalinger og forbehold for projektområde A

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde A, dog med nedenfor nævnte forbehold.

- > Store dele af projektområde A benyttes som overvintringsområde af alkefugle samt i mindre omfang også af sule og ride. Arterne har dog store tilgængelige

områder med lignende habitat i Kattegat, og det vurderes derfor at en evt. fortrængning vil have en lille effekt.

- > Marsvin benytter området til fouragering. Tidligere undersøgelser har vist at marsvin fortrænges fra områder med undervandsstøj. Der bør derfor være fokus på at minimere undervandsstøj ved opsætning af havvindmøller i området.
- > Det kan være problematisk at anbringe havvindmøller i det udlagte militær-område, uden nærmere aftale med forsvaret.
- > Det skal bemærkes, at der foregår et omfattende jomfruhummerfiskeri i området, men vægtningen af dette er lav, da det er vurderet at dette fiskeri også kan foregå i andre områder udenfor projektområde A. Foranstaltninger eller indgreb, der kan forårsage ulemper eller hindre fiskeriet i saltvandsområder, gøre bundforholdene uegnede til fiskeri eller i øvrigt påvirke fauna og flora på fiskeriterritoriet, må kun foretages efter tilladelse hos ministeren for fiskeri og ligestilling, jvf. (LBK nr. 261 af 21/03/2019).
- > I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde A, med fokus på ovennævnte forhold. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker i Kattegat området, og deres påvirkning på ovenstående forhold, undersøges i en videre analyse.

5.4 Konklusion og anbefalinger for projektområde B

5.4.1 Følsomhed i relation til miljø

Den nordøstlige del af Kattegat 2-området er kategoriseret med middel miljøfølsomhed. Området er et vigtigt område for overvintrende fugle, ligesom der findes moræne-/stenbund i området. Derimod er den centrale og sydøstlige del af området kategoriseret med en lav miljøfølsomhed. Den miljømæssige følsomhed er ændret i forhold til finscreeningen af Hesseløområdet foretaget i 2020 (COWI, 2020), som viste at størstedelen af Hesseløområdet havde lav miljøfølsomhed. Ændringen i miljøfølsomhed skyldes, at der er tilvejebragt yderligere data og vurderinger, der viser, at projektområdet er et vigtigt overvintringsområde for alkefugle, herunder navnlig alk og lomvie, samt i mindre grad også, sule og ride.

Mindre betydende for miljøfølsomheden i projektområde B, er det at marsvin også benytter området, da disse fouragerer over store afstande. Derfor vurderes det at marsvin relativt let vil kunne fouragere i andre områder af Kattegat og Bælterne. Det skal også bemærkes at et stort Natura 2000 område grænser op til Kattegat 2 området, hvor sandbanke (1110) og rev (1170) er på udpegningsgrundlaget.

Området nedskalerede Hesselø er gennemgået ovenfor i Afsnit 5.3.1, og der henvises hertil for yderligere information om området.

5.4.2 Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Hele nedskaleret Hesselø området er kategoriseret med lav følsomhed i relation til menneskelige interesser. Der foregår fiskeri, især efter jomfruhummer, i den nordlige del af nedskaleret Hesselø området. Det bør undersøges nærmere om projektområde B er et vigtigt område for det fiskeri der udføres her, hvis det vælges at gå videre med dette område for opførelse af havvindmøller. Den vestlige del af Kattegat 2-området er middel følsomhed ift. visuelle effekter, da området ligger inden for 20 km fra Jyllands østkyst. Resten af området er vurderet som lav følsomhed.

5.4.3 Anbefalinger og forbehold for projektområde B

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde B, dog med nedenfor nævnte forbehold.

- > Projektområde B er et yndet område for overvintrende fugle som alkefugle samt i mindre omfang også af sule og ride. Arterne har dog store tilgængelige områder med lignende habitat i Kattegat, og det vurderes derfor at en evt. fortrængning vil have en lille effekt.
- > Marsvin benytter området til fouragering. Tidligere undersøgelser har vist at marsvin fortrænges fra områder med undervandsstøj. Der bør derfor være fokus på at minimere undervandsstøj ved opsætning af havvindmøller i området.
- > Der forefindes forekomster af moræne og stenbund i Kattegat 2 området. Det kan betyde at der forefindes stenrev her. Disse marine habitater er meget vigtige for at opretholde biodiversiteten i området, og det bør undersøges nærmere om der findes stenrev her, inden en potentiel opsætning af havvindmøllepark i området. Det anbefales ikke at tildække stenrev med havvindmøllefundamenter. Derudover grænser et stort Natura 2000 område op til Kattegat 2 området, hvor sandbanke (1110) og rev (1170) er på udpegningsgrundlaget. Det bør undersøges nærmere om disse habitattyper kan påvirkes af en eventuel vindmøllepark i området.
- > Det kan være problematisk at anbringe havvindmøller i den del af Kattegat 2 området der ligger indenfor en radius af 20 km fra Jyllands østkyst, på grund af de visuelle gener det kan medføre.
- > Det skal bemærkes, at der foregår et omfattende jomfruhummerfiskeri i den nordlige del af nedskaleret Hesselø området, men vægtningen af dette er lav, da det er vurderet at dette fiskeri også kan foregå i andre områder udenfor projektområde A. Foranstaltninger eller indgreb, der kan forårsage ulemper eller hindre fiskeriet i saltvandsområder, gøre bundforholdene uegnede til fiskeri eller i øvrigt påvirke fauna og flora på fiskeriterritoriet, må kun foretages efter tilladelse hos ministeren for fiskeri og ligestilling, jvf. (LBK nr. 261 af 21/03/2019).

- > I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde B, med fokus på ovennævnte forhold. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker i Kattégat området, og deres påvirkning på ovenstående forhold, undersøges i en videre analyse.

5.5 Konklusion og anbefalinger for projektområde C

5.5.1 Følsomhed i relation til miljø

Hele projektområde C (nedskaleret Hesselø og Krigers Flak 2 Nord) er kategoriseret med middel miljøfølsomhed. Krigers Flak 2 Nord ligger i en vigtig trækrute for fugle.

Forskellen fra den udførte følsomhedsanalyse fra 2020 og indeværende vurdering beror på følgende forhold. I følsomhedsanalysen fra 2020 skulle følsomheden af seks forskellige områder sammenlignes. Da der, med undtagelse af Krigers Flak området, ikke fandtes kort over arealudbredelsen af trækruter gennem de potentielle havvindmølleområder, blev det besluttet ikke at lade trækruter indgå i følsomhedsanalyserne i GIS modellen. Trækruter for fugle er ikke desto mindre vigtige i relation til opstilling af havvindmøller. De indgik derfor i den samlede vurdering af områdernes egnethed til opstilling af havvindmøller og blev omtalt i teksten i det omfang der fandtes informationer og analyser. Trækruter over Krigers Flak indgår i beregningerne over miljøfølsomhed i indeværende vurdering.

I mindre grad skyldes den opnåede miljøfølsomhed at marsvin benytter området i forbindelse med fouragering. Marsvin fouragerer dog over store afstande, derfor vurderes det at marsvin relativt let vil kunne fouragere i andre områder af Kattégat og Bælterne.

Nedskaleret Hesselø området er gennemgået i Afsnit 5.3.1, og der henvises hertil for yderligere information om området.

5.5.2 Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Den nordlige del af området Krigers Flak 2 Nord er kategoriseret med høj følsomhed, da området ligger mindre end 20 km fra land (Figur 5-1 og Figur 5-2), samt at området overlapper med et beliggende militærområde.

Der foregår fiskeri, især efter jomfruhummer, i den nordlige del af nedskaleret Hesselø området. Det bør undersøges nærmere om projektområde C er et vigtigt område for det fiskeri der udføres her, hvis det vælges at gå videre med dette område for opførelse af havvindmøller.

Derudover skal det bemærkes at det er anlagt kabler i den centrale og sydlige del af området, som bør undgås ved eventuel opsættelse af havvindmøller.

Nedskaleret Hesselø området er gennemgået i Afsnit 5.3.2 og der henvises hertil for yderligere information om området.

5.5.3 anbefalinger og forbehold for projektområde C

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde C, dog med nedenfor nævnte forbehold.

- > Området omkring nedskaleret Hesselø er et yndet område for overvintrende fugle, og Krigers Flak 2 Nord gennemflyves af trækfugle.
- > Marsvin benytter området til fouragering. Tidligere undersøgelser har vist at marsvin fortrænges fra områder med undervandsstøj. Der bør derfor være fokus på at minimere undervandsstøj ved opsætning af havvindmøller i området.
- > Det skal bemærkes, at der foregår et omfattende jomfruhummerfiskeri i den nordlige del af nedskaleret Hesselø området, men vægtningen af dette er lav, da det er vurderet at dette fiskeri også kan foregå i andre områder udenfor projektområde C. Foranstaltninger eller indgreb, der kan forårsage ulemper eller hindre fiskeriet i saltvandsområder, gøre bundforholdene uegnede til fiskeri eller i øvrigt påvirke fauna og flora på fiskeriterritoriet, må kun foretages efter tilladelse hos ministeren for fiskeri og ligestilling, jvf. (LBK nr. 261 af 21/03/2019).
- > Store dele af nedskaleret Hesselø området benyttes som overvintringsområde af alkefugle samt i mindre omfang også af sule og ride. Arterne har dog store tilgængelige områder med lignende habitat i Kattegat, og det vurderes derfor at en evt. fortrængning vil have en lille effekt.
- > Krigers Flak 2 Nord-området er en trækrute for flere arter af rovfugle og sangfugle samt traner. DHI (2019) vurderer, at de 18 planlagte havvindmølleparker i Danmark, Tyskland og Sverige i grænsezonen mellem landende ikke vil føre til et antal kollisioner, der vil føre til et fald i antallet af traner i populationen, hvorfor opførsel heraf ikke vurderes problematisk for arten. Der bør laves en analyse af risikoen for kollision af traner, hvor de seneste planlagte havvindprojekter også medtages i analysen. Lignende analyser bør laves for rovfugle og andre trækfugle, der benytter trækkorridoren med særlig fokus på sårbare og beskyttede arter, i forbindelse med forundersøgelser og strategisk miljøvurdering af området.
- > Den vestlige del af Krigers Flak 2 Nord ligger indenfor 20 km fra kysten, hvilket kan give visuelle gener fra land. Derfor anbefales det ikke at placere havvindmøller tættere på kysten end 20 km.
- > Hvis området i den nordlige del af Krigers Flak 2 Nord påtænkes benyttet til havvindmøller, skal der gennemføres en grundig eftersøgning efter ammunition og en efterfølgende rydning, hvis der findes ammunition.

- > Der må ikke opstilles havvindmøller i traceerne for de kabler og rørledninger (med 200 m sikkerhedszone), der krydser området.
- > I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde C, med fokus på ovennævnte forhold. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker i Kattegat og Kriegers Flak 2 Nord området, og deres påvirkning på ovenstående forhold, undersøges i en videre analyse.

5.6 Konklusion og anbefalinger for projektområde D

5.6.1 Følsomhed i relation til miljø

Den beregnede miljøfølsomhed er middel i området Kriegers Flak 2 Nord og i den vestlige del af område Kriegers Flak 2 Syd. Den øvrige del af Kriegers Flak 2 syd er vurderet med lav miljøfølsomhed.

Vurderingen for projektområde D er ændret i forhold til finscreeningen fra 2020 da trækruter er medtaget i følsomhedsanalyserne i indeværende undersøgelse.

Den vestlige del af området ved Kriegers Flak 2 Syd vurderet som vigtigt overvintringsområde for havlit, der kan være følsomme over for opstilling af havvindmølleparker, idet der kan være risiko for fortrængningseffekter. Dette område vurderes at være blandt de to vigtigste områder for arten i Danmark (Holm, et al., 2021).

Der forekommer også et mindre antal sortænder og fløjsænder i området, men i ubetydeligt antal, hvorfor de ikke vurderes at blive væsentligt påvirket.

Kriegers Flak 2 Nord er gennemgået i Afsnit 5.5.1 og der henvises hertil for yderligere information om området.

5.6.2 Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Størstedelen af projektområde D er kategoriseret med lav og middel følsomhed for menneskelige interesser. Dog er et område i Kriegers Flak 2 Nord kategoriseret med høj følsomhed. Områder med middel følsomhed ligger inden for 20 km afstand til kysten.

Desuden krydses områderne af kabler og en rørledning, som med en 200 m sikkerhedszone giver en meget høj følsomhed.

Kriegers Flak 2 Nord er gennemgået i Afsnit 5.5.2 og der henvises hertil for yderligere information om området.

5.6.3 anbefalinger og forbehold for projektområde D

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde D, dog med nedenfor nævnte forbehold.

- > Kriegers Flak 2 Nord-området benyttes som trækrute for fugle. Desuden er den vestlige del af området ved Kriegers Flak 2 Syd vurderet som vigtige overvintringsområder, grundet tællinger af høje antal havlitter i dette område, der vurderes at være blandt de to vigtigste områder for arten i Danmark.
- > Kriegers Flak 2 Nord-området er en trækrute for flere arter af rovfugle og sangfugle samt også traner, der i øvrigt i mindre grad også trækker over Kriegers Flak 2 Syd. DHI (2019) vurderer, at de 18 planlagte havvindmølleparker i Danmark, Tyskland og Sverige i grænsezonen mellem landende ikke vil føre til et antal kollisioner, der vil føre til et fald i antallet af traner i populationen, hvorfor opførsel heraf ikke vurderes problematisk for arten. Der bør laves en analyse af risikoen for kollision af traner, hvor de seneste planlagte havvindprojekter også medtages i analysen. Lignende analyser bør laves for rovfugle og andre trækfugle, der benytter trækkorridoren med særlig fokus på sårbare og beskyttede arter, i forbindelse med forundersøgelser og strategisk miljøvurdering af området.
- > Marsvin benytter området til fouragering. Tidligere undersøgelser har vist at marsvin fortrænges fra områder med undervandsstøj. Der bør derfor være fokus på at minimere undervandsstøj ved opsætning af havvindmøller i området.
- > Den vestlige del af projektområde D ligger indenfor 20 km fra kysten, hvilket kan give visuelle gener fra land. Derfor anbefales det ikke at placere havvindmøller tættere på kysten end 20 km.
- > Hvis området i den nordlige del af Kriegers Flak 2 Nord påtænkes benyttet til havvindmøller, skal der gennemføres en grundig eftersøgning efter ammunition og en efterfølgende rydning, hvis der findes ammunition.
- > Der må ikke opstilles havvindmøller i traceerne for de kabler og rørledninger (med 200 m sikkerhedszone), der krydser området.
- > Den nærmeste kyst til projektområdet er østkysten af Møn, som er domineret af klintekyst (Møns Klint). Møns Klint og Stevns Klint mod nordvest er beskyttede områder, hvor der vil være større komplikationer med at ilandføre kabler og opsætte transformerstationer. Det vil kræve uddybende konsekvensvurderinger og forhøjet risiko for forsinkelser og afslag på tilladelsesansøgninger. Nordkysten af Møn, Jungshoved og rundt om Præstø Fjord er sandkyst eller tilgroningskyst, der er lettere tilgængelig for ilandføring.
- > I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde D, med fokus på ovennævnte forhold. Derudover bør de kumulative effekter af

allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker omkring Kriegers Flak området, og deres påvirkning på ovenstående forhold, undersøges i en videre analyse.

5.7 Konklusion og anbefalinger for projektområde E

5.7.1 Følsomhed i relation til miljø

Store dele af projektområde E (Nordsøen 1) har en middel miljøfølsomhed primært på grund af områdets vigtighed for overvintrende fugle, og i mindre grad fordi det benyttes som gydeområde for tobis og som fourageringsområde for marsvin og sæler, som vurderes at kunne finde fouragere i andre områder af Nordsøen. Indeværende vurdering er anderledes, set i forhold til den miljøfølsomheds-vurdering der blev foretaget i 2020 (COWI, 2020), som viste at størstedelen af projektområde E var vurderet til at have lav miljøfølsomhed. Dette skyldes, at der i indeværende vurdering er lagt højere vægt på områdets egnethed for fugle end tidligere.

5.7.2 Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Området er vurderet til overvejende at have lav følsomhed over for etablering af havvindmølleparker. Området krydses af en række eksisterende og planlagte olie-/gasledninger og elkabler/telekabler, som med en 200 m sikkerhedszone giver en meget høj følsomhed. Desuden er der områder med middel følsomhed, hvilket skyldes sejlruiter.

5.7.3 Anbefalinger og forbehold for projektområde E

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde E, dog med nedenfor nævnte forbehold.

- > Store dele af projektområde E, på nær den vestlige og mest nordlige del af området, vurderes at være vigtige overvintringsområder for fugle. Den sydøstligste del af området, indgår som en del af et område, der er af international betydning for seks forskellige arter af havfugle (rød- og sortstrubet lom, sortand, dværgmåge, stormmåge og terner) og som derfor er udpeget som IBA (det internationalt vigtige fugleområde (IBA) Østlige Tyske bugt/ Sydlige Nordsø). Det kan således ikke udelukkes at etablering af en havmøllepark i dette delområde, vil fortrænge sortand og lom, som har vist sig at ville undgå nærommerne omkring havmøller. De sydlige og østlige dele af projektområdet er desuden vurderet yderst egnede for sortand og/eller lom og der er tællinger af relativt høje tætheder af alke i de sydlige og centrale dele af området.
- > Marsvin benytter området til fouragering. Tidligere undersøgelser har vist at marsvin fortrænges fra områder med undervandsstøj. Der bør derfor være

fokus på at minimere undervandsstøj ved opsætning af havvindmøller i området.

- > Der bør ikke opstilles møller i traceerne for de kabler og olie/gasledninger (med 200 m sikkerhedszone), der krydser området, og de sejltreder der forefindes i den sydvestlige del af området bør undgås.
- > Desuden bør der, i forbindelse med videre forundersøgelser, foretages en undersøgelse af forekomsten af ueksploderet ammunition (UXO) i området. Der er ikke registreret UXO i området, men det kan ikke udelukkes, at det findes, idet der er fundet militære skibsvrag, blandt andet en ubåd med ammunition på positionen vest for Blåvandshuk og idet der er etableret en 1 sømil bred UXO-begrundet zone langs med den Jyske kyst, der fra Nymindesø og sydover er en egentlig forbudszone.
- > I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde E, med fokus på ovennævnte forhold. Derudover bør de kumulative effekter af allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker i Nordsøen, og deres påvirkning på ovenstående forhold, undersøges i en videre analyse.

6 Vindressource, layouts og energiproduktion

Grundlæggende forudsætninger for layoutprocessen var fastlagt i opgavebeskrivelsen som beskrevet i afsnit 2.2. Ud over arealbegrænsning for de undersøgte områder er vindressourcen og den elektriske infrastruktur inddraget i de i alt otte foreslåede layouts.

6.1 Nordsøen 1

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.

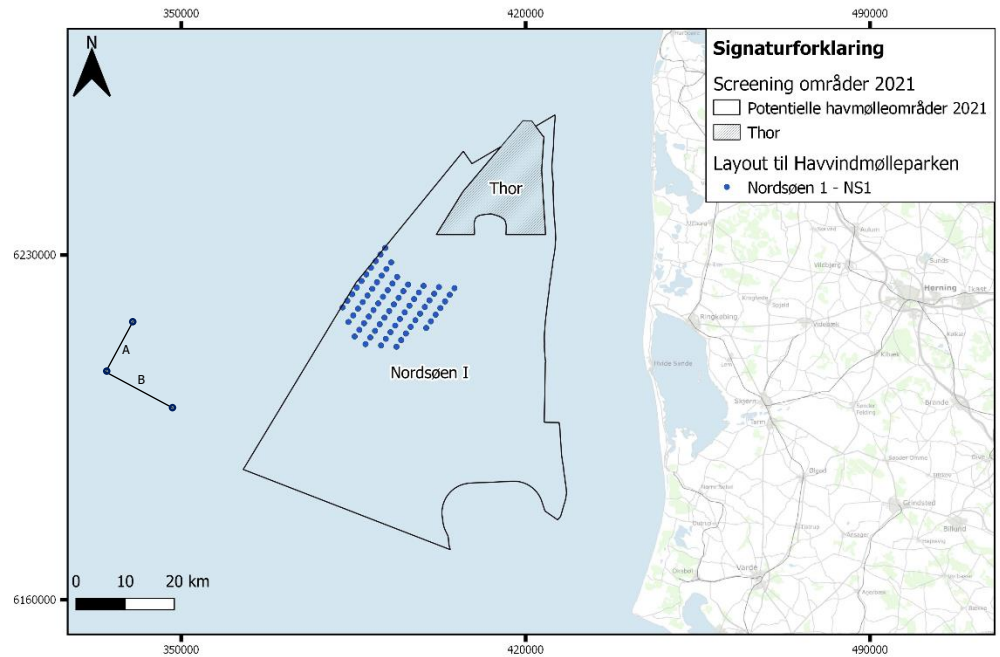
En analyse af de planmæssige forhold viser, at der i store dele af den sydlige del af Nordsøen 1 er en række eksisterende og planlagte elkabler og olie-/gasledninger, som skal tilgodeses. Af sikkerhedsmæssige årsager er det et krav, at der anvendes en bufferafstand på 200 m til kabler, olierør og gasrør.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

Baseret på disse krav og sammenholdt med resultaterne fra miljø- og planmæssige forhold og havbund og geologiske forhold har COWI udarbejdet tre forskellige potentielle layouts i Nordsøen 1; NS1, NS2 og NS3.

6.1.1 Layout NS1 (1005 MW)

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

Et optimalt layout vil resultere i, at enkelte møller placeres uhensigtsmæssigt og dermed medføre en fordyrende array-kabelløsning. Disse placeringer indgår derfor ikke i det endelige layout som vist på Figur 6-1. Nærmeste afstand til land er 39,4 km og nærmeste afstand til Thor-området er 10,5 km.

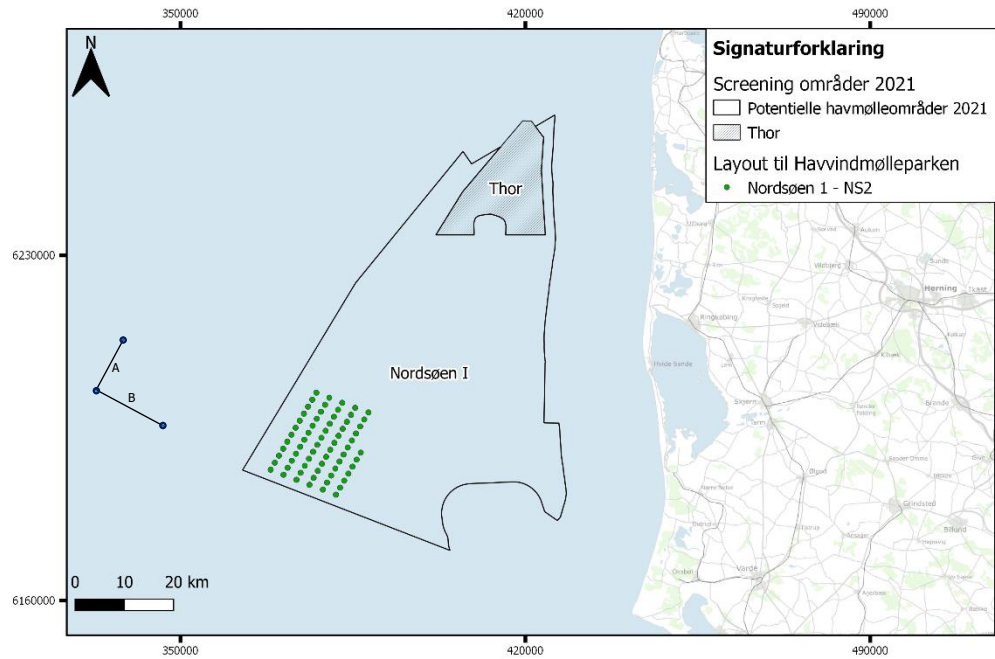


Figur 6-1: Nordsøen 1-område og forslag til placering af vindmøllerne i Layout NS1

6.1.2 Layout NS2 (1005 MW)

Havbundsforhold jf. delrapport 1-1 ved layout NS2 er generelt homogen. Baggrunden for Layout NS2 (jf. Tabel 2-2 scenarie 7) er derfor at optimere bedst muligt i forhold til vindressourcen. For at mindske skyggetabet 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.

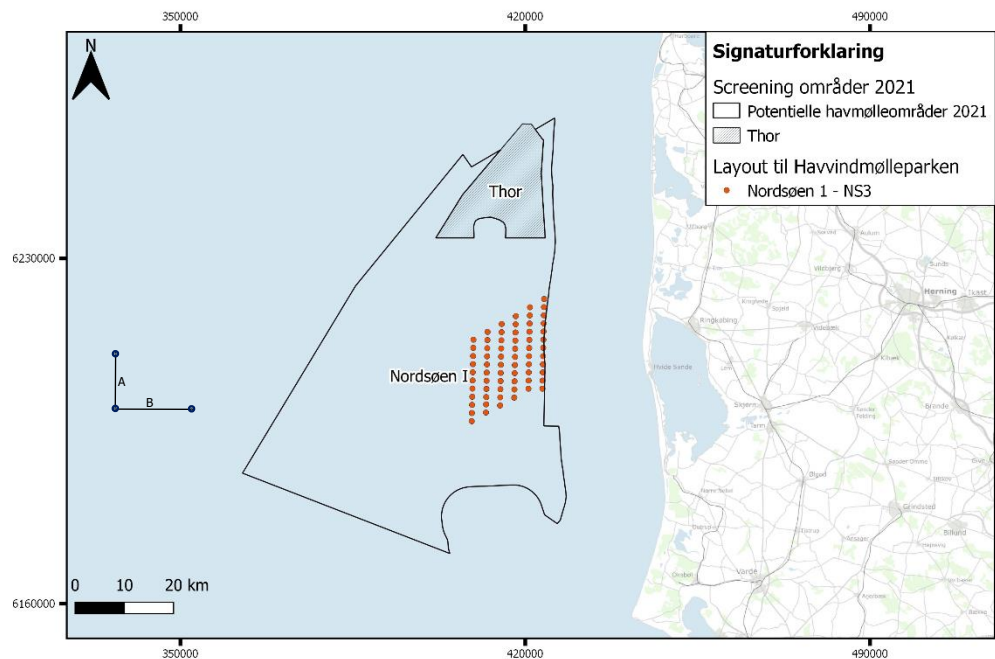
Disse overvejelser har resulteret i layoutet som vist på Figur 6-2. Nærmeste afstand til land er 58 km.



Figur 6-2: Nordsøen 1-området inklusiv foreslået placering af vindmøllerne i Layout NS2

6.1.3 Layout NS3 (1005 MW)

Udformningen af Layout NS3 (jf. Tabel 2-2 scenarie 8) er som Layout NS2 (dvs. begge layouts har de samme antal rækker). Placeringen er optimeret primært i forhold til havdybden, og vindmøllerne er derfor placeret i den del af Nordsøen 1-området, hvor havdybden er lavest. Afstand til land er 21km, hvilket resulterer i kortere eksportkabler sammenlignet med NS1 og NS2. Layoutet ses på Figur 6-3.



Figur 6-3: Nordsøen 1-område inklusive foreslået placering af vindmøllerne i Layout NS3

6.2 Hesselø og Kattegat 2

Finscreeningen i 2020 bidrog til, at det i 2020 kunne beslutte at park 2 fra Energifaen 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. De nye områder der kan bringes i spil, er Kattegat 2 og Hesselø udvidet Syd til etablering af havvindmølleparker.

Det nye Hesselø-område består af to delområder på i alt 372 km²; Nedskaleret Hesselø (126 km²) og Hesselø Udvidet Syd (246 km²). Hesselø Udvidet Syd grænser op til det nedskalerede Hesselø.

COWI har derudover genbesøgt Hesselø-layoutet lignende, det der blev præsenteret i finscreeningen i 2020, og genberegnet vindressource, tab og energiproduktion. Se Bilag B - Hesselø Layout (område F).

Kattegat 2 området (122 km²) er placeret vest for Hesselø-området, og har en kort afstand til Hesselø og forholdsvis ens vindressource. Der blev derfor ikke udtaget yderligere datapunkter til Kattegat 2 området. Af den grund blev datapunkter fra Hesselø anvendt til estimatet over vindressource og energiproduktion.

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. Dette er beskrevet i delrapport 1-3 bilag D og E.

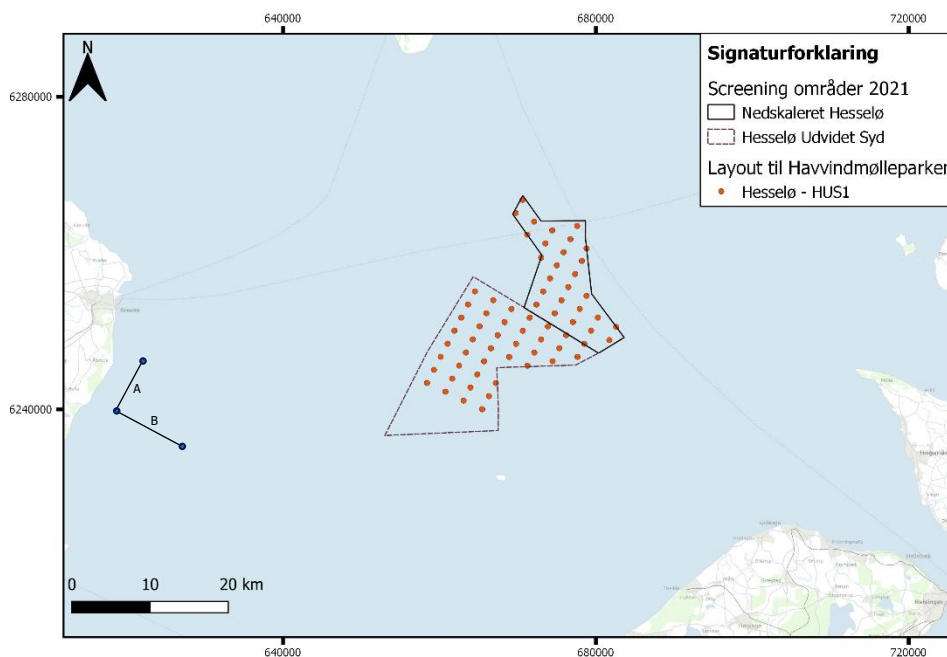
6.2.1 Layout HUS1 (1005 MW)

På Figur 6-4 ses forslag til layout HUS1 (jf. Tabel 2-2 scenarie 1), som benytter både Nedskaleret Hesselø og store dele af Hesselø Udvidet Syd. 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 RD⁹). 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.

Nærmeste afstand til land er 22 km fra den nordligste vindmølle til Anholt og 31 km fra den østligste vindmølle til Gilleleje.

⁹ A132994-1-3 Vindressource, layouts og energiproduktion for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II – Maj 2020



Figur 6-4: Hesselø-området og forslag til placering af vindmøllerne i Layout HUS1.

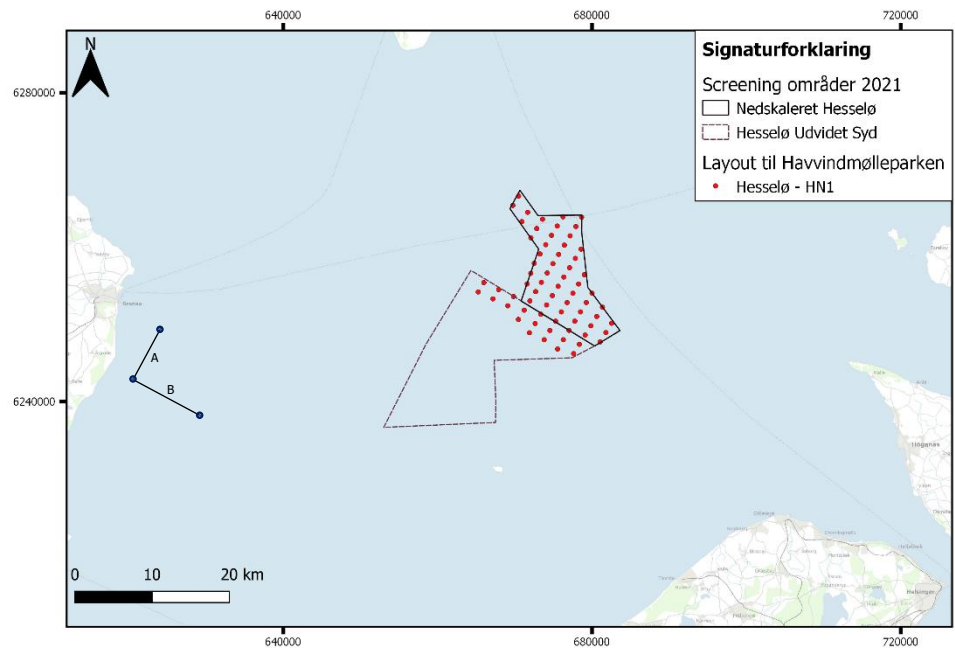
6.2.2 Layout HN1 (1005 MW)

På Figur 6-5 ses forslag til layout HN1 (jf. Tabel 2-2 scenarie 2). Vindmøllerne er placeret med henblik på at opnå 1 GW installeret kapacitet ved at placere de fleste havvindmøller i det nedskalerede Hesselø-område, og bruge så lidt af området Hesselø Udvidet Syd grundet at området er udlagt til forsvarsområde.

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 Hesselø Udvidet Syd-området.

Nærmeste afstand til land er 22 km fra den nordligste vindmølle til Anholt og 31 km fra den østligste vindmølle til Gilleleje.



Figur 6-5: Hesselø-området og forslag til placering af vindmøllerne i Layout HN1.

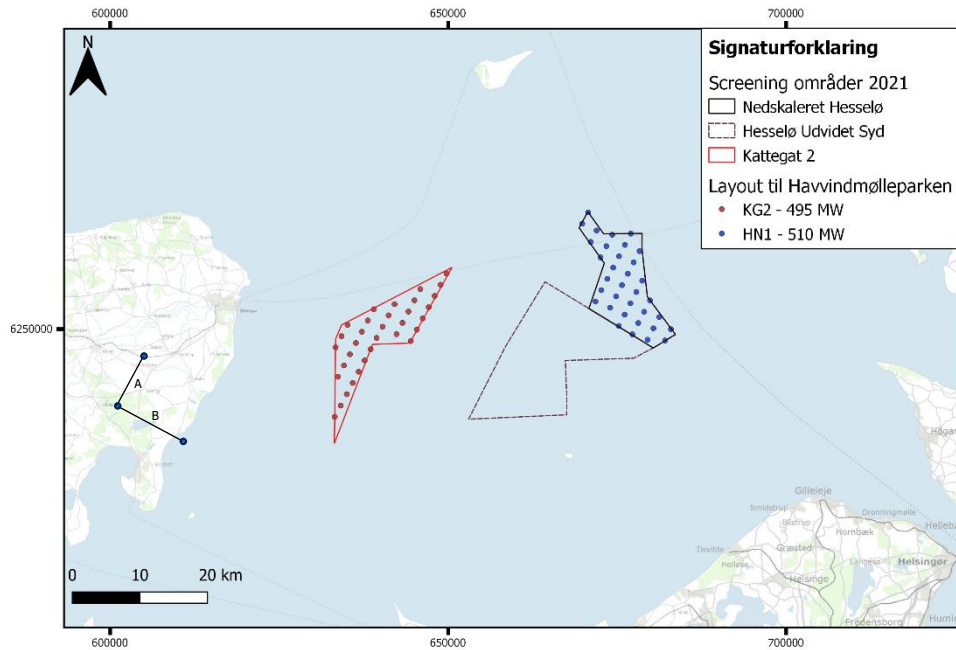
Dette afsnit omhandler to layouts, ét der kombinerer Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2, og ét der kombinerer Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord.

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

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

På Figur 6-6 ses forslag til layout HN1 + KG2 (jf. Tabel 2-2 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.



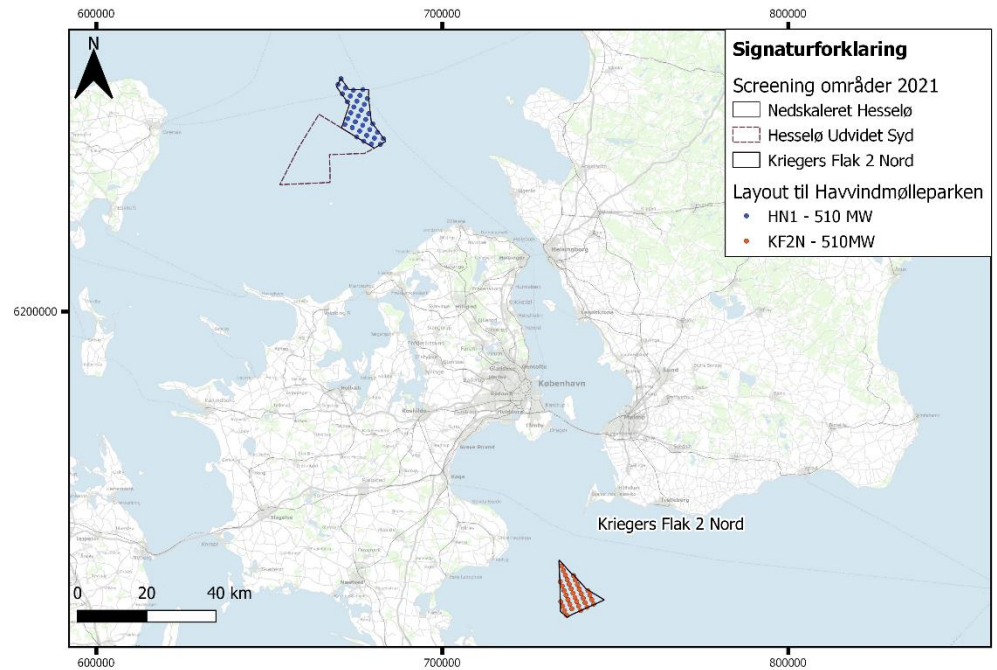
Figur 6-6: Forslag til placering af vindmøllerne i layout HN1 + KG2.

Nærmeste afstand til land er 15 km fra den vestligste vindmølle til Greena (KG2).

6.2.4 Layout HN1 + KF2N (510 MW + 510 MW)

På Figur 6-7 ses området og forslag til layout HN1 + KF2N (jf. Tabel 2-2 scenarie 4). Ved Nedskaleret 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 rationale er, at en ekstra mølle ikke influerer 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 (HN1) og 6 x 9 RD (KF2N) for at opnå 1 GW installeret kapacitet inden for det samlede areal på 224 km².



Figur 6-7: Nedskaleret Hesselø og Kriegers Flak 2 Nord-områder og forslag til placering af vindmøllerne i layout HN1 + KF2N.

Nærmeste afstand fra KF2N til land er 16 km og 32 km fra HN1 Gilleleje.

6.3 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). 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 område er det samme disponible areal.

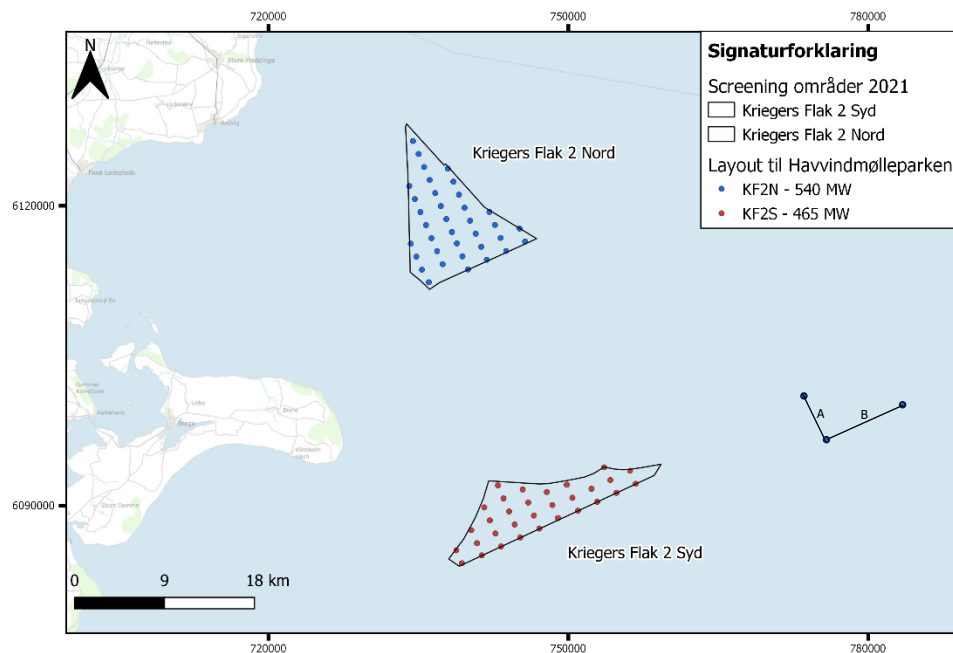
En analyse af de planmæssige forhold viser, at den sydlige del af KF2N er gennemskåret af eksisterende eksport kabler til KF1, samt at Baltic Pipe gennemkrydser området ca. i midten i en øst-vest gående retning. Dette skal tilgodeses når det endelige WTG- og OFAC-layout skal planlægges i en senere fase. 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 med mange installationer på havbunden.

Den fremherskende vindretning på stedet er primært vest. Kriegers Flak 1 er placeret i området mellem KF2N og KF2S. Afstanden mellem Kriegers Flak Havvindmøllepark og Kriegers Flak 2-områderne er minimum 6 km. Det kan anbefales, at der foretages en detaljeret vurdering af den mulige påvirkning mellem Kriegers Flak Havvindmøllepark og en mulig Kriegers Flak 2 på et senere tidspunkt. Dette vil kræve detaljerede oplysninger om parklayoutet for naboparken.

6.3.1 Layout KF2N + KF2S (540 MW + 465 MW)

På Figur 6-8 ses området og forslag til layout KF2N + KF2S (jf. Tabel 2-2 scenarie 5). På baggrund af miljøanalysen er der ingen områder i Kriegers Flak 2, der ikke bør benyttes til opstilling af vindmøller.

For at opnå mindst skyggetab er hele området benyttet til udformningen af layoutet.



Figur 6-8: Foreslået placering af vindmøllerne i Layout KF2N + KF2S.

To vigtige aspekter, der skal fremhæves for Kriegers Flak 2, er; eksisterende kabelruter herunder Baltic pipe som går igennem KF2N, som medfører en forskydning af nogle vindmøllerækker samt afstand til land (15 km). Den visuelle påvirkning er ikke taget i betragtning ved udarbejdelse af vindmølleparkens layout.

6.4 Resultater

Baseret på layoutene for de tre overordnede områder (Nordsøen 1, Hesselø og Kriegers Flak), 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.

6.4.1 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.

6.4.2 Langtidskorrektio

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 langtidsdata for at få et repræsentativt resultat. Til langtidskorrektio af de to års mesoscale data for de tre områder, er det valgt at benytte EMD ConWx¹⁰ 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 6-1 ses det, at der er en god lineær korrelatio for alle områderne, og det er derfor vurderet, at EMD ConWx data kan benyttes til langtidskorrektio.

Tabel 6-1: Lineær korrelationsfaktor, R, på månedligt gennemsnit.

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

Langtidskorrektio for hvert af de tre områder for de to års mesoscale data ift. en 20-års periode er vist i Tabel 6-2.

Tabel 6-2: Langtidskorrektio af vindhastigheden for hvert af de tre områder.

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

¹⁰ http://help.emd.dk/mediawiki/index.php?title=EMD-ConWx_Meso_Data_Europe

Baseret på forholdet mellem produktion (P) og vind (V), P/V, omregnes langtidskorrektionen på vinden til en langtidskorrektion på produktionen. Resultatet ses i Tabel 6-3.

Tabel 6-3: 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

6.4.3 Tab

Følgende tab, udover skyggetab og beregnede elektriske tab, er medregnet i produktionsestimerne 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, blad højdeunøjagtigheder 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.

6.4.4 Produktionsestimer

I Tabel 6-4 ses en oversigt over de input, som indgår i layoutberegningerne. I Tabel 6-5 ses bruttoproduktion, skyggetab, parkproduktion (efter skyggetab er fratrukket), tab og korrektioner samt nettoproduktionen for hvert af de foreslåede havvindmøllelayouts i de tre områder.

Tabel 6-4: Beregningsinputoversigt for alle foreslåede layouts.

Layout	Vindmølleafstand [RD ¹¹]	Layoutstørrelse [km ²]	Effekttæthed [MW/km ²]	Mølletæthed [km ² /MW]	Bruttoområde [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	293,8
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 6-5 er de mest produktive områder placeret ved Nordsøen 1, da dette område har den højeste vindressource sammenlignet med de resterende områder. Der blev observeret en produktionsforskel på ca. 6,0 % henover alle layouts.

Ved Nordsøen 1 har layout 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.

Ved Layout HN1 er skyggetabene størst da den overvejende vindretning er mere koncentreret, og da der er flere rækker i den overvejende vindretning grundet områdets irregulære udformning. Derudover har Layout HN1 den højeste effekttæthed i forhold til de resterende undersøgte layouts på grund af arealstørrelsen af området.

Skyggeeffekten på Kriegers Flak 2 er imidlertid relativt lavere end for layout HN1. En mulig årsag er, at det samlede disponible areal er opdelt i to underområder (dvs. nord og syd), og vindmøllerne er placeret på tværs af begge områder, hvil-

¹¹ Rotordiameter = 236 m.

ket medfører mindre skyggestab. Derudover er der et mindre bidrag fra den langsigtede korrektion, fordi den kort- og langsigtede vindhastighed er næsten identisk.

Lignende resultater er observeret for layout HN1 + KG2. De laveste skyggetab er observeret for dette layout.

Tabel 6-5: Produktionsestimater for alle de foreslåede vindmøllelayouts.

Layout	Brutto- produktion [GWh/y]	Skygge- tab ¹² [%]	Park Produktion ¹³ [GWh/y]	Tab og LT- korrektion ¹⁴ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ¹⁵
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

¹² Internt skyggetab i vindparken.

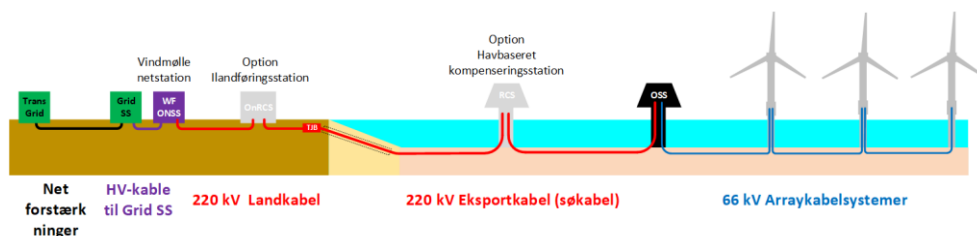
¹³ Inklusive skyggetab.

¹⁴ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

¹⁵ Eksklusiv elektriske tab

7 Elektriske transmissionsanlæg

Den elektriske infrastruktur omfatter elektriske fordelingsanlæg fra vindmøllerne til nettilslutningspunktet (PoC). Den fastlagte elektriske infrastruktur danner grundlag for udarbejdelse af CAPEX-overslaget og fastlæggelsen af samlede årlige energitab til brug for beregning af LCoE for de udvalgte vindmølleparker. Den elektriske infrastruktur er skitseret i nedenstående Figur 7-1.



Figur 7-1 Typisk Elektrisk infrastruktur til Havvindmøllepark

7.1 Generelle forudsætninger

Udviklingen af koncepterne for nettilslutningen af de enkelte parker er baseret på nogle grundlæggende forudsætninger udfærdiget af Energinet (TSO) og generelle tendenser, som skal tilgodeses ved planlægning, projektering, installering og drift af de elektriske fordelingsanlæg i Danmark.

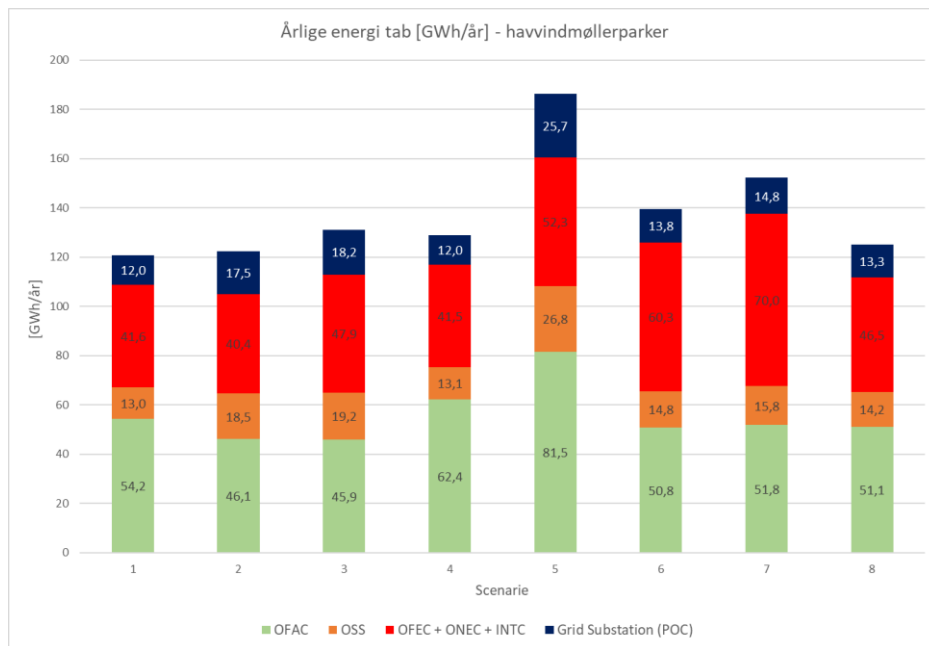
Vindmølleparkerne (Scenarie 1-8 jf. Tabel 2-2) forudsættes enkeltvis at have en installeret effekt på ≈ 1 GW, og eksportsystemet antages opbygget efter retningslinjer modtaget fra Energinet bestående af en eller to transformerplatforme, to parallelle eksportkabelsystemer, ilandføring, landbaseret vindmølletransformerstation, reaktiv kompensering samt forbindelse til Energinets tilslutningspunkt (POC). De belyste vindmølleparkscenarier og dertilhørende layoutnavne fremgår af Tabel 7-1.

Tabel 7-1 Vindmølleparkkonfigurationer

Område	Scenarie	Vindmøllepark	Layout	Effekt	PoC
A	1	Hesselø, Udvidet Syd	HUS1	1.005 MW, 67 WTG	Hovegård
	2	Hesselø, Nedskaleret	HN1	1.005 MW, 67 WTG	Hovegård
B	3	Hesselø, Nedskaleret + Kattegat 2	HN1 + KG2	510 MW, 34 WTG 495 MW, 33 WTG	Hovegård
C	4	Hesselø, Nedskaleret + Krigers Flak 2 Nord	HN1 +	510 MW, 34 WTG	Hovegård Solhøjgård
			KF2N	510 MW, 34 WTG	
D	5	Krigers Flak 2 Nord + Krigers Flak 2 Syd	KF2N + KF2S	540 MW, 36 WTG 465 MW, 31 WTG	Solhøjgård
E	6	Nordsøen1, Layout 1	NS1	1.005 MW, 67 WTG	Idomlund
	7	Nordsøen1, Layout 2	NS2	1.005 MW, 67 WTG	Endrup
	8	Nordsøen1, Layout 3	NS3	1.005 MW, 67 WTG	Stovstrup

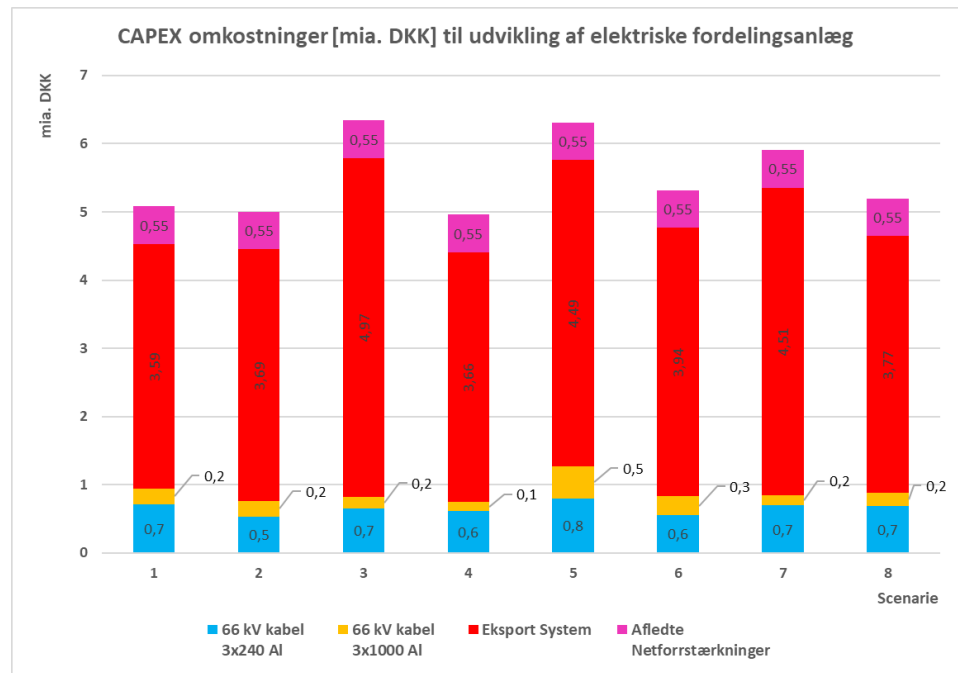
Ved fastlæggelse af elektriske tab i opsamlingsystemet er der foretaget simplificeret loadflow beregning for fastlæggelse af effekttab i arraykablerne. De samlede årlige elektriske tab i opsamlings- og transmissionssystemet er baseret på summen af tab i arraykabelsystemerne samt i eksportsystemet frem til tilslutningspunktet. De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for det aktuelle område. Energigitabene i eksportsystemerne er oplyst af Energinet.

De akkumulerede årlige elektriske tab fordelt på de forskellige anlægskategorier fremgår af Figur 7-2.



Figur 7-2 Årlige energitab for scenarie 1-8.

Der er i forbindelse med opgaven udarbejdet CAPEX for de forskellige scenarier (Henvisning til Tabel 2-2). Det fremhæves, at omkostningsestimatet tjener som input til en overordnet rangordning af vindmølleparkerne. CAPEX for eksportsystemerne er tilvejebragt af Energinet. Derved er det ikke nødvendigt med eksakte omkostningsestimater, som under alle omstændigheder ville kræve mere detaljeret projekter end de, der foreligger ved udarbejdelsen af denne rapport. CAPEX fordelt på de forskellige anlægskategorier fremgår af Figur 7-3.



Figur 7-3 CAPEX estimat for scenarie 1-8.

Det noteres, at der ikke kan drages overordnet konklusioner vedr. rangordning af vindmølleparkerne ud fra CAPEX-resultatet af ovenstående alene, da dette er en delmængde af de data som ligger til grund for den økonomiske analyse og overordnet rangordning, der er baseret på LCoE og andre faktorer.

7.2 Koncept for elektrisk transmissionsanlæg

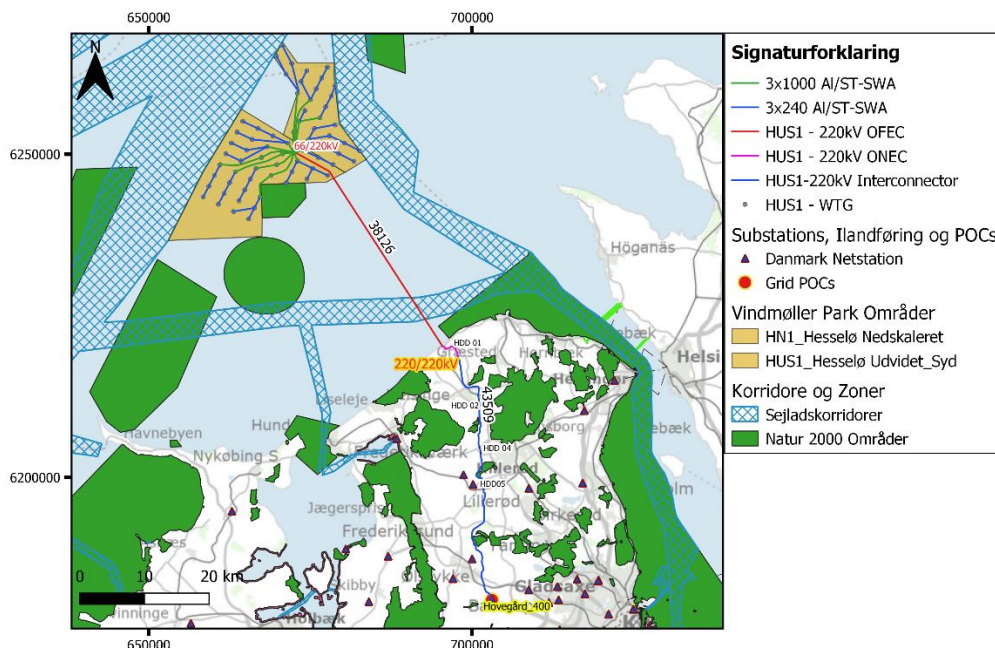
Konceptet anvendt i denne rapport for nettilslutningen af de enkelte vindmølleparker er beskrevet i de efterfølgende afsnit.

7.2.1 Område A, Scenarie 1 (Layout HUS1)

Layout HUS1 (jf. Tabel 2-2 scenarie 1) er udlagt med en samlet installeret kapacitet på 1 GW (1005 MW), med 67 stk. 15 MW turbiner. Parken er udlagt i det sydlige område samt i dele af det oprindelige Hesselø område, og tilsluttes Energinets Station Hovegård.

Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system er baseret på en central placeret 66/220 kV transformerplatform (OSS). De enkelte møller er tilsluttet i arrays (rækker) til den havbaserede transformerplatform via 66 kV arraykabler. På den havbaserede transformerstation øges spændingen til 220 kV og den producerede effekt føres herfra til land via to kabelanlæg. Ved ilandføringen øst for Gilleleje tilsluttes anlægget en landbaseret Vindmølletransformerstation, hvorfra energien føres til Station Hovegård ligeledes med to kabelanlæg.¹⁶ Der regnes med reaktiv kompensering ved transformerstationen og ved platformen. Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 1 fremgår af Figur 7-4.

¹⁶ Kabeltraceet er overordnet og kan blive justeret i efterfølgende faser.



Figur 7-4 - Layout HUS1 (Scenario 1)

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for Hesselø. De samlede årlige tab i eksportsystemet er oplyst af Energinet. De samlede årlige energitab i el-systemet fremgår af Tabel 7-2.

Tabel 7-2 Scenario 1 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout HUS1 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	54,2
Eksportsystem	67
Sum	121,2

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingssystem fremgår af Tabel 7-3. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet, som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Hovedgård.

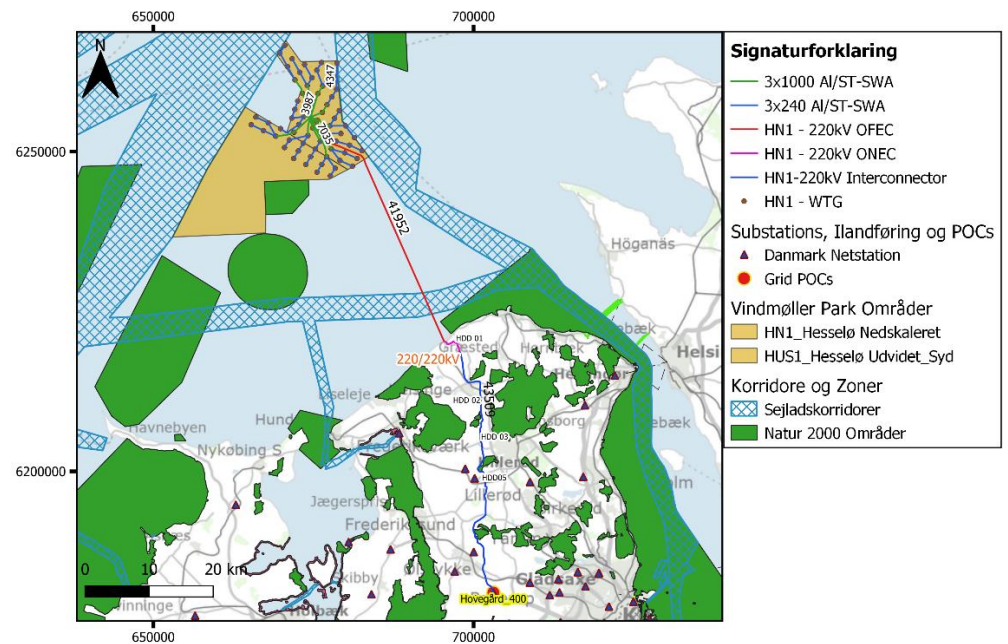
Tabel 7-3 Scenario 1 - CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingssystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksportsystem [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
HUS1	0,94	4,14	5,08

7.2.2 Område A, Scenarie 2 (Layout HN1)

Layout HN1 (jf. Tabel 2-2 scenarie 2) er udlagt med en samlet installeret kapacitet på 1 GW (1005 MW), med 67 stk. 15 MW turbiner. Konfigurationen af de elektriske opsamlingsanlæg er udført identiske med layout HUS1, men med en højere mølletæthed i udlægning af området, og tilsluttes Energinets Station Hovegård.

Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system er konfigureret som beskrevet i afsnit 7.2.1. Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 2 fremgår af Figur 7-5.



Figur 7-5 - Layout HN1 (Scenarie 2)

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for Hesselø. De samlede årlige tab i eksportsystemet er oplyst af Energinet. De samlede årlige energitab i el-systemet fremgår af Tabel 7-4.

Tabel 7-4 Scenarie 2 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout HN1 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	46,1
Eksportsystem	76,4
Sum	122,5

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingsystem fremgår af Tabel 7-5. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Hovegård.

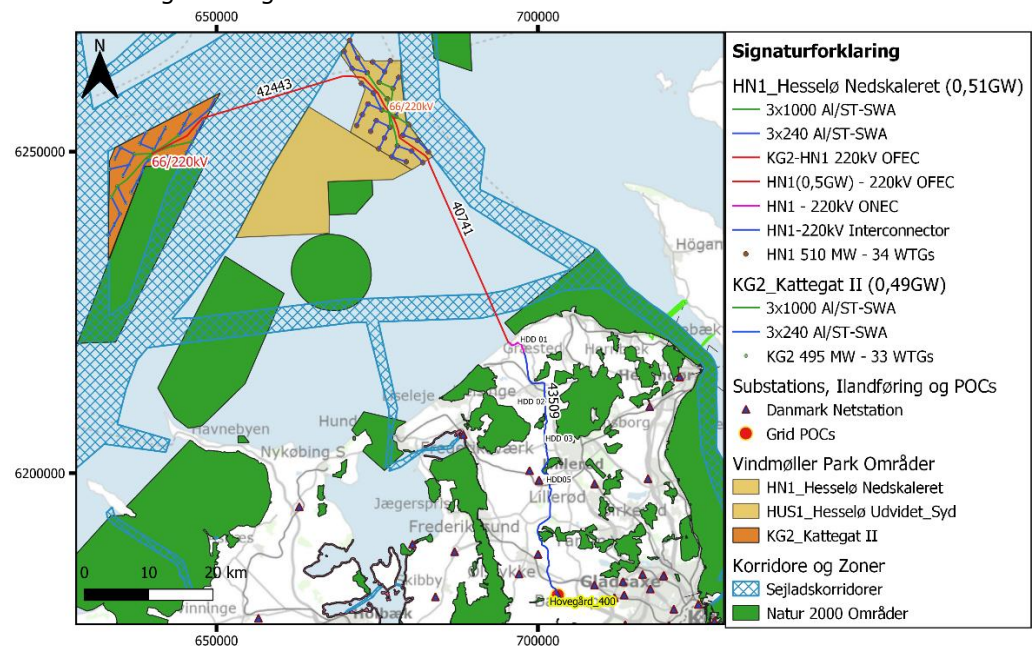
Tabel 7-5 Scenarie 2 – CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksportsystem [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
HN1	0,76	4,24	5,00

7.2.3 Område B, Scenarie 3 (Layout HN1 + KG2)

Layout HN1 + KG2 (jf. Tabel 2-2 scenarie 3) er udlagt med en samlet kapacitet på 1 GW (1005 MW), med 34 stk. 15 MW turbiner (510 MW) placeret i området Hesselø Nedskaleret (HN1) og 33 stk. 15 MW turbiner (495 MW) i området Kattegat 2 (KG2). Parkerne tilsluttes Energinets Station Hovegård.

Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system er baseret på en central placeret 66/220 kV transformerplatform (OSS) i hver af de to områder. De enkelte møller er tilsluttet, i arrays, til den havbaserede transformerstationen via 66 kV arraykabler. På den havbaserede transformerstation øges spændingen til 220 kV og den producerede effekt føres herfra til land via to kabelanlæg. Specielt for Scenarie 3 føres energien fra KG2 til transformerstationen i HN1, hvor supplerende reaktiv kompensering for eksportsøkkablerne udføres og bliver derved elektrisk sammenkoblet til et anlæg. Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 3 fremgår af Figur 7-6.



Figur 7-6 - Layout HN1 + KG2 (Scenarie 3)

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for hhv. Hesselø og Kattegat 2. De samlede årlige tab i eksportsystemet, oplyst af Energinet, er beregnet på baggrund af produktionsprofilen for Af-landshage vindmøllepark. De samlede årlige energitab i el-systemet fremgår af Tabel 7-6.

Tabel 7-6 Scenarie 3 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout HN1 [GWh/år]	Layout KG2 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	22,4	23,5
Samlede Eksportsystem	85,3	
Sum	131,2	

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingsystem fremgår af Tabel 7-7. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Hovegård.

Tabel 7-7 Scenarie 3 - CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksportsystem [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
HN1 + KG2	0,82	5,52	6,34

7.2.4 Område C, Scenarie 4 (Layout HN1 + KF2N)

Layout HN1 + KF2N (jf. Tabel 2-2 scenarie 4) er udlagt med en samlet kapacitet på 1 GW (1020 MW), med 34 stk. 15 MW turbiner (510 MW) placeret i området Hesselø Nedskaleret (HN1) og 34 stk. 15 MW turbiner (510 MW) i området Krigers Flak 2 Nord (KF2N).

Hesselø Nedskaleret tilsluttes Energinets Station Hovegård, og Krigers Flak 2 Nord tilsluttes Station Solhøjgård.

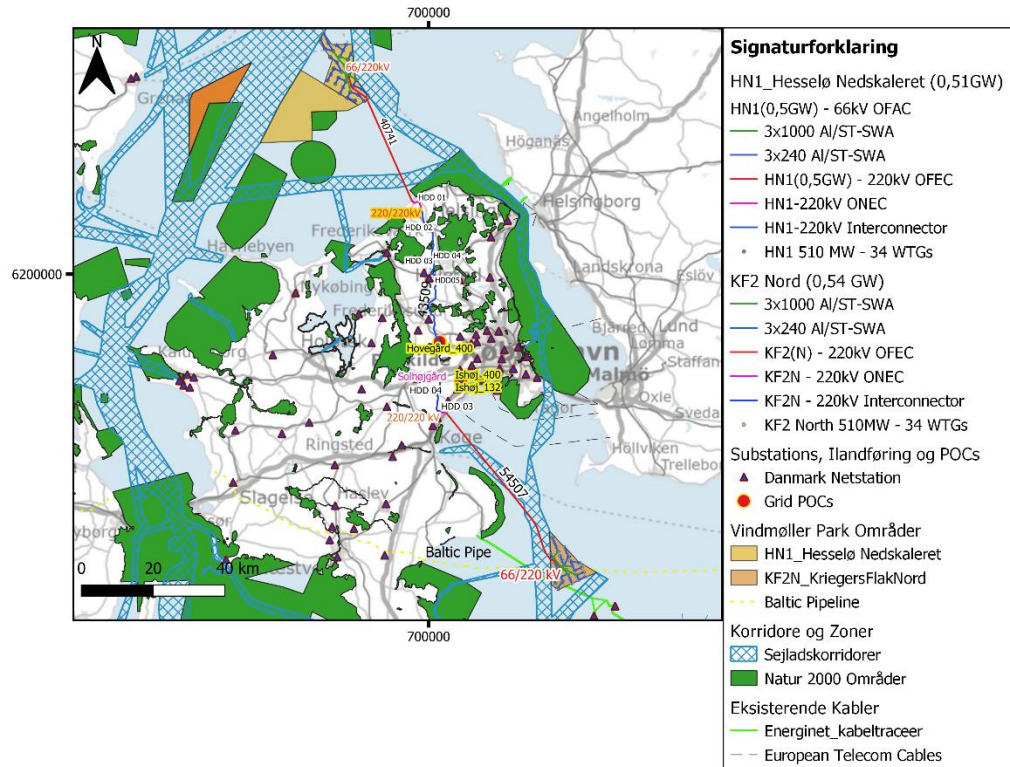
Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system for de to parker vil med parkernes beliggenhed behandles som to uafhængige anlæg uden direkte elektrisk sammenkobling.¹⁷

Opbygningen af HN1 er beskrevet i afsnit 7.2.2 med den forskel at den totale installeret kapacitet er 510 MW som føres til land via to kabelanlæg.

KF2 Nord er baseret på en central placeret 66/220 kV transformerplatform (OSS). De enkelte vindmøller er tilsluttet, i arrays, til den havbaserede transformerstationen via 66 kV arraykabler. På den havbaserede transformerstation øges spændingen til 220 kV og den produceret energi føres herfra til land via to kabelanlæg. Ved ilandføringen ved Karlstrup Strand tilsluttes KG2 en landbaseret vindmølletransformerstation, hvorfra energien føres til Station Solhøjgård. Der regnes med reaktiv kompensering ved transformerstationen og ved platformen.

Den overordnede anlægskonfiguration Scenarie 4 fremgår af *Figur 7-7*.

¹⁷ Her er reelt tale om to indbyrdes uafhængige 500 MW havbaseret vindmølleparker.



Figur 7-7 - Layout HN1 + KF2N (Scenarie 4)

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for hhv. Hesselø og Kriegers Flak 2. De samlede årlige tab i eksportsystemet, oplyst af Energinet, er beregnet på baggrund af samme produktionsprofil. De samlede årlige effekttab i el-systemet fremgår af Tabel 7-8.

Tabel 7-8 Scenarie 4 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout HN1 [GWh/år]	Layout KF2N [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	30,4	32
Eksportsystem	66,7	
Sum	129,1	

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingsystem fremgår af Tabel 7-9. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet som vurderes nødvendige for tilslutning af et 500 MW produktionsanlæg til hhv. Station Hovegård og Station Solhøjgård.

Tabel 7-9 Scenarie 4 - CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
HN1 + KF2N	0,75	4,21	4,96

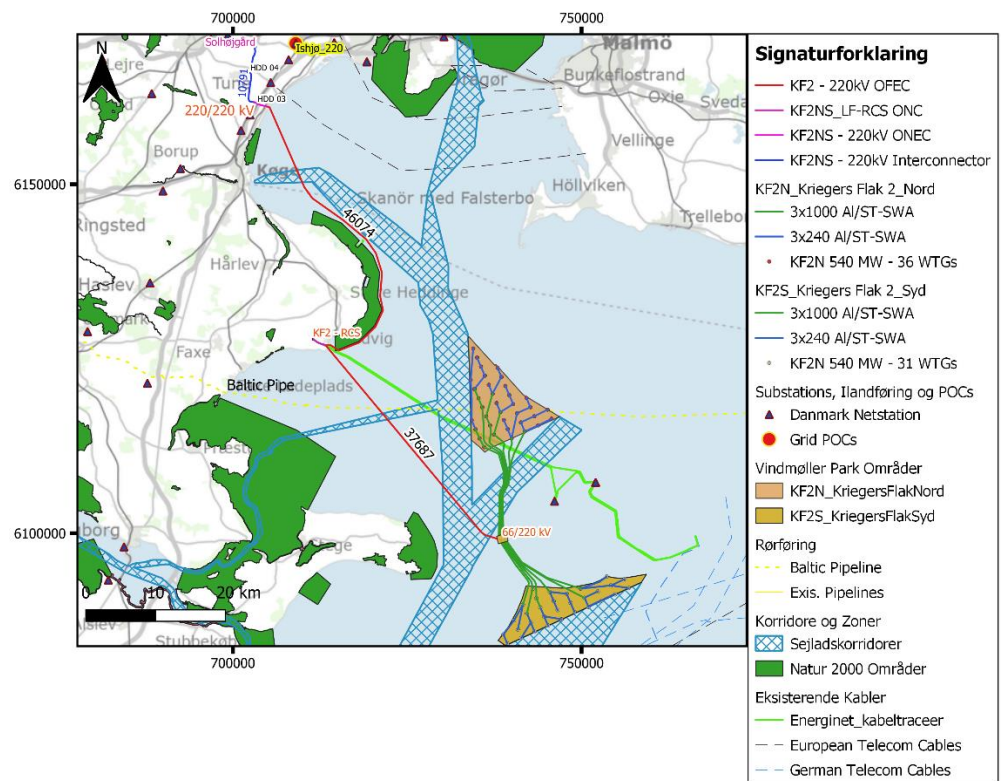
7.2.5 Område D, Scenarie 5 (Layout KF2N + KF2S)

Layout KF2N + KF2S (jf. Tabel 2-2 scenarie 5) er udlagt med en samlet kapacitet på 1 GW (1005 MW), med 36 stk. 15 MW turbiner (540 MW) placeret i området Kriegers Flak 2 Nord og 31 stk. 15 MW turbiner (465 MW) i området Kriegers Flak 2 Syd (KF2S).

Energien fra de to områder opsamles i en fælles transformerplatform med en samlet kapacitet på 1 GW (1005 MW) hvorfra energien føres til Energinets Station Solhøjgård. Denne anlægskonfiguration vil på sigt ligeledes kunne sammenkobles med anlægget ved Kriegers Flak Havvindmøllepark, hvorved der opnås fordele bl.a. i forhold til forsyningssikkerhed og generel udnyttelse af anlæggene.

Ved ilandføringen, valgt til samme sted som Kriegers Flak Havvindmøllepark, tilsluttes anlægget en landbaseret Reaktive effekt kompenseringstation (RCS), som har til hovedformål at levere reaktiv kompensering til eksportkabelanlæggene, samt sikre rette spændingsniveau og kvalitet i forhold til transmissionsnettet. I dette scenarie er det valgt at eksportkabelsystemet fra den RCS føres tilbage i havet og via en havkorridor frem til ilandføringspunktet Karlstrup, hvorfra kablerne overgår fra søkabler til landbaserede kabler frem til Solhøjgård. Denne løsning er foreslået af Energinet fremfor i et omfattende kabelanlæg med en relativ kompleks ruteføring på land fra Stevs til Solhøjgård.¹⁸

Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 5 fremgår af Figur 7-8.



Figur 7-8 –Layout KF2N + KF2S (Scenarie 5)

¹⁸ Energinets fremtidige planlægning af et eventuelt udvidet 220 kV transmissionssystem på Sjælland kan måske medføre at det lange søkabel udelades.

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for Kriegers Flak 2. De samlede årlige tab i eksportsystemet, oplyst af Energinet, er beregnet på baggrund af samme produktionsprofil.

Tabel 7-10 Scenarie 5 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout KF2N + KF2S [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	81,5
Eksportsystem	104,8
Sum	186,3

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingssystem fremgår af Tabel 7-11. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Solhøjgård.

Tabel 7-11 Scenarie 5 - CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingssystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
KF2N + KF2S	1,27	5,04	6,31

I CAPEX-overslaget for eksportsystemet er der opsat en anden topologi end den, som blev anvendt ved finscreeningen i 2020. Der fokuseres på en central havmølleplatform som giver muligheder for forbindelser til andre tilslutningspunkter eks. Kriegers Flak Havvindmøllepark og Tyskland. Det er vurderet, at denne løsning vil være billigere end to særskilte transformerplatforme for eksportsystemet. Eksportsystemet er 2 % billigere end i finscreeningen 2020. Arraykabler er 111 % dyrere end i 2020. CAPEX og energitabene for den elektriske topologi anvendt i 2020 finscreeningen (to adskilte transformer platforme) er blevet genberegnet med den nye vindmølle effektkurve, vindfordeling og opdaterede enhedsomkostninger antaget for 2022. Der henvises til **Bilag A Kriegers Flak 2 Layout med 2xOSS**.

Placeringen har også en række potentielle muligheder til andre projekter i området. Specielt nærheden til Kriegers Flak Havvindmøllepark giver mulighed for i højere grad at sammentænke de to projekter og dermed forstærkning af nettet mellem det kombinerede Kriegers Flak området og Hovegård, Ishøj og Solhøjgård ved København og til Tyskland. Specielt kan projektet sammentænkes med aktuelle projekter på 220 kV fra Vordingborg til Hovegård og dermed etablere et stærkt 220 kV-net parallelt med de eksisterende transmissionsnet. I denne sammenhæng kan disse projekter være med til at mindske behovet for netforstærkninger i Køge-Roskilde snittet, men dette skal dog bekræftes af mere dybdegående studier.

Dette giver samtidig en række perspektiver i forhold til nye projekter, som kan udnytte den valgte struktur. Specielt vil etablering af ny udlandsforbindelse med B2B i Bentwitsch og udvidelse med 1 GW til Tyskland give bedre mulighed for at balancere VE-projekter ud over de vedtagne 2 GW i DK2.

7.2.6 Område E, Scenarier 6, 7 og 8 (Layout NS1, NS2 og NS3)

Nordsøen Område E består af 3 layouts, som benævnes Nordsøen 1 (NS1, NS2 og NS3) alle tre med en kapacitet på 1 GW (1005 MW), med 67 stk. 15 MW turbiner.

Denne undersøgelse omfatter ovenstående tre solitære områder. De tre områder udlægges uafhængigt af hinanden, og det forventes at eksportkabelruterne planlægges således, at disse ikke blokerer for de tilstødende områder.

De tre områder regnes tilsluttet transmissionsnettet i følgende Energinet stationer:

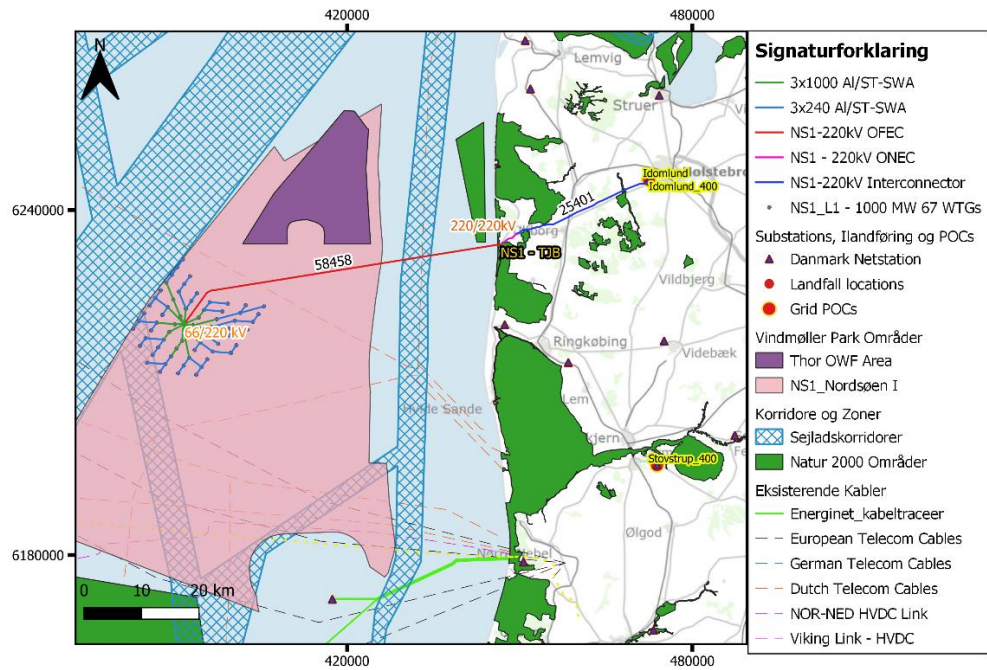
- > Nordsøen 1, NS1: Station Idomlund
- > Nordsøen 1, NS2: Station Endrup
- > Nordsøen 1, NS3: Station Stovstrup

Områderne kan derfor betragtes som individuelle områder i denne screening og kan implementeres uafhængigt af hinanden.

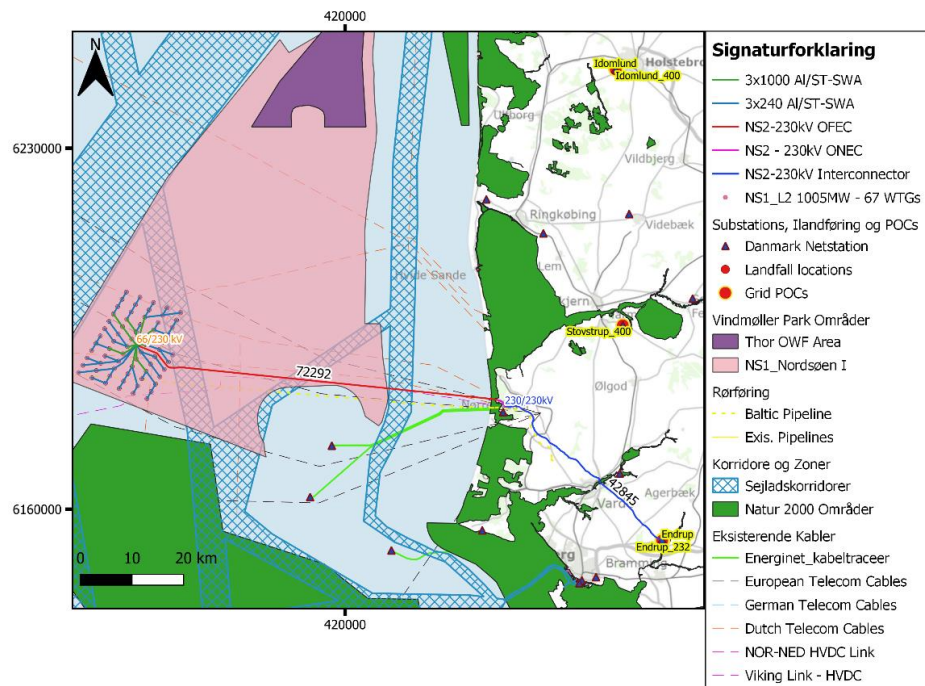
Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system for alle 3 layouts er baseret på en central placeret 66/220 kV transformerplatform (OSS). De enkelte vindmøller er tilsluttet, i arrays, til den havbaserede transformerplatform via 66 kV arraykabler. På den havbaserede transformerplatform øges spændingen til 220 kV og den producerede effekt føres herfra til land via to kabelanlæg. Ved ilandføringen tilsluttes anlægget en landbaseret Vindmølletransformerstation, som har til hovedformål at levere reaktiv kompensering til eksportkabelanlæggene, samt sikre rette spændingsniveau og kvalitet i forhold til transmissionsnettet.

Kyststrækningen er beskyttet af flere Natura 2000-områder. Det er i dette studie antaget, at krydsningen af Natura 2000-området foretages som underboringer i forbindelse med kabellandanlæg, da dette påvirker Natura 2000-områderne mindst muligt. Natura 2000 restriktionerne antages ikke at være opsættelige for installationer udført under jorden.

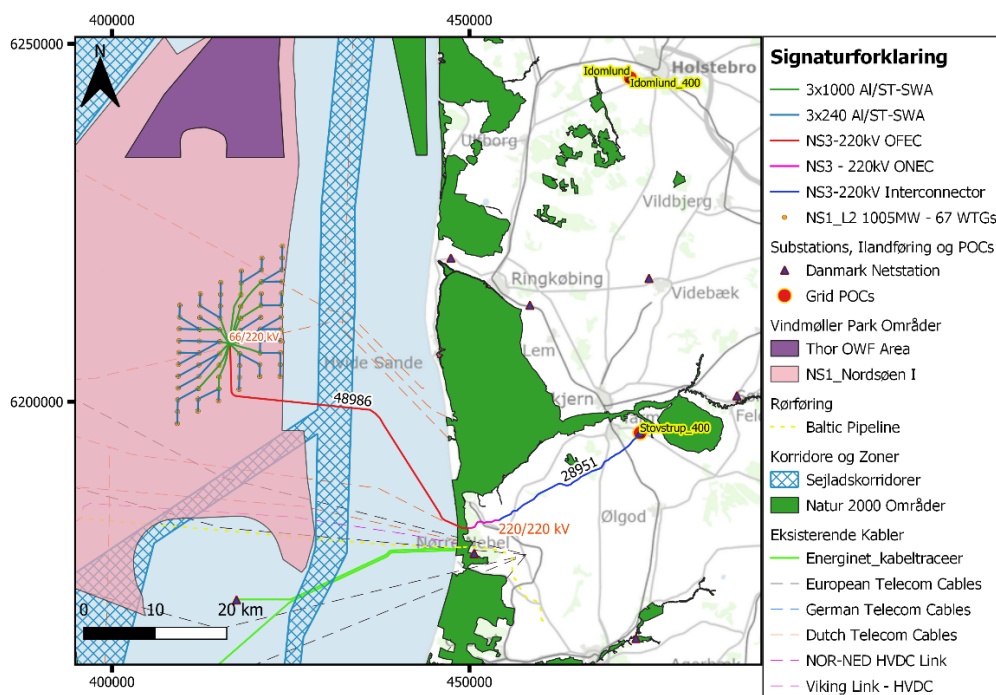
Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 6 med ilandføring ved Øby-fremgår af Figur 7-9.



Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 7 med ilandføring ved Houstrup Strand fremgår af Figur 7-10.



Den overordnede anlægskonfiguration for scenarie 8 med ilandføring ved Houstrup Strand fremgår af Figur 7-11.



Figur 7-11 – Layout NS3 (Scenarie 8)

De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund produktionsprofilen for Nordsøen 1. De samlede årlige tab i eksportsystemet, oplyst af Energinet, er ligeledes beregnet på baggrund af den aktuelle produktionsprofil. De samlede årlige energitab i el-systemet fremgår af efterfølgende tabeller.

Tabel 7-12 Scenarie 6 - Samlede årlige effekttab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout NS1 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	50,8
Eksportsystem	88,9
Sum	139,7

Tabel 7-13 Scenarie 7 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout NS2 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	51,8
Eksportsystem	100,5
Sum	152,3

Tabel 7-14 Scenarie 8 - Samlede årlige energitab i el-systemet

Samlede årlige energitab	Layout NS3 [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	51,1
Eksportsystem	74
Sum	125,1

CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingsystem fremgår af efterfølgende tabeller. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger (0.55 Mia DKK) til forstærkninger af transmissionsnettet som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg.

Tabel 7-15 Scenarie 6 – CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
NS1	0,83	4,49	5,32

Tabel 7-16 Scenarie 7 – CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
NS2	0,85	5,06	5,91

Tabel 7-17 Scenarie 8 – CAPEX-overslag relateret til det elektriske opsamlingsystem

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
NS3	0,88	4,32	5,20

8 Endelig energiproduktion

Den endelige nettoenergiproduktion tager højde for følgende tab og korrektioner ift. parkernes brutto produktion:

- > Skyggetab (Layout- og site afhængigt)
- > Rådighedstab for vindmølleparken (4,0%)
- > Møllens eget forbrug (1,2%)
- > Effektkurvetab (1,0%)
- > Langtidskorrektion af mesoscale vindressourcedata (site afhængigt)
- > Elektriske tab i arraykabler (Layout- og site afhængigt)
- > Elektriske tab i eksportsystemet (Layout- og site afhængigt)

Med undtagelse af de elektriske tab, er de andre tab indregnet i nettoenergiproduktionen i Tabel 3-5. I Tabel 8-1 nedenfor medregnes elektriske tab i array og eksportsystemet.

Tabel 8-1: Endelig energiproduktion

LAYOUT	Netto AEP [GWh/år]	Elektriske tab [GWh/år]	Endelig energi- produktion [GWh/år]
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	4.771,8	121	4.650,9
Nedskaleret Hesselø (HN1)	4.637,5	123	4.515,0
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1+KG2)	4.832,5	131	4.701,3
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1+KF2N)	4.874,3	129	4.745,3
Kriegers Flak 2 (KF2N+KF2S)	4.883,4	186	4.697,0
Nordsøen 1 (NS1)	4.977,4	140	4.837,7
Nordsøen 1 (NS2)	4.979,0	152	4.826,7
Nordsøen 1 (NS3)	5.001,7	125	4.876,6

9 Omkostninger

De samlede omkostninger til etablering af havvindmølleparker på de forskellige sites er vist i Tabel 9-1. Investeringsomkostningerne er sammenlignelige med bl.a. Energistyrelsens Teknologikatalog¹⁹, International Energy Agency (IEA) Energy Outlook 2021²⁰ og BVG Associates Wind farm costs²¹.

Tabel 9-1: Samlede investeringsomkostninger per layout (1.000 kr.)

	Hesselø udvidet syd (HUS1)	Nedskaleret Hesselø (HN1)	Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1+KG2)	Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1+KF2N)	Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N+KF2S)	Nordsøen 1, (NS1)	Nordsøen 1, (NS2)	Nordsøen 1, (NS3)
WTG	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.840.972	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.710.958
Fundamenter	2.692.430	2.961.375	2.777.360	2.963.610	2.803.435	2.845.155	2.795.240	2.895.070
Arraykabler	941.000	761.000	822.000	750.000	1.268.000	831.000	847.000	878.000
Eksportsystem ²²	3.590.000	3.690.000	4.970.000	3.660.000	4.490.000	3.940.000	4.510.000	3.770.000
Udvikling	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500
Total	16.246.888	16.435.833	17.592.818	16.527.082	17.584.893	16.639.613	17.175.698	16.566.528
1000 kr./MW	16.166	16.354	17.505	16.203	17.497	16.557	17.090	16.484

Den omkostning der anvendes for vindturbinerne, er lidt i den høje ende, når der sammenlignes med forskellige estimater fra andre kilder (eksempelvis de i fodnoterne nævnte), men for at sikre sammenlignelighed med den tidligere finscreening, anvendes dette estimat.

Priserne for fundamentene er baseret på monopæl fundering. Priserne på fundamentene varierer fra site til site, hvilket primært skyldes forskellige havdybder og havbunde, samt om der er behov for at beskytte fundamentet mod erosion. I nedskaleret Hesselø og Kriegers Flak 2 Syd skal monopælene bankes længere ned i havbunden, hvilket betyder, at der skal bruges mere stål og arbejdstid. I Kriegers Flak 2 Nord, kan havbunden vise sig, at være hårdere i nogen områder, hvilket resulterer i lidt længere arbejdstid. Havbunden i Nordsøen 1 området er kategoriseret som velegnet til brug af monopæle, men grundet havstrømme på bunden kræver de beskyttelse mod erosion, hvilket øger CAPEX. Der er ikke behov for erosionsbeskyttelse på de øvrige sites, men tages der højde for svære havbundsforhold på de ovenstående sites, stiger omkostningerne til fundamentene 12-22

¹⁹ <https://ens.dk/service/fremskrivninger-analyser-modeller/teknologikataloger/teknologikatalog-produktion-af-el-og>

²⁰ [World Energy Outlook 2021 \(windows.net\)](#)

²¹ [Wind farm costs – Guide to an offshore wind farm](#)

²² Forstærkning af eksisterende transmissionsanlæg (0.55 mia DKK) er ikke indbefattet

% for alle disse sites i forhold til fundering på sites med mere ukompliceret havbund.

For hvert område er arraykablerne blevet modelleret af COWIs eksperter og omkostningerne og tab er beregnet. Estimer for arraykabler er i gennemsnit ca. 50% højere end i Finscreening 2020. For Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd er estimeret dog 100 % højere. Det skyldes, at den havbaserede transformerplatform er placeret mellem de to områder, hvilket medfører væsentligt længere arraykabler.

Energinet har leveret oplysningerne om det samlede energitab samt CAPEX-estimer for eksportsystemet. I forhold til Finscreening 2020 er der blevet større forskel på områder ift. både CAPEX og tab i denne finscreening. Især scenarierne, der kombinerer flere geografisk adskilte layouts er op mod 30 % dyrere end de andre scenarier i denne finscreening. Forskellene mellem scenarierne ift. CAPEX og tab var dermed mindre i finscreeningen for 2020.

Udviklingsomkostningerne til brug for finscreeningen 2020 er estimeret til et gennemsnit på ca. 312 mio. kr. For sammenlignelighedens skyld, er der anvendt samme omkostning i denne finscreening. Omkostningen er antaget at være den samme for alle potentielle layouts og udgør under 2 promille af de samlede investeringsomkostninger. Dermed får denne omkostningspost heller ikke indflydelse på den indbyrdes rangordning af layouts.

I Finscreening 2020 anvendtes 75 kr./MWh i udviklingsomkostninger. For at sikre sammenlignelighed anvendes samme omkostning i denne screening. Energinet DK har yderligere leveret drifts- og vedligeholdelsesomkostninger på eksportanlægget på mellem 11-12 mio. DKK afhængig af sites. Disse lægges til.

10 Økonomisk rangordning

Den økonomiske rangordning er lavet ud fra en estimering af omkostninger per kilowatt-time over det givne projekts levetid. Denne rangorden ses i Tabel 10-1.

Tabel 10-1: Rangordning af de otte layouts ud fra levetidsomkostningerne

LAYOUT	(kr/kWh)	(kr/MWh)	(EUR/MWh)
Nordsøen 1, Layout 3 (NS3)	0,38	379	51
Nordsøen 1, Layout 1 (NS1)	0,38	383	51
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1 + KF2N)	0,39	387	52
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	0,39	388	52
Nordsøen 1, Layout 2 (NS2)	0,39	393	53
Nedskaleret Hesselø (HN1)	0,40	401	54
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1 + KG2)	0,41	410	55
Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N + KF2S)	0,41	410	55

Siden finscreeningen 2020 er den årlige energiproduktion (AEP) steget for alle sites. Yderligere er omkostningerne til arraykabler i gennemsnit steget med ca. 50 %.

Ligesom i finscreeningen 2020 er levetidsomkostningen lavest i Nordsøen, dog ikke for Nordsøen 1 NS2. Det skyldes primært den forhøjede omkostning til eksportsystemet. Det site med den højeste levetidsomkostning er Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd, samt Nedskaleret Hesselø og Kattegat 2. Dette skyldes, at sitet har en noget højere omkostning både til eksportsystemer og arraykabler, end de andre områder, mens AEP er sammenlignelig med de andre scenarier.

Sammenlignet med Finscreening 2020 er levetidsomkostningerne for de tre layouts i Nordsøen faldet ca. 5 %. Dette skyldes primært den forbedrede AEP. Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd er blevet dyrere sammenlignet med Kriegers Flak scenariet fra Finscreening 2020. Det skyldes især en kraftig stigning i omkostningen til arraykabler (ca. 100%).

11 Bilag A Kriegers Flak 2 Layout med 2xOSS

Som forklaret i afsnit 7.2.5 afviger det elektriske system for layout KF2N + KF2S (scenarie 5 jf. Tabel 2-2) med de andre layouts ved, at der er placeret én 66/220 kV offshore transformerstation (OSS) mellem KF2N og KF2S, hvilket giver nogle fordele for fremtidig elektrisk udbygning, men også høje omkostninger til arraykabler.

Dette bilag præsenterer resultater for en park i KF2 med en elektrisk konfiguration, der er sammenlignelig med de andre layouts i denne finscreening. Parklayout og produktion er identisk med layout KF2N + KF2S, hvilket også gør sig gældende for ilandføringspunkt, landkabeltracé og PoC. Miljøvurdering og havbundsforhold er også ens, da det er de samme områder, der anvendes. Forskellen på denne park præsenteret i dette kapitel sammenlignet med layout KF2N + KF2S (scenarie 5) præsenteret i afsnit 7.2.5 er, at der er benyttet to offshore transformerstationer (OSS), én for hvert område (henholdsvis nord-, og syd-området), hvilket formindsker omkostningerne for arraykabler betragteligt. I Finscreeningen 2020 for KF2 blev der også screenet for brug af to OSS'er.

Parken præsenteret i dette bilag, som anvender to OSS'er benævnes som "KF2 2xOSS". Layout KF2N + KF2S (scenarie 5) benævnes enten om "Scenarie 5" eller "KF2 1xOSS" i dette bilag.

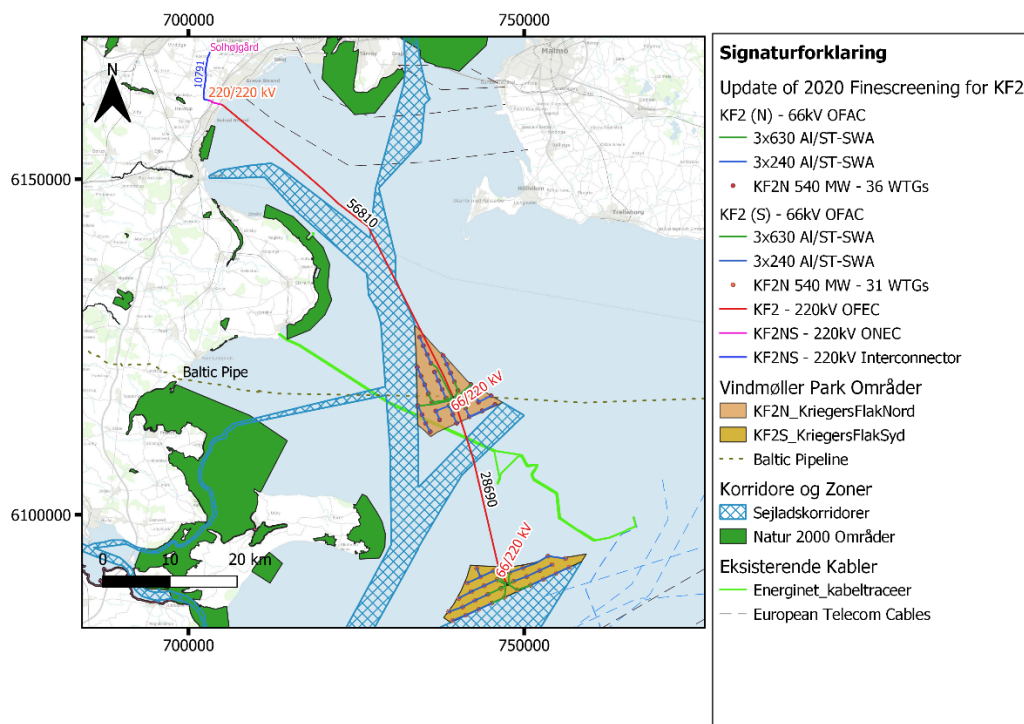
Der er til slut præsenteret LCoE for KF2 2xOSS og sammenligning af de andre finscreenede layouts inklusiv KF2 1xOSS.

11.1 Elektriske Transmissionsanlæg

Nedenfor er det elektriske system for KF2 2xOSS præciseret i detaljer.

Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system antager en 66/220 kV transformerplatform (OSS) placeret i hver af de to områder. De enkelte møller vil blive tilsluttet til transformerplatformen via 66 kV arraykabler, hvor spændingen øges til 220 kV og hvorfra den producerede effekt føres til land via to eksportkabelanlæg. Effekten produceret i KF2S transmitteres til transformerplatformen i KF2N, hvor supplerende reaktiv kompensering for eksportsøkablerne udføres. Det elektriske transmissionsanlæg bliver derved sammenkoblet til ét anlæg.

Ved ilandføringen ved Karlstrup Strand tilsluttes KF2 en landbaseret vindmølletransformerstation, hvorfra effekten føres til Station Solhøjgård. Der regnes med reaktiv kompensering både ved den landbaseret transformerstation og på transformerplatformen ved KF2N. Den overordnede anlægskonfiguration fremgår af Figur 11-1.



Figur 11-1 - Elektrisk system for konfigurationen KF2 2xOSS

Sammenligning af KF2 2xOSS og KF2 1xOSS

Nærværende sammenligning mellem KF2 1xOSS (scenarie 5 jf. Tabel 2-2) og KF2 2xOSS sigter mod at afdække og forklare forskelle i CAPEX og energiproduktion til nettet baseret på følgende forudsætninger.²³

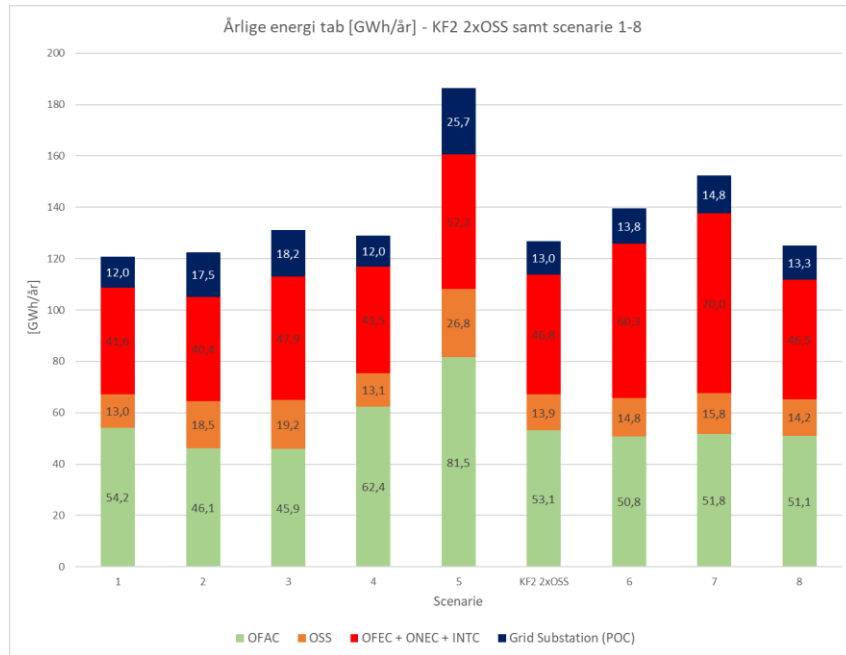
- Antal af offshore transformerstationer er forskelligt, hvilket forklarer be- nævnelser af konfigurationerne.
- Beregnet netto energiproduktion er ens, da der anvendes samme vindprofil for området, antal og placering af møllerne samt effektkurve for møllerne
- Array-kabel layout er forskelligt mellem konfigurationerne. Der er anvendt samme array-kabel layout (længder & type) fra 2020 finscreeningen til KF2 2xOSS. Ifm. CAPEX-beregning er der anvendt samme enhedspriser for kon- figurationerne.
- Offshore eksportkabelrute er forskellig pga. forskelligheden af antal og pla- cering af OSS.
- Ilandføringspunkt, eksportrute på land og PoC er ens for konfigurationerne.

Energitab sammenligning

Tabel 11-1 – Årlige Energitab for KF2 konfigurationer

Årlige energitab	KF2 2xOSS [GWh/år]	KF2 1xOSS [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	53,1	85,1
Eksportsystem	73,8	104,3
Sum	126,9	186,3

²³ Væsentligste ændring er to OSSer frem for en og derved et betydeligt mindre udstræk 66 kV kabelanlæg



Figur 11-2: Årlige energitab for layouts 1-8 samt KF2 2xOSS [GWh/år]

Figur 11-2 viser, at energitab for KF2 2xOSS konfigurationen er væsentlige lavere ift. scenarie 5 (KF2 1xOSS). Det skyldes, hovedsageligt forskelle på tab i arraykabler (OFAC). Ud over det, er energitab i OSS, eksportkabelsystem og PoC også lavere. Dette kan også skyldes den overordnede højspændingsystem konfiguration.

CAPEX-sammenligning

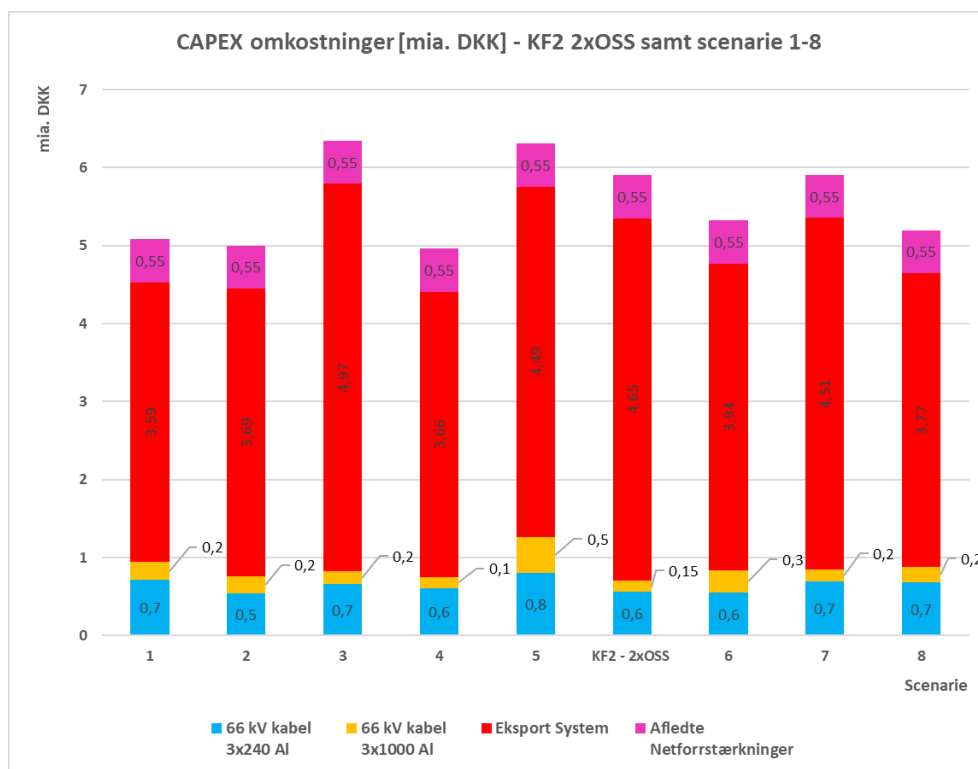
CAPEX-estimatet relateret til det elektriske opsamlingsystem fremgår af Tabel 11-2. CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger til forstærkninger af transmissionsnettet (0,55 mia DKK) som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Solhøjgård²⁴.

Tabel 11-2: CAPEX relateret til det elektriske opsamlingsystem for KF2 konfigurationer

Konfigurationer	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
KF2 2xOSS	0,70	5,20	5,90
KF2 1xOSS (scenarie 5 jf. Tabel 2-2)	1,27	5,04	6,31

CAPEX for KF2 2xOSS er i størrelsesorden 0,4 mia. DKK mindre end topologien med 1xOSS. Dette skyldes hovedsageligt en besparelse på omkring 0,6 mia. DKK på arraykablerne, som modsvares af omkring 0,2 mia. DKK-meromkostninger for eksportsystemet i forhold til KF2 1xOSS. Afledte netforstærkninger er vurderet på samme niveau.

²⁴ Netforstærkningen er ikke direkte udløst af en havmøllepark på 1 GW, men indgår som forudsætninger for en række projekter som tilsluttes i Nordsjælland, hvor det er usikkert præcist hvilket projekt der vil udløse behov for en netforstærkning.



Figur 11-3 CAPEX for det elektriske system for scenarie 1-8 samt konfiguration KF2 2xOSS [mia. DKK]

11.2 Omkostninger og LCoE

Der er tre ting i forhold til CAPEX, hvor KF2 2xOSS og KF2 1xOSS adskiller sig; det elektriske tab, CAPEX til arraykabler og CAPEX til eksportsystemet. Det elektriske tab er 32 % lavere grundet en kortere samlet længde af arraykabler. Dette resulterer i en marginalt højere endelig netto energiproduktion, 1,3 % end det oprindelige scenarie, da tabet udgør en relativ lille andel af den samlede energiproduktion. Tabel 11-3 viser den endelige energiproduktion og de elektriske tab for alle layouts i finscreeningen inklusiv Kriegers Flak 2 med to OSS'er (markeret med grøn).

Tabel 11-3: Endelig energiproduktion

LAYOUT	Netto AEP [GWh/år]	Elektriske tab [GWh/år]	Endelig ener- giproduktion [GWh/år]
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	4.771,8	121	4.650,9
Nedskaleret Hesselø (HN1)	4.637,5	123	4.515,0
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1+KG2)	4.832,5	131	4.701,3
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1+KF2N)	4.874,3	129	4.745,3
Kriegers Flak 2 (KF2N+KF2S) 1xOSS	4.883,4	186	4.697,0
Kriegers Flak 2 (KF2N+KF2S) 2xOSS	4.883,4	126,9	4.756,5
Nordsøen 1 (NS1)	4.977,4	140	4.837,7
Nordsøen 1 (NS2)	4.979,0	152	4.826,7
Nordsøen 1 (NS3)	5.001,7	125	4.876,6

De samlede omkostninger til investeringer for alle scenarierne inklusive KF2 2xOSS (eksklusive net forstærkninger på 0,55 mia.) er vist i Tabel 11-4. Sammenlignes Kriegers Flak 2 1xOSS med Kriegers Flak 2 2xOSS, er omkostningerne til arraykabler 44 % lavere ved brug af to OSS sammenlignet med én. Omvendt er omkostningerne til eksportsystemet 3,5 % højere med to OSS i forhold til én. Da eksportsystemet samlet set udgør en relativt større andel af de samlede investeringsomkostninger end arraykablerne, resulterer dette samlet set i en CAPEX, der er 2,3 % lavere ved brug af to OSS frem for én.

Både stigningen i CAPEX til eksportsystemet og faldet i CAPEX til arraykablerne for KF2 2xOSS i forhold til KF2 1xOSS skyldes forskellen i antal benyttede offshore transformerstationer.

Tabel 11-4: Samlede investeringsomkostninger per layout (1.000 kr.)

	Hesselø udvidet syd (HUS1)	Nedskaleret Hesselø (HN1)	Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1+KG2)	Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord	Kriegers Flak 2 (KF2N + KF2S) 1xOSS	Kriegers Flak 2 (KF2N + KF2S) 2xOSS	Nordsøen 1, (NS1)	Nordsøen 1, (NS2)	Nordsøen 1, (NS3)
WTG	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.840.972	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.710.958
Fundamenter	2.692.430	2.961.375	2.777.360	2.963.610	2.803.435	2.803.435	2.845.155	2.795.240	2.895.070
Arraykabler	941.000	761.000	822.000	750.000	1.268.000	702.000	831.000	847.000	878.000
Eksportsystem ²⁵	3.590.000	3.690.000	4.970.000	3.660.000	4.490.000	4.650.000	3.940.000	4.510.000	3.770.000
Udvikling	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500
Total	16.246.888	16.435.833	17.592.818	16.527.082	17.584.893	17.178.893	16.639.613	17.175.698	16.566.528
1000 kr./MW	16.166	16.354	17.505	16.203	17.497	17.093	16.557	17.090	16.484

Tabel 11-511-6 viser den økonomiske rangordning af de forskellige layouts. Kriegers Flak 2 1xOSS er sammen med Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 det dyreste layout med en levetidsomkostning på 410 kr./MWh. Kriegers Flak 2 2xOSS placerer sig som det fjerde dyreste layout med en levetidsomkostning på 398 kr./MWh. Levetidsomkostningen er dermed 3 % lavere ift. layoutet i KF2, hvor der er anvendt én OSS.

²⁵ Forstærkning af eksisterende transmissionsanlæg (0.55 mia DKK) er ikke indbefattet

Tabel 11-511-6: Rangordning af de otte layouts ud fra levetidsomkostningerne

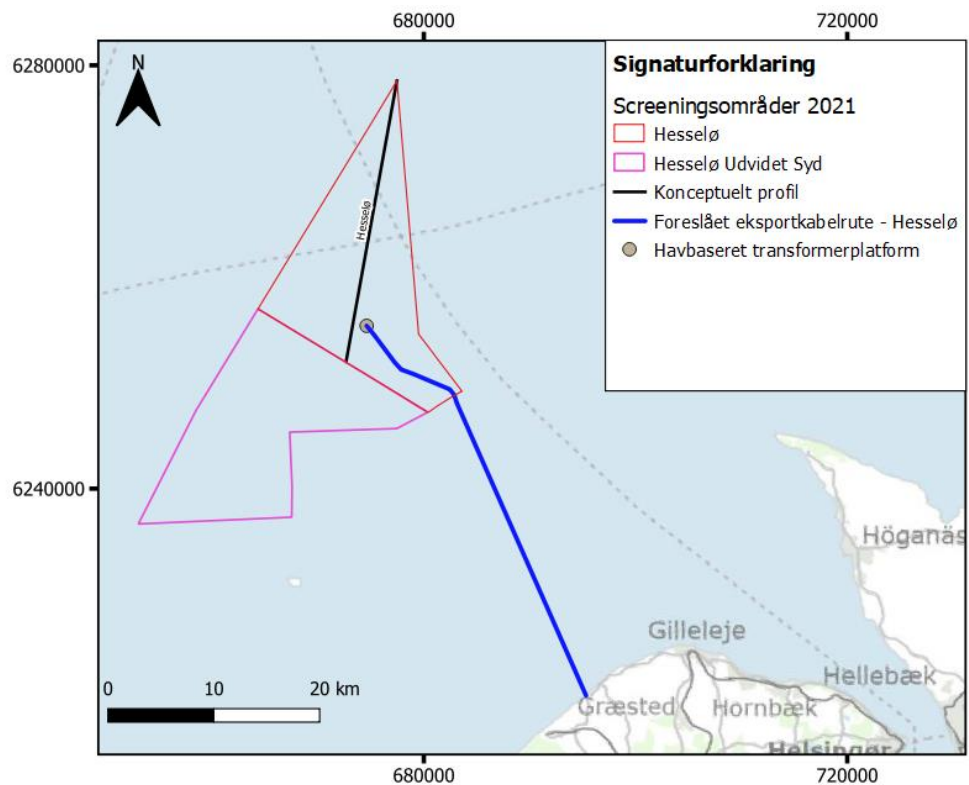
LAYOUT	(kr/kWh)	(kr/MWh)	(EUR/MWh)
Nordsøen 1, Layout 3 (NS3)	0,38	379	51
Nordsøen 1, Layout 1 (NS1)	0,38	383	51
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1 + KF2N)	0,39	387	52
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	0,39	388	52
Nordsøen 1, Layout 2 (NS2)	0,39	393	53
Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N + KF2S) 2xOSS	0,40	398	53
Nedskaleret Hesselø (HN1)	0,40	401	54
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1 + KG2)	0,41	410	55
Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N + KF2S) 1xOSS	0,41	410	55

12 Bilag B - Hesselø Layout (område F)

Dette bilag præsenterer resultater for en opdateret finscreening af området *Hesselø* jf. COWIs finscreening fra 2020. Området bliver i Energistyrelsens regi også angivet som område F. Området er identisk med det areal, der blev vedtaget ifm. Energiaftalen fra 2018. Den nuværende finscreening er baseret på et større datagrundlag end 2020 screeningen, blandt andet pga. indsamlet forundersøgelsesdata og behandling af disse.

12.1 Havbundsscreening af Hesselø område F

Hesselø-området (Område F) er placeret i Kattegat mellem øerne Hesselø og Anholt og har et areal på ca. 247 km². Området er beliggende ca. 50 km fra Grenå og ca. 35 km fra Gilleleje (Figur 12-1). Området ligger på ca. 25-33 m vanddybde (gennemsnitligt ca. 30,5 m). Hesselø-området er blevet revurderet på baggrund af nye data der er tilgængeligt siden finscreeningen i maj 2020 i forbindelse med de geotekniske og geofysiske forundersøgelser udført i vinteren 2020 og sommeren 2021. Der er i den forbindelse blevet udarbejdet en detaljeret geologisk model for området /4/.



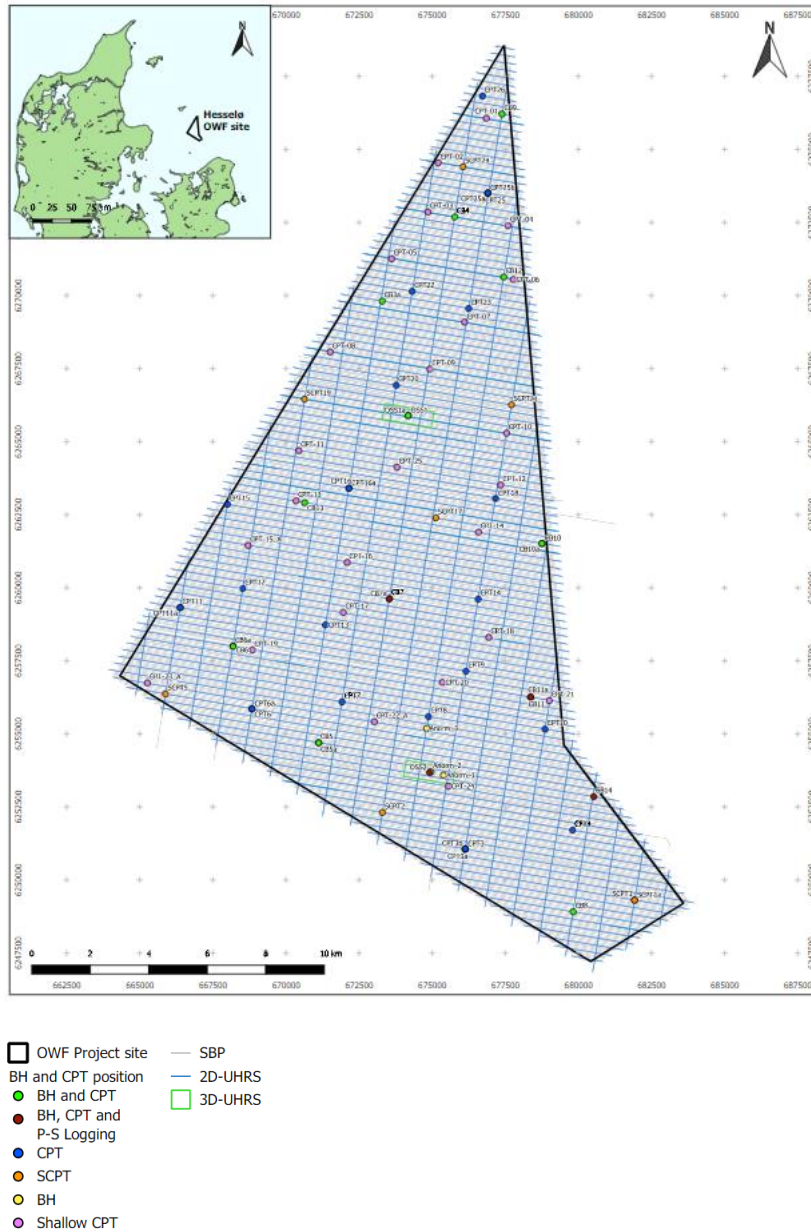
Figur 12-1 Placering af Hesselø område F. Der er vist placering af foreslået eksportkabelrute og det konceptuelle geologiske profil for området /4/.

12.1.1 Datagrundlag

Herunder er opstillet det på screeningstidspunktet tilgængelige datagrundlag.

- > Batymetri og søkort fra hhv. GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans (<https://download.gebco.net>) og Geodatastyrelsen.
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter, udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geviden, geologi og geografi nr. 2, 2014 Marine raw materials (www.geus.dk)
- > Leth, J.O. og Larsen, B., 2014: Den danske havbund. Geviden, geologi og geografi nr. 2, 2014. Marine raw materials (www.geus.dk)
- > De geologiske lag under den kvartære lagpakke fra "Geologisk Kort og den Danske Undergrund", udgivet af Varv i 1992.
- > Stratigrafi fra boring på Hesselø med DGU Nr. 180.1.
- > Fugro, 2021. Geophysical results report. Energinet Denmark Hesselø geophysical survey, Denmark, Inner Danish Sea Kattegat. F172145-REP-GEOP-001 02. 13. August 2021.
- > Fugro, 2021. 3D-UHR Survey Results Report WPD, Energinet Danmark Hesselø 3D-UHR Survey. Denmark, Inner Danish Sea, Kattegat. F172145-REP-UHR-001 02. 18. Auhust 2021.
- > Energinet Eltransmission A/S, 2021. Hesselø export cable route, Cable route, Cable Route Survey Report, Rambøll. Revision 2, 2. September 2021.
- > Gardline, 2021. Preliminary Investigation, Hesselø OWF. Volume II: Interim Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results. Gardline for Energinet Eltransmission A/S.
- > Jensen, J.B. og Bennike, O., 2020. General geology of southern Kattegat, the Hesselø wind farm area. Desk study, GEUS rapport 2020/53. GEUS for Energinet Eltransmission A/S.
- > Energinet Eltransmission A/S, 2022. Hesselø offshore wind farm integrated geological model (Version 2.0). Report, appendices og enclosures (**Rapporten er endnu ikke offentliggjort**).
- > Energistyrelsen, delrapport A132994-1-2. Havbund og geologiske forhold for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II. Finscreening af havarealer til etablering af nye havmølleparker med direkte forbindelse til land, 2020.

Beliggenheden af de nye geofysiske og geotekniske data for Hesselø-området er illustreret på Figur 12-2. Data har dannet grundlag for en detaljeret geologisk model for Hesselø-området, mens dele af data og information er indarbejdet i Hesselø Udvidet Syd.



Figur 12-2 Oversigt over data i forbindelse med forundersøgelserne i Hesselø-området i 2020/2021. Fra /4/.

12.1.2 Resultater

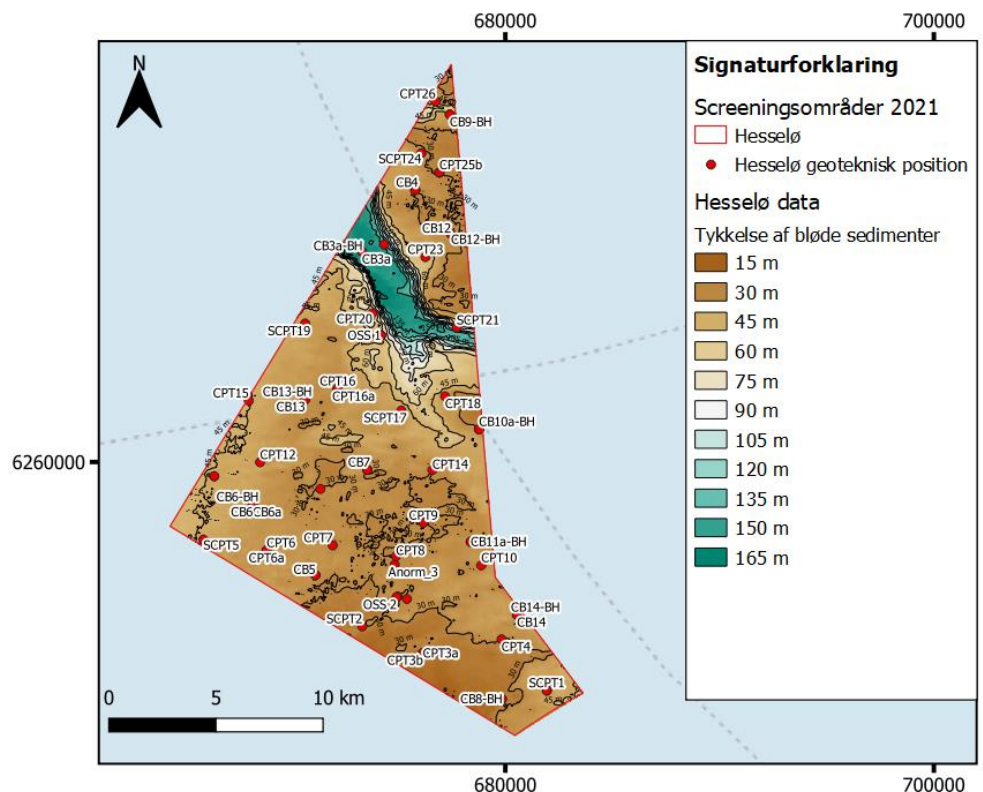
Siden den seneste finscreening af Hesselø-området er der i vinteren 2020 og sommeren 2021 henholdsvis indsamlet geofysiske og geotekniske data inden for Hesselø-området /1/, /2/. De geotekniske borerer dannede grundlag for en korrektion af den konceptuelle model i forhold til tykkelserne af de holocæne, senglaciale og glaciæle moræneaflejringer. Borerer (BH) og CPT'er, de seismiske linjer (2D og 3D-UHRS) og subbottom profiler (SBP) fra forundersøgelsen er inddraget i nærværende finscreening. De dybeste af de nye borerer i Hesselø-området når en dybde af over 70+ m under havbunden. Afhængig af placeringen af borererne, indikerer flere af disse (f.eks. CB3a-BH, CB4-BH og CB10a-BH) lerede glaciæle aflejringer i bunden af borererne. Andre borerer (f.eks. CB5-BH, CB6-BH og CB8-BH) når siltede aflejringer fra Kridt i en dybde af op til ca. 55 meter under

havbunden. Boringerne indikerer, at de prækvartære aflejringer ligger højere i den sydlige del af Hesselø-området.

I forhold til styrkerne i de overvejende lerede lag, der dominerer de geotekniske boringer i Hesselø-området, varierer dybden, hvori der opnås en mellem til høj styrke i leret (svarer til en udrænet forskydningsstyrke på 40-150 kPa). Boringerne CB5-BH, CB6-BH, CB7-BH, CB8-BH, CB10a-BH, CB11-BH, CB13-BH, CB15-BH viser, at mellem til høj styrke i den centrale del af Hesselø-området opnås mellem 20-35 meter under havbunden. Herunder opnås generelt høje til meget høje styrker i leret (svarer til en udrænet forskydningsstyrke på 75-300 kPa). For placering af boringer og havbunds CPT'er, se Figur 12-3.

Boring CB6-BH, der ligger i den sydvestlige del af Hesselø-området, opnår en mellem til høj styrke ca. 35 meter under havbunden /1/, mens der længere mod vest, baseret på geomodellen /4/, er mellem 40-60 meter til lag med stor styrke.

I den nordlige del af Hesselø-området (nord for en stor gennemskærende kanal med 100+ m til lag med store styrker) findes 3 boringer (CB4-BH, CB9-BH og CB12). CB4-BH opnår meget høje styrker i ler fra ca. 35 m, CB9-BH opnår høje styrker i ler fra 40 m og CB12-BH opnår høje til meget høje styrker i ler fra ca. 30 m under havbunden /1/ (Figur 12-3).



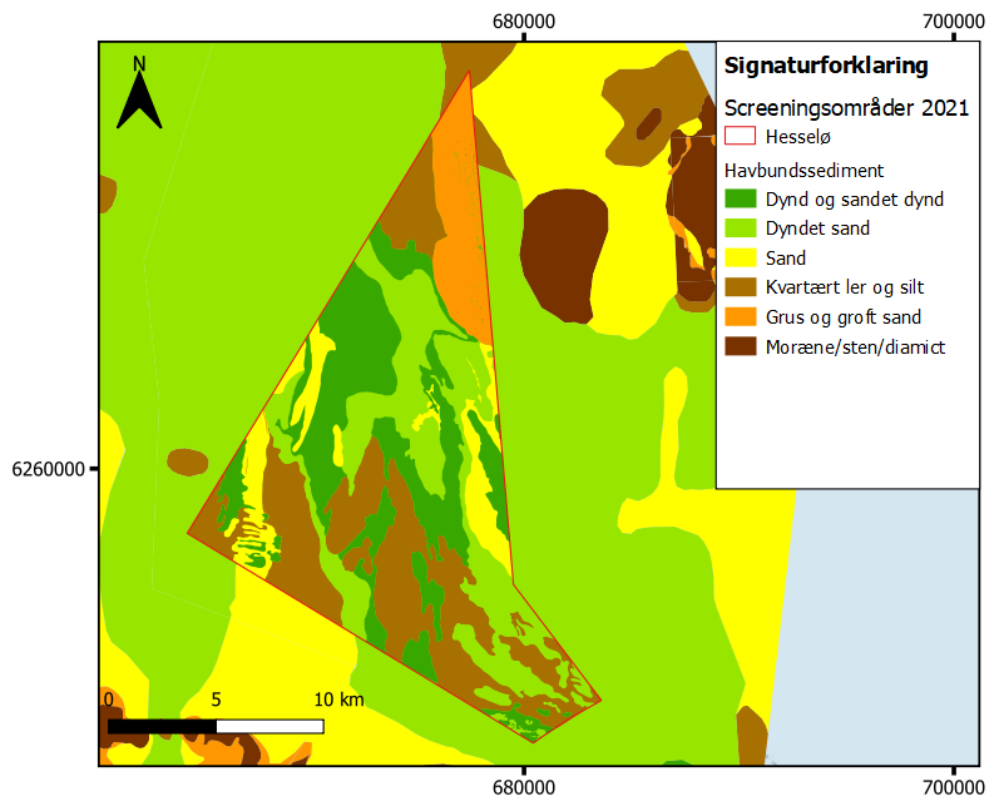
Figur 12-3 Placeringen af geotekniske boringer og havbunds-CPT inden for Hesselø-området /1/. Tykkelsen af bløde sedimenter under havbund er taget fra tolkningen fra den geologiske model /4/.

Der er udarbejdet et tykkelseskort af jordlag med lav styrke i forbindelse med den detaljerede geologiske model for området /4/ (Figur 12-3). Det ses, at der i den

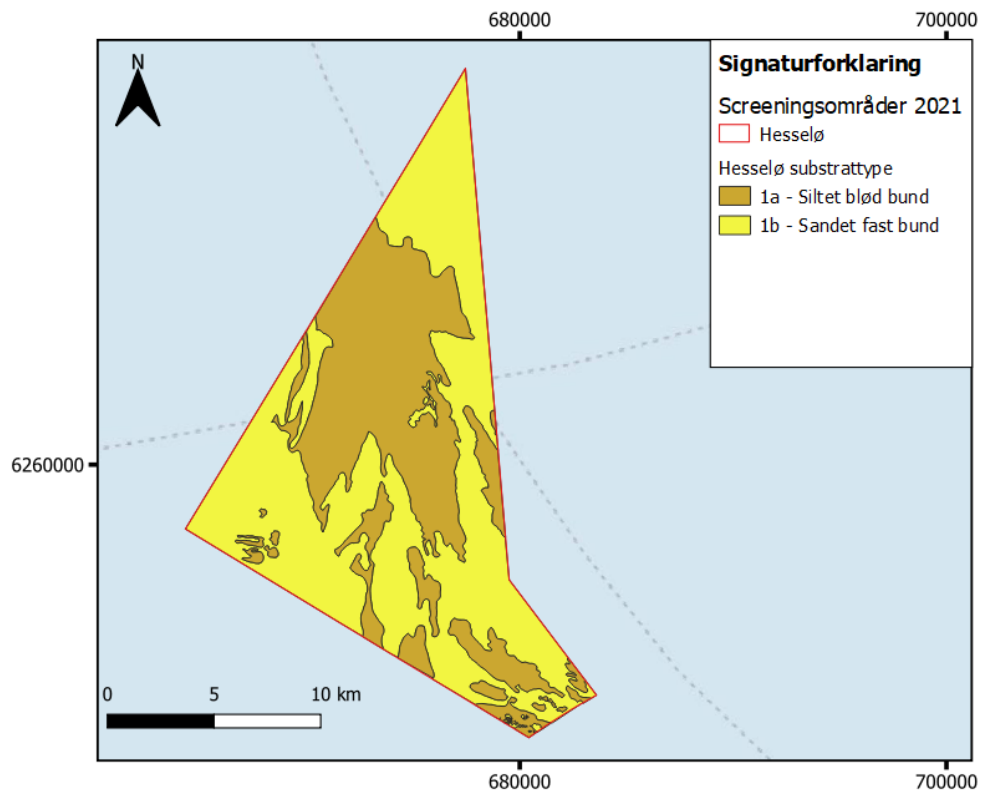
sydøstlige del af Hesselø-området er et område med op til ca. 30 meter tykkelse af lerlag med lav styrke og i nogle områder mindre end 20 meter. Det ses også, at det sydvestlige område generelt har lag med lav styrke med en tykkelse på 50-60 meter. Lokalt i den centrale og østlige del af Hesselø-området, findes områder med mindre end ca. 30 meter tykkelse af lag med lav styrke.

Der er i forbindelse med de geotekniske undersøgelser i 2021 blevet udarbejdet opdaterede kort for havbundssedimenterne og substrattyperne i Hesselø-området /2/. Den nye model er opdateret med borer, CPT'er, grab samples og geofysiske data og har en højere detaljegrad end GEUS' overordnede model af havbundssedimenter, der dækker hele Danmark /3/ (Figur 12-4).

Der er derudover udarbejdet et kort over substrattypen med inddeling efter standardsubstrattyper, der overordnet varierer mellem siltet blød bund og sandet fast bund (Figur 12-5). Den tidligere GEUS-model der var brugt for Hesselø ved finscreeningen i 2020 var mindre detaljeret og hele området var på dette kort tolket som 'dyndet sand'. Havbundssedimentkortet og substrattypekortet er dog kun indikativ for den øverste ca. 1 meter af sedimenterne på havbunden og har derfor overordnet set kun betydning for eksportkabelruten.



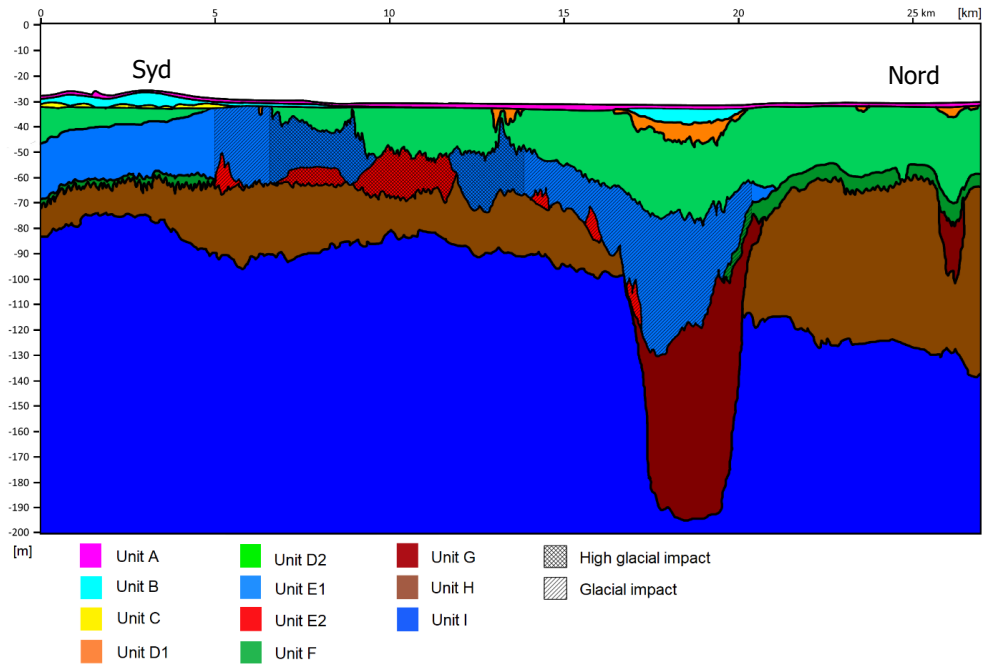
Figur 12-4 Havbundssedimentkort ved Hesselø-området. Det opdaterede kort fra forundersøgelserne ved Hesselø /2/ er lagt oven på det overordnede havbundssedimentkort for hele Danmark /3/.



Figur 12-5 Opdateret kort over substrattyper for Hesselø-området [2/].

Både hvad angår de geologiske informationer om lagene under havbunden fra de geotekniske borer, styrkerne i de lerede sediment, havbundssedimenterne og substrattyperne kan det opdaterede datagrundlag for Hesselø-området yderligere anvendes for Hesselø Udvidet Syd-området. Da meget af informationen ligger på grænsen mellem de to områder, kan der ekstrapoleres ind i Hesselø Udvidet Syd så data fra Hesselø-området indgår i vurderingen af Hesselø Udvidet Syd.

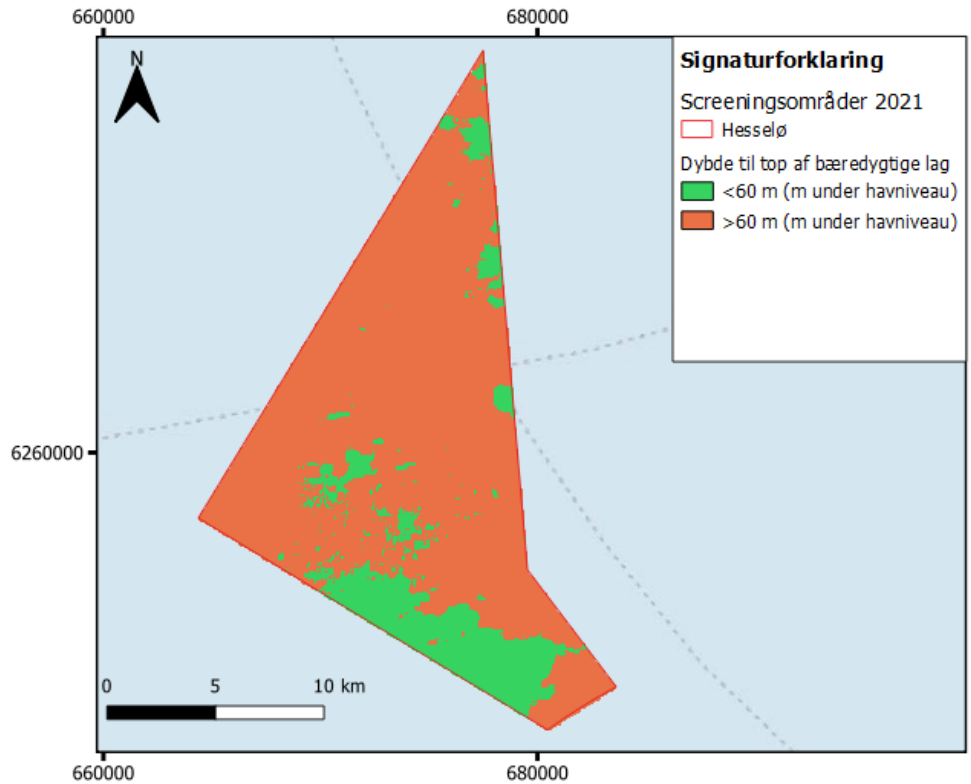
Et syd-nord-orienteret konceptuelt profil af geologien er vist på Figur 12-6. Havbundssedimentet i Hesselø-området består primært af holocænt dyndet sand og ler med en vurderet tykkelse på 2-10 m. Under dette findes senglaciale, lerede aflejringer med tykkelser på 25-90 m og glaciære moræneaflejringer med en tykkelse på 10-100+ m. Generelt har den kvartære lagpakke en meget kompleks opbygning og er præget af tydelige gletsjerrelaterede deformationer fra seneste istider. Prækvartæroverfladen består i området af marine sand- og lersten fra Jura og Nedre Kridt og vurderes at ligge under kote -75 m (≥ 50 m under havbunden). Prækvartæroverfladen ligger tættest på havbunden i den sydlige del af området.



Figur 12-6 *Konceptuelt geologisk profil for Hesselø-området fra syd til nord /4/. Enhederne (units) svarer til følgende sedimenttyper: Unit A, B, C = Holocænt siltet, sandet ler og siltet sand; Unit D1, D2, E1, E2 og F svarer til Sen Weichsel siltet, sandet, gruset ler; Unit G svarer til Weichsel siltet, sandet ler og sand; Unit H svarer til Weichsel til tidligere Pleistocænt siltet, sandet, gruset ler og leret, siltet sand; Unit I svarer til Jura eller Tidlig Kridt ler- eller siltsten.*

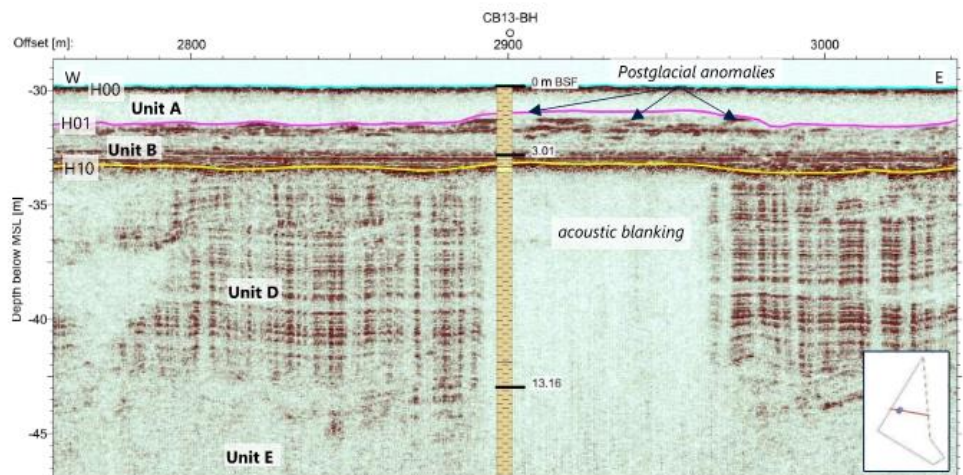
Dybden fra havniveau til oversiden af bæredygtige lag ligger mellem ca. 45 m – 200 m. Dybest er det i den nordvest-sydøst-gående kanalstruktur i den nordlige del af Hesselø-området.

På baggrund af nuværende vidensniveau kan Hesselø-området opdeles i to underområder. Det er i denne finscreening for Hesselø-området antaget, at den maksimale dybde til bæredygtige lag er 60 m for fundering af havvindmøller på monopæle. På Figur 12-7 er der vist et kort, hvor områder med mindre end 60 m fra havniveau til overside af bæredygtige lag er vist med grøn, mens områder med mere end 60 m fra havniveau til overside af bæredygtige lag er vist med rød. Det er generelt i den sydlige del at dybden til overside af bæredygtige lag er indenfor antagelsen på maksimalt 60 m. Derudover er der tre mindre områder langs den nordøstlige grænse, der opfylder antagelsen. Samlet dækker det grønne område ca. 20 % af Hesselø-området (ca. 50 km²). Det vurderes at der for Hesselø-området bør indtænkes andre fundamentstyper end monopæle, hvis hele arealet skal udnyttes.



Figur 12-7: Dybde under havniveau til overside af bæredygtige lag.

Der er i forbindelse med en geofysisk kortlægning af Hesselø-området identificeret flere områder med akustisk blanking, hvilket kan indikere shallow gas [2], [4]. Dette kan ses i hele området, men er mest udbredt i den centrale og nordlige del af Hesselø-området (Figur 12-8). Flere geotekniske undersøgelser er dog nødvendige for at fastlægge karakteren af hvert område med tolket shallow gas.



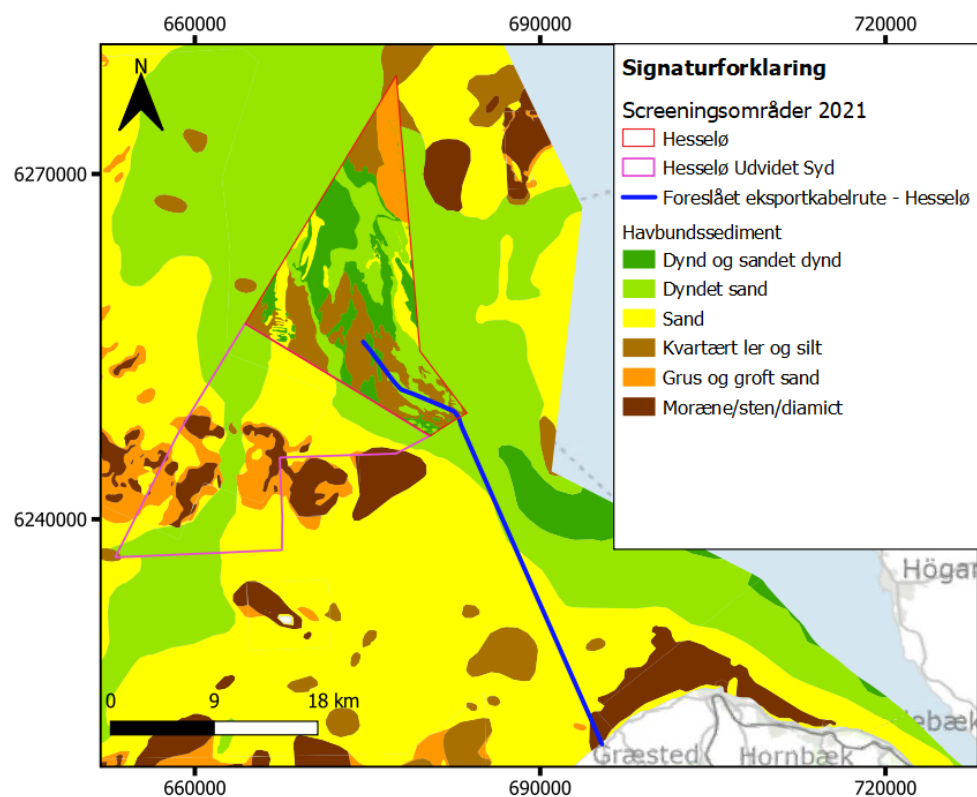
Figur 12-8 Seismisk sektion fra Hesselø-området. Akustisk blanking ses i midten af figuren og er en indikation på forekomst af shallow gas [2].

12.1.3 Eksportkabelrute

Området på land fra det forventede ilandføringspunkt til den endelige destination for eksportkablet er ikke medtaget i screeningen.

Der er screenet for én mulig eksportkabelrute fra Hesselø-området. Eksportkabelruten forventes at gå fra den nordøstlige del af området og til et ilandføringspunkt på Nordsjælland. Længden af den vurderede eksportkabelrute er ca. 42 km.

Langs de første ca. 7 km vurderes sedimenterne at bestå af dyndet sand og kvartær ler med lav styrke i de øverste 5 m under havbunden. Mellem ca. 7 km og ca. 36 km vurderes havbunden til at bestå af primært 5+ m sandede aflejringer. De ca. 4 km tættest på kysten og ilandføringspunktet vurderes at bestå af moræneaflejringer med højere styrker og større risiko for sten og blokke.



Figur 12-9: Havbundssedimentkort for Hesselø-området og eksportkabelrute

Tabel 12-1 viser en oversigt over den samlede vurdering af Hesselø-området efter tilgængeligheden af data fra de geotekniske og geofysiske undersøgelser fra 2021.

Tabel 12-1: Oversigt over vurderingen af Hesselø-området (efter tilgængelighed af 2021 data).

Omgivelser			
Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrforhold	Indre danske farvande		Lille risiko for standby tid i forbindelse med installationen.
Vanddybde, kote	-25 til -33 m.		
Jordlag			
Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Havbund	Ler, leret, siltet, sandet, gruset	Store tykkelser af bløde, ukonsoliderede sedimenter under havbundslaget i hele området. Jack-up i forbindelse med udførelsen kan være problematisk.	Området vurderes som mindre velegnet for fundering med monopæle. Installation af monopæle besværliggøres af bløde sedimenter med store tykkelser. Jordlag med mellem til høj styrke ses fra ca. 30 m under havbunden. Områder med <60 m fra havniveau til overside af bæredygtige lag udgør ca. 20 % af det samlede areal af Hesselø-området (ca. Hesseløområdet (ca. 50 km ²).
Postglaciale aflejringer	2 – 10 m siltet, sandet ler og siltet, gruset sand; delvis talsk og lavmarint.		
Senglaciale aflejringer	25 – 90 m siltet, sandet, gruset ler; glacialt, glaciofluvialt og glaciomarint.		
Glaciale moræneaflejringer	10 – 100+ m siltet, sandet, gruset ler; glacialt, periglacialt og/eller glaciomarint.	Kan indeholde sten. Kan have høje styrker.	
Prækvartæroverflade	75+ m, mudstone, siltsten, lersten; Jura eller Tidlig Kridt.	Krystaline bjergarter kan forekomme	

Kabelrute			
Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Kabelrute	Ca. 42 km fra den foreslåede havbase-rede transformers-tation til ilandførin-gen på Nordsjæl-land.	Kabelruten forventes at ilandføres på Nord-sjælland.	Kabler forventes på hoved-parten af strækningen at kunne spules ned (sandet dynd og sand) og på den resterende del at skulle plø-jes/graves ned i havbunden (moræne).
UXO			
Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
UXO	Vurdering er lavet på baggrund af ud-talelse fra det natio-nale beredskab, Sø-værnskommandoen eller generelle for-hold.	UXO-risikoen vurderes som lav, men tilstede-værende.	Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko, da det er en standardundersø-gelse, der foretages inden offshore-installationer kan opstartes.

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering med monopæle er muligt men kun i et mindre areal af Hesselø-området. Området er derfor vurderet mindre velegnet. Kort eksport-kabelrute relativt til de andre områder undersøgt i denne finscreening.
- > **Negativt:** Installationen af monopæle besværliggøres af store tykkelser af bløde sedimenter med lav styrke (geotekniske styrkeparametre). Der er relativ stor vanddybde i forhold til de andre områder.

Der er foretaget en relativ vurdering og rangorden af områderne inkluderet i finscreeningen. Vurderingerne er overordnet lavet ud fra informationer om eksport-kabelrutens længde, geologien langs eksportkabelruten, blødbundssedimenter og dybden af disse samt hårde sedimenter og dybden til disse (herunder geologiske, geotekniske og geofysiske parametre), vejrlig, vanddybde og mulighed for alternative placeringer af havmøllerne. Nedenstående tabel (Tabel 12-2) viser den relative vurdering af områderne.

Tabel 12-2: Samlet vurdering og rangordning af de screenede projektområder samt del- og underområder.

Rang	Område	Kategori
1	Hesselø Udvidet Syd	Velegnet (V)
2	Kattegat 2	Velegnet (V)
3	Nordsøen 1	Velegnet (V)
4	Kriegers Flak 2 Syd (vest)	Velegnet (V)
5	Kriegers Flak 2 Syd (øst)	Mindre Velegnet (V-)

Rang	Område	Kategori
6	Kriegers Flak 2 Nord	Mindre Velegnet (V-)
7	Hesselø-området (Område F)	Mindre Velegnet (V-)
8	Nedskaleret Hesselø	Mindre Velegnet (V-)

De konkrete geologiske- og geotekniske parametre er opsummeret i Tabel 12-3. Disse parametre er også taget betragtning i forbindelse med den økonomiske beregning.

Tabel 12-3: Geologiske og geotekniske parametre anvendt til den geologiske og geotekniske vurdering

Parameter	Hesselø Udvidet Syd	Kattegat 2	Nordsøen 1	Kriegers Flak 2 Syd (vest og øst)	Kriegers Flak 2 Nord	Nedskaleret Hesselø	Hesselø-området (Område F)
Gennemsnitlig vanddybde i havmølleparken (m) (range)	-24,0 (-14 - -32)	-22,0 (-17 - -38)	-29,0 (-10 - -42,5)	-28,5 (-18 - -42)	-29,4 (-20 - -35)	-30,8 (-25 - -33)	-30,3 (-25 - -33)
Vanddybder 0-30 m	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vanddybder 30-40 m	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Vanddybder 40+ m	Nej	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
Dybde til kalk/prækvar-tære aflejringer (m)	45+	60+	100+	10+	1,5 - 5+ m	50+	50+
Bløde havbundssedimenter	Ja	Ja	Nej*	Nej/Ja**	Nej	Ja	Ja
Høj sediment transport	Nej	Nej	Ja	Muligt	Muligt	Muligt	Muligt
Tykt lag af sand i overfladen	Nej	Nej	Ja	Nej	Nej	Nej	Nej
Tyndt lag af sand i overfladen	Ja	ja	Nej	Ja	Ja	Ja/Nej	Ja/Nej
Moræneaflejringer (kote)	-15m- -70m	-25m- -35m	-30m- -70m	-20m- -40m	-30m- -40m	-55m- -80m	-55m- -110m
Andre hårde sedimenter	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Eksportkabelrute (ca. km)	38	83	49-72	83	54	42	42
Samlet vurdering	V	V	V	V / V-	V-	V-	V-

* Generelt er Nordsøen 1 vurderet til ikke at have bløde havbundssedimenter, men der er en mulighed for, at dette kan forekomme i den sydøstlige del af området.

** Bløde havbundssedimenter vurderes tilstede i større udbredelse i Kriegers Flak 2 Syd (øst).

12.1.4 Referencer

- 1 Gardline, 2021: Preliminary Investigation, Hesselø OWF. Volume II: Interim Measured and Derived Geotechnical Parameters and Final Results. Gardline for Energinet Eltransmission A/S.
- 2 Fugro, 2021: Geophysical results report. Energinet Denmark Hesselø geophysical survey, Denmark, Inner Danish Sea Kattegat. F172145-REP-GEOP-001 02. 13. August 2021.
- 3 Leth, J.O. og Larsen, B., 2014: Den danske havbund. Geviden, geologi og geografi nr. 2, 2014. Marine raw materials (geus.dk)
- 4 Energinet Eltransmission A/S, 2022: Hesselø offshore wind farm integrated geological model (Version 2.0), 2022. Report, appendices og enclosures.
Rapporten er endnu ikke offentliggjort.

12.2 Miljøscreening af Hesselø område F

I dette afsnit vurderes eksisterende miljø- og planmæssige forhold for projektområdet Hesselø.

12.2.1 Eksisterende miljøforhold i projektområdet

Marine habitater

Dynd og dyndet sand (substrattype 1a)

En stor del af det centrale projektområde Hesselø består af sedimentet mudderbund (dyndet sand) (substrattype 1a) (Figur 12-5). Naturstyrelsen har tidligere undersøgt et blødbundsområde på tilsvarende vanddybde, umiddelbart nordøst for projektområdet (omkring Store Middelgrund) (Naturstyrelsen, 2016c; SVANA, 2017). Bundfaunasammensætningen i dette område er repræsentativ for sammensætningen i blødbundsområdet i størstedelen af projektområdet.

Bundfaunasamfundet kan karakteriseres som et *Amphiura*-samfund domineret af fin mudderslangestjerne (*Amphiura filiformis*), hesteskoorm (*Phoronis* sp.), muslingen *Mysella bidentata*, børsteormene *Scoloplos armiger* og *Pectinaria auricoma*. Bundfaunaen omfatter også jomfruhummer (*Nephrops norvegicus*), der er en meget vigtig art for fiskeriet (SVANA, 2017; Naturstyrelsen, 2016c; Warnar, et al., 2012). Bundfaunasamfundet er artsrigt med høj biodiversitet. Der blev således fundet i alt 165 arter/slægter, og Shannon-Wiener-diversiteten²⁶ blev beregnet til 4,43. Der blev beregnet en AMBI²⁷-værdi på 1,68, hvilket betyder, at områdets dyresamfund kun er svagt forstyrret af eutrofiering i forhold til naturlig tilstand. DKI-indekset²⁸ blev beregnet til 0,83. Den økologiske tilstand for bundfaunaen kan derfor klassificeres som værende god.

Sandbund (substrattype 1b)

Den sydlige og nordlige del af projektområdet er domineret af sandbund (substrattype 1b). Der findes ikke moræne eller stenforekomster i projektområdet (Figur 12-5).

Bundfaunaen på sandbund på dybere vand i Kattegat kan karakteriseres som et Venus-samfund med følgende typiske arter: venusmusling (*Chamelea (Venus)*

²⁶ Shannon-Wiener Indexet er en måde at måle diversiteten af arter i et samfund. Jo højere værdien af H er, jo højere er diversiteten af arter i et bestemt samfund. Jo lavere værdi af H, jo lavere diversitet. En værdi på H = 0 angiver et samfund, der kun har én art.

²⁷ AMBI-indekset (forkortelse for AZTI Marine Biotic Index) er et marinbiologisk indeks udviklet til blødbundsfaunaen i europæiske fjorde og havområder med henblik på at vurdere effekterne som følge af eutrofiering.

²⁸ Det danske kvalitetsindeks DKI er udviklet til at vurdere et vandområdes økologiske tilstand i henhold til EU's vandrammedirektiv (Josefson 2014). Det danske kvalitetsindeks, DKI er udviklet til at vurdere et vandområdes tilstand i henhold til EU's vandrammedirektiv. DKI kombinerer bl.a. diversiteten (udtrykt som Shannon-Wiener diversiteten = H) og graden af følsomhed i bundfaunasamfundet (AMBI). For at vurdere den økologiske tilstand i henhold til vandrammedirektivet benyttes følgende grænser i Kattegat: 0,84: høj-god tilstand, 0,68: god-moderat tilstand, 0,45: moderat-ringe tilstand, 0,23: ringe-dårlig tilstand.

gallina), tallerkenmusling (*Angulus fabula*), almindelig trugmusling (*Spisula subtruncata*) og søpindsvin (*Echinocardium cordatum*) (Thorson, 1979).

I Kattegat og gennem Bælthavet sker der en opblanding af Østersøens brakvand og Nordsøens saltvand. Afhængig af udstrømnings- og indstrømningshændelser og deres omfang kan saltholdigheden variere betydeligt og der er typisk en lagdeling med mere salt bundvand, som er mest markant om sommeren.

Den biologiske diversitet er stærk reguleret af saltholdigheden men også lys (dybde), vandstrøm og ilt er forhold der kan påvirke både diversiteten og tætheden af de enkelte organismer. Makroalger dominerer samfundene på den hårde bund ned til 15-20 meters dybde. I takt med at makroalgerne aftager, overtager forskellige faunaorganismer som dødningshånd og forskellige hydroider og mosdyr gradvist stenenes overflader. Biogene rev i form af tættere samlinger af hestemuslinger er kendt fra området omkring Schultzs grund i det sydlige Kattegat og spredte forekomster af hestemuslinger er kendt fra Store Middelgrund. Tidligere i 90'erne var der også spredte forekomster på en overvågningsstation ved Læsø trindel, men levende muslinger bliver ikke længere observeret i området. Blåmuslinger forekommer i området, men kun sporadisk og ganske kortvarigt med høje dækninger. Bestandene bliver med stor sandsynlighed meget hurtigt spist af søstjerner (Naturstyrelsen, 2014).

Kysthabitater

Den relevante kyst for ilandføringskorridoren vil være nordkysten af Sjælland, hvor kysten skifter mellem sandstrande og klintekyst.

Fisk

Fiskene på sand og mudderbund

Siden 1970 har ICES gennemført videnskabeligt prøvofiskeri med trawl fra havundersøgelsesskibe i Nordsøen, Skagerrak og Kattegat i IBTS-regi. (International Bottom Trawl Survey). ICES leder også BITS (Baltic International Trawl Survey), der gennemfører prøvofiskeri i Østersøen, Bælthavet og Kattegat. Ifølge resultaterne fra IBTS og BITS forekommer følgende arter typisk på sand- og mudderbund i projektområde F: torsk, hvilling, fladfisk (især rødspætte, skrubbe og ising, men også pighvarre og tunge) (Warnar, et al., 2012).

Gyde- og opvækstpladser for fisk

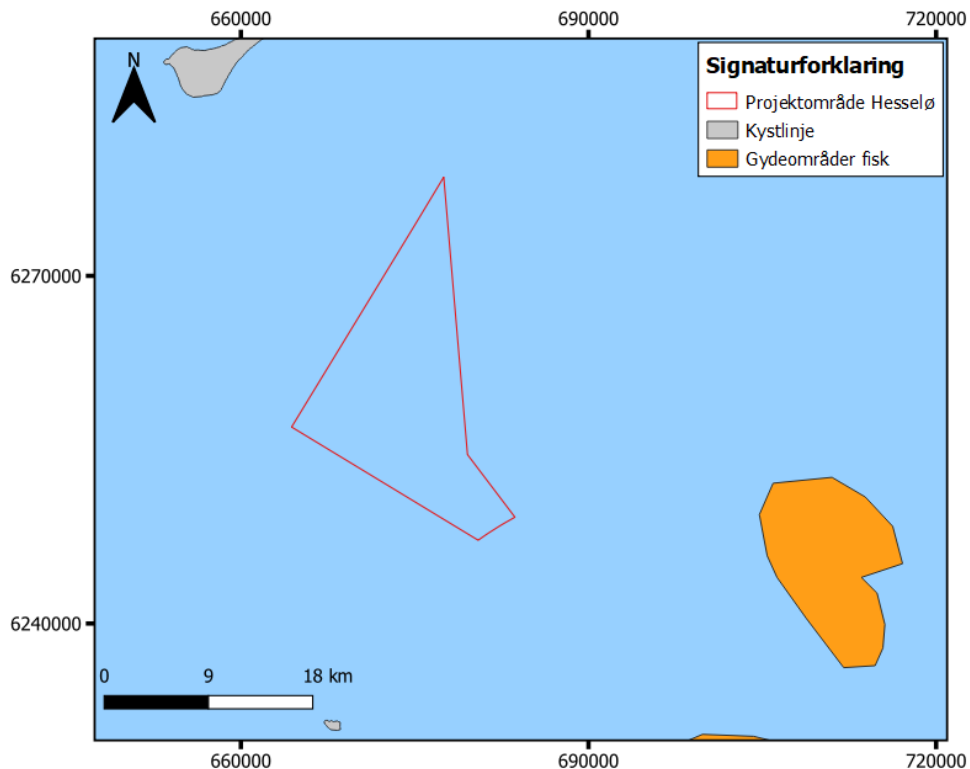
Specifikke områder af Kattegat benyttes som gydeområder for kommercielt vigtige fiskearter, såsom torsk, sild og fladfisk. Disse områder er udpeget i HELCOM regi for de enkelte arter i de områder, hvor der findes data²⁹. Det kan ikke udelukkes at projektområdet, eller dele heraf, benyttes som gydeområde for nogle fiskearter. Det må dog formodes at disse områder varierer fra år til år, og det antages at der i andre dele af Kattegat findes egnede gydeområder som kan kompensere for dette område. I umiddelbar nærhed af projektområde Hesselø findes der gydeområder (Figur 12-10). Gydeområder for fisk, der lægger æg på havbunden, er særligt følsomme over for etablering af havvindmølleparker.

Rødspætten gyder i området, sædvanligvis i slutningen af februar og begyndelsen af marts. Den sydlige del af Kattegat er således det vigtigste gydeområde for rødspætter i Kattegat. Æg og larver er pelagiske og føres med havstrømmene. Gydeområdet er derfor ikke følsomt over for etablering af en havvindmøllepark. Når larverne forandrer sig og får den karakteristiske fladfiskeform, søger de mod bunden på opvækstområder på lavt vand tæt ved kysten (i april-juni).

Det lave vand langs kysten i ilandføringskorridoren på Nordsjællands kyst er gyde- og opvækstområde for en række fiskearter, heriblandt rødspætte (Brown, 2019):

- > Stenbund og ålegræsbevoksninger er gydeplads for stenbider og hornfisk. Disse arter har klæbrige æg, der afsættes på vegetationen. Stenbideren gyder i februar-maj og hornfisken i maj-juni. Stenbund og ålegræs er også opvækstområde for ynglen af en lang række fiskearter.
- > En stamme af efterårsgydende sild gyder på lavt vand ud for Sjællands nordkyst, hvor den afsætter sine klæbrige æg på groft sand, grus eller vegetation på bunden (Warnar, et al., 2012). Derudover gyder sild også i området nær projektområde F (Figur 12-10).
- > Den lavvandede sandbund på 0-3 m på Sjællands nordkyst er opvækstområde for ynglen af rødspætte, skrubbe og tunge samt sandsynligvis også pighvar og slethvar i forårs- og sommermånederne (Warnar, et al., 2012).

²⁹ <https://helcom.fi/helcom-at-work/projects/brisk/>



Figur 12-10 Gydeområde for fisk, der lægger æg på bunden, (i dette tilfælde sild) omkring projektområde F.

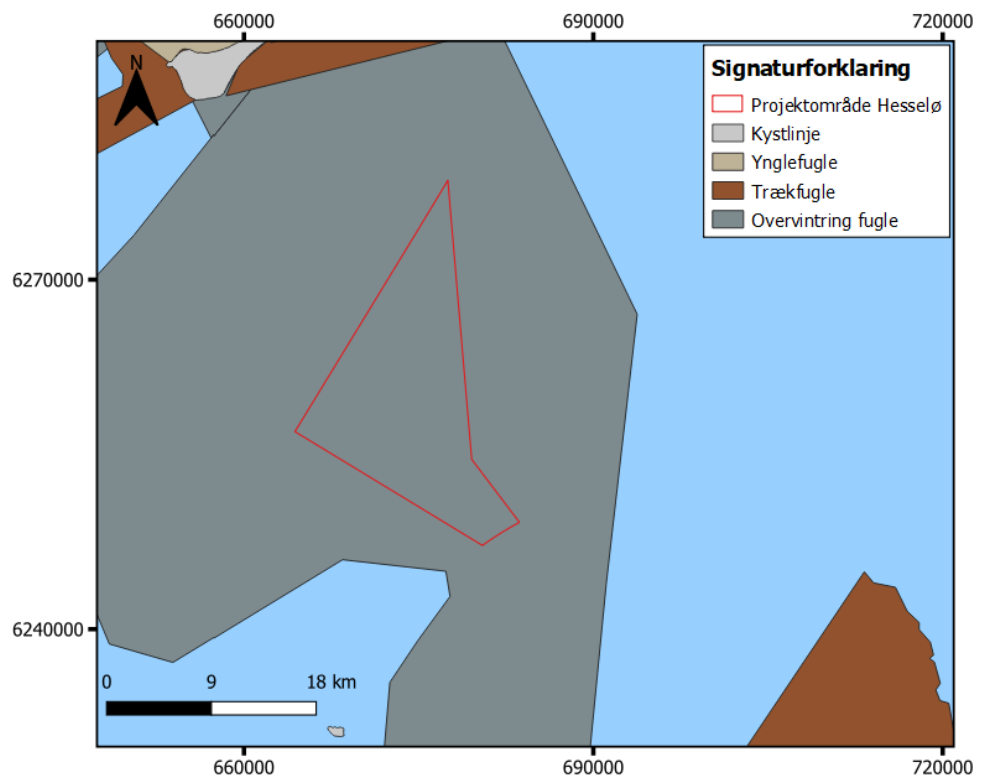
Fugle

Projektområde F er ikke et IBA-område for havfugle (Dansk ornitologisk Forening, 2015). Dansk Hydraulisk Institut (DHI) analyserede og modellerede overvågningsdata for fugle i det centrale Kattegat, indsamlet i perioden 1987-2018 (DHI, 2019). Analyserne viste, at tæthederne af havfugle generelt var lave i projektområdet, herunder for både lommer og ænder. Modsat finder Holm et al. (2021) et højt antal af alke i området nord og øst for Hesselø. Rider forekommer lavere tætheder og de nordlige og østlige dele af området er vurderet yderst egnede for arten om vinteren (Petersen & Sterup, 2019b; DHI, 2019). DHI opdaterede analysen og modelleringen af forekomsten af alk i det centrale Kattegat (DHI, 2020).

Baseret på bl.a. vurderingerne gennemført af DHI i 2020, hvor der foretages en modellering af habitategnethed for alkefugle, blev området i 2020 finscreeningen ikke vurderet som et vigtigt overvintringsområde for fugle. Denne vurdering er revideret på baggrund af tællinger af høje antal alkefugle (Holm, et al., 2021; Petersen & Sterup, 2019a; Petersen & Sterup, 2019b), vurdering af egnethed af dele af området for alk og lomvie (DHI, 2019; DHI, 2020) vurdering af egnethed af dele af området for rider (DHI, 2019) samt tællinger af middeltætheder af suler dele af året (Petersen & Sterup, 2019a). Både alkefugle, rider og suler fouragerer på de dybe dele af havet. Arterne har derfor store tilgængelige områder med fourageringshabitat. De dybere dele af Kattegat vurderes således generelt vigtige for rastende alkefugle, da området som helhed er vigtigt for arten. Kattegat er et vigtigt rasteområde for alkefugle og for arten alk er Kattegat et af de vigtigste rasteområder i verden (Dansk Ornitologisk Forening, 2021). Pedersen og Sterup

(2019b) konkluderer ydermere, at hvis man ligger en havvindmøllepark i den dybere dele af Kattegat, så kan det være svært at undgå at lægge havvindmølleparken på områder der ofte har høje antal alkefugle, suler og måger (herunder rider), da disse arter fouragerer på store områder på det dybere vand (Petersen & Sterup, 2019b). Den nordlige og østlige del af projektområde F er af DHI vurderet som yderst egnet for rider om vinteren (DHI, 2019) (Figur 12-11).

Alkefuglene har en tendens til at forekomme i små tætheder over et større område. I 2016 observeredes således 1-3 fugle i hvert observeringspunkt i et område i det centrale Kattegat, der strakte sig fra Læsø i farvandet umiddelbart nord for Sjællands nordkyst (Holm, et al., 2021). Opstilling af havmøller ved Hesselø vil således i givet fald fortrænge et lille antal fugle i forhold til den samlede bestand af overvintrende alkefugle i Kattegat. Desuden lever alk og lomvie især af fisk, herunder navnlig pelagiske stimefisk som sild og brisling samt tobis og små torsk, der optræder overalt i Kattegat og det forventes derfor, at eventuelt fortrængte individer ikke vil blive udelukket fra vigtige fourageringsområder. Det vurderes derfor, at alkebestanden næppe vil blive påvirket væsentligt, hvis der etableres en havmøllepark i området. Dette er i modsætning til f.eks. havlit og edderfugl, der lever af muslinger og som oftest er koncentreret i områder med blåmuslinge-banker og hvor opstilling af havmøller på en blåmuslinge-banke potentielt kan fortrænge fuglene fra et vigtigt fourageringsområde.



Figur 12-11: Vigtige områder for overvintrende alk og øvrige havfugle, samt vigtige områder for træk- og ynglefugle i og nær projektområde F.

Marine pattedyr

Marsvin

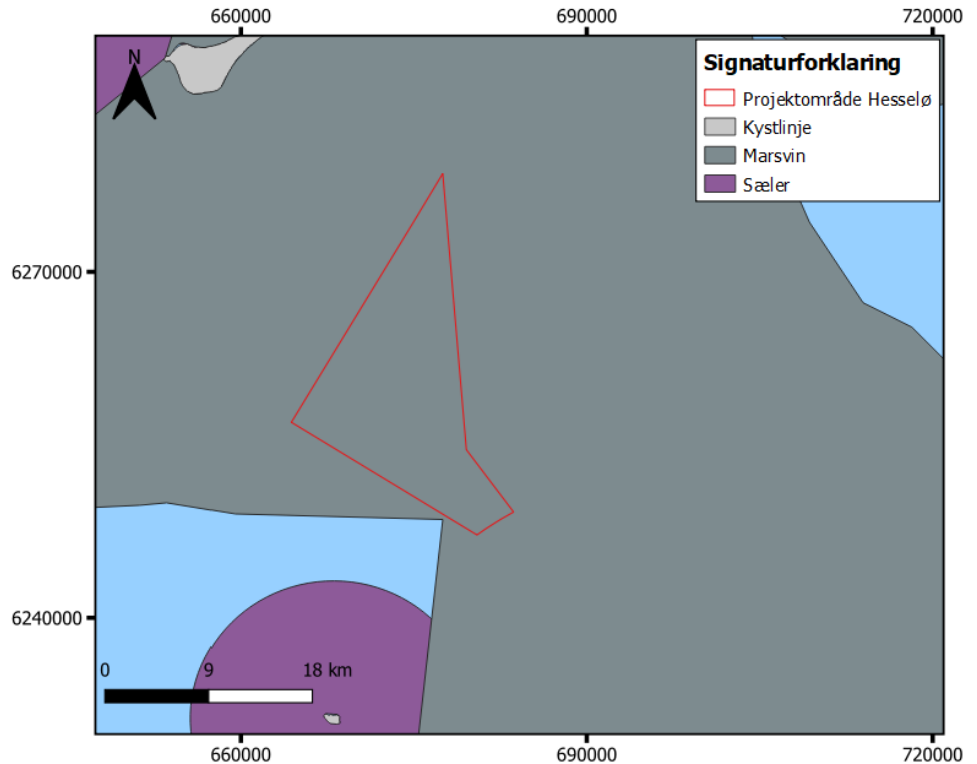
Projektområde F er ikke udpeget som decideret kerneområde for marsvin (Sveegaard, et al., 2011; Sveegard, Nabe-Nielsen, & Teilmann, 2018), men marsvin kan forekomme ganske hyppigt i området (Figur 12-12). Store Middelgrund øst for projektområdet er karakteriseret som et område med høj tæthed af marsvin, men med et for lille areal til at have væsentlig betydning for marsvinepopulationen (Sveegard, Nabe-Nielsen, & Teilmann, 2018). Arten er på udpegningsgrundlaget for Natura 2000-område nr. 193, Store Middelgrund (se afsnittet 'Beskyttede naturområder' nedenfor).

Sæler

Hesselø er én af de vigtigste ynglelokaliteter for spættet sæl i Danmark (Figur 12-12). Med en voksende ynglebestand på op til 1400 individer i 2020 (Miljøstyrelsen, 2020) er denne bestand en af Europas største. Anholt huser en anden af Europas største sælkolonier. Projektområde F ligger lige mellem de to ynglelokaliteter, med ca. 20 km fra projektområdet til henholdsvis Anholt og Hesselø. Projektområdet bruges derfor flittigt af spættet sæl, når de fouragerer og svømmer mellem lokaliteterne på Anholt og Hesselø (Naturstyrelsen, 2013a; Helmig, Dahl, & m.fl., 2007). Petersen og Sterup (2019b) observerede således ikke mindre end 130 og 400 spættede sæler i området mellem Anholt og Hesselø hhv. 9. september og 6. november 2019 i forbindelse med flytællinger af fugle.

Gråsælen fælder regelmæssigt på revet i Hesselø-området med en lille fast forekomst på 1-3 individer (Miljøstyrelsen, 2020). Sælerne er sårbare i fældningsperioden og holder sig ofte ude af vandet i perioden. Der er ingen dokumentation for, at arten yngler på Hesselø. Der findes imidlertid kun få gråsæler i Danmark, og Hesselø må derfor betragtes som en vigtig lokalitet, der med tiden potentielt kan udvikle sig til en fast bestand (Naturstyrelsen, 2013a).

Begge sælearter er på udpegningsgrundlaget for Natura 2000-område nr. 128 'Hesselø og omliggende stenrev' syd for projektområdet (se afsnittet 'Beskyttede naturområder' nedenfor).



Figur 12-12: Forekomster af sæler og marsvin i og omkring projektområde F.

Beskyttede naturområder

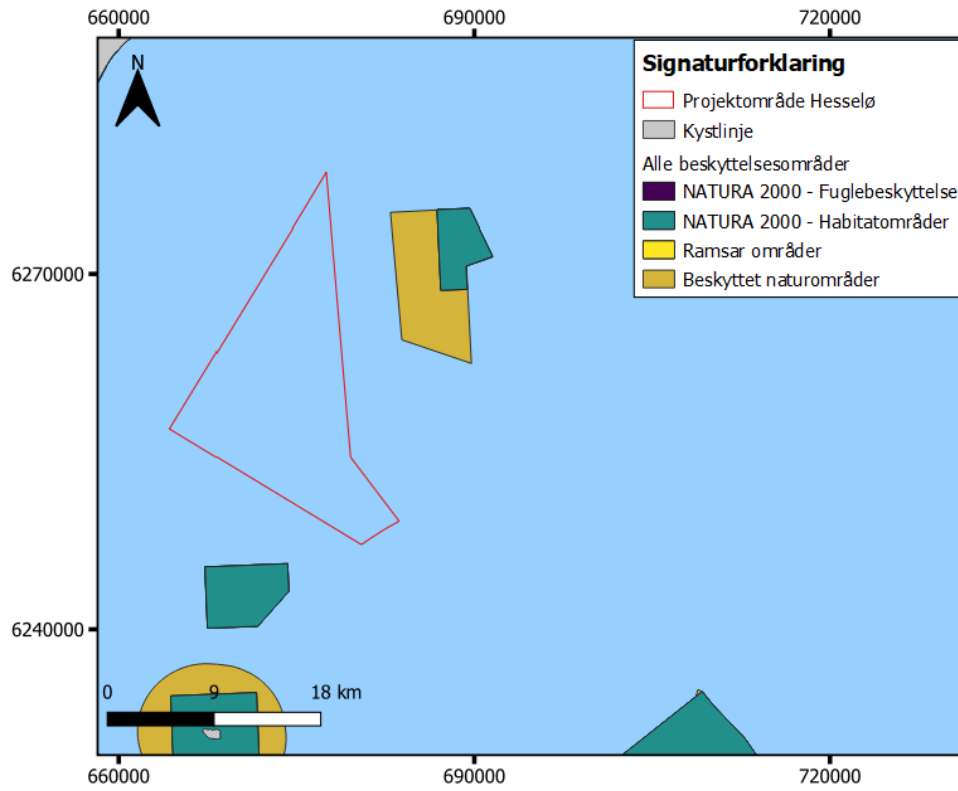
Natura 2000-områder

Der ligger to Natura 2000-områder i umiddelbar nærhed (<10 km) af projektområde F (Figur 12-13):

- > Natura 2000-område nr. 207 Lysegrund, der omfatter habitatområde H167. Udpegningsgrundlaget for området er sandbanke (1110) og rev (1170).
- > Natura 2000-område nr. 193 Store Middelgrund, der omfatter habitatområde H169. Udpegningsgrundlaget for området er marsvin (1351), sandbanker (1110), rev (1170) og boblerev (1180).

Havstrategiområder/beskyttede naturområder

For at forbedre miljøtilstanden og leve op til havstrategidirektivets krav om et sammenhængende og repræsentativt net af beskyttede havområder er der udpeget seks områder i Kattegat, såkaldte havstrategiområder, til beskyttelse af blødbundshabitater. Områderne supplerer Natura 2000-områderne. Der ligger et havstrategiområde/beskyttet naturområde umiddelbart øst (ca. 5 km) for projektområdet (Figur 12-13). I havplanen er disse områder defineret som natur- og miljøbeskyttelsesområder.

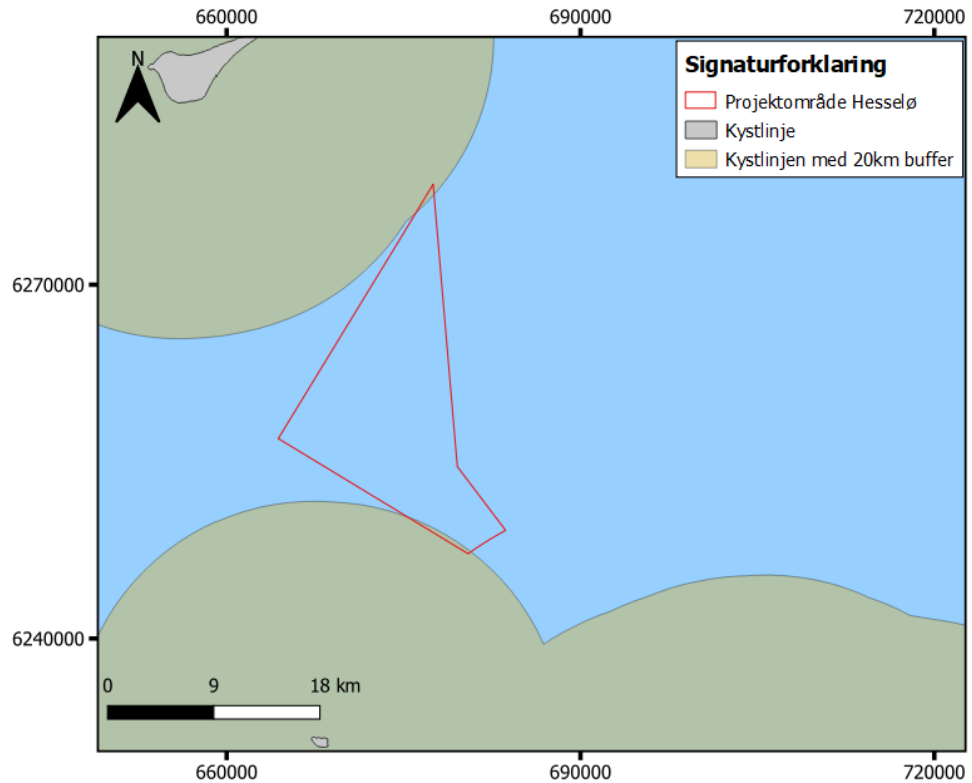


Figur 12-13: Natura 2000-områder, RAMSAR-områder og havstrategiområder nær projektområde F.

12.2.2 Menneskelig aktivitet i projektområdet

Visuelle effekter

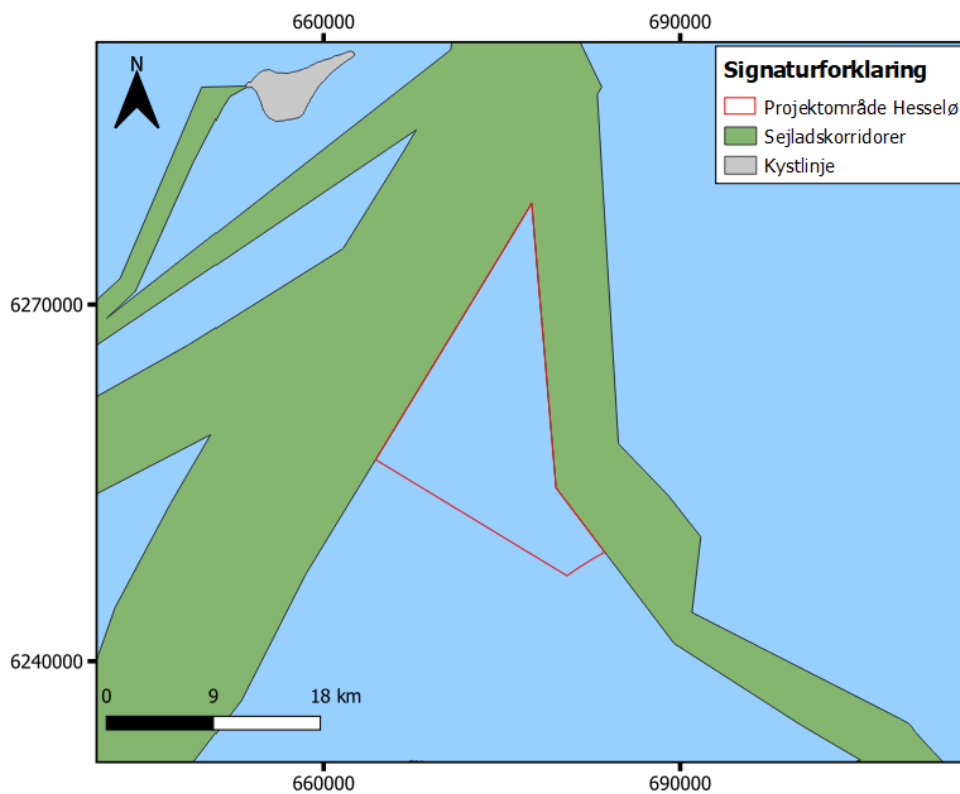
Projektområde F er placeret, så afstanden til Anholt og Jyllands østkyst er ≥ 20 km for at mindske de visuelle gener af en potentiel havvindmøllepark fra land (Figur 12-14).



Figur 12-14: Projektområde F er ≥ 20 km fra kysten omkring området.

Skibsfart

Projektområde F er placeret, så det ikke er i konflikt med sejlruterne sydøst for Anholt eller øvrige sejlruter i området (Figur 12-15).



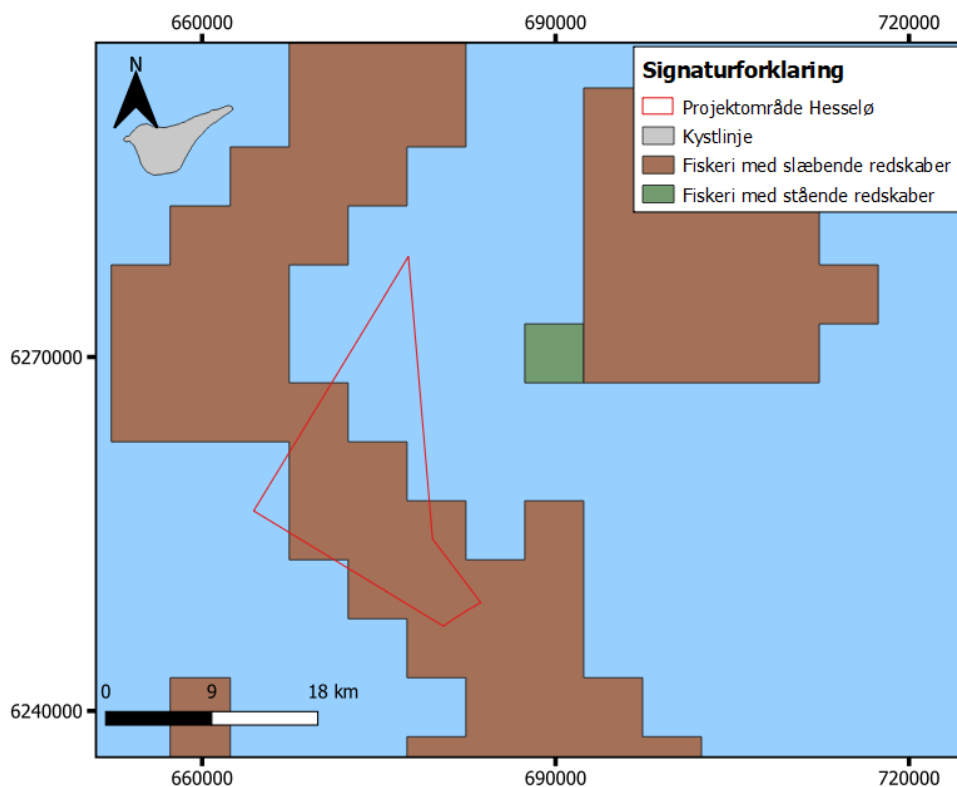
Figur 12-15: Sejlruter omkring projektområde F.

Fiskeri og akvakultur

En stor del af den sydlige del af projektområde F er et vigtigt område for trawlfiskeriet (Figur 12-16). Der er tale om et ganske omfattende fiskeri efter jomfruhummer på den bløde bund (Egekvist et al., 2017).

I forbindelse med havplanen er der reserveret plads til akvakultur i den sydvestlige del af projektområdet. Derudover er der reserveret plads til akvakultur flere steder i umiddelbar nærhed af projektområde F.

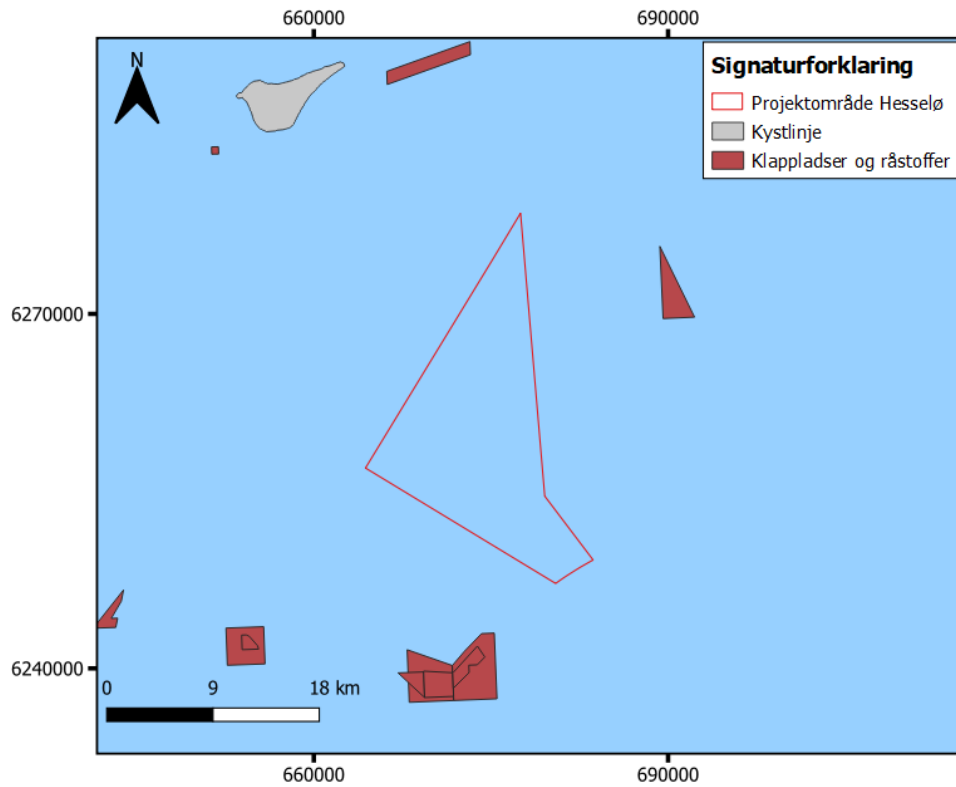
For nærmere detaljer om hvordan fiskeridata er fremkommet, se Appendix A.2.3 i delrapport 1-2 Miljø- og planmæssige forhold for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2, 2021.



Figur 12-16: De vigtigste fiskeriområder for større fiskefartøjer, der anvender slæbende fiskeredskaber (trawl og bomtrawl) samt stående redskaber (garn), i perioden 2007-2015. (Egekvist et al., 2017). Derudover er der, jf. havplanen, reserveret plads til akvakultur flere steder i og omkring selve projektområdet.

Klappladser og råstofområder

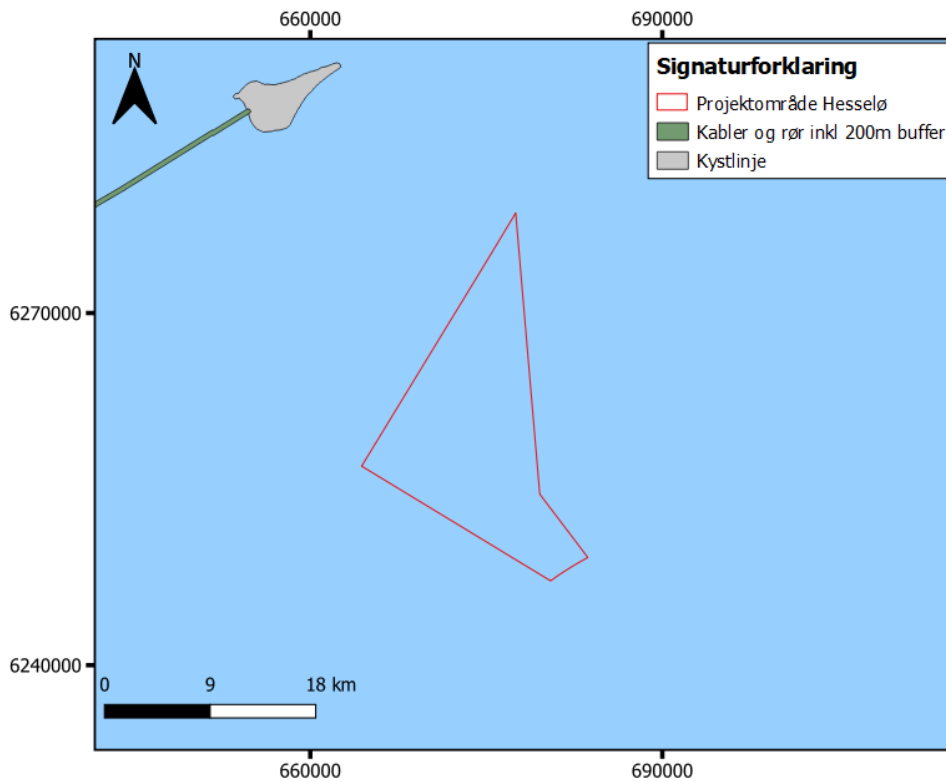
Der er jf. havplanen reserveret plads til klappladser eller råstofområde både nord, syd og øst for selve projektområde F (Figur 12-17).



Figur 12-17: Klappladser og råstofområder omkring projektområde F.

Kabler og olie-/gasledninger

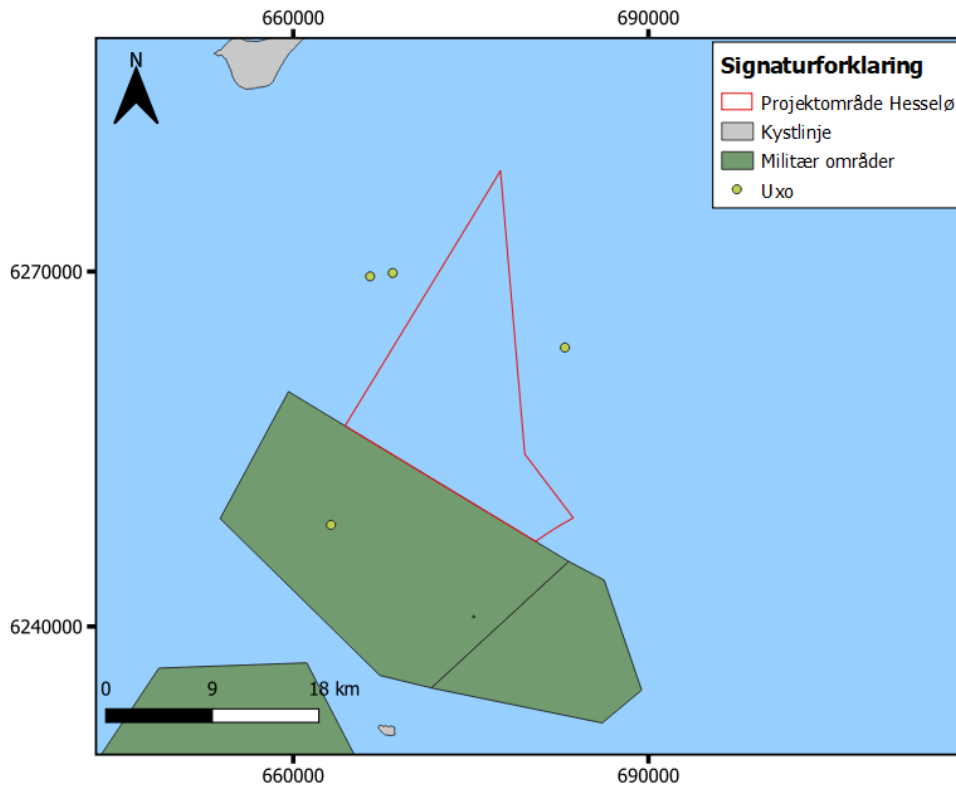
Der løber ikke kabler eller olie-/gasledninger gennem projektområde F (Figur 12-18). De nærmeste kabler forbinder Grenå med Anholt, og ligger ca. 35 km væk fra projektområdet.



Figur 12-18: Der findes hverken el, telekabler, eller olie-/gasledninger nær projektområde F.

Militærområder og UXO-registreringer

Der er udpeget et militært skyde- og øvelsesområde lige syd for projektområde F (Figur 12-19). Der findes UXO-registreringer lige vest og øst for projektområdet. I forbindelse med videre forundersøgelser bør der foretages en UXO-analyse.

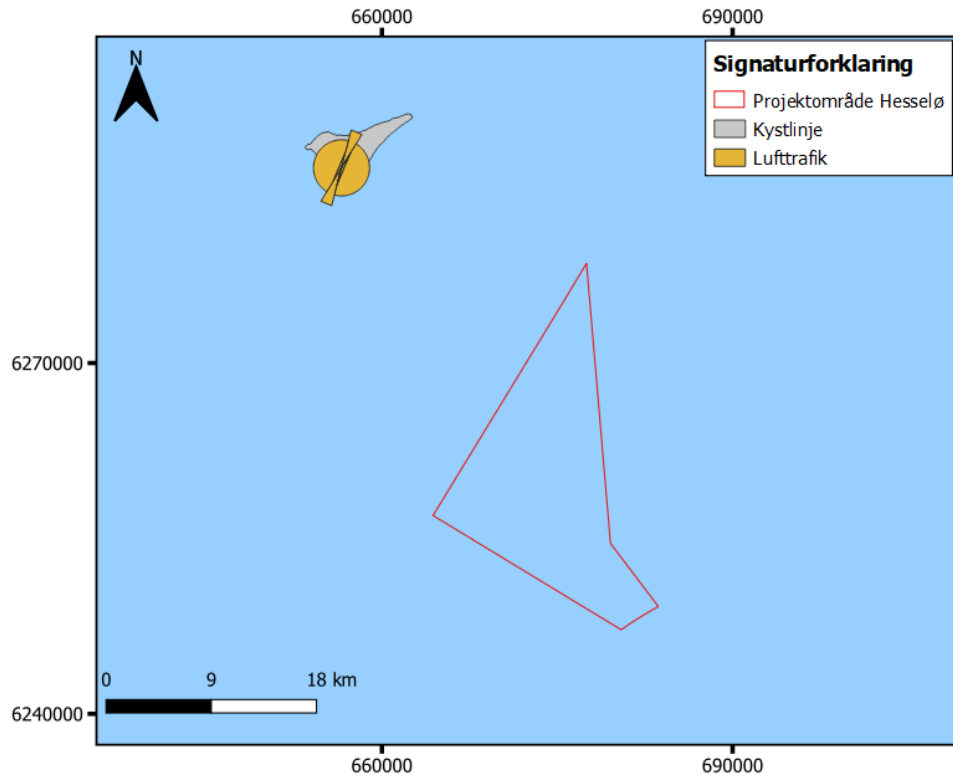


Figur 12-19: Militære skyde- og øvelsesområder samt registrerede UXO-positioner i og omkring projektområde F. Den lille prik i militærområdet er et skydeøvelsesområde til søs³⁰.

³⁰ [Firing Practice Areas at Sea \(soefartsstyrelsen.dk\)](http://soefartsstyrelsen.dk)

Flytrafik

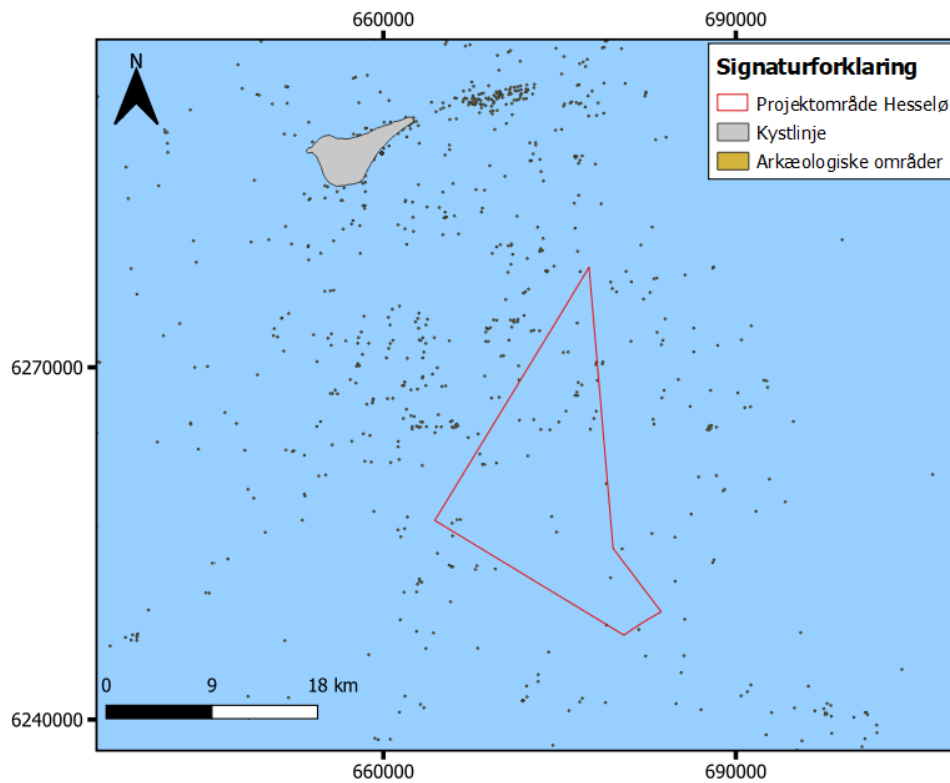
Der findes ingen større lufthavne eller andre flyanlæg tæt på projektområde F. Det nærmeste er en flyveplads på Anholt ca. 20 km væk fra projektområdet, hvor der er en smule regelmæssig trafik af mindre fly i sommerperioden. Der er dermed ikke umiddelbart nogen konflikt med flytrafik og eventuelle vindmøller i projektområde F (Figur 12-20).



Figur 12-20: Der findes ingen indflyvningszoner, fuglekollisionsområder (13 km zone omkring anlæg), placering af luftanlæg og respektafstande til disse omkring projektområde F.

Arkæologiske forhold

Både inden for og i umiddelbar nærhed af projektområde F findes der arkæologiske forhold (Figur 12-21), der skal undersøges nærmere i forbindelse med eventuelle forundersøgelser.



Figur 12-21: Beliggenhed af kendte vrage og andre arkæologiske fokuspunkter af arkæologisk interesse i og omkring projektområde F.

12.2.3 Konklusion og anbefalinger – projektområde Hesselø

Følsomhed i relation til miljø

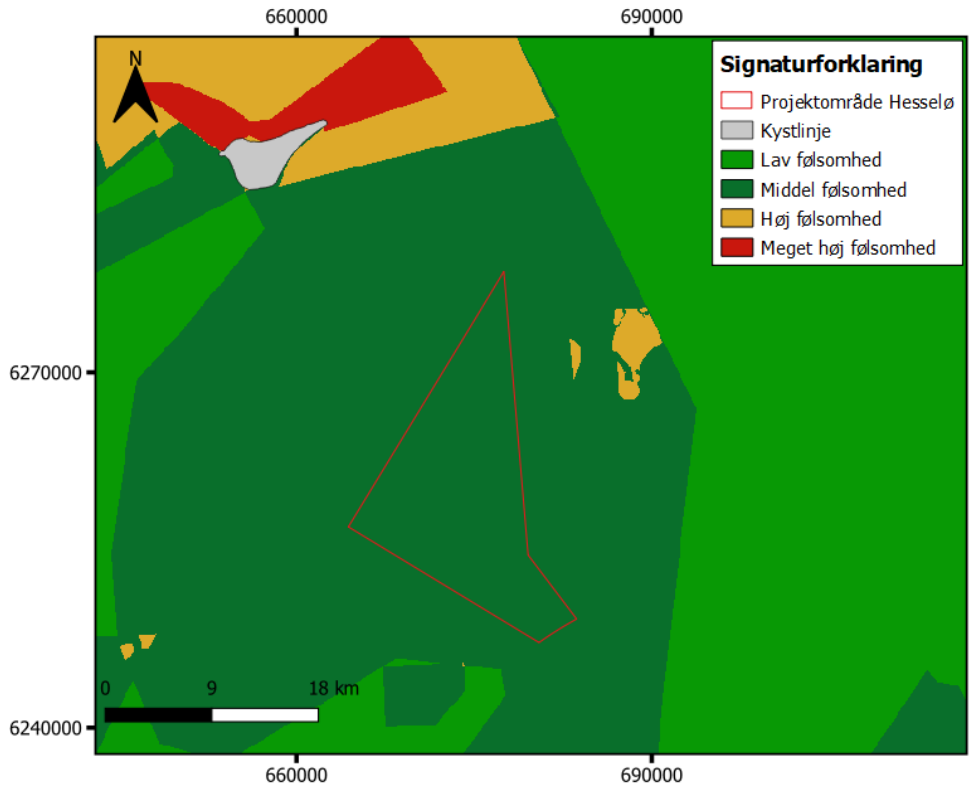
Hele projektområde F er kategoriseret med middel miljøfølsomhed (Figur 12-22). Dette er en ændring i forhold til finscreeningen af Hesseløområdet foretaget i 2020 (COWI, 2020), som viste at størstedelen af Hesseløområdet havde lav miljøfølsomhed. Ændringen i følsomhed skyldes at der er tilvejebragt yderligere data og vurderinger, der viser at fugle forekommer i store antal i området. Projektområdet ligger generelt på relativt dybt vand, hvilket gør, at dykænder i forbindelse med fouragering undgår området, da de ofte søger føde på blåmuslingebanker og lignende på lavere vanddybder. Til gengæld udnyttes de dybere områder af sule, alkefugle og måger (herunder rider).

Alkefugle fouragerer især på pelagiske stimefisk, som bevæger sig rundt i store dele af Kattegat, hvorfor alke vil forekomme spredt i hele projektområdet, dog med højere lokale tætheder omkring fiskestimer. Disse fiskestimer er dog i konstant bevægelse, og det vil fuglene derfor også være. De samme mønstre vil ses hos sule.

Det vil være svært at placere en havvindmøllepark i Kattegat i et område, hvor der ikke lejlighedsvis vil være forekomster af store antal af suler, alkefugle og/eller måger, da de har stor bevægelighed og store områder, som de udnytter til fouragering. Det vurderes, at hvis der placeres en havvindmøllepark i projektområde F, så vil havvindmølleparken kun påvirke en mindre del af de samlede fourageringsområder, hvorfor der kun vil forekomme en lille fortrængningseffekt.

Der er på nuværende tidspunkt ikke lavet en vurdering af, hvorvidt de konkrete fuglearter, der forekommer i området, rent faktisk er følsomme overfor de forstyrrelser som opførsel af havvindmøller, ligesom omfanget af forstyrrelse vil afhænge af den mere præcise placering af havvindmøllerne indenfor området. Det anbefales, at der i forbindelse med konsekvensvurdering af et konkret projekt gennemføres en mere detaljeret analyse af følsomheden af alkefugle, lommer, sule og ride i området i relation til opstilling af havvindmøller. Habitategnethed og risikoen for fortrængningseffekter for de enkelte arter bør undersøges for at afgøre hvorvidt opstilling af havvindmøller i området vil være problematisk for netop de arter, der forekommer her. F.eks. er ride, ifølge (Vanermen, et al., 2015) ikke vurderet følsom overfor opførsel af havvindmøller, men angives tværtom i højere grad at fouragere indenfor havvindmølleparkområderne end udenfor.

Mindre betydende for miljøfølsomheden i projektområde F er det, at marsvin også benytter området. Marsvin fouragerer over store afstande. Derfor vurderes det, at marsvin relativt let vil kunne fouragere i andre områder af Kattegat og Bælterne og dermed ikke vil blive væsentlig påvirket i forbindelse med opførsel af en havvindmøllepark.

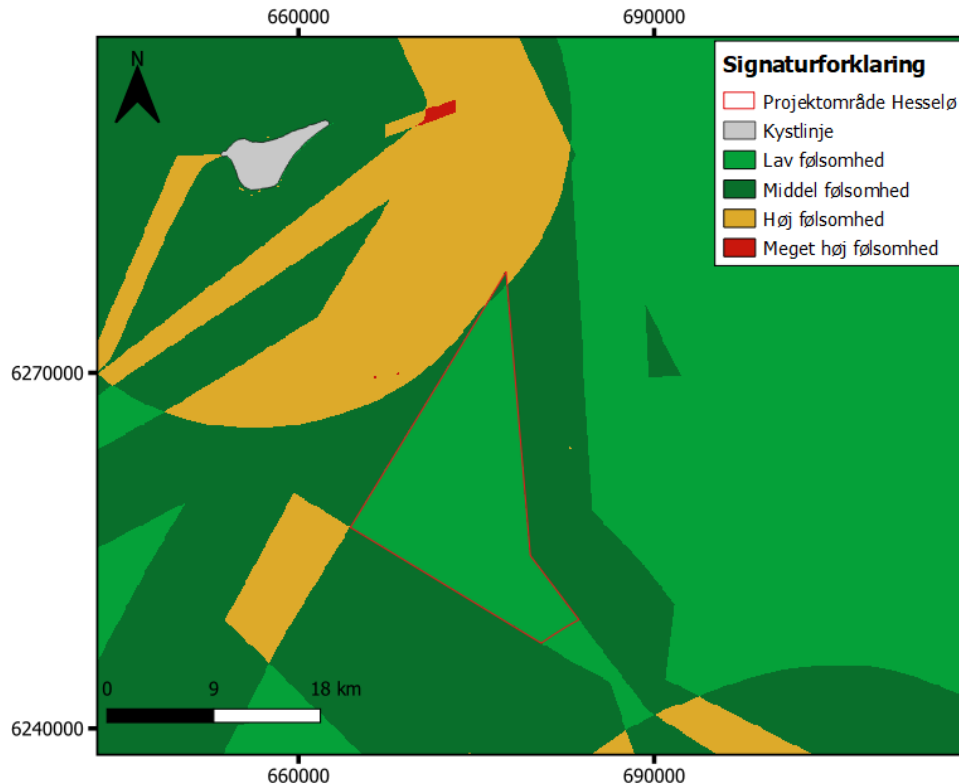


Figur 12-22: Samlet følsomhed af miljøfaktorer i forhold til placering af havvindmøller i projektområde F.

Følsomhed i relation til menneskelige interesser

Hele projektområde Hesselø er kategoriseret med lav følsomhed i relation til menneskelige interesser (Figur 12-23). Det skal bemærkes, at der foregår fiskeri i området, men vægtningen af dette er lav, da det er vurderet at dette fiskeri også kan foregå i andre områder udenfor projektområde F. Det bør dog undersøges nærmere om projektområdet er et vigtigt område for det fiskeri der udføres her, hvis det vælges at gå videre med dette område for opførelse af havvindmøller.

For yderligere information om scoringsværdier og vægtninger for de enkelte miljø- og planmæssige parametre, se Appendix B i delrapport 1-2 Miljø- og planmæssige forhold for Nordsøen 1, Hesselø, Kattegat 2 og Kriegers Flak 2, 2021.



Figur 12-23: Samlet følsomhed af menneskelige faktorer i forhold til havvindmøller i projektområde F.

Anbefalinger og forbehold for projektområde Hesselø

På baggrund af følsomhedsanalyserne vurderes det, at der ikke er forhold, der udelukker opsætning af havvindmøller i projektområde F, dog med nedenfor nævnte forbehold.

Store dele af projektområde F benyttes som overvintringsområde af alkefugle samt i mindre omfang også af suler og ride. Arterne har dog store tilgængelige områder med lignende habitat i Kattegat, og det vurderes derfor at en evt. fortrængning vil have en lille effekt. Det anbefales dog, at der i nærmere forundersøgelser og/eller i miljøvurdering, gennemføres en analyse af effekterne på alkefugle, suler og rider af opstilling af havvindmøller ved projektområde F, herunder områdets habitategnethed, risikoen for fortrængningseffekter samt kumulative effekter af etablering af flere vindmølleparker i arternes levesteder i og omkring Danmark.

Området i og omkring projektområdet benyttes som gydeområde for fisk der gyder i Kattegat. Det vurderes dog at der findes egnede områder i andre områder i umiddelbar nærhed af projektområdet som gør at de specifikke fiskebestande ikke vil blive væsentligt påvirket i forbindelse med opførsel af en havvindmøllepark.

Derudover benyttes området som fourageringsområde for marsvin. Disse fouragerer over store afstande, og derfor vurderes det, at marsvin relativt let vil kunne fouragere i andre områder af Kattegat og Bælterne og dermed ikke vil blive væsentlig påvirket i forbindelse med opførsel af en havvindmøllepark.

Det skal bemærkes, at der foregår et omfattende jomfruhummerfiskeri i området, men vægtningen af dette er lav, da det er vurderet at dette fiskeri også kan foregå i andre områder udenfor projektområde F. Foranstaltninger eller indgreb, der kan forårsage ulemper eller hindre fiskeriet i saltvandsområder, gøre bundforholdene uegnede til fiskeri eller i øvrigt påvirke fauna og flora på fiskeriterritoriet, må kun foretages efter tilladelse hos ministeren for fiskeri og ligestilling, jvf. (LBK nr. 261 af 21/03/2019).

De kumulative effekter af allerede etablerede og evt. kommende havvindmølleparker i Kattegat, og deres påvirkning på ovenstående forhold bør undersøges i en videre analyse.

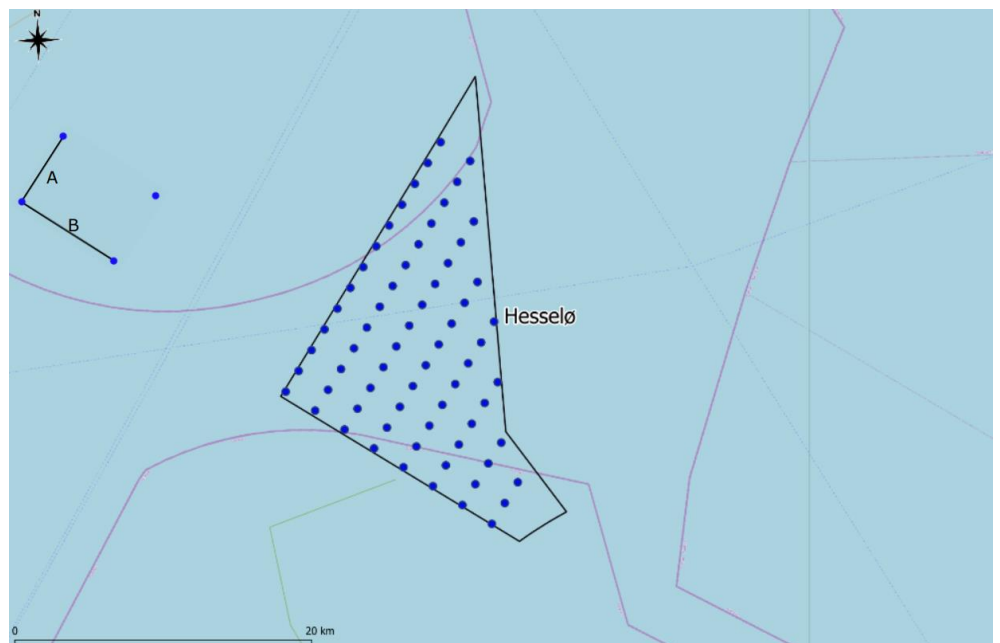
I forbindelse med en egentlig miljøkonsekvensvurdering af området bør der gennemføres feltundersøgelser og indsamles nye data i projektområde F, især med fokus på ovennævnte forhold.

12.3 Vindressource, layouts og energiproduktion

Som ønsket er et område af Hesselø skabt af COWI i 2020 blevet genberegnet på grund af tilgængeligheden af Vestas V236-mølleinformation. Den opdaterede effektivitetskurve for denne 15 MW vindmølle viser nu nettoproduktionen omkring 5 % højere end tidligere estimeret.

Dette område, vist i Figur 12-24, blev reduceret fra 2018-finscreeningen på grund af militærøvelser i den sydvestlige del. Parklayout er identisk med 2020 finscreeningen. Den nordlige del af området er et relativt følsomt område i forhold til miljømæssige vurderinger, dog kun klassificeret som middelfølsomt, og 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 afsnit 12.2.3 Konklusion og anbefalinger – projektområde Hesselø.

For at placere alle møllerne inden for det mere egnede område og undgå vindmøller stående alene, bruger området en mølletæthed på 5,19 MW / km² (0,19 km² / MW) i stedet for de 4,55 MW / km² (0,22 km² / MW), som er foreskrevet af Energistyrelsen.



Figur 12-24: Hesselø layout

Tabel 12-4 viser layoutbetingelser for alle undersøgte layouts i denne finscreening inkl. layout Hesselø. Derudover ses et resumé af input til beregningen af layoutsenergi, og i Tabel 12-5 ses bruttoproduktion, skyggetab, parkproduktion (efter skyggetab er fratrukket), tab og korrektioner samt nettoproduktionen for hvert af de foreslåede havvindmøllelayouts i de tre områder.

Tabel 12-4: Beregningsinputoversigt for alle foreslåede layouts inklusiv layout i Hesselø

Layout	Vindmølleafstand [RD ³¹]	Layoutstørrelse [km ²]	Effekttæthed [MW/km ²]	Mølletæthed [km ² /MW]	Bruttoområde [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	293,8
Hesselø – HN1	6 x 9 RD	134,5	7,47	0,13	-
Hesselø – HS	7 x 10 RD	193,7	5,19	0,19	-
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	-

12.3.1 Resultater

Genberegningen bruger den samme Flow Model og Langtidskorrektion som de andre layouts i finscreeningen (jf. afsnit 6.4.1 og 6.4.2). 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.

Genberegningen af Projekt Område F (Hesselø) konkludere stadig at de mest produktive områder er 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.

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.

Skyggetabet for layout Hesselø er det næsthøjeste skyggetab og erstatter Kriegers Flak 2 i rankingen. Der ses i den indeværende finscreening kun overgået af

³¹ Rotordiameter = 236 m.

layout HN1. Dette skyldes dels den høje mølletæthed og udformningen af layoutet. Layout KF2N+KF2S har en lavere mølletæthed, men er fordelt over 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).

Tabel 12-5: Produktionsestimater for alle de foreslåede vindmøllelayouts.

Layout	Brutto- produktion [GWh/y]	Skygge- tab ³² [%]	Park Produktion ³³ [GWh/y]	Tab og LT- korrektion ³⁴ [%]	Netto- produktion [GWh/y] ³⁵
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
Hesselø - HS	5357,4	5,8	5048,1	-7,0	4694,7
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

³² Internt skyggetab i vindparken.

³³ Inklusive skyggetab.

³⁴ Tab forklaret henholdsvis i afsnit 6.3 og 6.2.

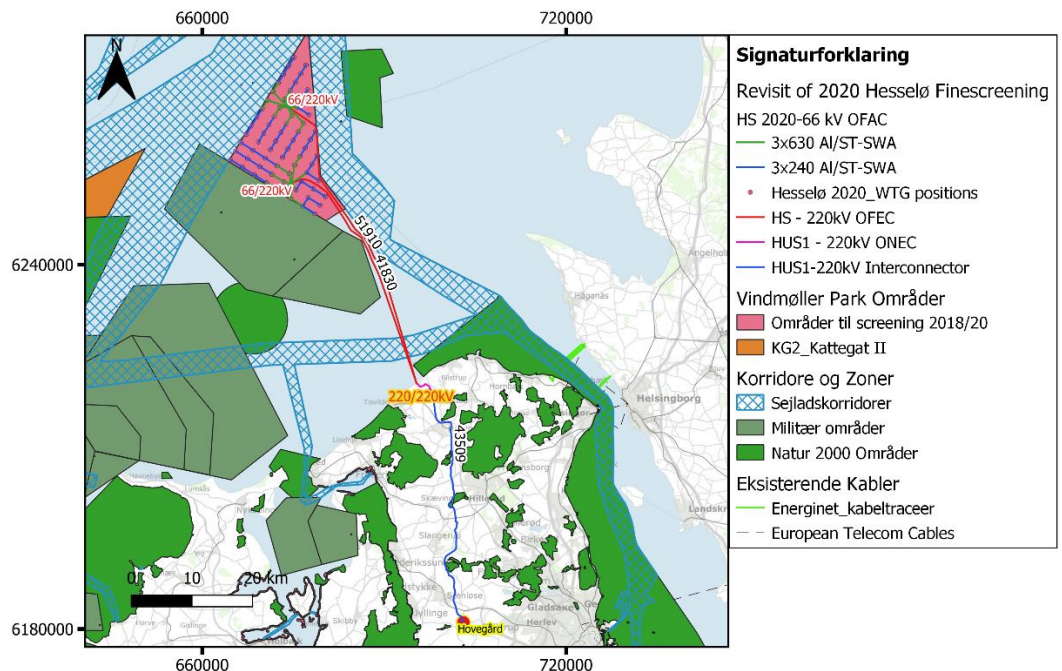
³⁵ Eksklusiv elektriske tab

12.4 Elektrisk layout

Dette afsnit præsenterer resultater relateret til det elektriske opsamlingsystem for en park i Hesselø (HS), område F, med en elektrisk konfiguration med to offshore transformerstationer (OSS), hvoraf 34 af møllerne er tilsluttet til den nordlige OSS og de resterende 33 møller er tilsluttet til den sydlige OSS. Dette svarer til samme opsætning, som blev brugt i finscreeningen fra 2020. Ilandføringspunkt, landkabeltracé og PoC er identisk som scenarie 1 og 2, beskrevet i afsnit 7.2.1 og 7.2.2.

12.4.1 Elektriske Transmissionsanlæg

Det elektriske opsamlings- og transmissionssystem system antager to 66/220 kV transformerplatforme (OSS) placeret i den nordlige og sydlige del af Hesselø området (Område F). De enkelte møller vil blive forbundne til en transformerplatform via 66 kV arraykabler, hvor spændingen øges til 220 kV og hvorfra den producerede effekt føres til land via to 220 kV eksportkabelanlæg. Det elektriske transmissionsanlæg bliver derved sammenkoblet til ét anlæg ved ilandføring. Ved ilandføringen vest for Gilleleje tilsluttes anlægget en landbaseret vindmølletransformerstation, hvorfra energien føres til Station Hovegård ligeledes med to kabelanlæg.³⁶ Der regnes med reaktiv kompensering ved transformerstationen og på transformerplatformene. Den overordnede anlægstopologi for Hesselø fremgår af Figur 12-25 nedenfor.



Figur 12-25: Elektrisk system for layout Hesselø

³⁶ Kabeltracéet er overordnet og kan blive justeret i efterfølgende faser.

Et foreløbigt ilandføringspunkt vest for Gilleleje og en meget overordnet trace for 220 kV landkablerne til vindmøllenetstationen ved Energinets Hovegård Station er ligeledes skitseret.

På grund af relativ tæt bebyggelse i området omkring ilandføringen antages den landbaserede vindmølletransformerstation placeret et stykke inde i landet, således at den er til mindst mulig gene og ikke er i konflikt med eventuelle kystbeskyttelsesbestemmelser. Traceet vil afhænge af myndighedsbehandlingen i forhold til det aktuelle projekt og vil blive afklaret som en del projektet.

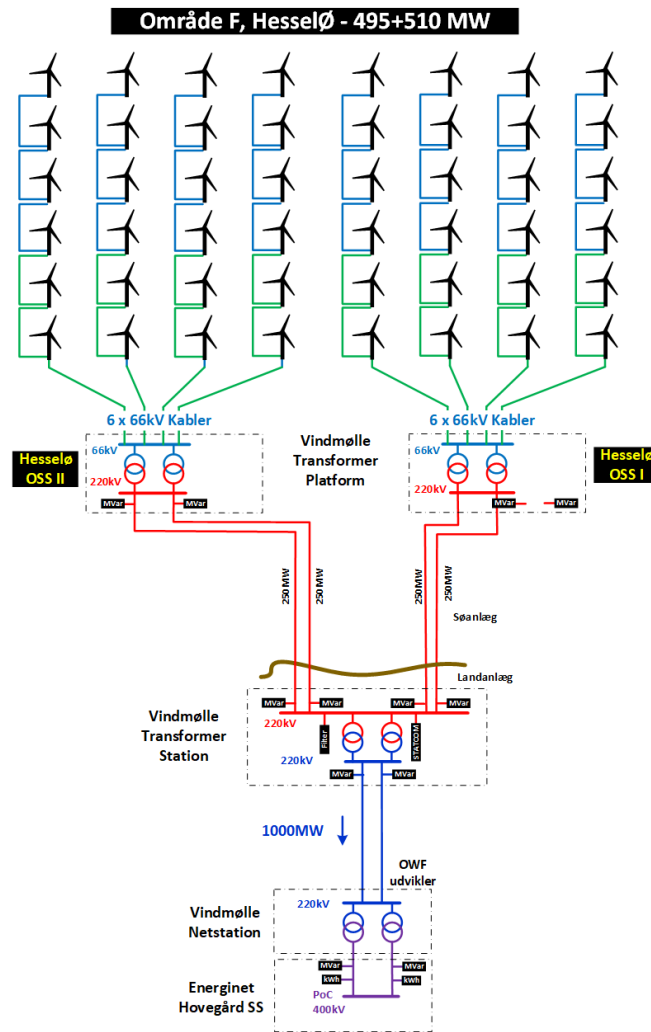
Energien føres fra den landbaserede vindmølletransformerstation til tilslutningsstedet til transmissionssystemet, som i dette studie er udpeget til at være Energinets hovedstation Hovegård.

Det overordnede elektriske system består af følgende hovedkomponenter og anlæg, og kan ses på Figur 12-26:

- > Arraykabler i skønnet tværsnit på mellem 3x240 mm² og 3x1000 mm²
- > To havbaseret transformerstationer med en kapacitet på hver 500 MW indeholdende transformere, reaktorer, 66- og 220 kV koblingsanlæg samt alle nødvendige hjælpeanlæg
- > Havbaseret eksportkabelsystem bestående af **4 stk.** 220 kV kabelanlæg
- > Ilandføringsanlæg samt 2 stk. 220 kV kabelanlæg tilsluttet den landbaserede vindmølletransformerstation
- > Vindmølletransformerstation Landbaseret transformerstation indeholdende shuntreaktorer, transformere³⁷ samt udstyr til sikring af strøm- og spændingskvalitet
- > 2 stk. kabelanlæg som forbinder vindmølletransformerstationen med vindmøllenetstation
- > Vindmøllenetstation inklusive sammenkobling til Energinets station Hovegård (PoC)

Der er ikke foretaget nærmere vurdering af alternative kabeltracéer på land.

³⁷ 220/220 kV eller 275/220 kV transformering er en option



Figur 12-26 Område F - Overordnet elektriske system

Som basis for loadflowberegninger og CAPEX er kabelsystemernes længde og dimensioner bestemt ud fra kablernes tracé og tillagt 1,5% for usikkerhed samt 50 m overlængde per vindmølle. De totale kabellængder er summeret i Tabel 12-6.

Tabel 12-6 Område F - Estimerede kabellængder

Arraykabler (66 kV)	[km]
3x240 mm ² Al	130
3x1000 mm ² Al	78
Eksport søkabler (220 kV)	[km]
Kabelrute - Vindmølletransformerstation	2x52+2x42 (Totalt 188 km)
Eksport Land kabler (220 kV)	[km]
Kabelrute fra ilandføring til Hovedgård	2x44 (totalt 88 km)

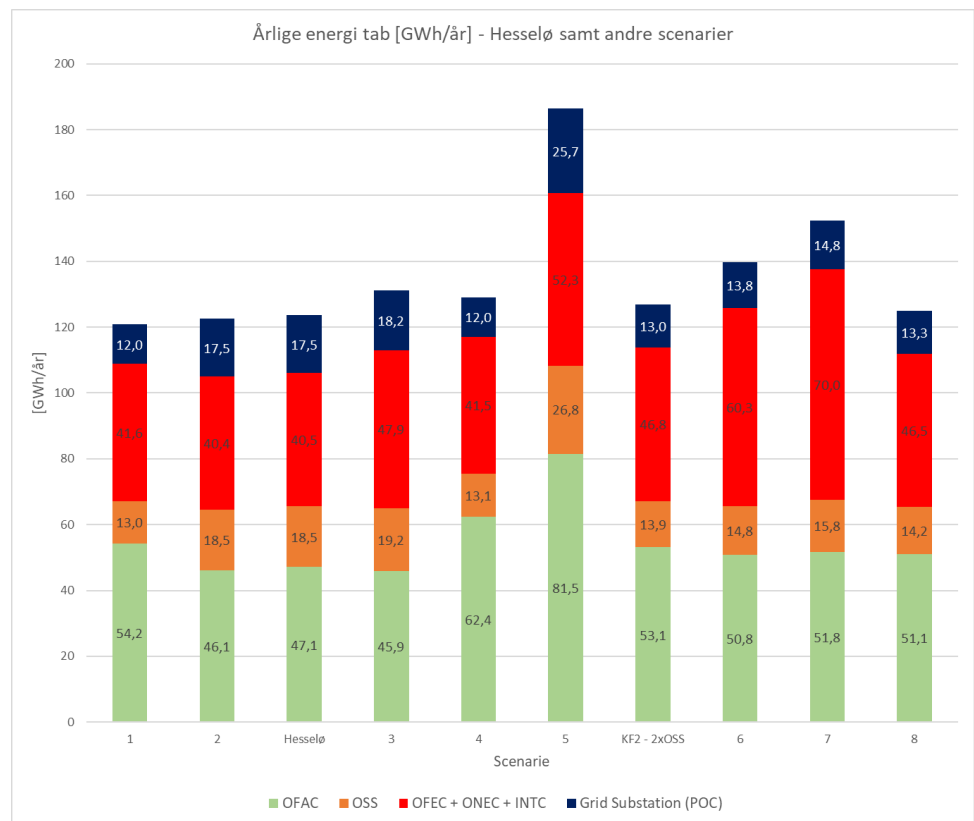
De samlede årlige elektriske tab i opsamlings- og transmissionssystemet er summen af tabene i arraykabelsystemerne, transformerne og eksportsystemet frem til tilslutningspunktet ved hovedstation Hovegård (PoC). De samlede årlige tab i arraykabelsystemet er beregnet på baggrund af produktionsprofilen for Hesselø.

De samlede årlige tab i eksportsystemet, oplyst af Energinet, er beregnet på baggrund af produktionsprofilen for den konkrete vindmøllepark. De samlede årlige energitab i el-systemet fremgår af nedenstående tabel.

Tabel 12-7 Årlig energitab for layout Hesselø (HS)

Årlige energitab	Layout Hesselø [GWh/år]
Arraykabler + WTG Trafo	47,1
Eksportsystem	76,5
Sum	123,6

Figur 12-27 viser det beregnede årlige energitab for layout Hesselø sammenlignet med de andre scenarier i denne finscreening. Det beregnede tab er langt mindre end i finscreeningen fra 2020 (153 GWh/år). Dette skyldes opdaterede WTG-produktionskurve og tabsniveauer både i array-, og eksportkabler.



Figur 12-27: Årlige energitab for layout Hesselø (HS 2020) samt andre scenarier [GWh/år]

Tabel 12-8 og Figur 12-28 viser den beregnede CAPEX relateret til det elektriske opsamlingsystem for layout Hesselø også sammenlignet med de andre scenarier.

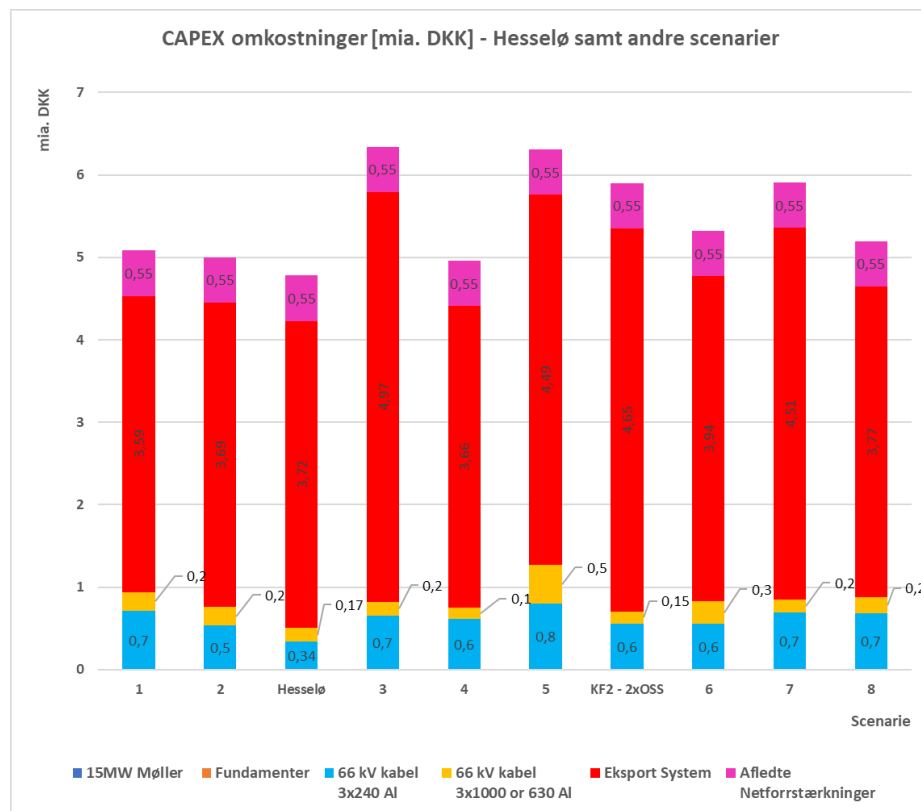
CAPEX-estimatet relateret til eksportsystemet inkluderer omkostninger til forstærkninger af transmissionsnettet (0,55 mia. DKK) som vurderes nødvendige for tilslutning af et 1 GW produktionsanlæg til Station Hovegård³⁸.

Tabel 12-8 CAPEX relateret til det elektriske opsamlingsystem for layout Hesselø

Layout	Arraykabler [Mia. DKK]	Eksport system [Mia. DKK]	Sum [Mia. DKK]
Hesselø	0,51	4,27	4,78

For hvert layout er arraykablerne blevet modelleret ved en layoutspecifik trace og bestemmelse af længderne hvorfra CAPEX-omkostningerne er estimeret. CAPEX-estimer for arraykabler er i gennemsnit ca. 50% højere end i Finscreening 2020. Det skyldes de stigende råvarer og fabriktionspriser til kabler samt generelt stigende installationspriser som omfatter for eks. skibe, brændstof, forsikringer som et resultat af et mættet marked. Der er også vurderet, at entreprenørerne sætter mere fokus på risici afdækning og dermed forøger.

Det bemærkes at Hesselø (Projekt Område F - scenariet) omkostninger til elektriske infrastruktur anlæg er det laveste af alle scenarier og ellers ligger på samme niveau som 1, 2, 4 som alle er nær eller under 5 mia DKK.



Figur 12-28: CAPEX relateret til det elektriske opsamlingsystem for layout Hesselø (HS 2020) samt andre scenarier

³⁸ Netforstærkningen er ikke direkte udløst af en havmøllepark på 1 GW, men indgår som forudsætninger for en række projekter som tilsluttes i Nordsjælland, hvor det er usikkert præcist hvilket projekt der vil udløse behov for en netforstærkning.

12.5 Omkostninger og LCoE

I nedenstående Tabel 12-9 er nettoenergiproduktionen og de elektriske tab vist for layout Hesselø. Den endelige energiproduktion er ca. 6 % højere end i 2020 finscreeningen. Dette skyldes dels, at nettoenergiproduktionen er højere, som følge af mere præcise effektkurver, og dels at de elektriske tab er minimeret som følge af mere præcise estimater ift. det elektriske system.

Tabel 12-9: Endelig energiproduktion

LAYOUT	Netto AEP [GWh/år]	Elektriske tab [GWh/år]	Energiproduktion, [GWh/år]
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	4.771,8	121	4.650,9
Nedskaleret Hesselø (HN1)	4.637,5	123	4.515,0
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1+KG2)	4.832,5	131	4.701,3
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1+KF2N)	4.874,3	129	4.745,3
Kriegers Flak 2 (KF2N+KF2S) 1xOSS	4.883,4	186	4.697,0
Hesselø (HS)	4.694,7	123,6	4.571,1
Nordsøen 1 (NS1)	4.977,4	140	4.837,7
Nordsøen 1 (NS2)	4.979,0	152	4.826,7
Nordsøen 1 (NS3)	5.001,7	125	4.876,6

De samlede omkostninger til investeringer for alle scenarierne inklusive layout Hesselø (eksklusive net forstærkninger på 0,55 mia.) er vist i Tabel 12-10.

Tabel 12-10: Samlede investeringsomkostninger per layout (1.000 kr.)

	Hesselø udvidet syd (HUS1)	Nedskaleret Hesselø (HIN1)	Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HIN1+KG2)	Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HIN1+KF2N)	Kriegers Flak 2 (KF2N + KF2S) 1xOSS	Hesselø (HS - 2022)	Nordsøen 1, (NS1)	Nordsøen 1, (NS2)	Nordsøen 1, (NS3)
WTG	8.710.958	8.710.958	8.710.958	8.840.972	8.710.958	8.947.270	8.710.958	8.710.958	8.710.958
Fundamenter	2.692.430	2.961.375	2.777.360	2.963.610	2.803.435	3.586.807	2.845.155	2.795.240	2.895.070
Arraykabler	941.000	761.000	822.000	750.000	1.268.000	510.000	831.000	847.000	878.000
Eksportsystem ³⁹	3.590.000	3.690.000	4.970.000	3.660.000	4.490.000	4.270.000	3.940.000	4.510.000	3.770.000
Udvikling	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500	312.500
Total	16.246.888	16.435.833	17.592.818	16.527.082	17.584.893	17.626.577	16.639.613	17.175.698	16.566.528
1000 kr./MW	16.166	16.354	17.505	16.203	17.497	17.539	16.557	17.090	16.484

De samlede investeringsomkostninger for layout Hesselø er ca. 8 % højere ift. 2020 finscreeningen for samme område. Omkostningerne til arraykabler og eksportsystemet ligger lidt lavere, mens omkostningerne til vindturbinerne og fundamentene henholdsvis er 3 % og 43 % højere end i 2020 finscreeningen. Dette skyldes, at der siden sidste finscreening er kommet nye oplysninger ift. havbundens egnethed, der viser, at havbunden er mere besværlig end først antaget ift. opstilling af fundamenter og brug af jack-up skibe.

Yderligere er havdybden også estimeret til at være 30 meter, hvor der i 2020 finscreeningen blev anvendt en havdybde på 24 meter. Ifølge de nye havbunds-screeninger er der mange steder med omkring 25-30 meters blødbund i Hesselø-området og blødbund helt op til 100 meter nogle steder. Det fører til, at monopælene skal bankes længere ned end antaget i 2020 finscreeningen. Det antages, at der pæles med 25 meter mere i gennemsnit end i 2020 screeningen. Dette fører dels til, at der skal anvendes en arbejdsdag mere, samt at monopælene skal være yderligere 25 meter længere end ved 2020 finscreeningen som følge af den bløde havbund + 6 meter længere som følge af at havdybden er 6 meter dybere end først antaget. I 2020 finscreeningen anvendtes monopæle med en længde på 76 meter, mens der i denne finscreening anvendes monopæle med en længde på 107 meter.

³⁹ Forstærkning af eksisterende transmissionsanlæg (0.55 mia DKK) er ikke indbefattet

C2Wind, et konsulentfirma har for Energistyrelsen undersøgt bæreevnen og egnetheden for installering af monopæle og brug af konventionelle installationskibe i område F ud fra de nyeste forundersøgelingsdata lavet i område F. De har estimeret, at et område lidt mindre, men overordnet tilsvarende det nedskalerede Hesselø-område undersøgt i denne finscreening er havbundsforholdene egnet til brug af jack-up skibe. Det nedskalerede Hesselø-område i denne finscreening svarer til 51% af hele område F. I det resterende område er der så store lag af blød bund sammenlagt med de lange fundamentslængder, at der formentlig er brug for ukonventionelle og dyrere installationsfartøjer til installering af både vindmøller og fundamenter, som for eksempel flydende installationsfartøjer.

For vindturbinerne betyder det ifølge C2Wind, at installationsomkostningerne forbundet med vindturbinerne er dobbelt så høje, som når der anvendes konventionelle metoder. Der er taget højde for installationstid per mølle, antal møller per udslibning mv. i dette estimat. For fundamenterne er installationsomkostningerne estimeret til at være gange så høje end konventionelle installationsmetoder tidligere set ved installation af havvindmøller placeret i indre danske farvande. Stigningen i investeringsomkostningerne på 43 % for fundamenterne skyldes derfor, at omkostningerne til installationerne stiger med 4,5 gang for næsten halvdelen af fundamenterne. Monopælene forlænges med 31 meter for alle fundamenterne og der ligger en ekstra dag til installationen af alle fundamenterne, som følge af at monopælene skal bankes længere ned i havbunden.

Investeringsomkostningerne for vindturbinerne er antaget at være 8.700 DKK/kW, som i 2020 finscreeningen. Denne pris er en samlet pris for både installation og køb af dele til vindmøllen. Som belyst i delrapport 1-5 har BVG Associates estimeret omkostningen for en vindmølle til at være 7.413 DKK per kW. BVG Associates opdeler også omkostningerne på møllens nacelle, turbine, tårn og rotor samt omkostningerne til installationen. Ud af disse dekomponerede omkostninger udgør omkostningerne til installation ca. 5 %.

For at adskille installationsomkostningerne fra de samlede investeringsomkostninger har vi derfor anvendt 5 % som et estimat for, hvor stor en del af de samlede CAPEX-omkostninger installationsomkostningerne udgør. CAPEX for en 15 MW vindturbine er 130,5 mio. DKK, når det antages, at omkostningen er 8.700 DKK/kW. 5 % af dette svarer til ca. 6,2 mio. DKK per vindmølle, som skal svare til installationsomkostningerne. Ifølge C2Wind vil 49 % af vindturbinerne i området kræve en dobbelt så høj installationsomkostning svarende til 14,4 mio. DKK per vindmølle. 49 % af møllerne i området er ca. 33 vindturbiner. Det vil sige, at for 33 af møllerne vil den samlede investering for en vindmølle være på 136,7 mio. DKK per vindturbine, mens omkostningen for de resterende 34 vindturbiner forsat vil være 130,5 mio. DKK per vindturbine. Samlet set for hele området stiger omkostningerne til vindturbinerne med ca. 236,3 mio. DKK.

Tabel 12-11 viser den økonomiske rangordning af de forskellige layouts behandlet i denne finscreening. Layout Hesselø er parken med den højeste LCoE på 0,42 kr./KWh. LCoE for Hesselø i 2020-screeningen lå også på 0,42 kr./KWh.. Dette skyldes primært, at selvom de samlede omkostninger er steget med ca. 8 % er energiproduktionen tilsvarende steget med omkring 6-7 %.

Tabel 12-11: Rangordning af de otte layouts ud fra levetidsomkostningerne

LAYOUT	(kr/kWh)	(kr/MWh)	(EUR/MWh)
Nordsøen 1, Layout 3 (NS3)	0,38	379	51
Nordsøen 1, Layout 1 (NS1)	0,38	383	51
Nedskaleret Hesselø + Kriegers Flak 2 Nord (HN1 + KF2N)	0,39	387	52
Hesselø Udvidet Syd (HUS1)	0,39	388	52
Nordsøen 1, Layout 2 (NS2)	0,39	393	53
Nedskaleret Hesselø (HN1)	0,40	401	54
Nedskaleret Hesselø + Kattegat 2 (HN1 + KG2)	0,41	410	55
Kriegers Flak 2 Nord + Kriegers Flak 2 Syd (KF2N + KF2S) 1xOSS	0,41	410	55
Hesselø (HS)	0,42	420	56

Det har ikke været muligt at opdele OPEX på, hvad der relaterer sig til henholdsvis vindturbiner, fundamenter, kabler, substationer osv., da COWIs OPEX-estimat dækker over de samlede drift-, og vedligeholdelsesomkostninger ved at producere en kWh offshore vind. For alligevel at give en indikation af, hvordan levetidsomkostningerne afhænger af OPEX, har vi udført en slags følsomhedsanalyse for LCoE ift. OPEX. Hvis det antages, at ca. 5 % af de samlede drift- og vedligeholdelsesomkostninger relaterer sig til omkostninger til større installationskibe som skal udføre større udskiftninger på komponenter (vinger, transformere, gearkasser mv.) og disse stiger til det dobbelte for ca. 50 % af vindturbinerne, så vil LCoE'en for layout Hesselø stige med lige under 1 %.



ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
DK-2800
Kongens Lyngby
Danmark
TLF 56 40 00 00
FAX 56 40 99 99
E-MAIL cowi@cowi.dk
WWW cowi.dk