

DECEMBER 2018  
ENERGISTYRELSEN

# FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING NYE HAVVINDMØLLEPARKER

ELEKTRISK TRANSMISSIONSANLÆG



**COWI**



DECEMBER 2018  
ENERGISTYRELSEN

# FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING NYE HAVVINDMØLLEPARKER

ELEKTRISK TRANSMISSIONSANLÆG

PROJECT NO.

A073635

DOCUMENT NO.

A073635-020-001

VERSION

3.0

DATE OF ISSUE

11-12-2018

DESCRIPTION

Endelig delrapport

PREPARED

LVHA/GARI

CHECKED

ANJS

APPROVED

CELH

## INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Introduktion	3
2	Generelt	5
2.1	Eksisterende transmissionsnet	5
2.2	Transmissionsnet, 2040	5
2.3	Net-tilslutning alternativer og topologi	7
2.4	Omkostningsestimat	16
2.5	Kortfattet anlægsbeskrivelse	16
3	Projekt koncept	23
3.1	Generelt	23
3.2	Nordsøen	24
3.3	Jammerbugten	39
3.4	Hesselø	47
3.5	Krigers Flak	60
4	Forkortelser	71
5	Referencer	72

## BILAG

Appendix A Loadflow – Nordsøen

Appendix B Loadflow – Hesselø

Appendix C Loadflow – Jammerbugt

Appendix D Loadflow – Krigers Flak

## Appendix E NEPLAN - Full Load calculations

# 1 Introduktion

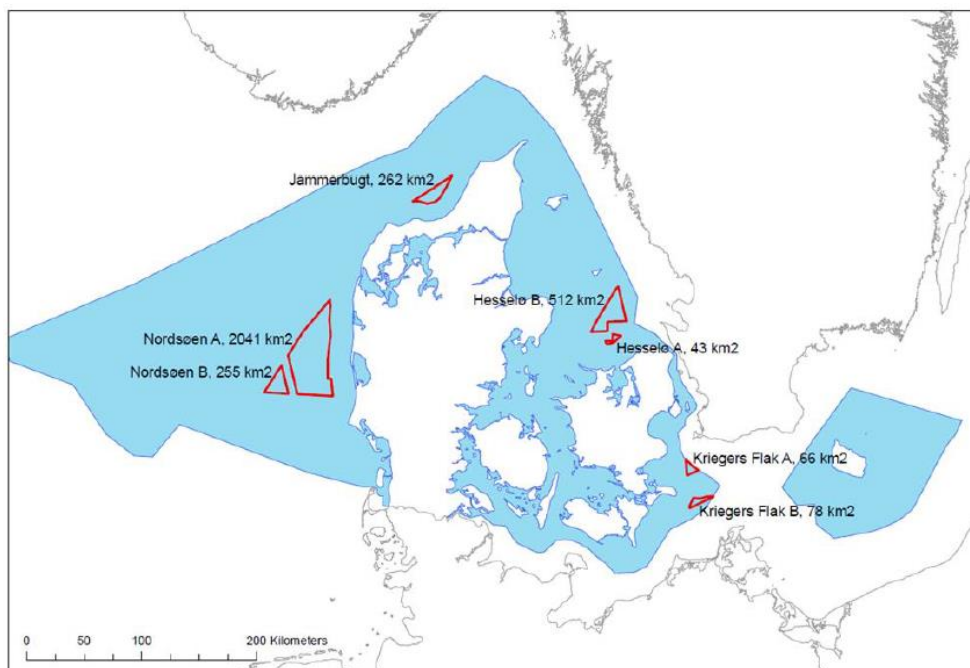
Regeringen fremlagde sit energispil d. 26. april 2018 bl.a. indeholdende et initiativ om en 800 MW havmøllepark til etablering i 2024-27. For at identificere et mere præcist forslag til placering af denne park er der behov for en detaljeret screening af Nordsøen og Østersøen. I løbet af 2017 og som en del af arbejdet med energispillet gennemførte Energistyrelsen en grovscreening af det danske havareal. Resultatet af grovscreeningen var en identifikation af 4 egnede områder til en kommende havmøllepark på 800 MW. De fire områder er Nordsøen, Jammerbugt, Hesselø og Krigers Flak.

Selvom grovscreeningen har identificeret fire oplagte områder til kommende havmølleparker, så er der stadigvæk behov for at vide mere præcist, hvordan en havmøllepark på 800 MW ideelt bør placeres inden for hvert af områderne.

Denne rapport beskriver resultaterne af finscreeningen af de identificerede potentielle havmølleområder i relation til den elektriske infrastruktur.

Nærværende rapport omfatter en overordnet beskrivelse af mulige alternativer til nettilslutning for de fire potentielle havmølleparker i danske farvande. De fire områder er vist på nedenstående oversigtskort Figur 1-1.

- > Jammerbugten
- > Hesselø
- > Nordsøen
- > Krigers flak.



Figur 1-1 Oversigtskort over de fire udpegede områder til etablering af nye havmølleparker

Rapporten er af teknisk karakter, udarbejdet med sigte på præsentationen af mulige principper for udformningen af de elektriske fordelingsanlæg, som udgør den elektriske infrastruktur mellem de enkelte vindmøller og tilslutningspunktet til det eksisterende transmissionsnet på land.

Rapportens udkast til den elektriske infrastruktur danner baggrund for omkostningsestimering af net-tilslutningen af vindmølleparkerne. Der er antaget opstilling af 8 MW vindmøller (100 stykker per park) resulterende i 800 MW installeret effekt. Omkostningsestimatet indbefatter en vurdering af effekttab og de kapitaliserede energitab i den elektriske infrastruktur over anlæggets levetid. Omkostningsestimatet er udarbejdet med sigte på rangordningen af parkerne og kan ikke opfattes som retningsvisende for bestemmelsen af den investeringsomkostning en investor skal planlægge efter.

Rapporten er baseret på den antagelse, at Energinet varetager den nødvendige forstærkning i det eksisterende 400 kV transmissionsnet, som skal sikre robustheden i nettet til transmission af den producerede energi.

## 2 Generelt

### 2.1 Eksisterende transmissionsnet

Transmissionsnettet i Danmark drives og vedligeholdes af Energinet, og det er også Energinet, som overordnet set er ansvarlig for udbygninger og forstærkninger af transmissionsnettet.

Det eksisterende transmissionsnet ultimo 2017 (400 kV & 132 kV) samt udligningsforbindelserne til andre lande er vist i nedenstående Figur 2-1.



Figur 2-1 Eksisterende transmissionsnet ultimo 2017 (Kilde: Energinet)

### 2.2 Transmissionsnet, 2040

Energinets udbygningsplaner tilgodeser en ændring af el-producerende enheder som tidligere var landbaserede og tæt ved byerne til i fremtiden at kunne modtage energi produceret fra decentralt placerede enheder såsom havmølleparker. Dette vil kræve en forstærkning af det overordnede 400 kV transmissions- og 132 kV fordelingsnet.



Nedenstående Figur 2-2 indikerer potentielle forstærkninger af transmissionsnettet.



Figur 2-2 Planlagte forstærkninger i transmissionsnettet frem til 2040 (Kilde: Energinet)

Nævneværdige net-forstærkninger:

- > Jylland
  - Ny 400 kV line "Nord-Syd" Ålborg – Idomlund – Endrup
  - Ny dobbelt 400 kV linje Endrup - Tyskland
  - Ny 400 kV linje "Øst-vest" Bramdrup – Revsning – Endrup
  -
- > Sjælland
  - Energinet planlægger en forstærkning af transmissionsnettet mellem Hovegård og Vestsjælland. Afhængig af hvilken løsning der vælges, kan den have en indvirkning på net-tilslutningsomkostningerne for Hesselø vindmøllepark.

## 2.3 Net-tilslutning alternativer og topologi

Den elektriske infrastruktur omfatter elektriske fordelingsanlæg fra vindmøllerne til net-tilslutningspunktet skitseret i nedenstående Figur 2-3.



Figur 2-3 Elektrisk infrastruktur

### 2.3.1 Generelle forudsætninger

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

Vindmølleparkerne forudsættes enkeltvis at have en installeret effekt på 800 MW. Den leverede effekt i tilslutningspunktet ved Energinets hovedtransformer station vil derved være reduceret med effekttabene hidrørende fra kabler, transformere, eget forbrug på transformersplatformen og den landbaserede station ved tilslutningspunktet.

Det bemærkes, at arealet ved Nordsøen har potentiale til opførelse af mere end en 800 MW vindmøllepark. Nærværende rapport antager, at kun en vindmøllepark bliver opført i det aktuelle område.

### 2.3.2 Tilslutningspunkt

Energinet har anvist følgende tilslutningspunkter til 400 kV transmissionsnettet for vindmølleparkerne (Tabel 2-1).

Vindmøllepark	Tilslutningspunkt
Jammerbugten	Hovedstation Ferslev
Nordsøen	Hovedstation Idomlund
Hesselø (1A og 2A)	Hovedstation Gørløse
Hesselø (1B og 2B)	Hovedstation Kyndbyværket
Krigers flak	Hovedstation Bjæverskov

Tabel 2-1 Tilslutningspunkter til transmissionsnettet

Afregningsmålerene tænkes placeret på to nye indgående 400 kV linefelter i Energinets eksisterende hovedstation.

Energinet stiller ikke krav om N-1 kriterier for net-tilslutningen af vindmølleparken. Det vil være vindmølleparkprojektets vurdering at fastlægge pålideligheden af net-tilslutningen til Energinets transmissionsnet.

Energinet har oplyst den nuværende reservekapacitet i transmissionsnettet til at være henholdsvis 700 MW for Jylland og 600 MW for Sjælland.

Reservekapaciteten i transmissionsnettet er et udtryk for den maksimale momentane reduktion i produktionskapacitet som transmissionsnettet kan håndtere. Det betyder, at den maksimale kapacitet for en enkeltstående forsyning/ produktionsenhed, ikke må overstige reservekapaciteten i transmissionsnettet. For en vindmøllepark med en kapacitet på 800 MW bevirker det, at vindmølleparkens elnet som udgangspunkt skal opdeles i to uafhængige systemer, hver med en kapacitet på 400 MW, hvorved et udfald i et af systemerne ikke overstiger reservekapaciteten i transmissionsnettet.

Net-tilslutningen af vindmølleparkerne kan ikke foretages uden at det bagvedliggende transmissionsnet bliver forstærket. Det antages, at Energinets udbygningsplaner tilgodeser de nødvendige forstærkninger, som forudsættes at være etableret, når vindmølleparkerne bliver opført og er klar til at levere til transmissionsnettet.

Nævrende rapport medtager ikke yderligere detaljer eller omkostninger forbundne med de nødvendige net-forstærkninger af Energinets anlæg.

Vindmølleparkernes tilslutning til Energinets hovedstationer vil blive udført med 220/400 kV transformering, anlæg til reaktiv kompensering og eventuelle harmoniske filter for at sikre net-tilslutningsbetingelserne. Det antages, at de nye transformerstationer opført og drevet af vindmølleprojektet bliver placeret i umiddelbar nærhed af Energinets station, hvorved to meget korte 400 kV forbindelser (mindre end 200 m kabel eller luftledning) kan etableres.

#### 2.3.2.1 Koncept for elektrisk transmissionsanlæg

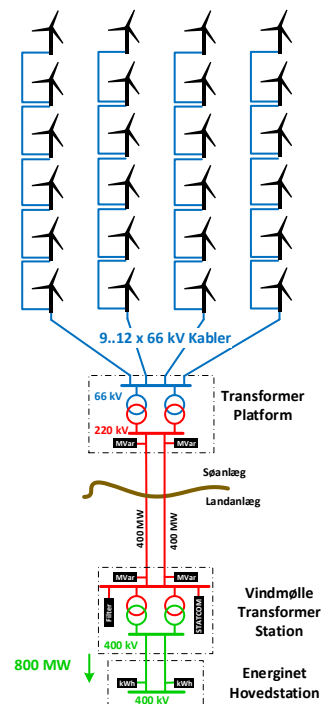
Konceptet anvendt i denne rapport for net-tilslutningen af en 800 MW vindmøllepark placeret op til 90 km fra tilslutningspunktet til transmissionsnettet, er en løsning bestående af en havbaseret transformerstation placeret centralt i forhold til møllerne samt et eksportkabelsystem, som forbinder den havbaserede transformerstation med transmissionsnettet på land.

Det noteres, at der i enkelte (1 stk. i Nordsøen og 2 stk. ved Jammerbugten) af de nævnte anlægskonfigurationer forudsættes relativt lange afstande til tilslutningspunktet til transmissionsnettet. Dette vurderes at være teknisk muligt, dog ligger de tre ovennævnte parker på grænsen. Derfor bør det påregnes, at der af tekniske årsager kan blive behov for etablering af kompenseringsanlæg tæt på ilandføringsstedet (kystnært).

Denne rapport er baseret på, at eksportsystemet etableres på 220 kVac niveau. Eksportsystemet overføringsevne på 220 kV niveau er begrænset af kablernes maksimale overføringsevne på 4-500 MW pr. kabel. Det bevirker at parkerne kan opføres i kapacitetsintervaller af 4-500 MW. En park med en kapacitet på 800 MW, vil derfor kræve et eksportsystem bestående af 2 stk. eksportkabler hver med en overføringsevne på 400 MW.

Det elektriske fordelingsanlæg (Figur 2-4) vil bestå af følgende hovedkomponenter:

- > 66 kV søkabler (arraykabler) mellem de enkelte vindmøller og mellem vindmøller og transformerplatform. Samlet set etableres der 10 stk. radialer.
- > Havbaseret transformerplatform indeholdende:
  - 66 kV GIS koblingsanlæg
  - 66/220 kV transformere
  - 220 kV shunt reaktorer (permanent kompensering)
  - 220 kV GIS koblingsudstyr
  - Elektrisk & mekanisk hjælpeudstyr
  - SCADA, Kommunikation og advarselssystemer.
- > To stk. 220 kV eksport søkabelsystemer fra transformerplatformen til ilandføringspunktet.
- > To stk. 220 kV eksport landbaserede kabelsystemer fra ilandføringspunktet til vindmøllenetstation placeret ved energinets hovedstation.
- > Vindmøllenetstation:
  - 220 kV koblingsanlæg
  - 220 kV reaktor kompensering (permanent & variabelt)
  - Harmoniske filtre
  - 2 stk. 220/400 kV transformere
  - 400 kV koblingsanlæg.
- > Tilslutning til Energinet 400 kV station:
  - To 400 kV kabelanlæg (eller luftledninger)
  - To 400 kV felter (friluftstation) med energimålere
  - Udvidelse af eksisterende 400 kV samleskinne.



Figur 2-4 Typisk fordelingsanlæg

Dette grundlæggende princip er valgt for Jammerbugten, Nordsøen og Hesselø og danner basis for omkostningsestimaterne.

Det elektriske fordelingsanlæg for Kriegers Flak afviger, da parklayout ikke tillader alle møller placeret på et og samme område.

Den dimensionerende faktor vil være overføringsevnen for 220 kV søkablerne, som er begrænset mod 400 - 450 MW med gængs teknologi og installationsmetoder.

Yderligere vil antallet af 66 kV radialer være fastlagt af den maksimale overføringsevne i kablerne samt vindmøllernes 66 kV effektafbryder i koblingsanlægget (1250 A).

Størrelsen af hovedtransformerne fastlægges af investoren. Den mindste størrelse vil være 400 MW (410 MVA). Ønsket om en overkapacitet for at sikre en vis energiproduktion ved vedligeholdelse eller længerevarende havari af et af de to eksportsystemer retfærdiggør ofte investering i større enheder. Det antages, at hovedtransformerne udlægges til 450 MVA.

Størrelsen af 220 kV shunt reaktorerne vil være afhængig af eksportkablernes længde, samt vindmøllernes evne til at yde reaktiv effekt i perioder med lidt eller ingen aktiv produktion.

### 2.3.3 Tilslutningsalternativer

Net-tilslutningen af vindmølleparkerne kan udføres med andre alternative typologier og teknologivalg jævnfør nedenstående Tabel 2-2.

	Trans. Platform	Søkabel til Kyst	Kystnær Trf. station	Land-kabel	Trf. Station ved Energinet Hovedstation
<b>Basis: Transformer platform &amp; 220 kV Eksportkabel</b>					
Baseret på tilgængelig teknologi og praksis	2x66/220 kV 2x220 kV SR	2 x 220 kV	---	2x220 kV	2x220/400 kV 2x220 kV SR SVC/STATCOM/HF
<b>Alternativ 1: 66 kV eksportkabler &amp; 66/220 kV kystnær transformerstation</b>					
<u>Barrierer:</u> • Antal/længde af 66 kV søkabler • Placering af kystnærstation	---	9..12 x 66 kV	2x66/220 kV 2x220 kV SR	2x220 kV	2x220/400 kV 2x220 kV SR SVC/STATCOM/HF
<b>Alternativ 2: 66 kV eksportkabler &amp; 66/400 kV kystnær transformerstation</b>					
<u>Barrierer:</u> • Antal/længde af 66 kV søkabler • Placering af kystnærstation	---	9..12 x 66 kV	2x66/400 kV 2x400 kV SR (SVC/STATCOM/HF)	2x400 kV	2x400 kV SR (SVC/STATCOM/HF)
<b>Alternativ 3: Transformerplatform &amp; HVDC kabel</b>					
<u>Barrierer:</u> • Ringe erfaring med HVDC platforme	2x66/220 kV ACDC Converter	2x 250 kVdc	---	2x 250-500 kVdc	DCAC Converter 2x220/400 kV SVC/STATCOM/HF

Tabel 2-2 Oversigt over tilslutningsalternativer

Efterfølgende afsnit beskriver kortfattet alternativerne.

#### 2.3.3.1 Alternativ 1 - 66 kV eksportkabler & 66/230kV kystnær transformerstation

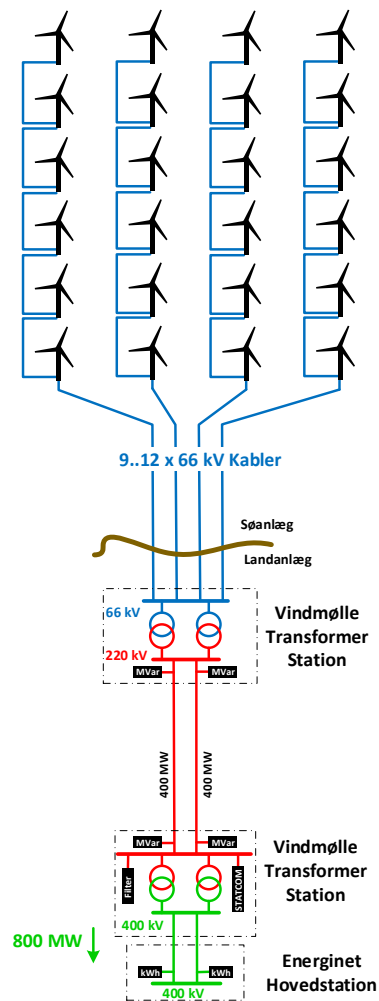
Transformerplatformen er en omkostningstung investering og kræver et omfattende set-up for vedligeholdelse, eftersom fragt af mandskab og materiel skal tilgodeses gennem parkens levetid. Hvis vindmølleparken er placeret i en relativ kort afstand til kysten, kan en løsning med 66/220 kV transformering på en kystnær landbaseret station måske være et økonomisk attraktivt alternativ til en havbaseret transformerplatform.

Konceptet er bl.a. benyttet ved den igangværende udbygning af kystnære vindmølleparker ved Vesterhavet (Vesterhav Syd - Ref. /8/), hvor parkstørrelsen er 170 MW.

Alternativet med kystnær transformerstation (Figur 2-5) vil bestå af følgende hovedkomponenter:

- > 66 kV søkabler mellem de enkelte vindmøller
- > 9 - 12 styk 66 kV søkabel radialer til kystnær station

- > Kystnær station
  - 66 kV koblingsanlæg
  - 66/220 kV transformere
  - 220 kV shunt reaktorer (permanent)
  - 220 kV koblingsudstyr
  - Elektrisk & mekanisk hjælpeudstyr
  - SCADA, Kommunikation
  
- > To eksportkabler (220 kV) fra kystnær station til vindmølle netstation ved energinets tilslutningspunkt
  
- > Vindmølle netstation
  - 220 kV koblingsanlæg
  - 220 kV reaktor kompensering (permanent & variabelt)
  - Harmoniske filtre
  - To stk. 220/400 kV transformere
  - Eventuelt 400 kV koblingsanlæg
  
- > Tilslutning til Energinet 400 kV station
  - To 400 kV kabelanlæg (eller luftledninger)
  - To 400 kV felter (friluftstation) med energimålere
  - Udvidelse af eksisterende 400 kV samleskinne



Figur 2-5 Typisk elektrisk transmissionsanlæg anlæg med kystnær 66/220 kV transformerstation

Alternativet vil kun være attraktivt såfremt besparelsen ved udeladelsen af transformerplatformen (og flytte transformeringen til en kystnær station) er større end meromkostningen ved at installere i størrelsesorden 9 til 12 stk. 66 kV eksportkabler til kysten frem for to 220 kV søkabler.

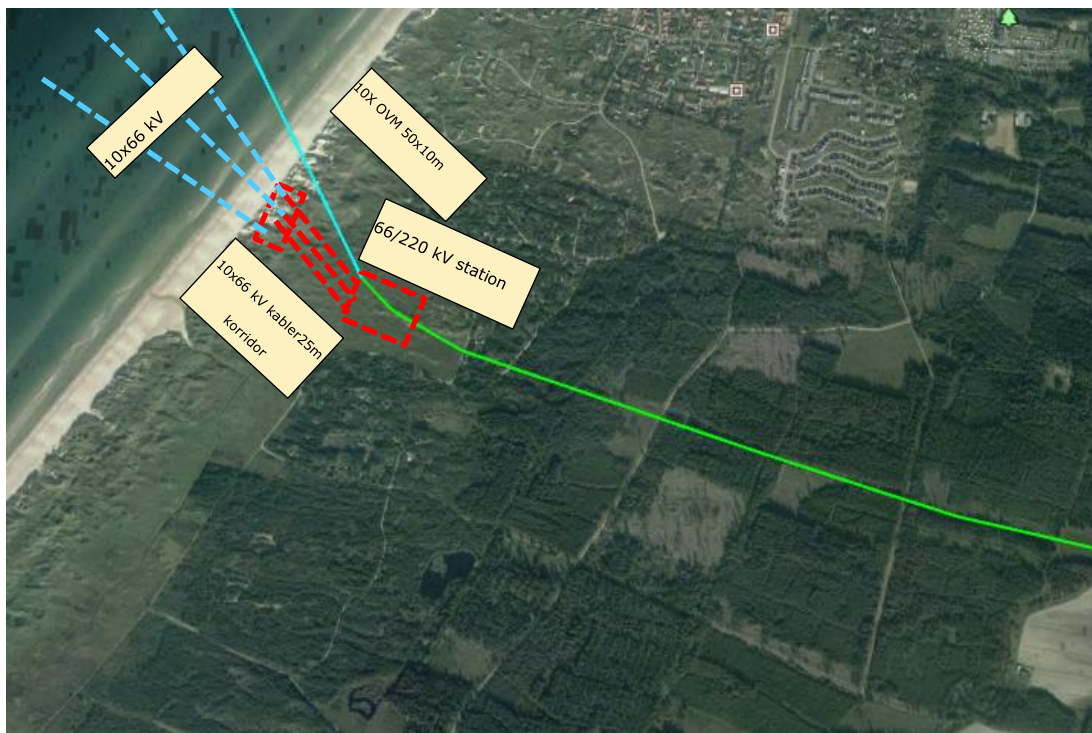
Det vurderes, at dette koncept næppe er realistisk for nogle af de fire parker med følgende begrundelser:

- > Længden af søkablerne for de arealer som indgår i denne rapport er betydelig længere end for de allerede etablerede kystnære vindmølleparker. Som den eneste vil Jammerbugten med den korteste afstand fra kysten på omkring 25 km være en mulighed, men vil, på grund af afstanden, kræve et detaljeret studie for at kunne vælge denne løsning.
- > Indplaceringen af en kystnær station vil introducere udfordringer mht. kystbeskyttelseslinier og lokale forhold.
- > Omkostningen for transformerplatformen per installeret transformereffekt (MW) vil være betydelig højere for mindre vindmølleparker i området af 200 MW end for 800 MW. Det anses umiddelbart for usandsynligt, at en CAPEX vurdering vil kunne retfærdiggøre en løsning med 66 kV søkabel eksportkabel anlæg, sammenlignet med 220 kV system.



- > Indføringen af 9 til 12 stk. 66 kV eksportkabler ville kræve en betydelig bredere sø-korridor, antageligt ca. 1,5 km (0,5 km for 2x220 kV) og landkorridor på ca. 30 m (10 m for 2x220 kV). Yderligere vil arealet til etablering af overgangsmufferne sø/land kabelanlæg være en faktor 4-5 større end for et 220 kV system. Det øgede pladskrav under installation og den permanente drift gennem anlæggets levetid kan blive problematisk i forbindelse med miljøgodkendelser og aftaler med private lodsejere.

Et meget foreløbigt placeringsforslag af en 66/220 kV kystnær transformerstation for vindmølleparken Jammerbugten syd for Blokhus er indikeret på nedenstående Figur 2-6. Det antages, at anlægget skal være indendørs og udført med 66 kV og 220 kV GIS anlæg for at minimere miljøpåvirkningen. Indendørsanlæg vil kræve mindre areal, være mere driftssikker, men vil bevirke en betydelig stigning i etableringsomkostninger sammenlignet med en station med friluftsanlæg.



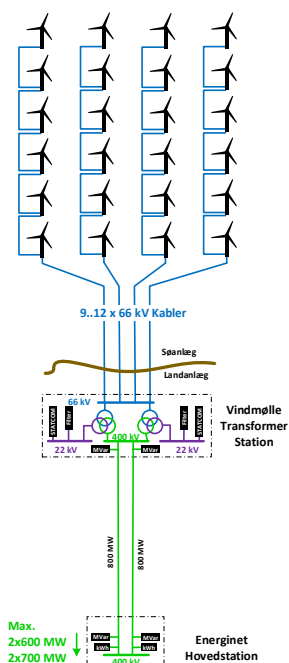
Figur 2-6 Placering af kystnær transformerstation

### 2.3.3.2 Alternativ 2 - 66 kV eksportkabler & 66/400 kV kystnær transformerstation

Introduktionen af 400 kV landkabelanlæg frem for 220 kV kan være fordelagtigt, såfremt parkstørrelsen øges til 1000-1400 MW (Figur 2-7).

De to 400 kV landbaserede kabelanlæg vil enkeltvis kunne overføre 600-700MW, hvilket sandsynligvis vil være omkostningsbesparende i forhold til tre-fire 220 kV kabelsystemer.

Etableringen af en 66/400 kV kystnær transformerstation vil næppe være hverken økonomisk eller miljømæssig fordelagtigt jf. afsnit 2.3.3.1



Figur 2-7 Typisk elektrisk transmissionsanlæg med kystnær 66/400 kV transformerstation

### 2.3.3.3 Alternativ 3 - HVDC eksport system

Introduktionen af HVDC kabelanlæg for eksportkablerne til land vil bevirke en betydelig omkostningsbesparelse på fabrikationsomkostningerne. Yderligere kan overføringsevnen for de enkelte kabler være betydelig større end for 3-faset ac kabel systemer.

HVDC transmission vil kræve konverteranlæg i begge ender af eksportkablerne, hvilket er kendt og gennemprøvet teknologi, som allerede anvendes i forbindelse med havbaserede vindmølleparker samt i forbindelse med transmission af stor energi over lange afstande. HVDC har været anvendt på kabler og luftledninger i mere end 40 år.

Udfordringen ved introduktion af HVDC teknologien vil hovedsageligt være indpasningen af konverteranlægget på den havbaserede platform, hvilket kun har fundet sted i få tilfælde.

Umiddelbart vurderes det ikke omkostningsattraktivt at vælge en HVDC løsning frem for en 3-faset 220 kV løsning for 800 MW med de eksport kabellængder (op til 90 km) som de fire placeringer indebærer.

Det udelukkes ikke, at HVDC kan være et attraktivt alternativ – men konceptet er ikke undersøgt nærmere i nærværende rapport, hvor omkostnings-sammenligningen af parkernes elektriske infrastruktur er baseret på samme teknologivalg og koncept.

Større parkeffekt (>800 MW) og længere eksportkabler (>90km) vil utvivlsomt bevirke, at der skal overvejes et teknologiskifte fra AC til HVDC.

## 2.4 Omkostningsestimat

Etableringsomkostningerne til den elektriske infrastruktur omfatter levering og installering af:

- > 66kV array søkabler
- > Transformertplatformen
- > 220kV søkabelanlæg  
(inklusive landindtaget med styret underboring af kabelrør)
- > 220kV landkabel anlæg  
(inklusive overgangsmuffer, samlemuffer, kabelgrav, HDD)
- > Vindmølleparkens tilslutningsstation ved eksisterende Energinet station
- > 400kV kabel anlæg til Energinet station.

Omkostningerne til netforstærkninger i eksisterende transmissionsnet eller udbygningen af eksisterende 400 kV anlæg i Energinets stationer er ikke indbefattet.

Til brug for omkostningsberegningen med sigte på rangordningen af de forskellige parkplaceringer og layouts, er der udarbejdet grove enhedsomkostninger fordelt på de enkelte hovedanlægskomponenter.

Energinets omkostningsestimater for landbaserede transformestationer Ref. /3/ er benyttet, hvorimod enhedsomkostninger for kabelanlæg og transformertplatforme er baseret på COWIs seneste erfaringer i forbindelse med igangværende projekter af lignende karakter.

Det fremhæves, at omkostningsestimatet tjener som input til en overordnet rangordning af vindmølleparkerne. Derved er det ikke nødvendigt med eksakte omkostningsestimater, som under alle omstændigheder også vil kræve udarbejdelsen af mere detaljerede forprojekter end forudsat for nærværende rapport.

## 2.5 Kortfattet anlægsbeskrivelse

Efterfølgende afsnit redegør meget kortfattet for valget af materiel, egenskaber og installationsmetoder som danner grundlaget for konceptdesign og omkostningsbudgettet for net-tilslutningen af de enkelte vindmølleanlæg.

### 2.5.1 66 kV Array kabler

- > 66 kV søkabler antages at være beskyttet med Tekmar eller lignende for at sikre korrekt indtræk og beskyttelse af kablerne mod overbøjning ved overgangen mellem havbund og fundament.
- > 66 kV koblingsanlæg.  
Der forudsættes, at vindmøllerne er installeret med 66 kV GIS med 1250 A tilgangs/afgangsbrydere.
- > Kabel typer/tværsnit.  
Traditionelle treleder PEX kabler (3x240 - 800mm<sup>2</sup> Al / 3x500 - 800mm<sup>2</sup> Cu) udført med integreret fibre optiske kommunikationskabler og galvaniseret stålarmring.
- > Installation
  - Sandbund: Overfladelægning efterfulgt af nedspuling vil være fortrukne installations metode.
  - Hård bund: Opgravning/nedlægning/tilbagefyldning kan udføres hvor søbunden ikke tillader nedspuling.
- > Transformert platform.  
Kablerne trækkes ind på kabeldækket og tilsluttes 66 kV koblingsanlægget via samlemuffe og præ-installeret 66 kV kabel udført på fabrikation værftet.



### 2.5.2 Havbaseret transformertation

Transformertplatformen tjener det formål at samle vindmøllernes energi via 66 kV array kablerne og transformere op til 220 kV spændingsniveau for at kunne transportere parkens produceret effekt til land. Transformertplatformen udføres med to transformere og to 66 kV adskilte samleskinner, der kan sammenkobles såfremt en af 66/220 kV transformerterne er ude af drift i forbindelse med service eller fejl. Platformen tænkes også at indbefatte nødgeneratoranlæg ved netsvigt, SCADA og hjælpeudstyr for normal drift og vedligeholdelse.

Transformertplatformen tænkes udført i et traditionelt design med en toside (uden faciliteter for beboelse eller større vedligeholdelsesopgaver). Fundamentet kan enten være en stålstrukturt jacket med pæle rammet ned i havbunden eller et gravitationsfundament. Nedenstående Figur 2-8 illustrerer det overordnede design for Hornsea og Krigers Flak, samt et typisk snit af den totale platform.

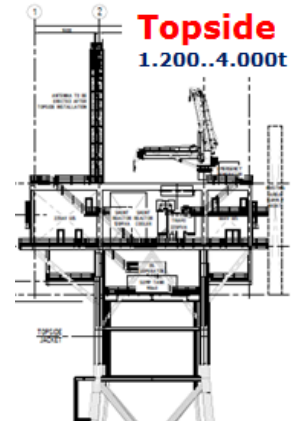
Der er ikke for nærværende taget stilling til om der skal etableres en helikopterplatform, hvilket vil have indflydelse på de samlede etableringsomkostninger.



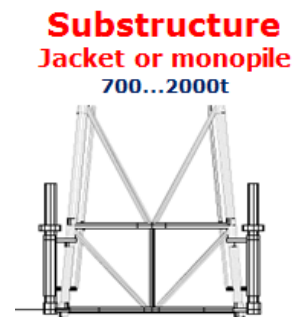
**Hornsea one : Ørsted/ Bladt**



**Krigers Flak**



**Topside**  
1.200..4.000t



**Substructure**  
Jacket or monopile  
700...2000t

*Figur 2-8 Hornsea og Krigers Flak - havbaseret transformestationer*

### 2.5.3 Eksportkabler

> Offshore kabel

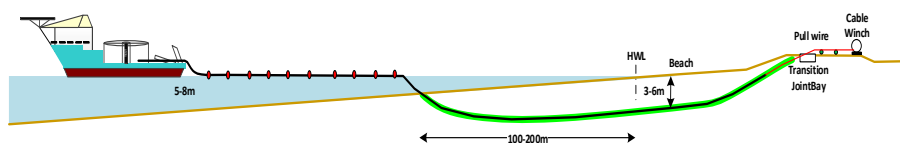
- 220 kV søkablerne er udført med samme opbygning som 66 kV kablerne. Ledertværsnittet er 3x1600 mm<sup>2</sup> Cu og med et enkelt lag galvaniseret stålwire samt 2 stk. integrerede fibre optiske kabler i rør.

Overføringsevnen ved kysten kan blive begrænset, såfremt der anvendes en rørlægning i form af en styret underboring, hvor nedgravningsdybden kan antage værdier op til 5-7 m. For at imødekomme en uacceptabel opvarmning af kablet vil denne sektion givetvis blive udført i et større tværsnit og/eller med rustfri stålwire for at nedbringe effekttabene og derved sikre overføringsevnen. Anlægsoverslaget i denne undersøgelse er rummelige og inkluderer dette.

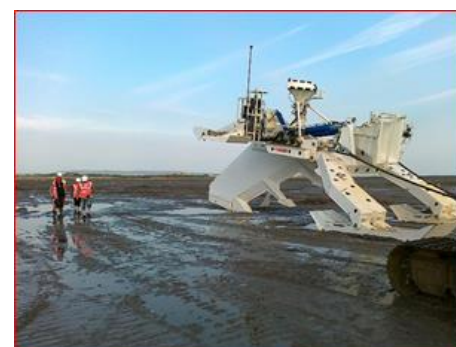
- Installation  
Søkablets længde på mindre end 50 km giver mulighed for at kablet kan leveres og udlægges i et stykke direkte udlagt fra installationsfartøjets drejeskive.

Kyst/Landindtræk:

Det antages, at der bliver etableret en rørlægning ved kysten med en samlet længde på 300 – 500 m frem til overgangsmuffen mellem søkablet og landkablerne. Længden er afhængig af profilet i havbund, strand og kystbeskyttelsen.



Installationen af eksportkablerne vil starte ved kysten, hvor installationsfartøjet anker op ca. 200-300 m ude, afhængig af vanddybde og fartøjets udformning. Kablet bliver monteret til en trækwire, som er forbundet til trækspil placeret på land ca. 100 – 200 m fra kystlinjen. Kablet udtrækkes derefter flydende frem til kabelrøret og videre gennemrøret til trækspillet.



Søkablet overfladelægges på havbunden (eventuelt i en opgravet rende), og kabelskibet påbegynder udlægning mod transformerplatformen.

Det kystnære søkabel tildækkes med havbundsmateriale i renden eller nedspules såfremt denne teknik anvendes.

Havbund – vanddybde > 5 m

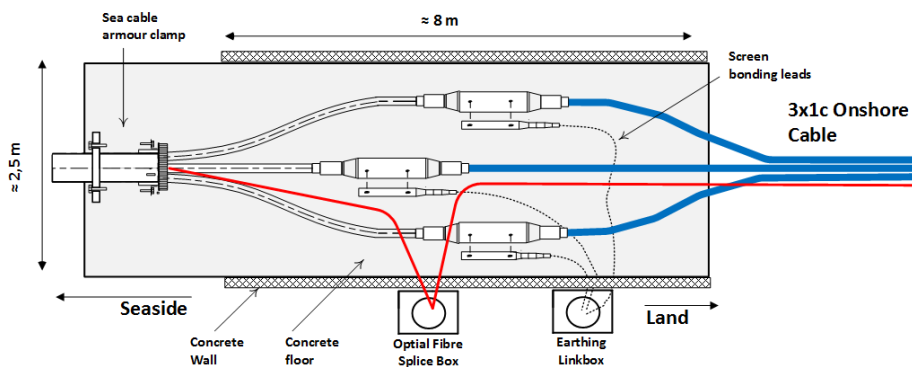
Søkablet skal installeres i en dybde 1,5-2,5 m afhængigt af havbundens beskaffenhed og risikoen for ankerskader gennem søkablets levetid. Sektioner med sandbanker, som forskyder sig ad åre kan bevirke, at en supplerende nedgravningsdybde vil være påkrævet.

Søkablet udlægges og nedploves til ca. 1,5 m i en sammenhængende operation ud til transformer platformen.

Hvis søkablet krydser eksisterende kabler eller rør i havbunden trækkes ploven op ca. 100 m før krydsningen og kablet

overfladlægges oven på et separationslag (ca. 30 – 40 cm sten udlagt på havbunden før installationen af kablet, og beskyttes efterfølgende mod trawl og ankerskader med yderligere ca. 1 m sten/klippe placeret over kablet.

- > Sø/landkabel overgangsmuffe  
Sø-kablet og landkablet samles i en overgangsmuffe ( Figur 2-9) så tæt ved kysten som muligt. De to 220 kV muffegrave vil have et areal på ca. 10x3 m og være adskilt med ca. 5 m indbydes afstand.

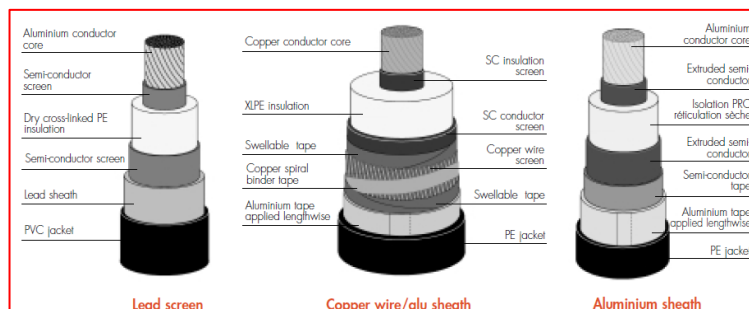


Figur 2-9 typisk kabelmuffe ved overgang fra søkabel til landkabel

Alle leverandører af 220 kV søkabler kan levere og installere sådanne overgangsmuffer.

Der skal påregnes et samlet arbejdsareal på ca. 30x60 m for at tilgodese mobiliseringen af trækspil, container til udstyr og møde/vældfærdsfaciliteter.

- > Landkabel kabel



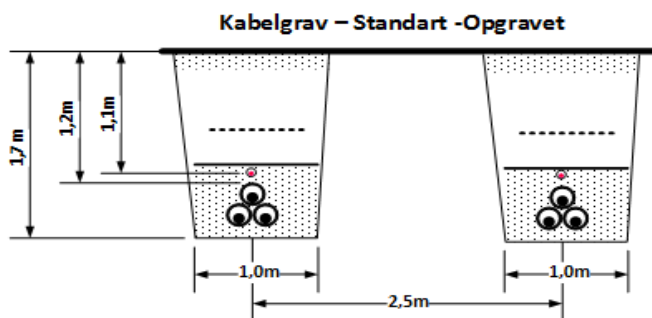
Figur 2-10 Typisk kabelopbygning for landkabel

- o Kabeltype  
245 kV en-leder PEX kabler (max. spændingsniveau) antages med et ledertværsnit 2000 mm<sup>2</sup> Al. Forlægningen vil være trekantplaceret i ca. 200 mm rørafstand med kabelskærmene indbyrdes krydskoblet i samlemufferne for at øge anlæggets overføringsevne.

Kablerne installeres i nedlagte rør, hvilket muliggør en åbning og lukning af kabelgraven før kablet bliver udtrukket.

Metodevalget bevirker øgede omkostninger til rør og ligeledes en mindre reduktion af kablernes overførselssevne. Dette modsvares dog af omkostningsbesparelsen af anlægsomkostningerne. Derudover yder kabelrørene en supplerende mekanisk beskyttelse af anlægget mod opgravningsskader ( Figur 2-11).

Nedenstående skitse illustrerer kabelgravens udformning.



Figur 2-11 Installationsprincip for 220 kV landkabel

Kabelgraven udføres yderligere med trækrør for det optiske fiber kommunikationskabel og dækplast for beskyttelse mod graveskader.

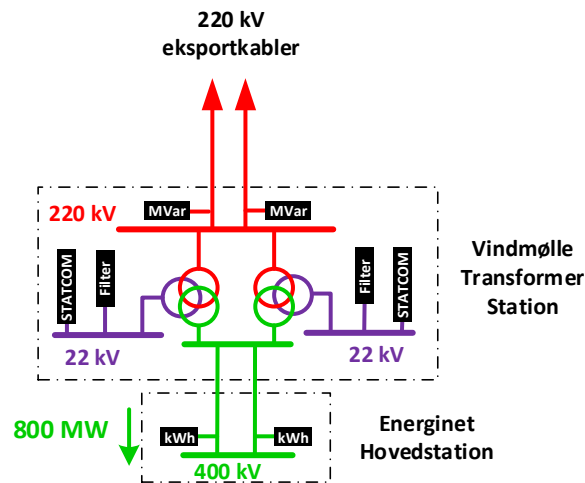
- HDD ved krydsning af veje, jernbaner m.m.  
Krydsning af større veje og jernbaner udføres ofte med styret underboring, såfremt der ikke gives tilladelse til opgravning. Samme metode anvendes ved krydsning af jernbaner, åer og andre vandløb, hvor dybden kan blive større og medføre en større spredning mellem de to kabelsystemer.

#### 2.5.4 Vindmølletransformerstation (grænseflade mod transmissionsnettet)

Vindmølleparkens koblingsstation ved tilslutningspunktet tænkes udformet som en friluftstation med udendørskoblingsanlæg ligesom de eksisterende Energinet stationer. Den nye station skal placeres hensigtsmæssigt i forhold til de eksisterende for at tilgodese en kort 400 kV linjeføring og samtidig ikke kolliderer med eksisterende og planlagte luftledninger og kabelanlæg.

Forbindelsen mellem de to stationer er antaget udført med to parallelle 400 kV kabelanlæg. Hvis muligt (pladskrav og miljø/visuelle forhold) kan disse to forbindelser med fordel installeres som en kort luftledning medførende betydelige omkostningsbesparelser.





Figur 2-12 Simplificeret diagram for vindmølle transformerstation

Det overordnede elektriske anlæg (Figur 2-12) består af 220 kV kabler, 220 kV samleskinne og koblingsanlæg, 220 kV shunt reaktorer, harmoniske filter, STATCOM/SVC, 220/400 kV transformere, 400 kV samleskinne og koblingsanlæg, 400 kV kabel/luftledning, 400 kV linjefelter i eksisterende Energinet station.

Tilslutningen af harmoniske filter og STATCOM/SVC anlæg kan også tilsluttes direkte på 220 kV samleskinne via dedikerede transformere.

400 kV samleskinne/koblingsanlæg i vindmøllestationen kan udelades såfremt 220/400 kV transformere og 400 kV forbindelsen beskyttes som en samlet enhed med differentiell beskyttelsesrelæer.

Det overordnede koncept for tilslutningen kan først endelig afklares, når vindmølleudvikleren starter dialogen med Energinet med henblik på fastlæggelse af grænseflader og nettilslutningsbetingelser for at sikre at spændingskvaliteten, harmoniske påvirkninger og netstabiliteten kan overholdes.

Konceptet og arealkravene vil være ens for alle vindmølleparker og er ikke detaljeret nærmere i denne rapport som fokuserer på en rangordning mellem parkerne og ikke udarbejdelse af et konceptdesign for projekt.

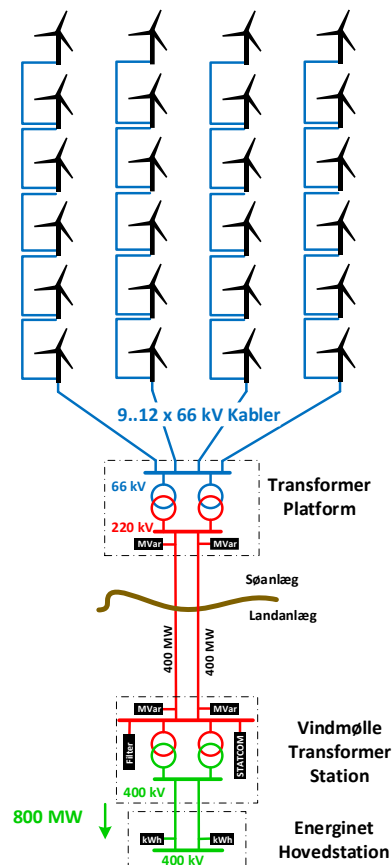
## 3 Projekt koncept

### 3.1 Generelt

De enkelte havmølleparker vil have individuelle udformninger med hensyn til vindmøllernes indbyrdes placering og parkens afstand til land, men det antages, at de elektriske opsamlings- og eksportanlæg følger samme generelle koncept og topologi (ref. til Figur 3-1).

Konceptet består af følgende hovedkomponenter/ anlæg:

- > 66 kV arraykabler (søkabler).
- > Havbaseret transformerplatform til transformering fra 66 kV til 220 kV spændingsniveau.
- > 220 kV eksportkabler inkl. integrerede fiberoptiske kabler (søkabler).
- > 220 kV eksportkabler til overførsel af energien fra ilandføringspunktet til vindmølletransformerstationen inklusiv fiberoptiske kabler (landkabler).
- > Vindmølletransformerstation indeholdende kompenseringsanlæg samt transformere til transformering fra 220 kV til 400 kV spændingsniveau.
- > Tilslutning til Energinet station. Det antages, at Energinet udbygger 400 kV stationen ved udvidelse af eksisterende samleskinner og etablering to nye 400 kV tilgangsfelter med nødvendig relæbeskyttelse.



Figur 3-1 Elektrisk koncept anvendt for alle parkkonfigurationer

For de enkelte sites vil der være variationer i systemerne på grund af forskellige layout og afstande til land. Med en simplificeret tilgang vil variationerne begrænse sig til følgende hovedanlægskomponenter:

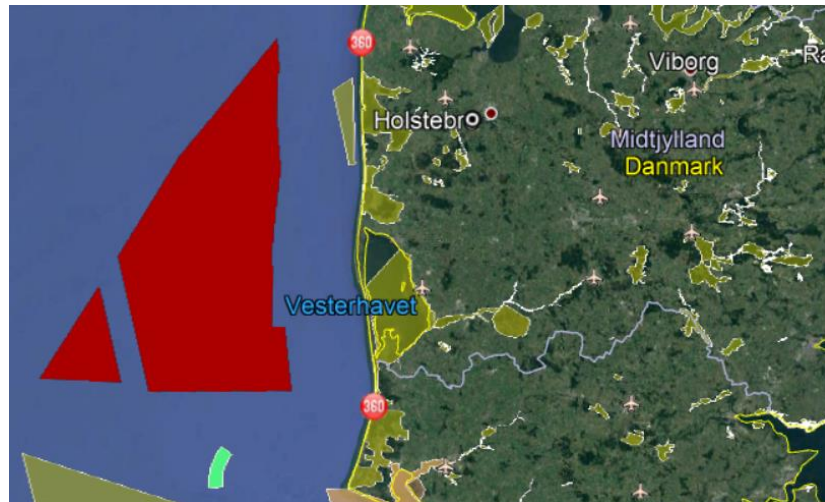
- > 66 kV arraykabler - Konfiguration og mængder?
- > 220 kV eksport søkabel – Mængder?
- > Kompenseringsanlæg.

I de efterfølgende afsnit vil konfigurationen af de enkelte sites blive gennemgået.

## 3.2 Nordsøen

Nordsøen vindpark udlægges til den fulde kapacitet på 800 MW, og i denne undersøgelse indgår 5 forskellige layout<sup>1</sup> for parken omfattende forskellige placeringer af møller samt transformerplatform. Overordnet layout for Nordsøen fremgår af Figur 3-2.

<sup>1</sup> Et scenarie med tre vindmølleparker (Layout 1, 4 og Syd) og et scenarie med fire vindmølleparker (Layout 1, Nord, Nord 2 og Syd).

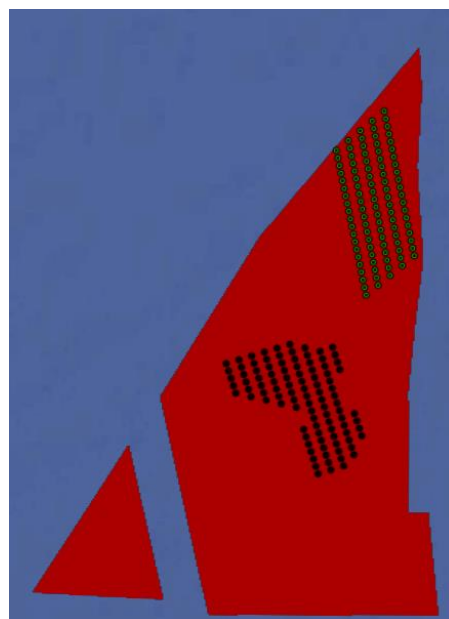


Figur 3-2 Nordsøen vindpark, overordnet layout

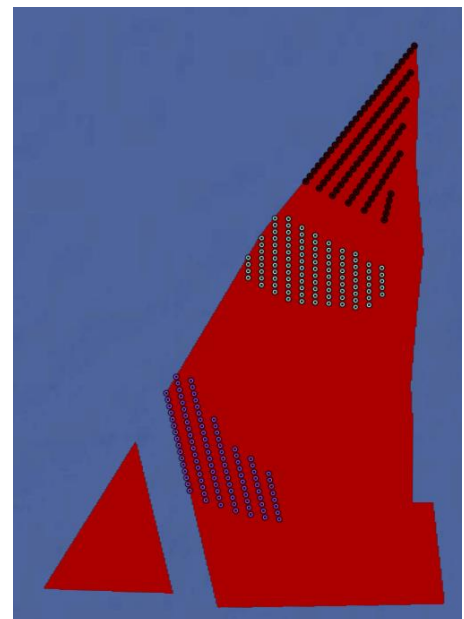
### 3.2.1 Overordnet parklayout

Projektområdet Nordsøen er stort og giver mulighed for placering af flere vindmølleparker. Fem foreløbige layout er udarbejdet for placering af vindmøllerne. Figur 3-3 angiver de 5 layout som danner grundlag for udarbejdelsen af de elektriske opsamlingsanlæg i parken samt nettilslutningen til eksisterende Idomlund hovedstation (400 kV).

Hvis flere af de angivne parklayouts udnyttes skal det vurderes, i samråd med Energinet, om tilslutningerne til transmissionsnettet skal fordeles på flere hovedstationer. Tilslutning af flere parker indgår ikke i denne finscreening.



Parklayout 1 og 4



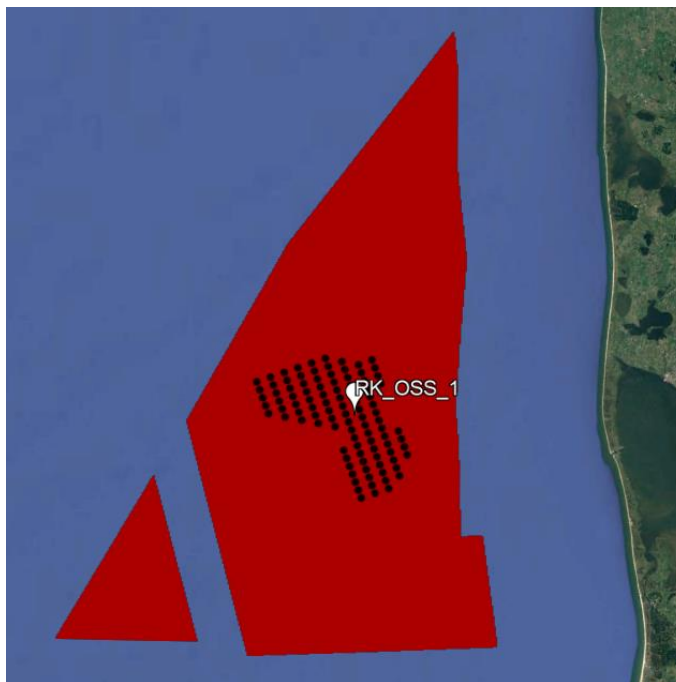
Parklayout Syd, Nord og Nord 2

Figur 3-3 Overordnet parklayout - Nordsøen

### 3.2.2 Parklayout 1

#### 3.2.2.1 General

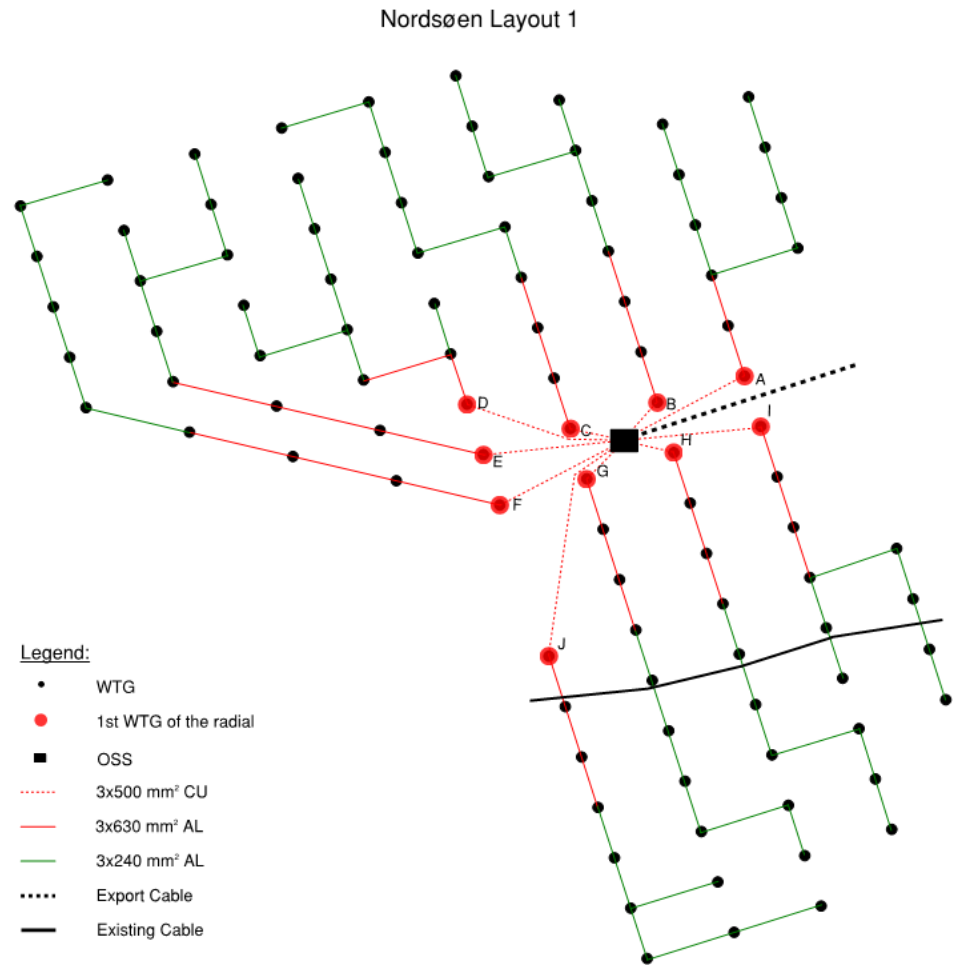
Parklayout 1 er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatform placeret i den centrale del af området. Figur 3-4 angiver placeringen af møller.



Figur 3-4 Parklayout – Nordsøen, parklayout 1

#### 3.2.2.2 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-5.

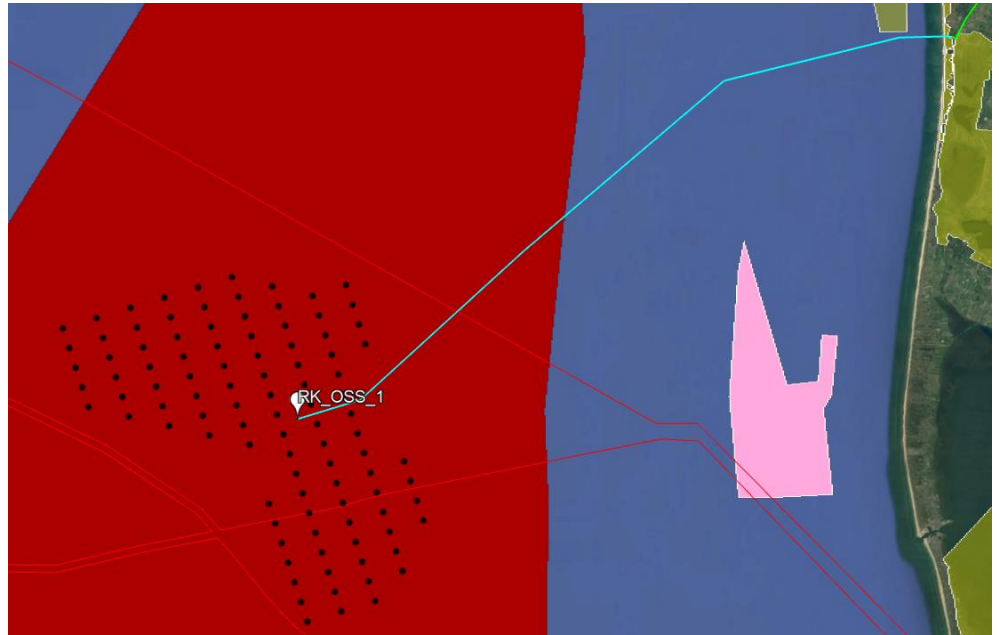


Figur 3-5 Arraykabel topologi 1 – Nordsøen

Arraykablerne i den sydlige del af området krydser eksisterende søkabel i 5 punkter. Det antages at arraykablerne føres over det eksisterende kabel og beskyttes med stenvold (Rock berm).

### 3.2.2.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne syd om Natura 2000 området nord for Øby. Linjeføring fremgår af Figur 3-6.

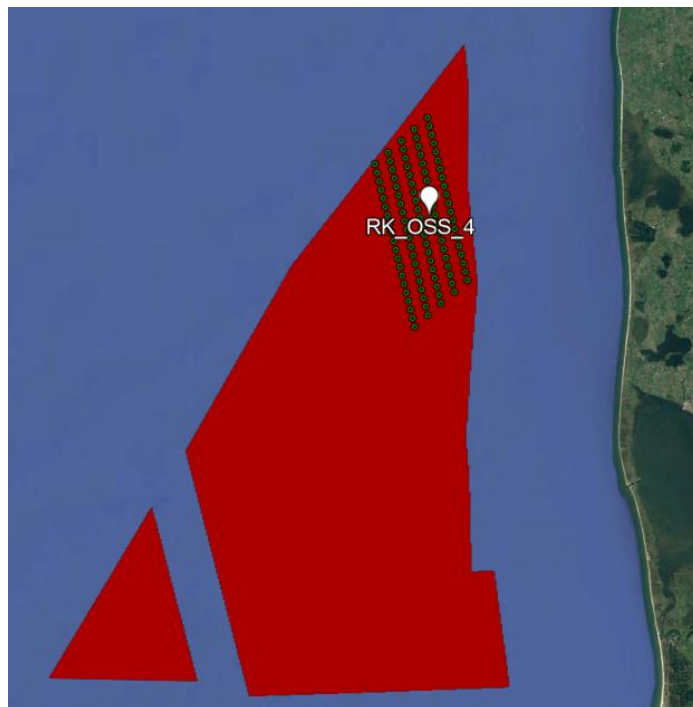


Figur 3-6 Eksport søkabel – Nordsøen, parklayout 1

Eksportkablerne krydser eksisterende søkabel. Det antages at eksportkablerne føres over det eksisterende kabel og beskyttes med stenvold.

### 3.2.3 Parklayout 4

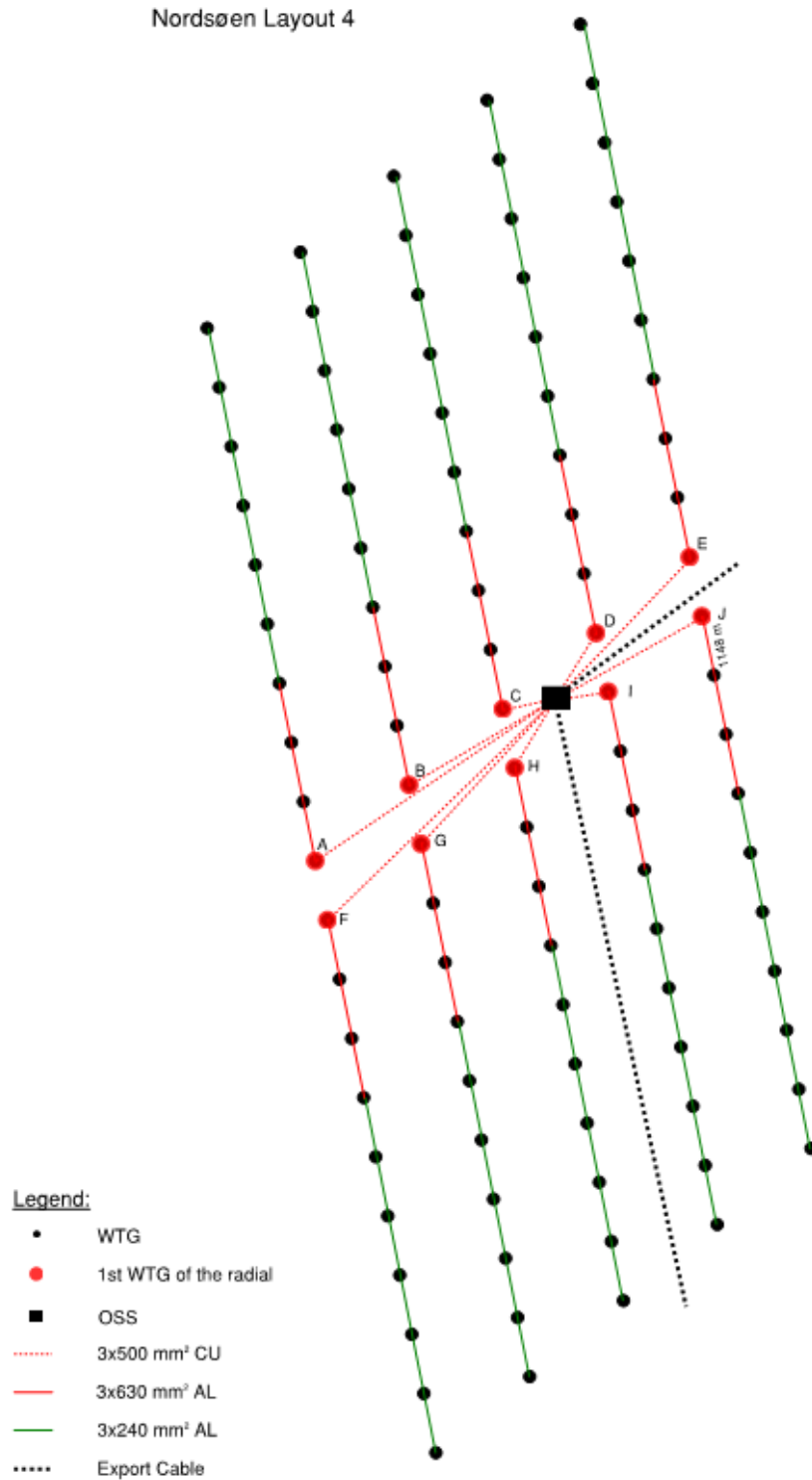
Parklayout 4 er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatform placeret i den nordlige del af området. Figur 3-7 angiver placeringen af møller.



Figur 3-7 Parklayout 4 – Nordsøen, parklayout 4

### 3.2.3.1 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-8.



Figur 3-8 Arraykabel topologi 4 – Nordsøen

### 3.2.3.2 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføring er valgt med henblik på korteste afstand samt at føre kablerne syd om Natura 2000 området nord for Øby.



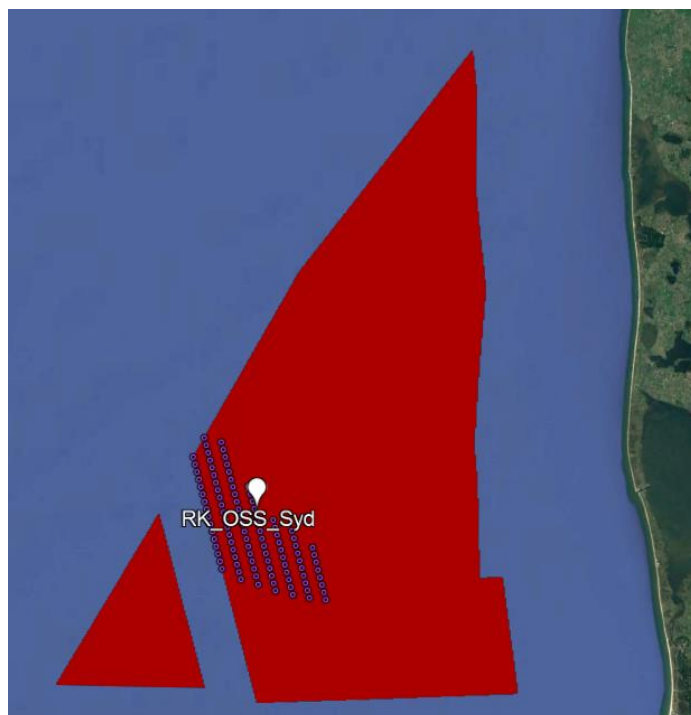
Linjeføring fremgår af Figur 3-9.



Figur 3-9 Eksport søkabel – Nordsøen, parklayout 4

### 3.2.4 Parklayout Syd

Parklayout Syd er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatform placeret i den sydlige del af området. Figur 3-10 angiver placeringen af møller samt eksportkabler.

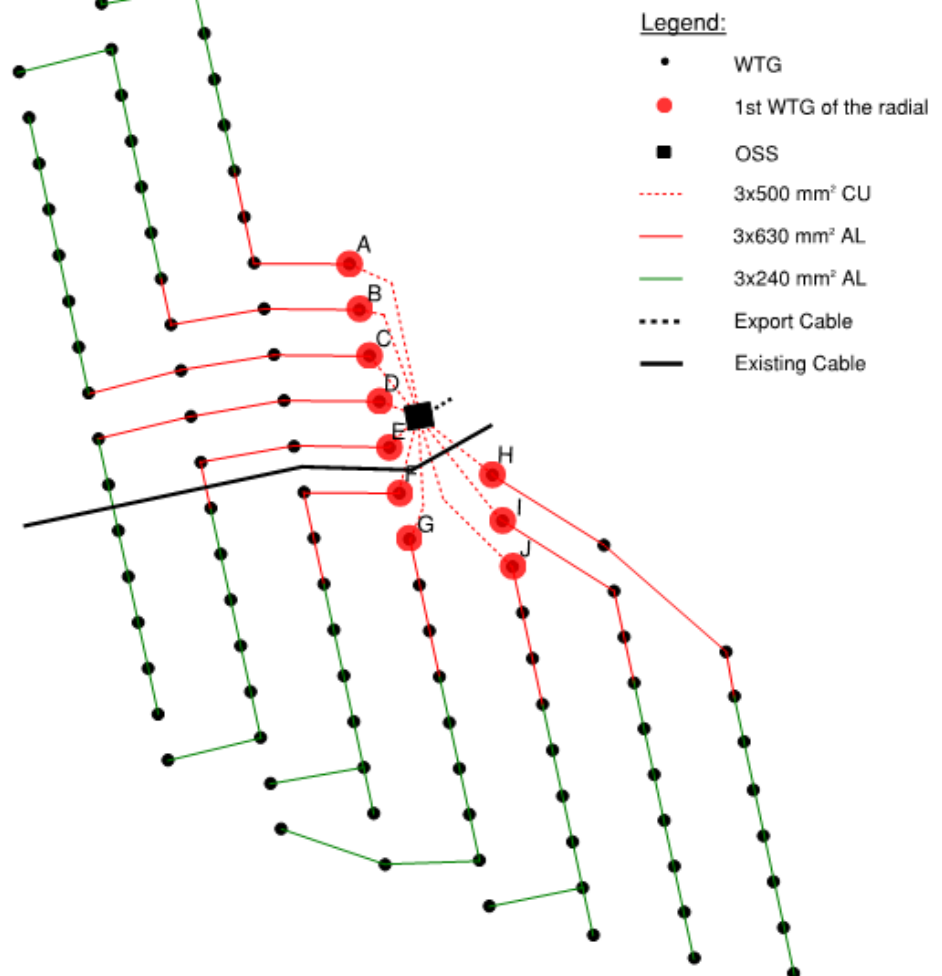


Figur 3-10 Parklayout – Nordsøen, parklayout syd

### 3.2.4.1 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-11

Nordsøen Layout Syd



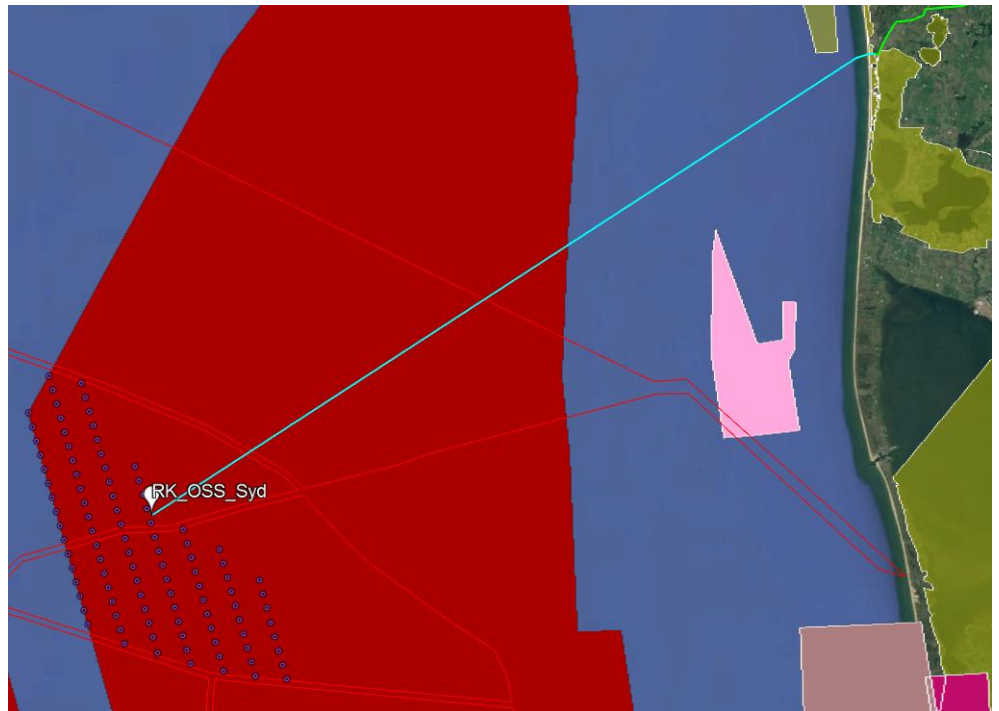
Figur 3-11 Arraykabel topologi Syd – Nordsøen

Arraykablerne i den sydlige del af området krydser eksisterende søkabel i 7 punkter. Det antages at arraykablerne føres over det eksisterende kabel og beskyttes med stenvold (Rock berm).

### 3.2.4.2 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføring er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne syd om Natura 2000 området nord for Øby.

Linjeføring fremgår af Figur 3-12.



Figur 3-12 Eksport søkabel – Nordsøen, parklayout Syd

Eksportkablerne krydser eksisterende søkabler i 2 positioner. Det antages at eksportkablerne føres over de eksisterende kabler og beskyttes med stenvold.

### 3.2.5 Parklayout Nord

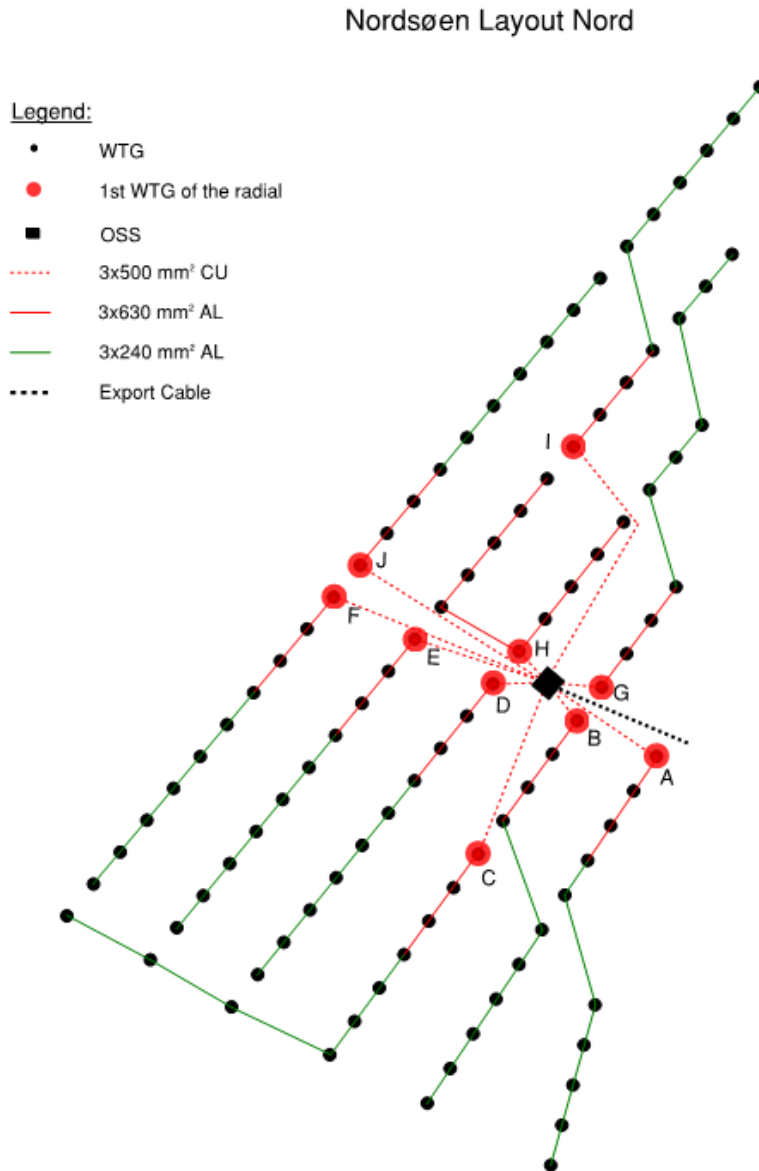
Parklayout Nord er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatform placeret i den nordlige del af området. Figur 3-13 angiver placeringen af møller.



Figur 3-13 Parklayout – Nordsøen, parklayout nord

### 3.2.5.1 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-14.

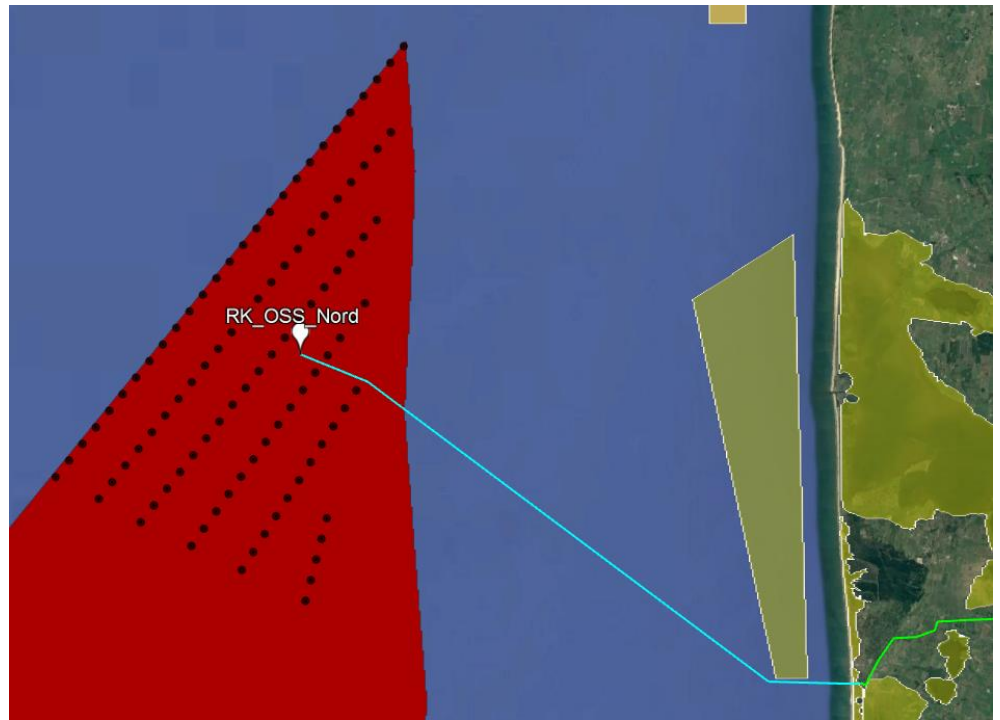


Figur 3-14 Arraykabel topologi – Nordsøen, Paklayout Nord

### 3.2.5.2 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføring er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne syd om Natura 2000 området nord for Øby.

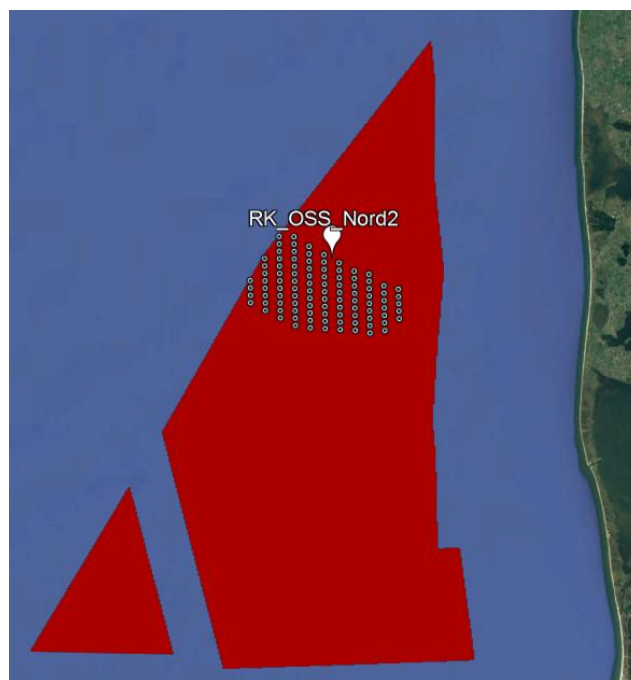
Linjeføring fremgår af Figur 3-15.



Figur 3-15 Eksport søkabel – Nordsøen, parklayout Nord

### 3.2.6 Parklayout Nord 2

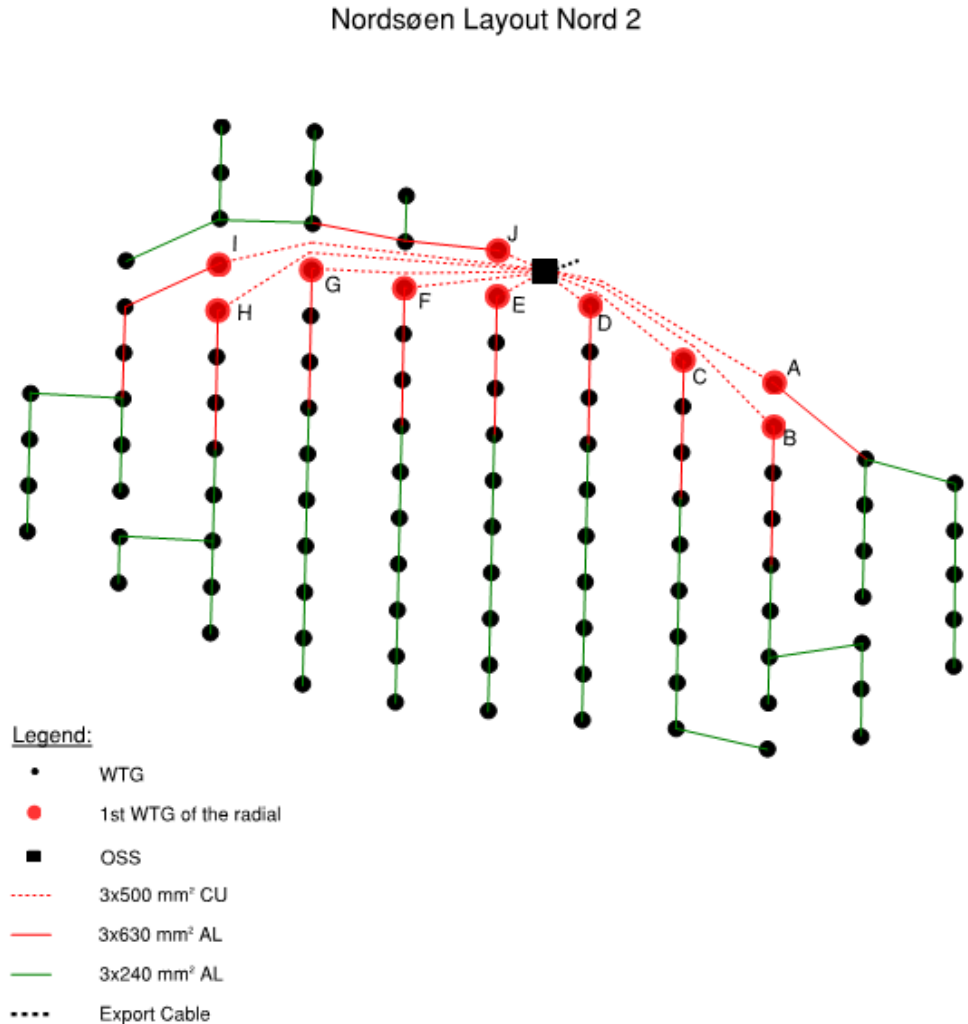
Parklayout Nord 2 er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatform placeret i den nordlige del af området. Figur 3-16 angiver placeringen af møller.



Figur 3-16 Parklayout – Nordsøen, parklayout Nord 2

### 3.2.6.1 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-17.

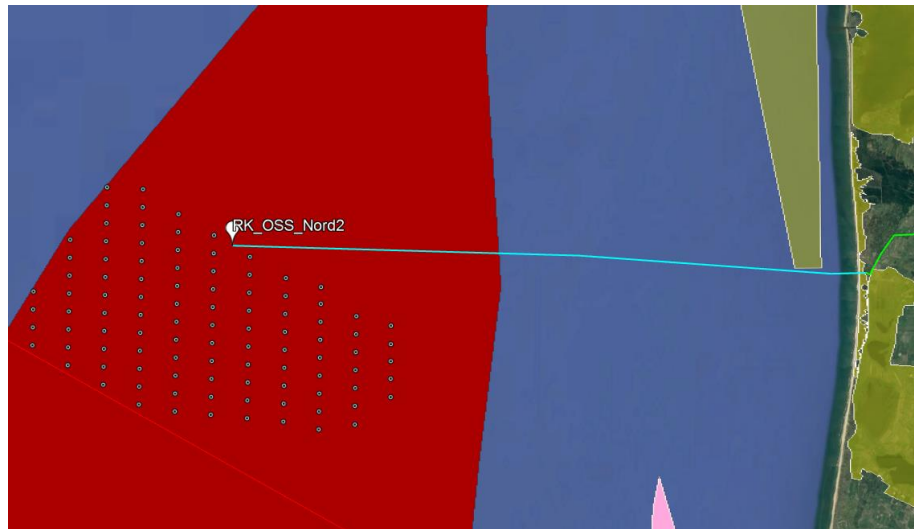


Figur 3-17 Arraykabel topologi- Nordsøen, parklayout Nord 2

### 3.2.6.2 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføring er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne syd om Natura 2000 området nord for Øby.

Linjeføring fremgår af Figur 3-18.



Figur 3-18 Eksport søkabel – Nordsøen, parklayout Nord 2

### 3.2.7 Fælles forhold for alle parklayout

#### 3.2.7.1 Arraykabler

Arraykabler påregnes installeret ved udlægning på havbunden, hvorefter de spules ned i havbunden til en dybde på ca. 1-1,5 m.

#### 3.2.7.2 Eksport søkabler

Eksportkabler påregnes installeret ved nedplovning til en dybde på ca. 2,5 m. Der skal påregnes øget kabel installationsdybde på grund af sedimenttransport langs vestkysten.

#### 3.2.7.3 Ilandføring

Punktet for Ilandføring er i dette studie valgt til at være i området syd for Øby (Figur 3-19). Kyststrækningen er beskyttet under Natura 2000, men der er valgt et område, hvor området er begrænset til ca. 250 m. Det er i dette studie antaget, at krydsningen af Natura 2000 området foretages som styret underboring.



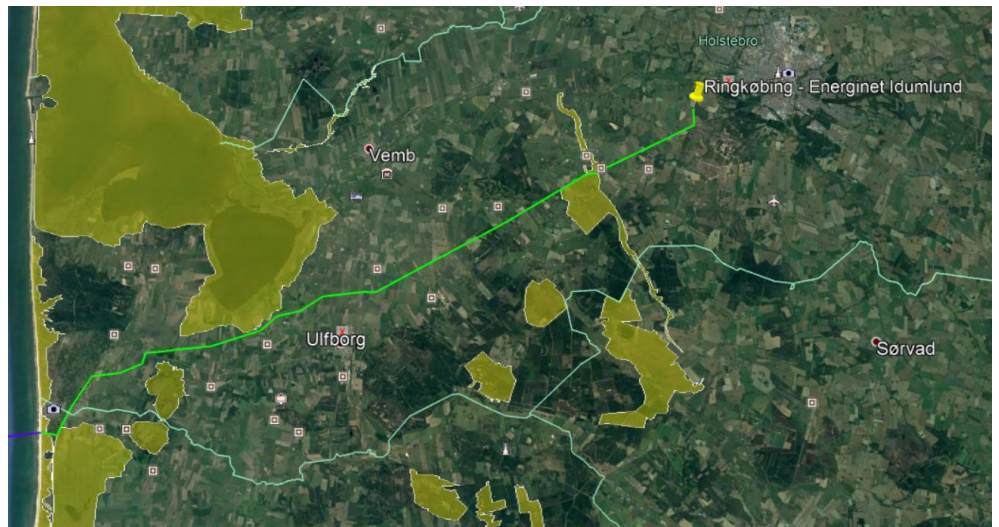
Figur 3-19 Ilandføring syd for Øby

### 3.2.7.4 Landbaseret eksportkabel

Der skal etableres kabeltrace fra ilandføringssted til Energinet's hovedstation Idomlund. Linjeføringen vurderes at kunne blive udført uden store udfordringer. Hovedstrækningen kan udføres i landområde uden nævneværdig bebyggelse. Den angivne linjeføring vil krydse veje og baneanlæg. Følgende krydsninger antages udført som styrede underboringer:

- > 15 stk. vejkrydsninger
- > 1 stk. jernbanekrydsning.

Linjeføring fremgår af Figur 3-20.

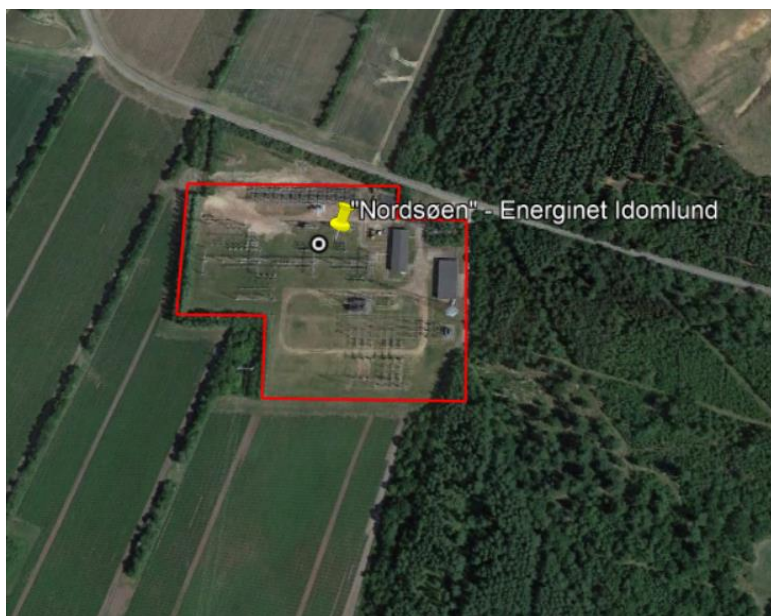


Figur 3-20 Linjeføring af landbaseret eksportkabel til Idomlund

### 3.2.7.5 Vindmølletransformerstation – Idomlund

220/400 kV vindmølletransformerstation ved Idomlund vurderes at kunne blive placeret i umiddelbar nærhed af den eksisterende Energinet ejede hovedstation, som er placeret i ubebygget område se Figur 3-21.





Figur 3-21 Hovedstation Idomlund

Forbindelse mellem vindmølletransformerstation og Hovedstation Idomlund foretages på 400 kV niveau. Detaljer herom er ikke indeholdt i nærværende analyse.

### 3.2.8 Loadflow

Der er foretaget en simplificeret loadflow beregning (afdækning af strøm, spænding, effekttab) af de forskellige parklayout. Beregningerne for effekttab er summeret i nedenstående Tabel 3-1.

Effekt tab	Parklayout				
	1	4	Syd	Nord	Nord 2
Samlet system tab [MW]	24,1	21,8	27,4	22,4	23,5
Effekt leveret [MW]	≈775	≈778	≈773	≈778	≈776
Samlet system tab [%]	3,02	2,72	3,43	2,79	2,94

Tabel 3-1 Effekttabsberegning - Nordsøen

Der refereres yderligere til Appendix A, hvor max/min produktion scenariet er vist.

### 3.2.9 Kabelsystemer

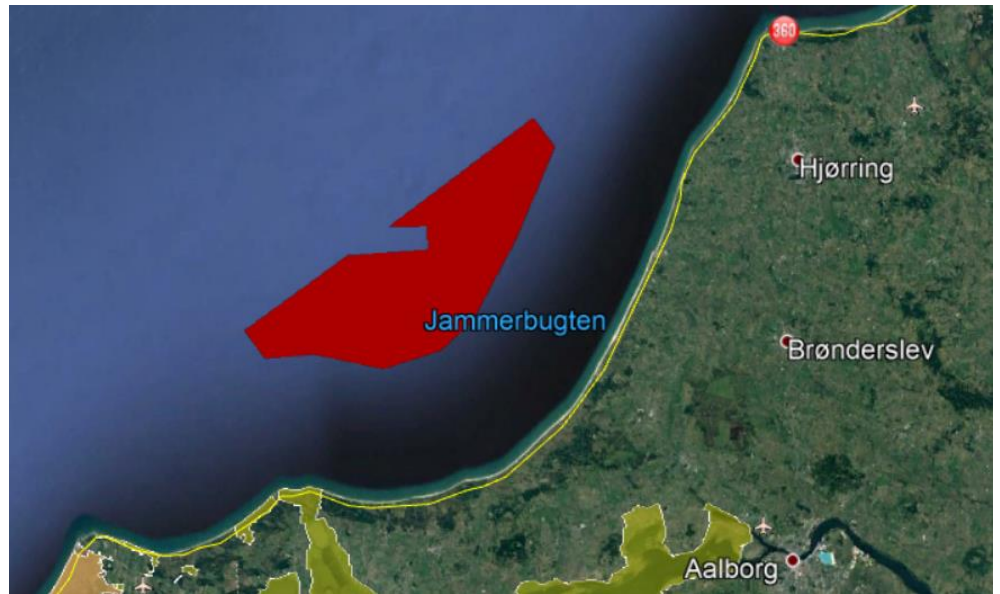
Som basis for loadflow beregninger samt kostestimater er længden på kabelsystemerne estimeret. Kabellængder er summeret i nedenstående Tabel 3-2.

	Parklayout				
	1 [km]	4 [km]	Syd [km]	Nord [km]	Nord 2 [km]
<b>Arraykabler (66 kV)</b>					
3x240 mm <sup>2</sup> Al	88	74	73	82	73
3x500 mm <sup>2</sup> Cu	25	29	24	34	42
3x630 mm <sup>2</sup> Al	42	37	51	29	36
<b>Eksport søkabler (220 kV)</b>					
Kabelrute	45	30	60	32	36
3x1600 mm <sup>2</sup> Cu	89	59	120	64	72
<b>Eksport landkabler (220 kV)</b>					
Kabelrute	30	30	30	30	30
3x1x2000 mm <sup>2</sup> Al	61	61	61	61	61

Tabel 3-2 Kabellængder – Nordsøen

## 3.3 Jammerbugten

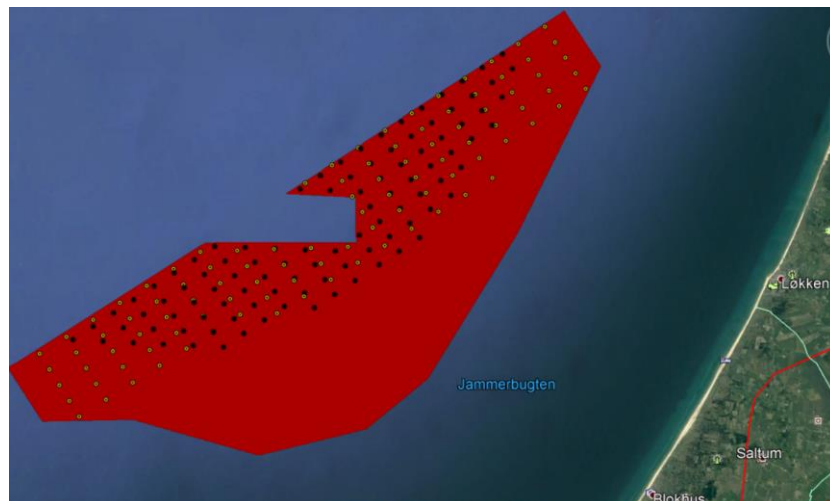
Jammerbugten vindpark udlægges til den fulde kapacitet på 800 MW, og i denne undersøgelse indgår 2 forskellige layout for parken omfattende forskellige placeringer af møller samt transformerplatform. Overordnet layout for Jammerbugten fremgår af Figur 3-22.



Figur 3-22 Jammerbugten vindpark, overordnet layout

### 3.3.1 Parklayout & 66 kV kabler

Jammerbugten er et område med begrænsede muligheder for mølleplaceringer. To foreløbige layout er udarbejdet til placering af vindmøllerne. Figur 3-23 angiver 2 parklayout, som danner grundlag for udarbejdelsen af de elektriske opsamlingsanlæg i parken og nettilslutningen til eksisterende Ferslev hovedstation.



Figur 3-23 overordnet situationsplan - Jammerbugten – Havbaseret Anlæg

### 3.3.2 Parklayout 1

#### 3.3.2.1 General

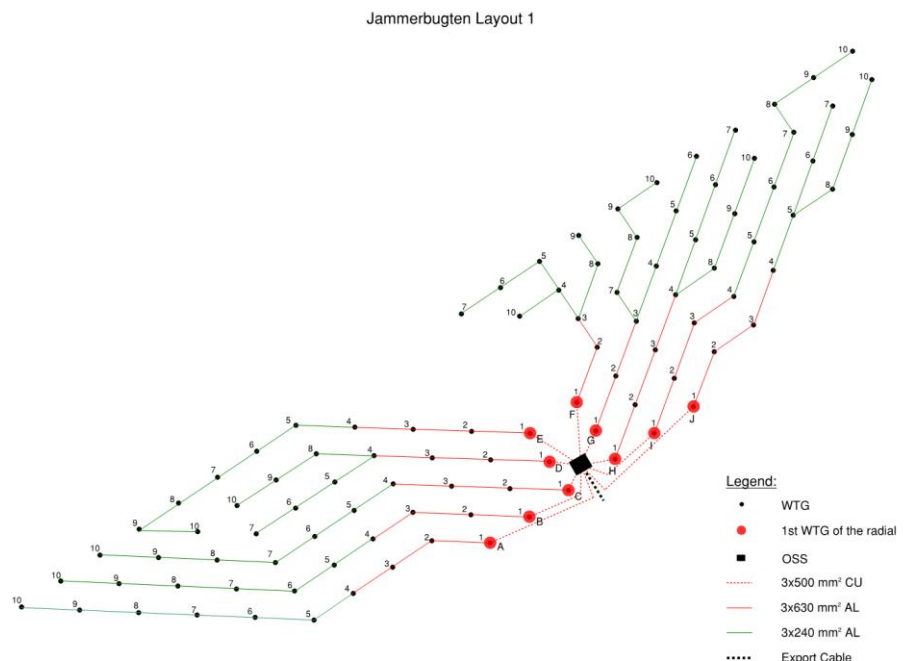
Parklayout 1 er baseret på en konfiguration med møllerne tæt placeret og transformerplatform placeret i den centrale del af området. Figur 3-24 angiver placeringen af møller samt eksportkabler.



Figur 3-24 Parklayout 1 - Jammerbugten

### 3.3.2.2 Arraykabel topologi

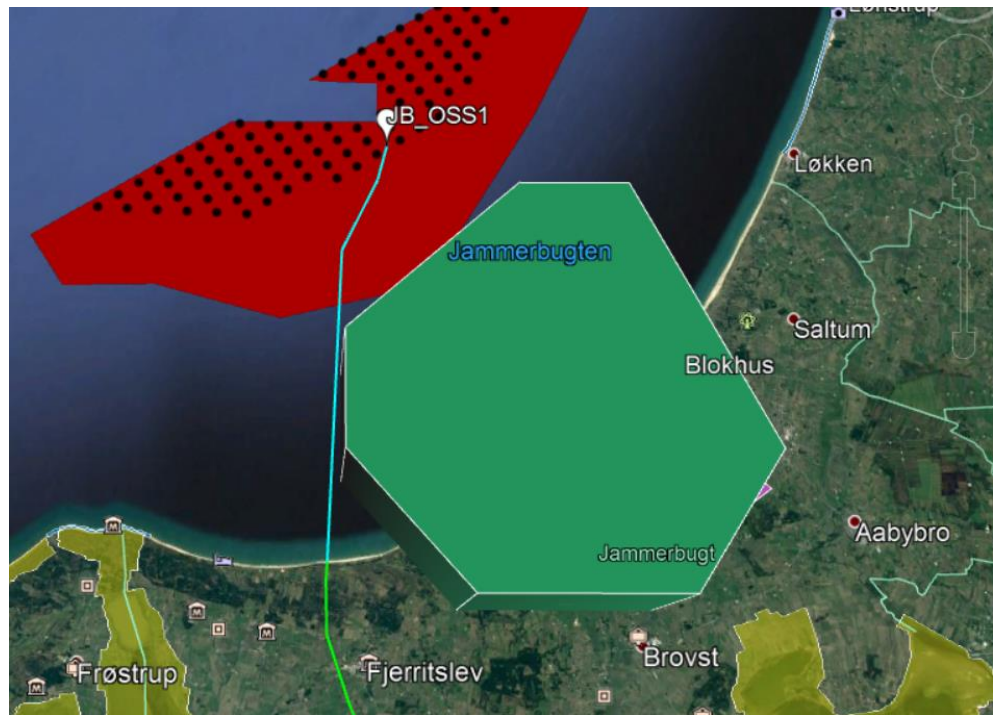
Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-25



Figur 3-25 Arraykabel topologi 1 – Jammerbugten

### 3.3.2.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne uden om militærområdet beliggende syd for Blokhus. Linjeføring fremgår af Figur 3-26.

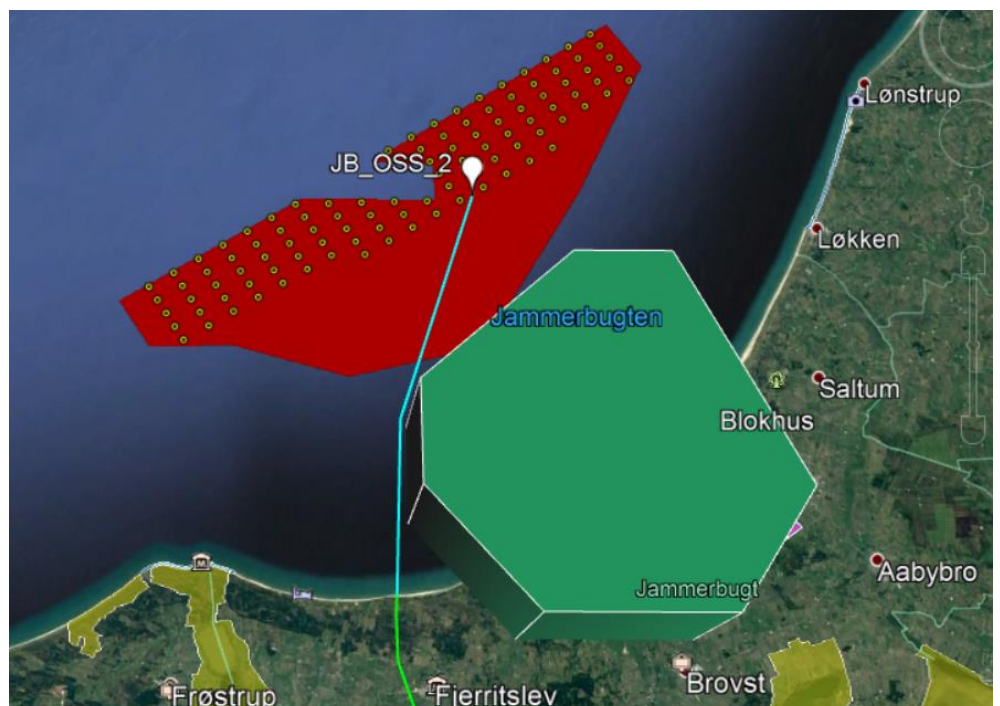


Figur 3-26 Eksport søkabel – Jammerbugten layout 1

### 3.3.3 Parklayout 2

#### 3.3.3.1 General

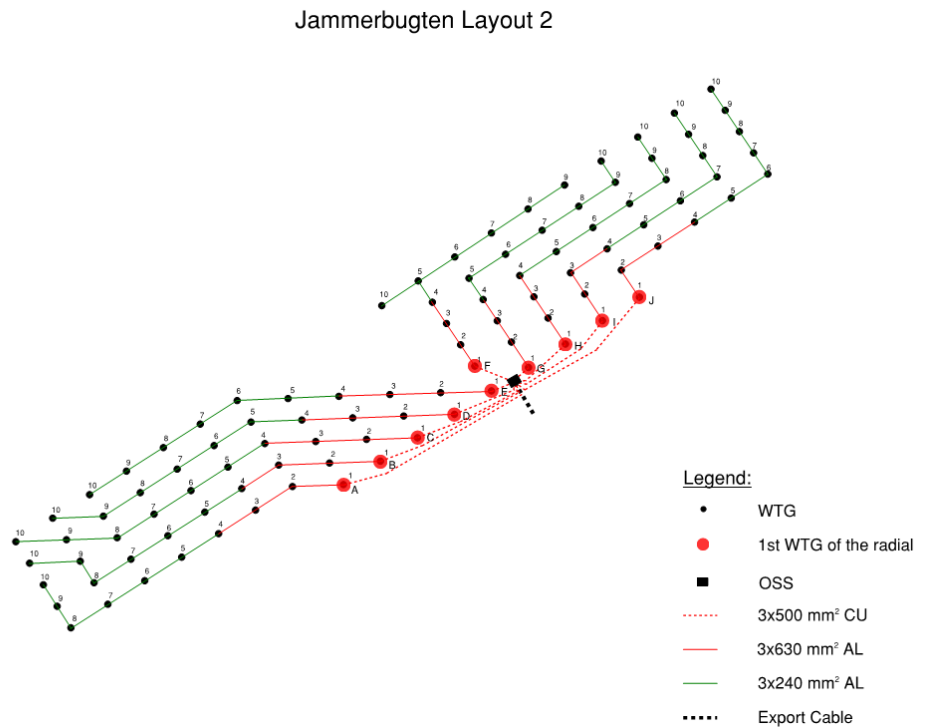
Parklayout 2 er baseret på en konfiguration med møllerne placeret over størst muligt område og transformerplatform placeret i den centrale del af området. Figur 3-27 angiver placeringen af møller samt eksportkabler.



Figur 3-27 Parklayout 2 - Jammerbugten

### 3.3.3.2 Arraykabel topologi

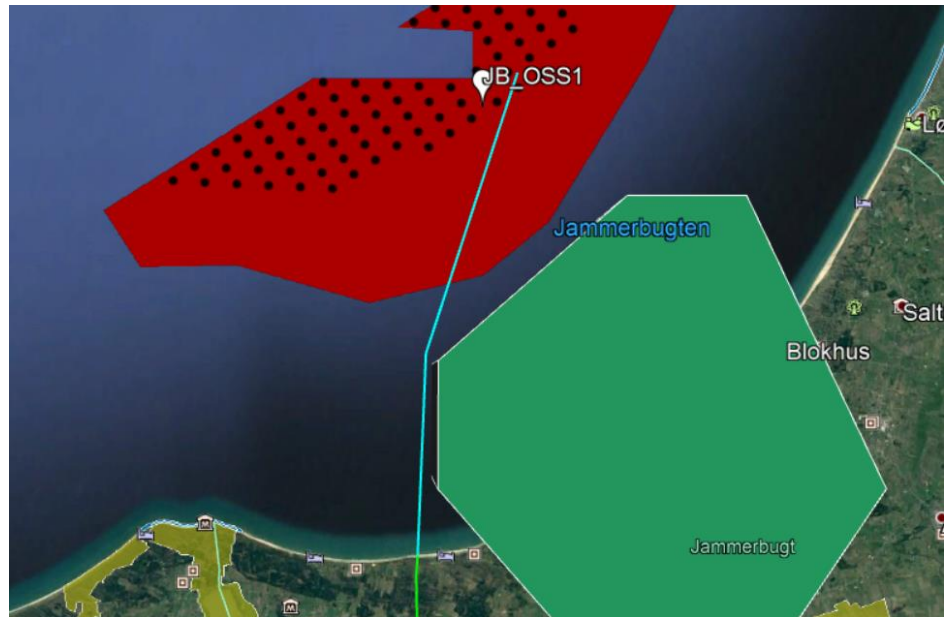
Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-28



Figur 3-28 Arraykabel topologi 2 - Jammerbugten

### 3.3.3.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand samt med henblik på at føre kablerne uden om militærområdet beliggende syd for Blokhus. Linjeføring fremgår af Figur 3-29.



Figur 3-29 Eksport søkabel – Jammerbugten layout 2

### 3.3.4 Fælles forhold for begge parklayout

#### 3.3.4.1 Arraykabler

Arraykabler påregnes installeret ved udlægning på havbunden, hvorefter de spules ned i havbunden til en dybde på ca. 1-1,5 m.

#### 3.3.4.2 Eksport søkabler

Eksportkablerne påregnes installeret ved nedplovning til en dybde på ca. 2,5 m. Der skal påregnes øget kabelinstallationsdybde på grund af sedimenttransport langs vestkysten.

#### 3.3.4.3 Ilandføring

Punktet for Ilandføring er i dette studie valgt til at være i området vest for Kollerup Strand (Figur 3-30). Kyststrækningen er bestående af sandstrand og klitter, hvilket betyder, at specielle forhold kan gøre sig gældende i forbindelse med ilandføring. Det må blandt andet påregnes, at eksportkablerne skal føres gennem klitområdet ved hjælp af horisontalstyret boring (HDD).



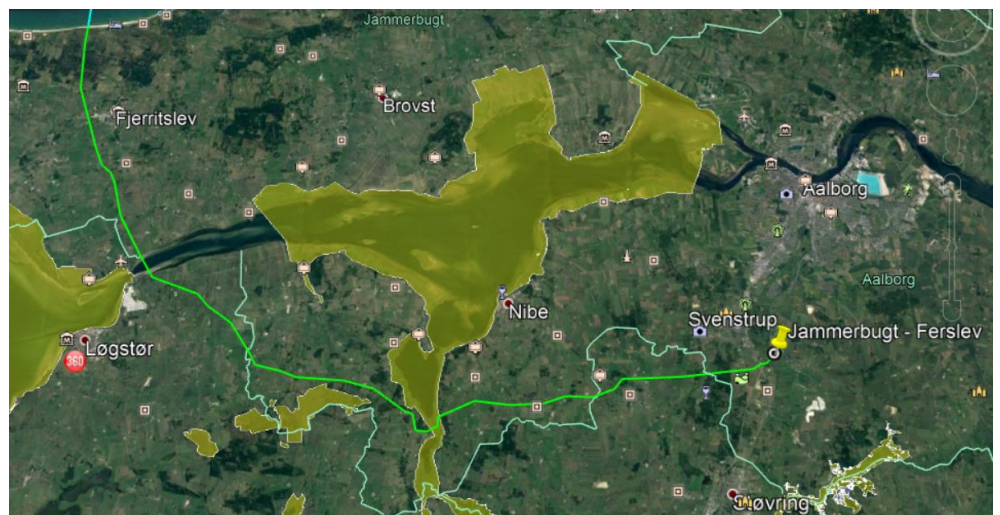
Figur 3-30 Ilandføring syd for Øby

#### 3.3.4.4 Landbaserede eksportkabel

Der skal etableres kabeltrace fra ilandføringssted til Energinet's hovedstation Ferslev. Linjeføringen vurderes til at være af lav kompleksitet, da strækningen fra ilandføringsstedet til Hovedstation Ferslev foregår i landområde med lav bebyggelsestæthed. Eksportkablerne skal krydse Limfjorden ved Aggersund hvilket udføres som en styret underboring. Den angivne linjeføring vil desuden krydse veje og baneanlæg. Følgende krydsninger antages udført som styrede underboringer:

- > 16 stk. vejkrydsninger
- > 1 stk. jernbanekrydsning
- > 1 stk. Krydsning under Limfjorden (~1.500 m)

Linjeføring fremgår af Figur 3-31.



Figur 3-31 Linjeføring af landbaseret eksportkabel til Hovedstation Ferslev



Den angivne linjeføring krydser, øst for Skørbæk, et område klassificeret som Natura 2000. Det vurderes, at krydsningen af Natura 2000 området kan foretages uden nævneværdige udfordringer hvis kablerne føre uden om området udpeget som naturtype "rigkær", samt krydsning af åløbet foretages med styret underboring (HDD). Der skal i forbindelse med projektet foretages de nødvendige ansøgninger og godkendelser relateret til krydsning af Natura 2000 området, hvor det bl.a. skal påvises at den anviste kabelrute ikke har en væsentlig påvirkning på området.

### 3.3.4.5 Vindmølletransformerstation – Ferslev

220/400 kV vindmølletransformerstation ved Ferslev vurderes at kunne blive placeret i umiddelbar nærhed af den eksisterende Energinet ejede hovedstation, som er placeret i landområde se Figur 3-32.



Figur 3-32 Hovedstation Ferslev

### 3.3.5 Loadflow

Der er foretaget en simplificeret loadflow beregning (afdækning af strøm, spænding, effekttab) af de forskellige parklayout. Beregningerne af effekttab er summeret i nedenstående Tabel 3-3.

Effekt tab	Parklayout	
	1	2
Samlet system tab [MW]	27,1	30,1
Effekt leveret [MW]	≈773	≈770
Samlet system tab [%]	3,38	3,77

Tabel 3-3 Effekttabsberegning - Jammerbugten

Der refereres yderligere til Appendix A, hvor max/min produktion scenariet er vist.

### 3.3.6 Kabelsystemer

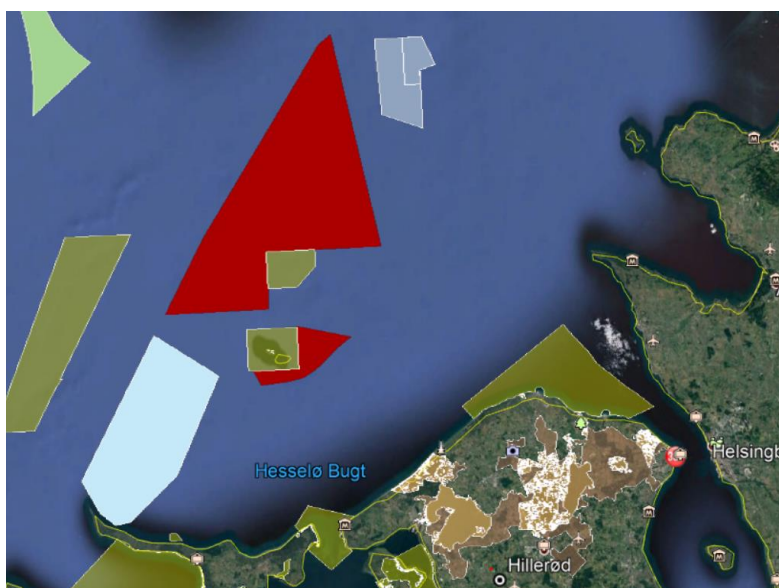
Som basis for loadflow beregninger samt kostestimater er længden på kabelsystemerne estimeret. Kabellængder er summeret i nedenstående Tabel 3-4.

	Parklayout	
	1 [km]	2 [km]
<b>Arraykabler (66 kV)</b>		
3x240 mm <sup>2</sup> Al	107	112
3x500 mm <sup>2</sup> Cu	23	43
3x630 mm <sup>2</sup> Al	52	55
<b>Eksport søkabler (220 kV)</b>		
Kabelrute	29	30
3x1600 mm <sup>2</sup> Cu	58	60
<b>Eksport landkabler (220 kV)</b>		
Kabelrute	56	56
3x1x2000 mm <sup>2</sup> Al	112	112

Tabel 3-4 Kabellængder – Jammerbugten

## 3.4 Hesselø

Hesselø vindpark udlægges til den fulde kapacitet på 800 MW, og i denne undersøgelse indgår 2 forskellige layout for parken omfattende forskellige placeringer af møller samt transformerplatform i det nordlige segment. Overordnet layout for Hesselø fremgår af Figur 3-33.



Figur 3-33 Hesselø vindpark, overordnet layout

### 3.4.1 Parklayout & 66 kV kabler

Hesselø er et område med begrænsede muligheder for mølleplaceringer. To foreløbige layout er udarbejdet til placering af vindmøllerne. Figur 3-34 angiver

de 2 parklayout som danner grundlag for udarbejdelsen af de elektriske opsamlingsanlæg i parken og nettilslutningen til eksisterende hovedstation Gørløse (layout 1A og 1A) og alternativt til eksisterende hovedstation ved Kyndbyværket (layout 2A og 2B).



Figur 3-34 overordnet situationsplan - Hesselø - Havbaseret Anlæg

## 3.4.2 Parklayout 1A og 1B

### 3.4.2.1 General

Parklayout 1A og 1B er baseret på en konfiguration med møller placeret i den sydlige del af området og transformertplatform centralt placeret. Figur 3-35 angiver placeringen af møller.

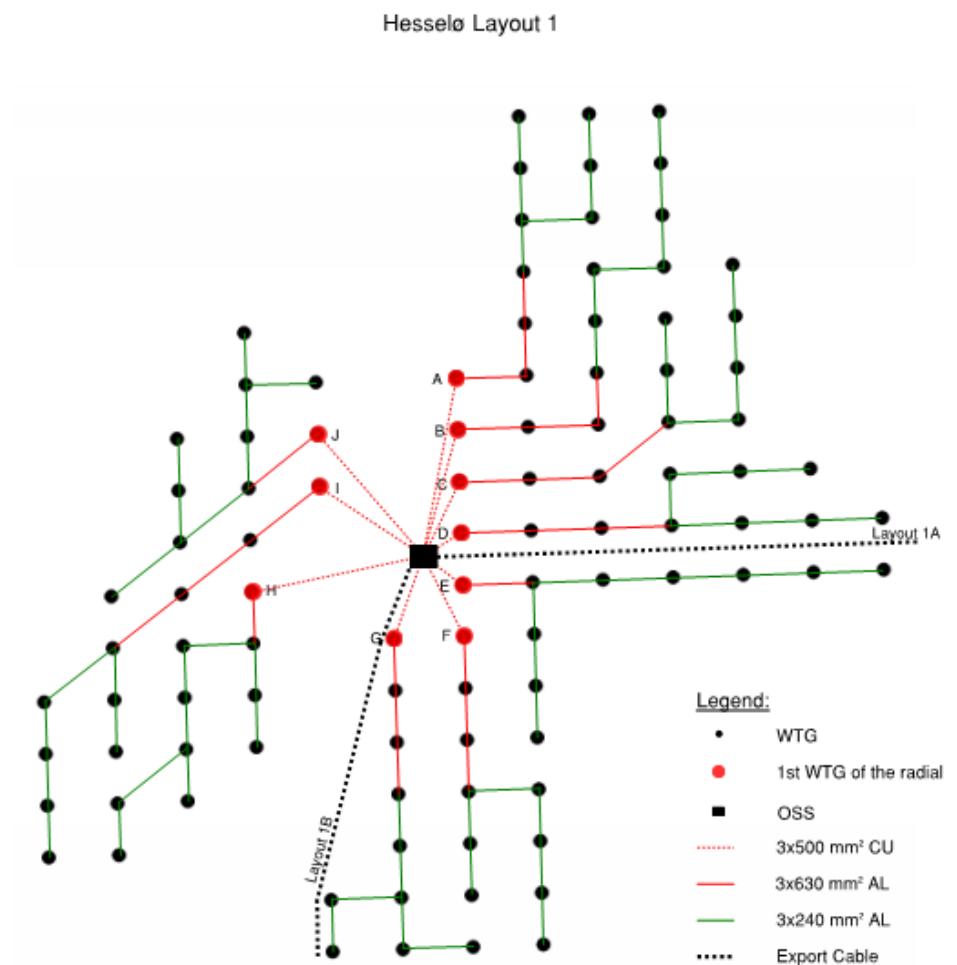
Parklayout 1A baseres på ilandføring i området mellem Rågeleje og Vejby Strand og tilslutning til hovedstation Gørløse. Parklayout 1B baseres på ilandføring ved Kyndbyværket.



Figur 3-35 Parklayout 1 - Hesselø

### 3.4.2.2 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-36



Figur 3-36 Arraykabel topologi 1 - Hesselø

### 3.4.2.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand.

Linjeføringen for eksport søkablerne til layout 1A er valgt således at kablerne friholdelse af militærområdet beliggende øst for Hesselø. Linjeføring fremgår af Figur 3-37

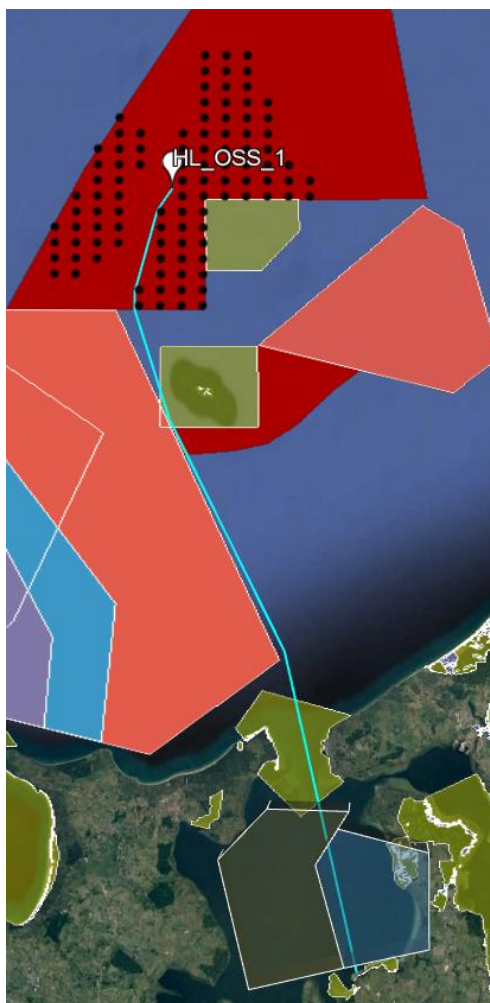


Figur 3-37 Eksport søkabel – Hesselø layout 1A

Linjeføringen for eksportsøkablerne til layout 1B er valgt således, at kablerne føres direkte mellem transformerplatform og ilandføringssted ved Kyndbyværket. Linjeføring fremgår af Figur 3-38.

Linjeføringen krydser Natura2000 område nr. 153 Havet og kysten mellem Hundested og Rørvig. I området ved Isefjords udmundning er der to marine naturtyper på udpegningsgrundlaget; sandbanke og bugt. De store lavvandede områder er delvis dækket af ålegræs ud til en dybde på omkring 4-5 meter, men bestanden er over store områder meget tynd. Under isvintre samles store flokke af edderfugle og dykænder i området. Kabellægning igennem de omtalte naturtyper vil i begge områder sandsynligvis ikke påvirke deres bevaringsstatus væsentligt. Der vil dog være markante fysiske forstyrrelser i korridoren ved anlæg og i området omkring Hesselø kan man risikere at forstyrre sælbestandene i anlægsfasen. Det gør sig også gældende for edderfugle i Isefjord. Det vurderes ikke at være umuligt at nedlægge kabler igennem de omtalte områder, men det skal forventes at der som minimum skal gennemføres en væsentlighedsvurdering af mulige påvirkninger på Natura 2000 områderne og deres udpegningsgrundlag, og eventuelt også en konsekvensvurdering, hvis væsentlige påvirkninger ikke kan udelukkes.

Der skal tillige tages højde for at linjeføringen krydser gennem et større militærområde i Isefjord. Det har ikke været muligt, i denne fase, at klarlægge eventuelle forhold, som skulle besværliggøre installationen i dette område.



Figur 3-38 Eksport søkabel – Hesselø layout 1B

### 3.4.3 Parklayout 2A og 2B

#### 3.4.3.1 General

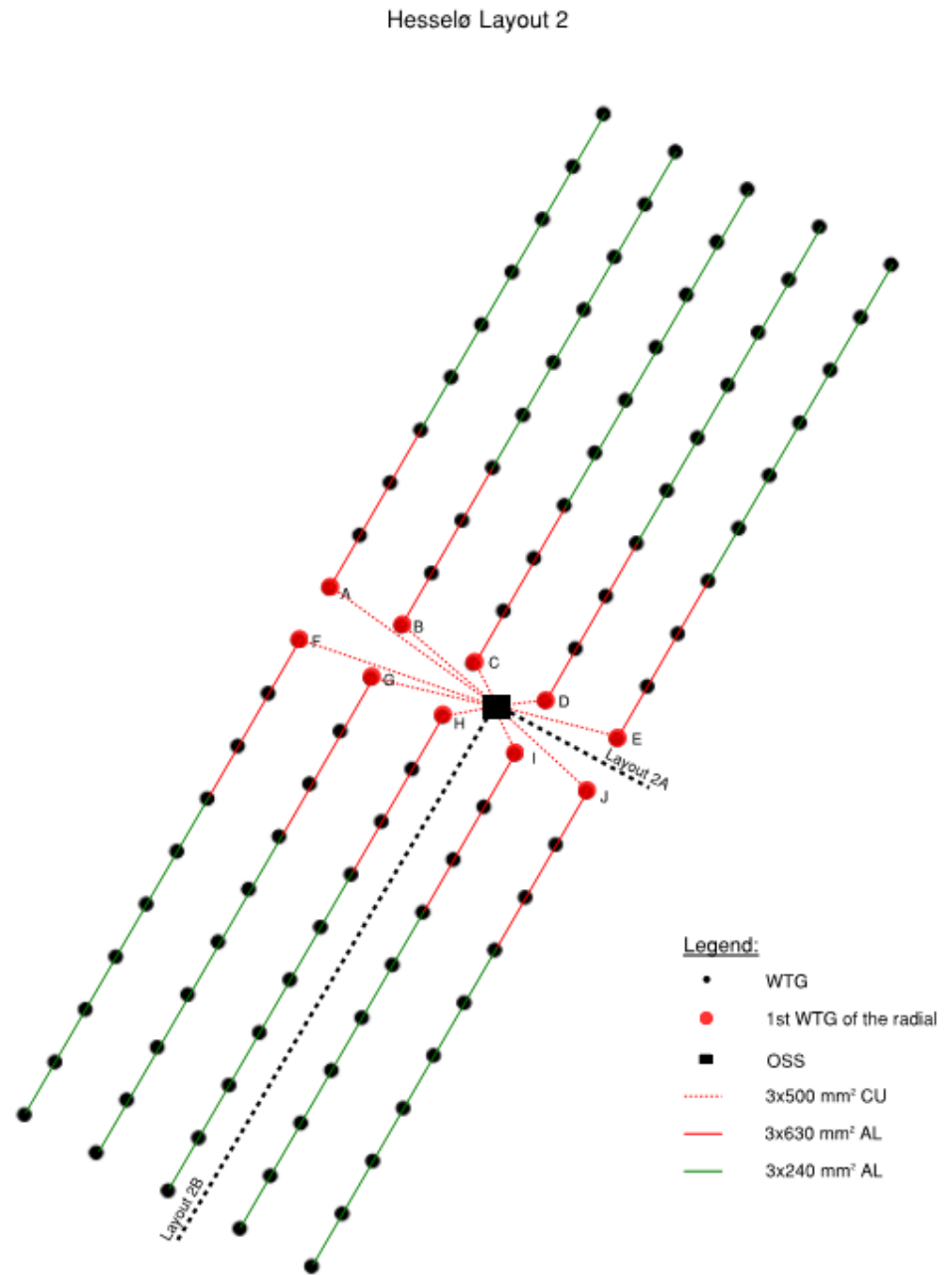
Parklayout 2A og 2B er baseret på en konfiguration med møller placeret over størst muligt område og transformerplatform placeret i den centrale del af området. Figur 3-39 angiver placeringen af møller samt eksportkabler.



Figur 3-39 Parklayout 2 -Hesselø

### 3.4.3.2 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-40.



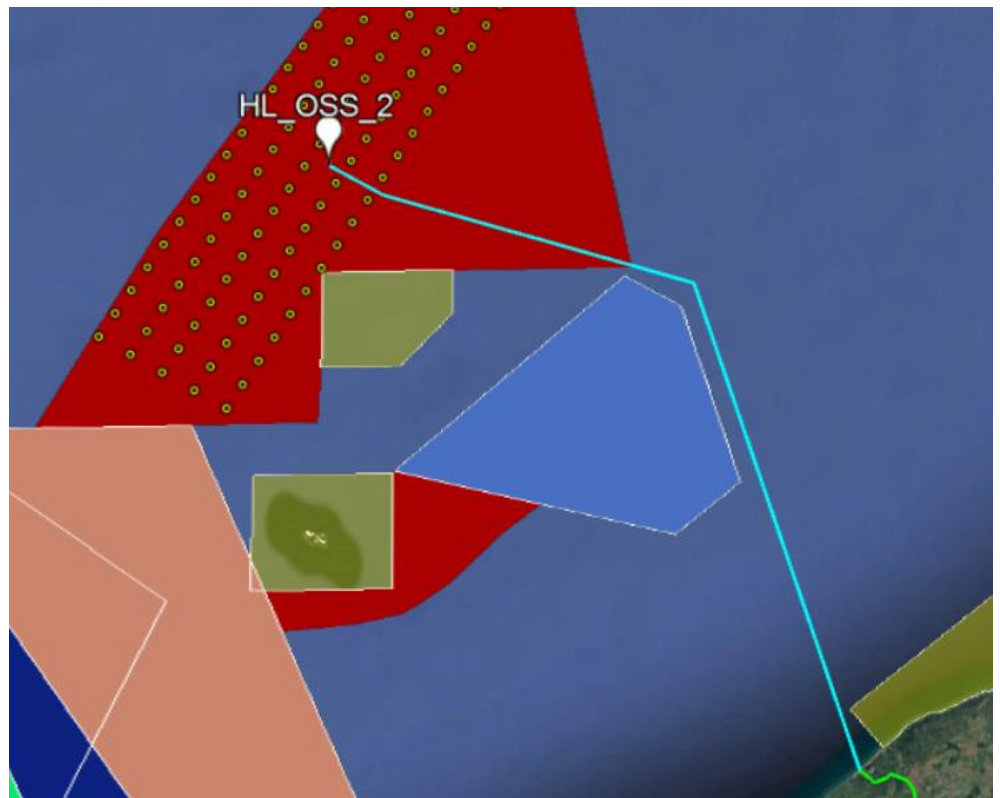
Figur 3-40 Arraykabel topologi 2 – Hesselø

### 3.4.3.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet.

For layout 2A er linjeføringen valgt med henblik på korteste afstand mellem transformerplatform og ilandføringsstedet sy for Rågeleje, mens militærområdet øst for Hesselø friholdes. Linjeføring fremgår af Figur 3-41.

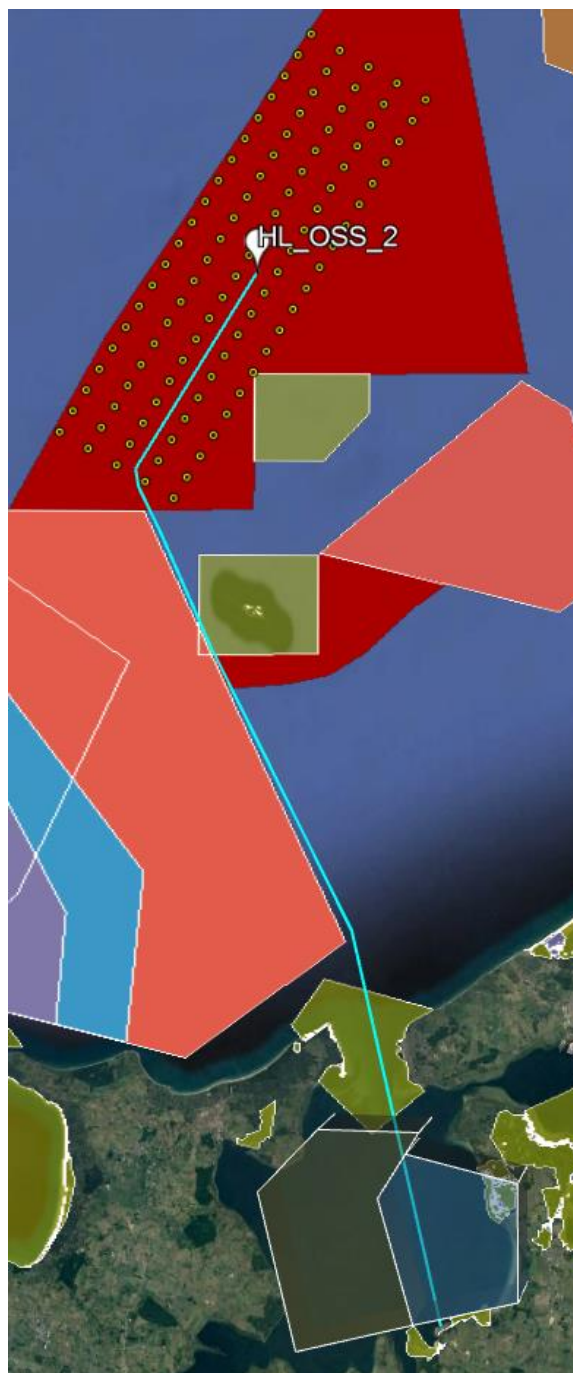




Figur 3-41 Eksport søkabel – Hesselø layout 2A

For layout 2B er linjeføringen valgt med henblik på korteste afstand mellem transformerplatform og ilandføringsstedet ved kyndbyværket. Linjeføring fremgår af Figur 3-42

Forhold omkring installation af søkabler i Isefjord er beskrevet under afsnit 3.4.2.3



Figur 3-42 Eksport søkabel – Hesselø layout 2B

### 3.4.4 Fælles forhold for begge parklayout

#### 3.4.4.1 Arraykabler

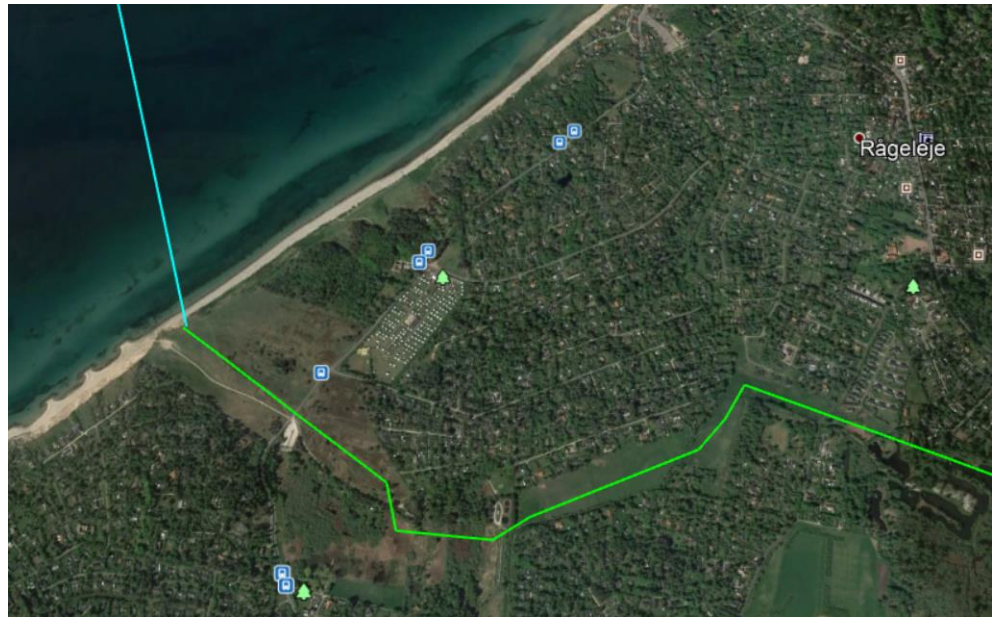
Arraykabler påregnes installeret ved udlægning på havbunden, hvorefter de spules ned i havbunden til en dybde på ca. 1-1,5 m.

#### 3.4.4.2 Eksport søkabler

Arraykabler påregnes installeret ved nedplovning til en dybde på ca. 1-1,5 m.

### 3.4.4.3 Ilandføring

For layout 1A og 2A er punktet for Ilandføring valgt til at være i området mellem Rågeleje og Vejby Strand (Figur 3-43). Kyststrækningen er bestående af sandstrand og er let tilgængelig, men området er tæt bebygget med fritidshuse, hvilket betyder, at specielle forhold kan gøre sig gældende i forbindelse med ilandføring.



Figur 3-43 Ilandføring syd for Rågeleje

For layout 1B og 2B er punktet for Ilandføring valgt til at være i området ved Kyndbyværket, således at det landbaserede eksport kabel bliver så kort som muligt. (Figur 3-44)



Figur 3-44 Ilandføring ved Kyndbyværket

#### 3.4.4.4 Landbaserede eksportkabel

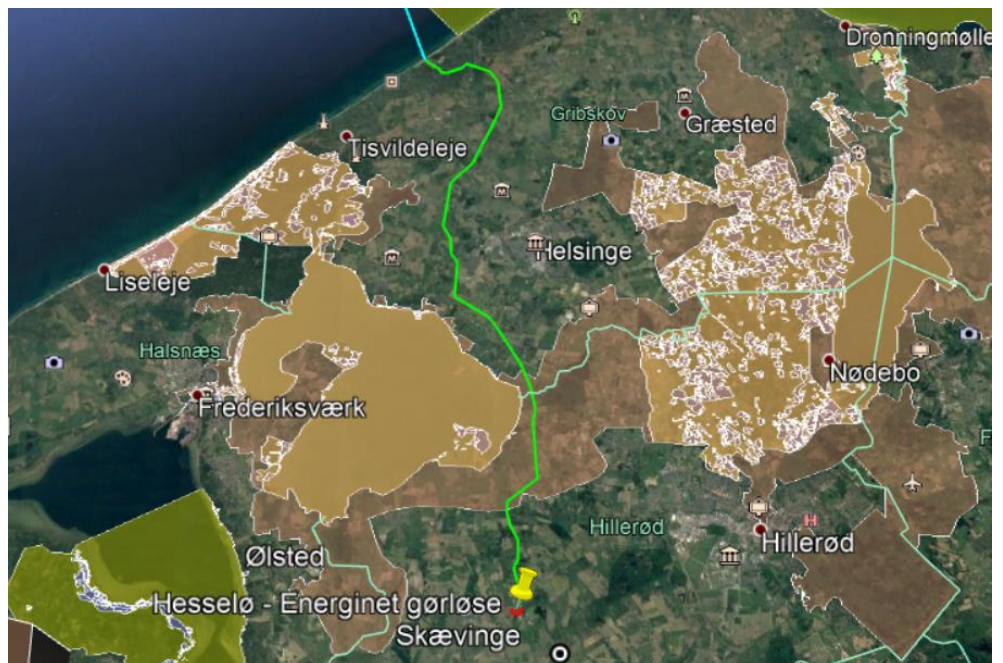
Der skal for layout 1A og 2A etableres kabeltrace fra ilandføringssted til Energinet's hovedstation Gørsløse. Linjeføringen vurderes til at være af medium kompleksitet, da kablerne skal føres igennem et større område er klassificeret som nationalpark. Kabelruten nord øst for Arresø er valgt som alternativ til en undersøgt rute vest om Arresø, da det i det område vil være nødvendigt at føre kabelruten øst om Frederiksværk, hvorved kabelruten føres ind i et område klassificeres som Natura 2000.

Det vurderes muligt at føre kablerne gennem området klassificeret som nationalpark under hensyntagen til de almindelige regler for natur og kulturbeskyttelse der skal tages hensyn til ved anlæg af kablet. Den angivne kabelrute er valgt således at den undgår større skovområder. Det må dog uanfægtet heraf kunne forekomme indsigelser fra lokale interesseorganisationer. Der må desuden i det Nordsjællandske område påregnes forekomster af Arkæologisk interesse som kan anses som en risikofaktor for projektet.

Følgende krydsninger antages udført som styrede underboringer:

- > 12 stk. vejkrydsninger
- > 1 stk. jernbanekrydsning

Linjeføringen er inddikeret på Figur 3-45.



Figur 3-45 Linjeføring af landbaseret eksportkabel til hovedstation Gørsløse

Landbaseret eksportkabel for layout 2A og 2B er ikke medtaget da det antages at tilslutningspunkt bliver i umiddelbar nærhed af ilandføringsstedet.

#### 3.4.4.5 Vindmølletransformerstation – Gørløse

220/400 kV vindmølletransformerstation ved Hovedstation Gørløse vurderes at kunne blive placeret i umiddelbar nærhed af den eksisterende Energinet ejede hovedstation, som er placeret i landområde se Figur 3-46.



Figur 3-46 Hovedstation Gørløse

Forbindelse mellem vindmølletransformerstation og respektive hovedstation foretages på 400 kV niveau. Detaljer herom er ikke indeholdt i nærværende analyse.

#### 3.4.4.6 Vindmøllestation Kyndby

220/400 kV vindmølletransformerstation ved Hovedstation Gørløse vurderes at kunne blive placeret i umiddelbar nærhed af den eksisterende Energinet ejede hovedstation Kyndby se Figur 3-47.



Figur 3-47 Hovedstation Kyndby

Forbindelse mellem vindmølletransformerstation og respektive hovedstation foretages på 400 kV niveau. Detaljer herom er ikke indeholdt i nærværende analyse.

### 3.4.5 Loadflow

Der er foretaget simplificeret loadflow beregning (afdækning af strøm, spænding, effekttab) af de forskellige parklayout. Beregningerne af effekttab er summeret i nedenstående Tabel 3-5.

Effekt tab	Parklayout			
	1A	2A	1B	2B
Samlet system tab [MW]	23,5	25,3	21,5	24,9
Effekt leveret [MW]	≈777	≈775	≈778	≈775
Samlet system tab [%]	2,93	3,16	2,68	3,12

Tabel 3-5 Effekttabsberegning - Hesselø

Der refereres yderligere til Appendix A, hvor max/min produktion scenariet er vist.

### 3.4.6 Kabelsystemer

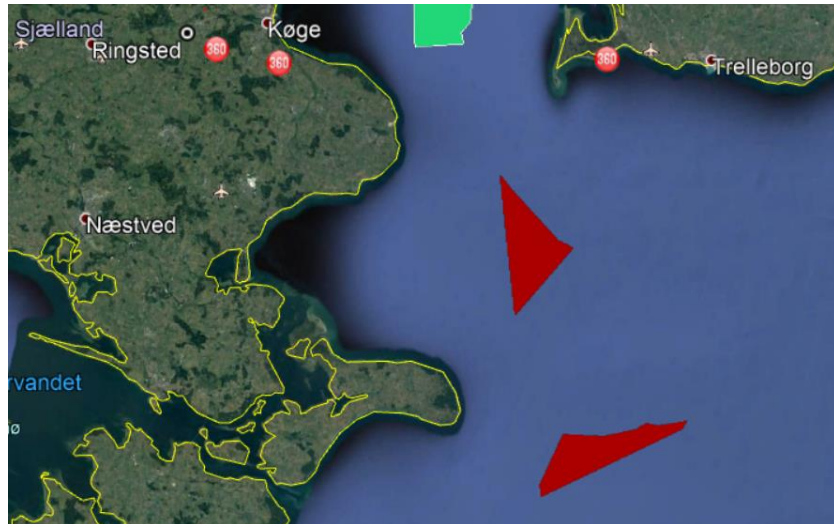
Som basis for loadflow beregninger samt kostestimater er længden på kabelsystemerne estimeret. Kabellængder er summeret i nedenstående Tabel 3-6.

	Parklayout			
	1A [km]	2A [km]	1B [km]	2B [km]
<b>Arraykabler (66 kV)</b>				
3x240 mm <sup>2</sup> Al	91	93	91	93
3x500 mm <sup>2</sup> Cu	27	29	27	29
3x630 mm <sup>2</sup> Al	37	47	37	47
<b>Eksport søkabler (220 kV)</b>				
Kabelrute	48	47	62	69
3x1600 mm <sup>2</sup> Cu	96	94	124	138
<b>Eksport landkabler (220 kV)</b>				
Kabelrute	25	25	0.5	0.5
3x1x2000 mm <sup>2</sup> Al	50	50	1	1

Tabel 3-6 Kabellængder – Hesselø

### 3.5 Kriegers Flak

Kriegers Flak vindpark indgår i undersøgelsen med 2 layout hvoraf layout 1 består af 100 møller, svarende til en samlet kapacitet på 800 MW og layout 2 består af 30 møller svarende til en kapacitet på 240 MW. Overordnet layout for Kriegers Flak fremgår af Figur 3-48.



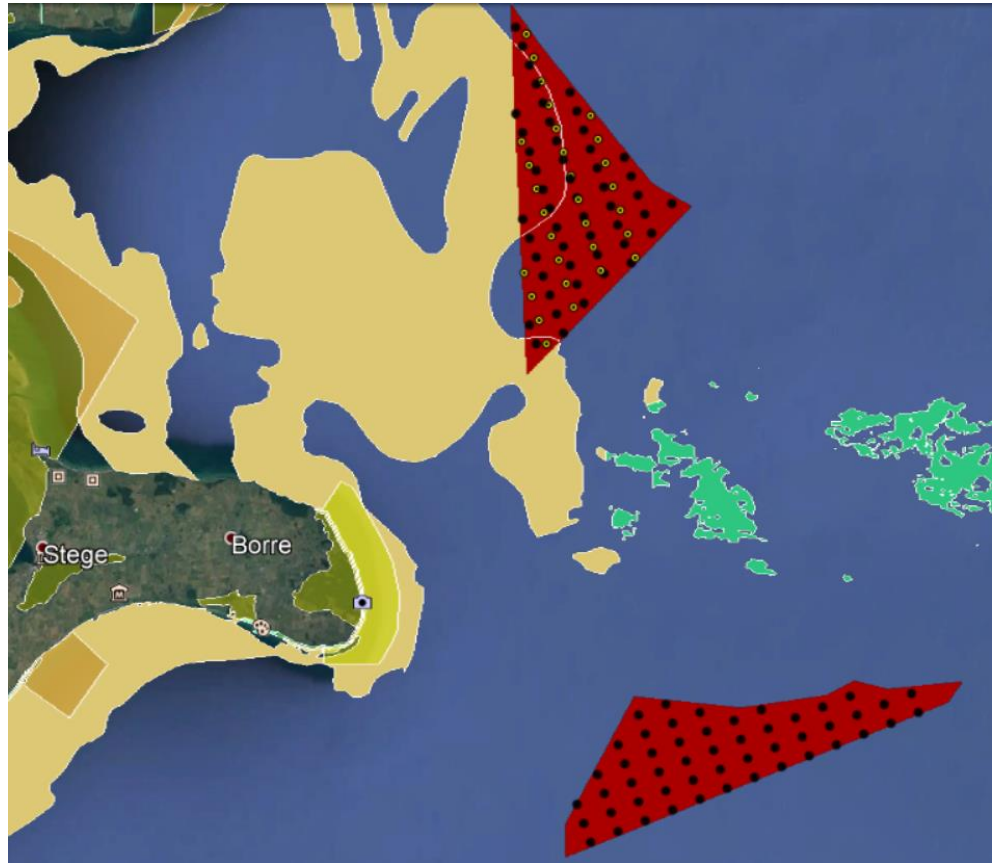
Figur 3-48 Kriegers Flak vindpark, overordnet layout

#### 3.5.1 Parklayout & 66 kV kabler

Kriegers Flak består af 2 sektorer, hvor begge skal udnyttes, hvis der skal opnås en installeret kapacitet på 800 MW. Undersøgelsen omfatter 2 layout med samlet kapacitet på hhv. 800 MW og 240 MW.

I layout 1 etableres 2 stk. transformersplatforme hver med en kapacitet på 400 MW og placeret i hver sin sektor. Eksportkabler fra transformersplatformen placeret i den sydlige sektor tilsluttes transformersplatformen i den nordlige sektor og der føres fælles eksportkabelsystem til land.

I layout 2 etableres 1 stk. transformersplatform i den nordlige sektor med en kapacitet på 240 MW. Med den reducerede kapacitet påregnes fremføring af kun 1 stk. eksportkabel fra transformersplatformen.



Figur 3-49 overordnet situationsplan - Hesselø – Havbaseret Anlæg

### 3.5.2 Parklayout 1

#### 3.5.2.1 General

Parklayout 1 er baseret på en konfiguration med møller og transformerplatforme placeret i både den nordlige og sydlige sektor. Figur 3-50 angiver placeringen af møller samt eksportkabler.

Den samlede kapacitet for layout 1 er 800 MW fordelt med 400 MW i hver sektor.

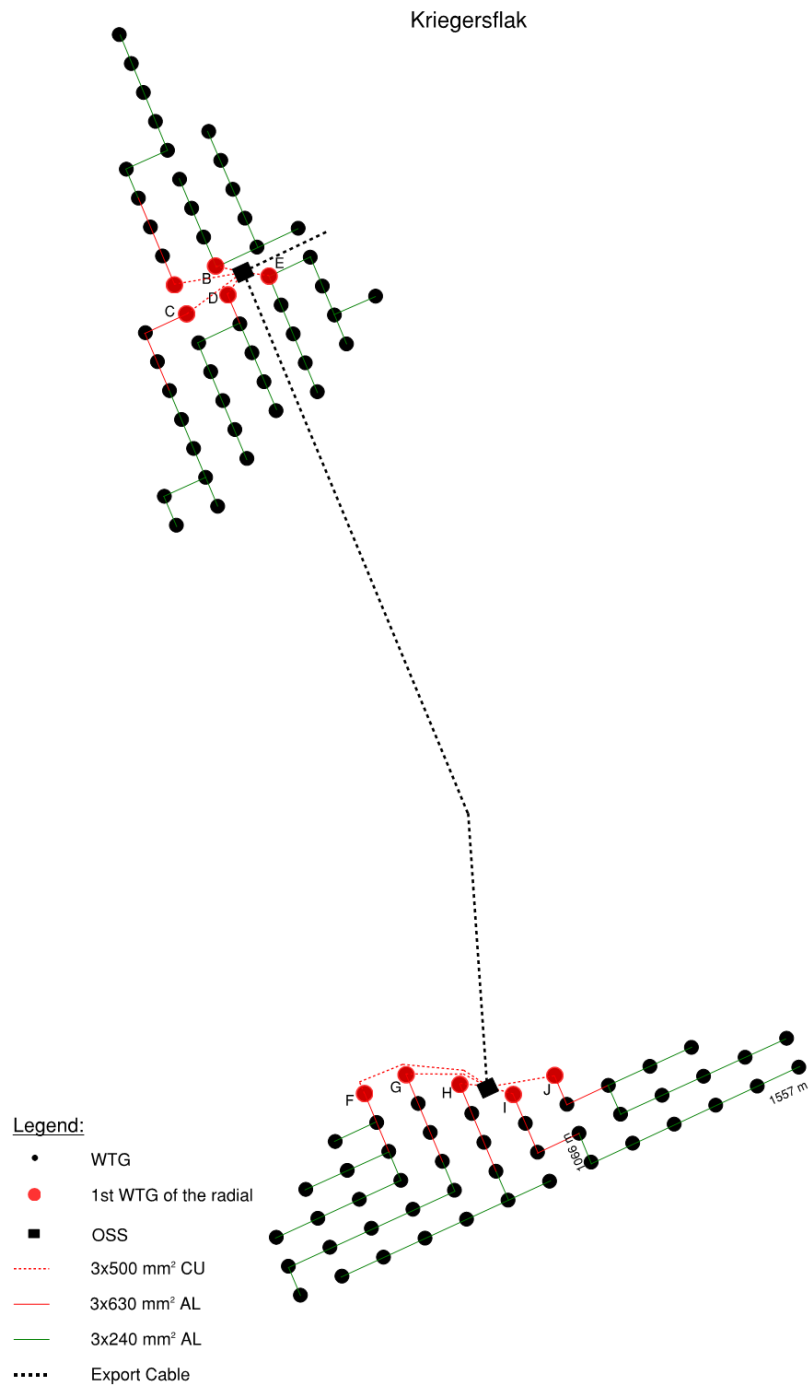




Figur 3-50 Parklayout 1 – Kriegers Flak

### 3.5.2.2 Arraykabel topologi

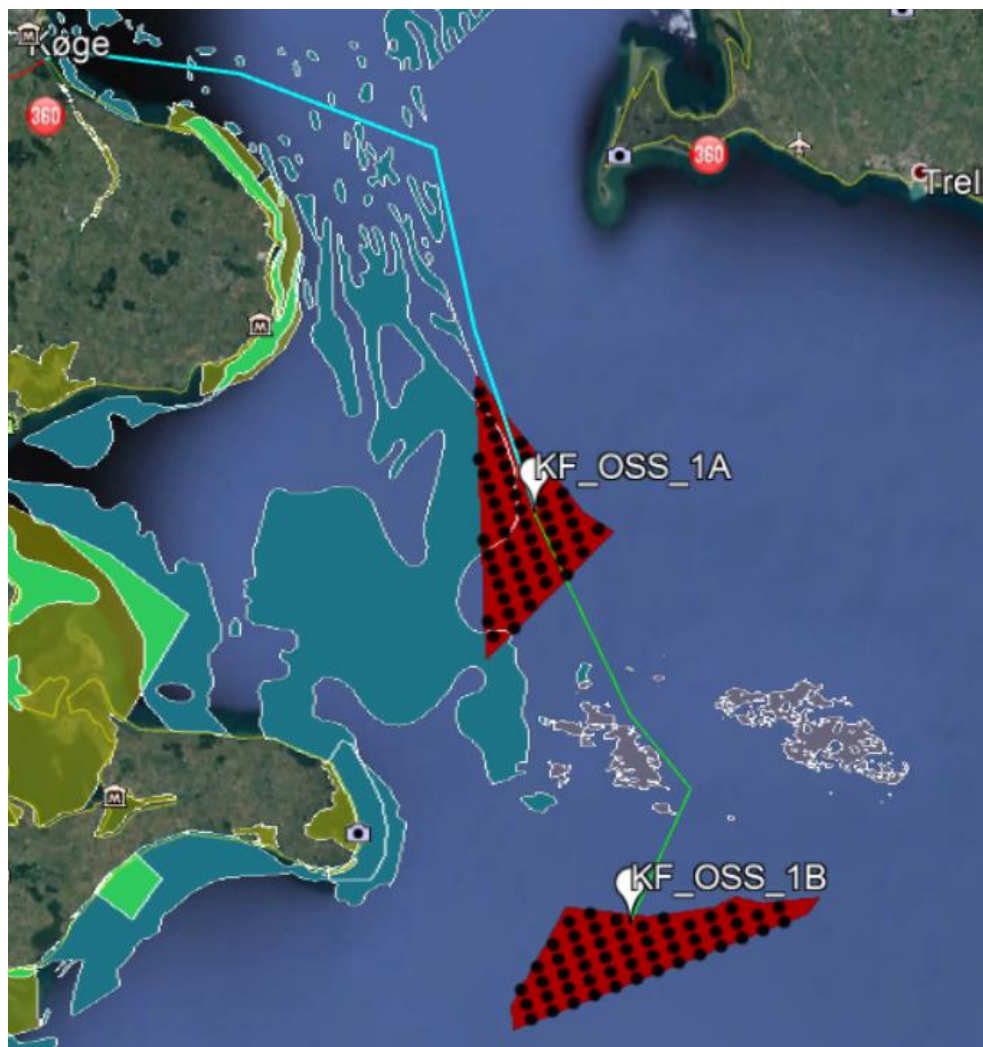
Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-51



Figur 3-51 Arraykabel topologi 1 – Kriegers Flak

### 3.5.2.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand. Der er stenrev i området som kan have indvirkning på kabelinstallationen. Linjeføring fremgår af Figur 3-52.



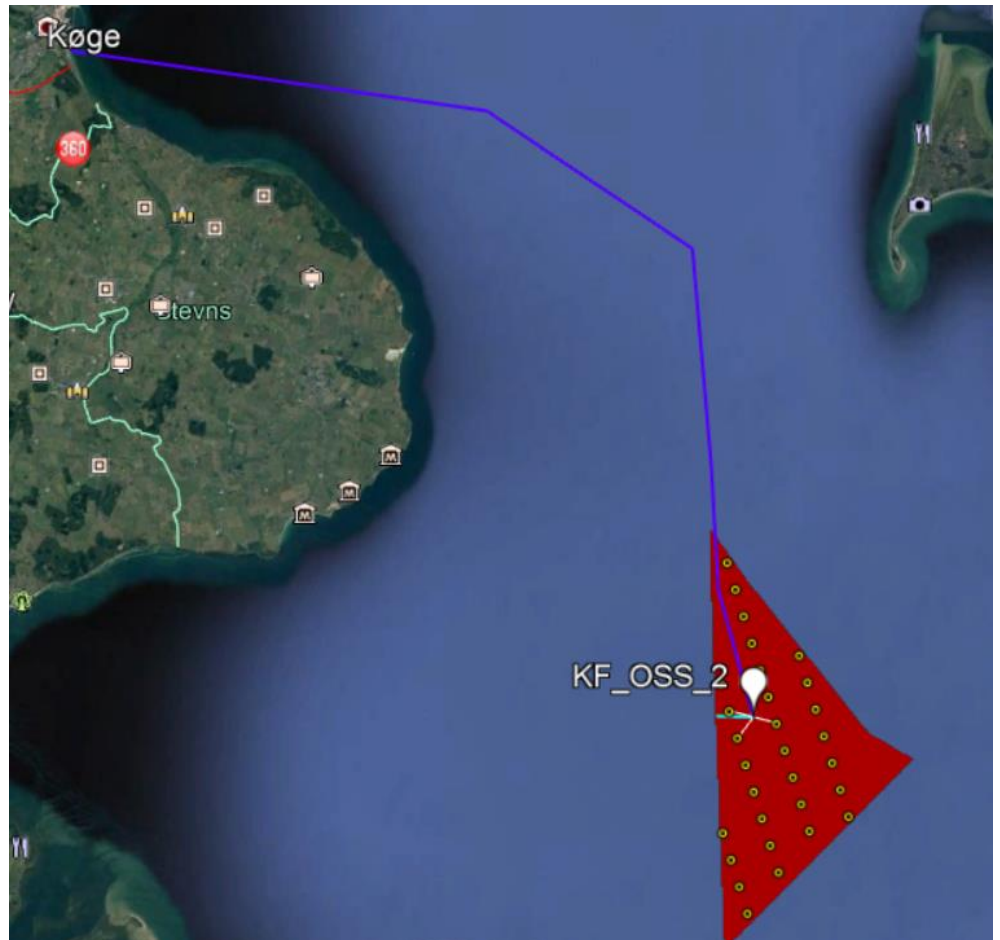
Figur 3-52 Eksport søkabel – Kriegers Flak 1

### 3.5.3 Parklayout 2

#### 3.5.3.1 General

Parklayout 2 er baseret på en konfiguration, hvor møllerne og transformerplatform placeres i den nordlige sektor, og den sydlige sektor forbliver uudnyttet. Figur 3-53 angiver placeringen af møllerne samt eksportkabel.

Den samlede kapacitet for layout 2 er 240 MW.

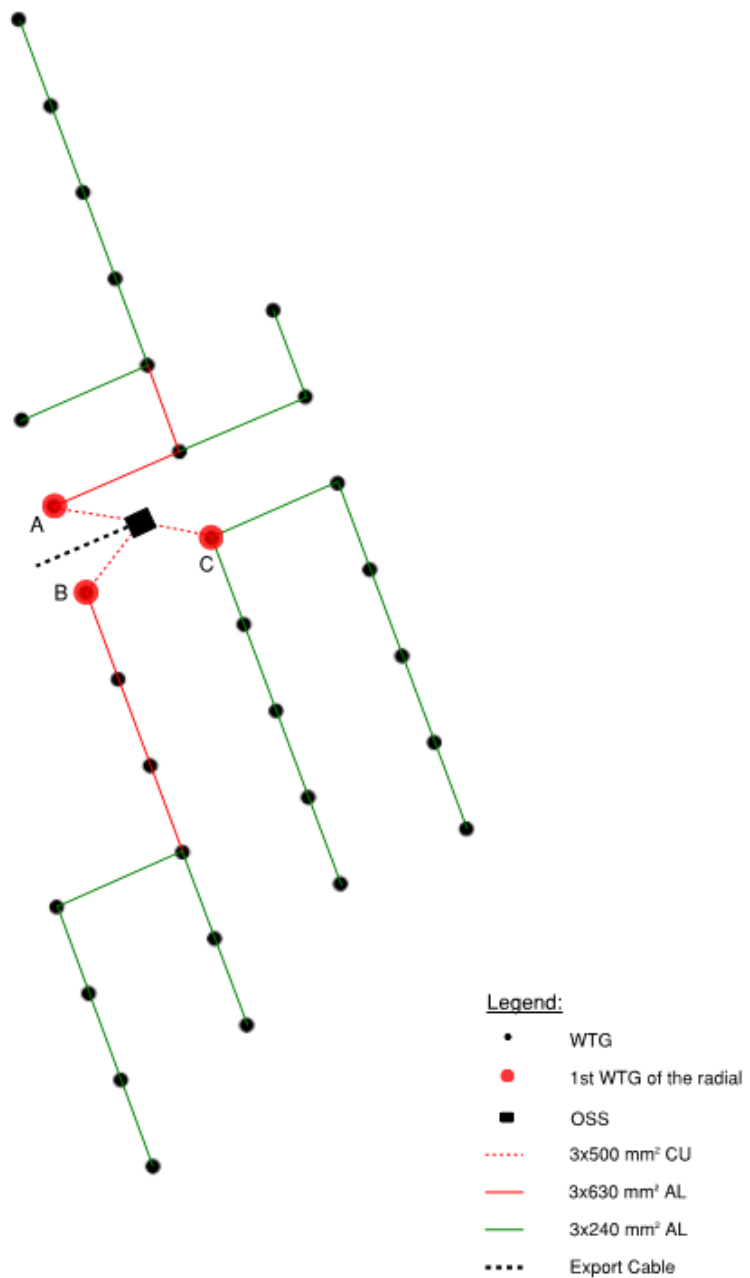


Figur 3-53 Parklayout 2 – Kriegers Flak

### 3.5.3.2 Arraykabel topologi

Der etableres 66 kV arraykabler mellem møllerne og mellem møller og transformerplatform i henhold til Figur 3-54.

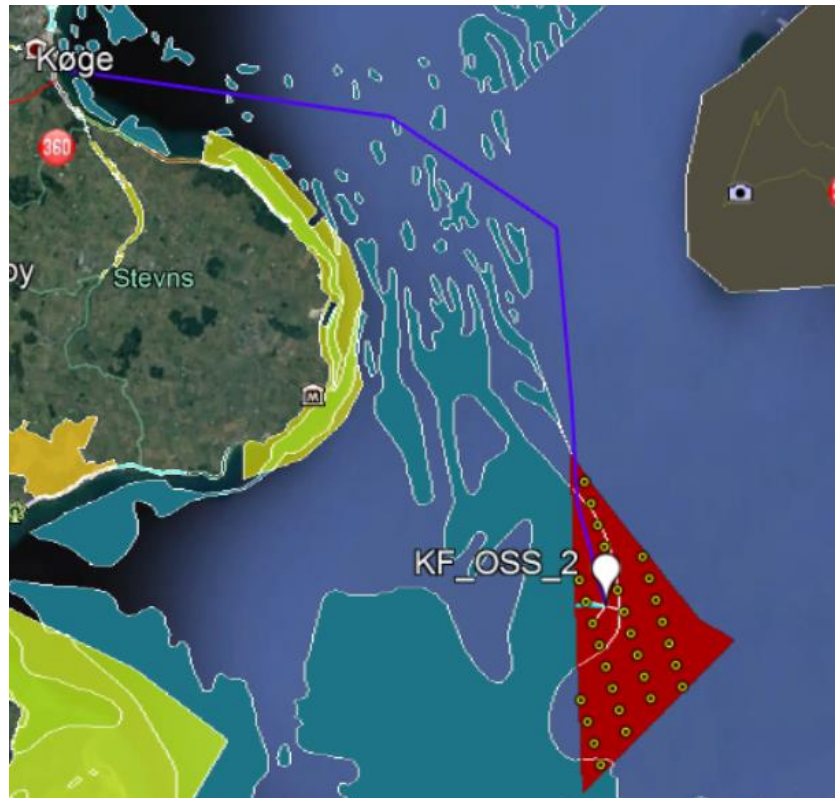
## Kriegersflak Layout 2



*Figur 3-54 Arraykabel topologi 2 – Kriegers Flak*

### 3.5.3.3 Eksport søkabel

Der etableres 220 kV eksport søkabler mellem transformerplatform og ilandføringsstedet. Linjeføringen er valgt med henblik på korteste afstand. Der er stenrev i området som kan have indvirkning på kabelinstallationen. Linjeføring fremgår af Figur 3-55.



Figur 3-55 Eksport søkabel – Kriegers Flak 2

### 3.5.4 Fælles forhold for begge parklayout

#### 3.5.4.1 Arraykabler

Arraykabler påregnes installeret ved udlægning på havbunden, hvorefter de spules ned i havbunden til en dybde på ca. 1-1,5 m.

#### 3.5.4.2 Eksport søkabler

Eksportkabler påregnes installeret ved nedplovning til en dybde på ca. 1-1,5 m.

#### 3.5.4.3 Ilandføring

Punktet for Ilandføring er i dette studie valgt til at være i området umiddelbart syd for Køge. (Figur 3-56). Kyststrækningen er bestående af sandstrand og er let tilgængelig, men i området ud for kysten er der en del stenrev, der skal tages højde for i forbindelse med kabelruteplanlægningen.



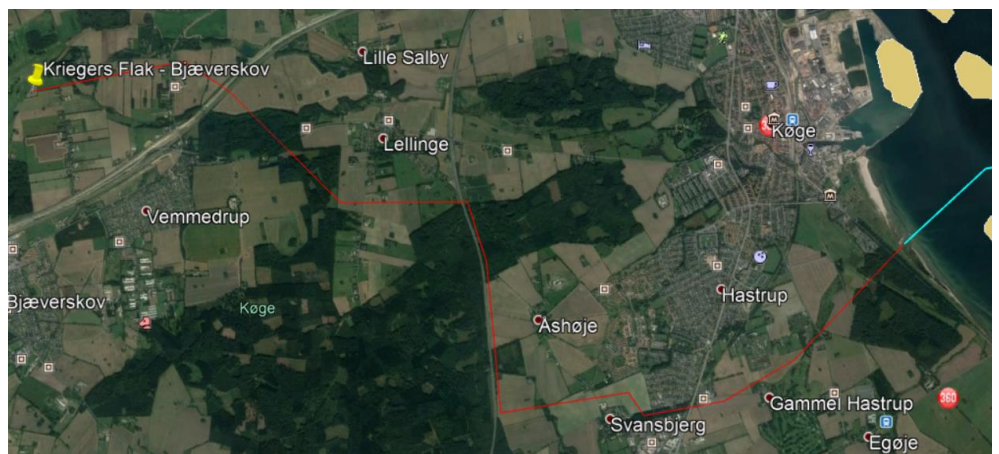
Figur 3-56 Ilandføring syd for Køge

#### 3.5.4.4 Landbaserede eksportkabel

Der skal etableres kabeltrace fra ilandføringssted til Energinet's hovedstation Bjæverskov. Linjeføringen vurderes til at være af lav kompleksitet, da linjeføringen er i landområde uden nævneværdig bebyggelse. Den angivne linjeføring vil krydse veje og baneanlæg. Følgende krydsninger antages udført som styrede underbøringer:

- > 15 stk. vejkrydsninger
- > 1 stk. jernbanekrydsning

Linjeføringen er indikeret på Figur 3-57



Figur 3-57 Linjeføring af landbaseret eksportkabel til hovedstation Bjæverskov

#### 3.5.4.5 Vindmølletransformerstation – Bjæverskov

220/400 kV vindmølletransformerstation ved Ferslev vurderes at kunne blive placeret i umiddelbar nærhed af den eksisterende Energinet ejede hovedstation, som er placeret i landområde se Figur 3-58.



Figur 3-58 Hovedstation Bjæverskov

Forbindelse mellem vindmølletransformerstation og Hovedstation Bjæverskov foretages på 400 kV niveau. Detaljer herom er ikke indeholdt i nærværende analyse.

### 3.5.5 Loadflow

Der er foretaget simplificeret loadflow beregning (afdækning af strøm, spænding, effekttab) af de forskellige parklayout. Beregningerne af effekttab er summeret i nedenstående Tabel 3-7.

Effekt tab	Parklayout	
	1	2
Samlet system tab [MW]	25,7	9,1
Effekt leveret [MW]	≈ 776	≈ 231
Samlet system tab [%]	3,22	3,80

Tabel 3-7 Effekttabsberegning – Kriegers Flak

Der refereres yderligere til Appendix A, hvor max/min produktion scenariet er vist.

### 3.5.6 Kablesystemer

Som basis for loadflow beregninger samt kostestimater er længden på kablesystemerne estimeret. Kabellængder er summeret i nedenstående Tabel 3-8.

	1 [km]	2 [km]
<b>Arraykabler (66 kV)</b>		
3x240 mm <sup>2</sup> Al	97	34



3x500 mm <sup>2</sup> Cu	20	4
3x630 mm <sup>2</sup> Al	25	8
<b>Eksport søkabler (220 kV)</b>		
Kabelrute	55+32	55
3x1600 mm <sup>2</sup> Cu	150 <sup>*1</sup>	
3x500 mm <sup>2</sup> Al		55
<b>Eksport landkabler (220 kV)</b>		
Kabelrute	15	15
3x1x2000 mm <sup>2</sup> Al	31	
3x1x630 mm <sup>2</sup>		31

\*1 Kabelkonfiguration: 2x3x1600 mm<sup>2</sup> Cu mellem KF\_OSS\_2 og land og 1x3x1600 mm<sup>2</sup> Cu mellem KF\_OSS\_2 og KF\_OSS\_1

Tabel 3-8 Kabellængder – Kriegers Flak

## 4 Forkortelser

EN	Energinet
GIS	Gas insulated switchgear
HF	Harmoniske filter (ud balancere elektrisk støj bidrag fra vindmølle anlægget mod eksisterende transmissionsnet)
kV	Kilo Volt (1.000 V)
MW	Mega Watt (Aktive effekt)
MVar	Mega Var (Reaktiv effect)
SR	Shunt Reaktor (Kompensering af kabelanlægs kapacitet)
SVC	Static Var Compensator
STACOM	Static Var Compensator
TP	Havbaseret Transformer Platform (Vindpark)
TSNET	Landbaseret Transformerstation, (Energinet)
TSKY	Kystnær Transformerstation, (Vindpark)
TSVP	Landbaseret Transformerstation ved TSNET, (Vindpark)
TSO	Transmissions system operatør
VTG	Wind Turbine Generator (hele vindmøllen med fundament)

## 5 Referencer

- Ref. /1/ A\_17-15324-2 notat vedrørende havmøller  
Energinet, 22 November 2017
- Ref. /2/ E\_17-15324-13 Udgifter og betalingstidspunkter  
Energinet –26 April 2018
- Ref. /3/ D\_17-15324-12 Omkostningsoverslag for nettilslutning  
Energinet, 8. Marts 2018
- Ref. /4/ C\_17-15324-8 Opdateret bestilling om omkostninger  
Energinet. 4. December 2017
- Ref. /5/ B\_17-15324-3 Afledte net-effekter ved politiske VE-udviklinger  
Energinet, 24 November 2017
- Ref. /6/ Reinvesterings- Udbygnings- og Saneringsplan 2017  
Energinet
- Ref. /7/ Bilagsrapport med projektbeskrivelser - RUS-plan 2017  
Energinet
- Ref. /8/ <https://corporate.vattenfall.dk/vores-vindmoller-i-danmark/vindprojekter/vesterhav-syd/om-vesterhav-syd/>

## Appendix A Loadflow – Nordsøen

Layout		1	4	Syd	Nord	Nord2
<b>Reaktiv effekt behov</b>						
Eksportkabler	MVar	498	400	581	417	447
<b>220 kV Shunt Reaktor</b>						
Transformer platform	MVar	2x125	2x100	2x145	2x105	2x112
Landstation	MVar	2x125	2x100	2x145	2x105	2x112
<b>Maksimal belastningsstrøm</b>						
66 kV Radial ved platform		0.726	0.725	0.734	0.726	0.734
66 kV Transformer tilgang	kA		3.625	3.665	3.617	3.659
Transformer 1	kA	3.627	3.625	3.665	3.617	3.658
Transformer 1	kA	3.625	3.625	3.664	3.616	3.659
220 kV kabel, transformer platform						
Kabel 1	kA	1.026	1.026	1.022	1.023	1.035
Kabel 2	kA	1.026	1.026	1.022	1.023	1.035
220 kV kabel, landindtag						
Kabel 1	kA	1.040	1.026	1.058	1.025	1.038
Kabel 2	kA	1.040	1.026			
220 kV kabel, landstation						
Kabel 1	kA	1.140	1.108	1.173	1.110	1.123
Kabel 2	kA	1.140	1.108	1.173	1.110	1.123
400 kV kabel						
Kabel 1	kA	0.591	0.583	0.600	0.584	0.583
Kabel 2	kA	0.591	0.583	0.600	0.584	0.583
<b>Effekt tab ved maksimal produktion</b>						
Array kabler	MW	7.02	7.21	7.71	7.44	7.67
Eksportkabler	MW	10.93	8.60	13.25	8.91	9.73
400 kV kabler	MW	minimal	minimal	minimal	minimal	minimal
Transformere, belastning	MW	6.20	5.97	6.47	5.99	6.10
Transformere, tomgang	MW	1.03	1.60	1.26	0.86	0.91

<b>Max/Min spænding</b>						
Array kabler, ved sidste vindmølle	kV	67.8	67.5	66.8	67.9	67.0

## Appendix B Loadflow – Hesselø

Layout		1A	2A	1B	2B
<b>Reaktiv effekt behov</b>					
Eksportkabler	MVar	488	481	407	447
<b>220 kV Shunt Reaktor</b>					
Transformer platform	MVar	2x123	2x120	2x102	2x112
Landstation	MVar	2x123	2x120	2x102	2x112
<b>Maksimal belastningsstrøm</b>					
66 kV Radial ved platform		0.728	0.725	0.727	0.729
66 kV Transformer tilgang	kA				
Transformer 1	kA	3.633	3.625	3.628	3.644
Transformer 1	kA	3.633	3.625	3.628	3.644
220 kV kabel, transformer platform					
Kabel 1	kA	1.028	1.026	1.026	1.031
Kabel 2	kA	1.028	1.026	1.027	1.031
220 kV kabel, landindtag					
Kabel 1	kA	1.053	1.051	1.112	1.131
Kabel 2	kA	1.053	1.051	1.112	1.131
220 kV kabel, landstation					
Kabel 1	kA	1.139	1.138	1.114	1.133
Kabel 2	kA	1.139	1.138	1.114	1.133
400 kV kabel					
Kabel 1	kA	0.591	0.59	0.586	0.588
Kabel 2	kA	0.591	0.59	0.586	0.588
<b>Effekt tab ved maksimal produktion</b>					
Array kabler	MW	6.44	8.47	6.42	8.57
Eksportkabler	MW	10.81	10.63	9.02	10.21
400 kV kabler	MW	minimal	minimal	minimal	minimal
Transformere, belastning	MW	6.20	6.19	6.02	6.16
Transformere, tomgang	MW	1.02	1.01	0.89	0.95
<b>Max/Min spænding</b>					
Array kabler, ved sidste vindmølle	kV	67.5	67.9	67.6	67.5

## Appendix C Loadflow – Jammerbugt

Layout		1	2
<b>Reaktiv effekt behov</b>			
Eksportkabler	MVar	550	583
<b>220 kV Shunt Reaktor</b>			
Transformer platform	MVar	2x138	2x145
Landstation	MVar	2x138	2x145
<b>Maksimal belastningsstrøm</b>			
66 kV Radial ved platform		0.735	0.733
66 kV Transformer tilgang	kA		
Transformer 1	kA	3.662	3.659
Transformer 1	kA	3.668	3.657
220 kV kabel, transformer platform			
Kabel 1	kA	1.022	1.021
Kabel 2	kA	1.023	1.02
220 kV kabel, landindtag			
Kabel 1	kA	1.008	1.004
Kabel 2	kA	1.008	1.004
220 kV kabel, landstation			
Kabel 1	kA	1.174	1.172
Kabel 2	kA	1.174	1.172
400 kV kabel			
Kabel 1	kA	0.601	0.599
Kabel 2	kA	0.601	0.599
<b>Effekt tab ved maksimal produktion</b>			
Array kabler	MW	7.98	11.02
Eksportkabler	MW	12.61	12.66
400 kV kabler	MW	minimal	minimal
Transformere, belastning	MW	6.48	6.45
Transformere, tomgang	MW	1.24	1.20
<b>Max/Min spænding</b>			
Array kabler, ved sidste vindmølle	kV	67.4	68.30

## Appendix D Loadflow – Krigers Flak

Layout		1	2
<b>Reaktiv effekt behov</b>			
Eksportkabler	MVar	591	142
<b>220 kV Shunt Reaktor</b>			
Transformer platform	MVar	2x148	75
Landstation	MVar	2x148	75
<b>Maksimal belastningsstrøm</b>			
66 kV Radial ved platform		0.740	0.733
66 kV Transformer tilgang	kA		
Transformer 1	kA	3.642	2.195
Transformer 1	kA	3.690	N/A
220 kV kabel, transformer platform			
Kabel 1	kA	1.030	0.612
Kabel 2	kA	1.015	N/A
220 kV kabel, landindtag			
Kabel 1	kA	1.107	0.638
Kabel 2	kA	1.107	N/A
220 kV kabel, landstation			
Kabel 1	kA	1.169	0.674
Kabel 2	kA	1.169	N/A
400 kV kabel			
Kabel 1	kA	0.598	0.35
Kabel 2	kA	0.598	N/A
<b>Effekt tab ved maksimal produktion</b>			
Array kabler	MW	5.74	1.40
Eksportkabler	MW	13.55	5.76
400 kV kabler	MW	minimal	Minimal
Transformere, belastning	MW	6.44	1.97
Transformere, tomgang	MW	1.07	0.30
<b>Max/Min spænding</b>			
Array kabler, ved sidste vindmølle	kV	67.0	66.7



## Appendix E NEPLAN - Full Load calculations