

DECEMBER 2018
ENERGISTYRELSEN

FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING AF NYE HAVMØLLEPARKER

HAVBUND OG GEOLOGISKE FORHOLD



COWI

DECEMBER 2018
ENERGISTYRELSEN

FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING AF NYE HAVMØLLEPARKER

HAVBUND OG GEOLOGISKE FORHOLD

PROJEKTNR.

A114354

DOKUMENTNR.

114354-1-2

VERSION

2.0

UDGIVELSESDATO

11-12-2018

BESKRIVELSE

Delrapport

UDARBEJDET

ASMI, MALA

KONTROLLERET

LOKL

GODKENDT

ANJS

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Metode og antagelser	8
2.1	Områdernes beliggenhed	8
2.2	Analysens omfang	8
2.3	Fremgangsmåde for egnethedsanalysen	8
3	Datagrundlag	11
4	Resultater	13
4.1	Områdebeskrivelser	13
4.2	Forholdsmæssig vurdering af områderne. (Bedst til værst)	18

BILAG

Bilag A	Interaktive GIS-kort
---------	----------------------

1 Indledning

Regeringen fremlagde sit energiudspil 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 energiudspillet 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 Kriegers Flak.

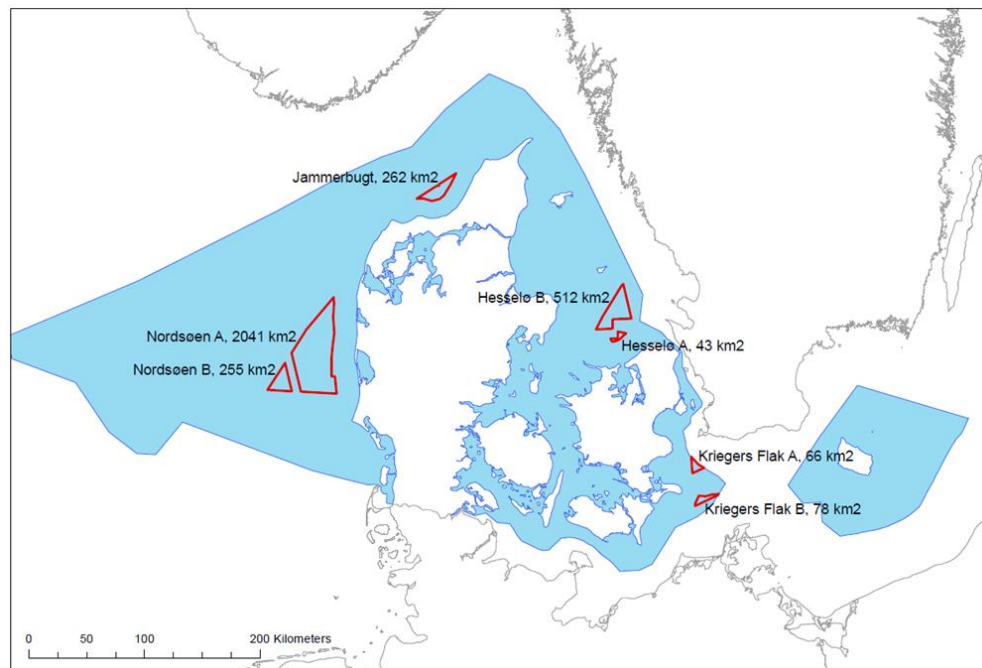
Selvom grovscreeningen har identificeret fire oplagte områder til kommende havmølleparker, så er der stadigvæk behov for at vide mere præcist, hvordan en havmøllepark på 800 MW ideelt bør placeres inden for hvert af områderne.

Denne delrapport beskriver resultaterne af finscreening af de fire identificerede områder i relation til havbund, geologiske- og funderingsmæssige forhold.

2 Metode og antagelser

2.1 Områdernes beliggenhed

Beliggenheden af de fire potentielle områder til etablering af nye havmølleparker er vist på Figur 2-1.



Figur 2-1 Oversigtskort over de fire udpegede områder til etablering af nye havmølleparker

2.2 Analysens omfang

Screeningen af de geologiske- og funderingsmæssige forhold i relation til etablering af nye havmølleparker omfatter:

- > En GIS-baseret vurdering af de geologiske- og funderingsmæssige forhold. Vurderingen rangordner lokaliteterne og delområder inden for lokaliteterne i relation til egnethed i forhold til etablering af havmøller.
- > Konceptuelle geomodeller, der karakteriserer de fire potentielle havmølleområder.

2.3 Fremgangsmåde for egnethedsanalysen

Egnethedsanalysen er gennemført i to trin:

- > Trin 1: Samling og analyse i GIS af data for havbund, geologi- og funde-
ringsmæssige forhold. Vurdering af parametre der erfaringsmæssigt kan
gavne eller besværliggøre etableringen af havvindmøller.
- > Trin 2: Kategorisering og rangordning af områders og delområders eg-
nethed til etablering af en havmøllepark på de fire lokaliteter (syv delområ-
der) og fremstilling af GIS-kort.

2.3.1 Trin 1

Trin 1 i analysen omfatter opbyggelse af konceptuelle geologiske modeller for de forskellige områder og delområder. Modellerne er baseret på tidligere erfaringer fra områderne, tolkning af eksisterende seismisk data samt modificering af alle-
rede publicerede geologiske modeller.

Modellerne er opbygget som et eller flere lithostratigrafiske profiler for hvert område. Antallet af profiler, der er optegnet for det pågældende område, afhæn-
ger af områdets størrelse, geologisk variation og datatilgængelighed.

Sammen med tilgængelige overfladesedimentkort for områderne samt ekspert-
viden om de geotekniske parametre for de forskellige sedimenttyper, er områ-
derne delt op i yderligere underområder.

De faste parametre, som områderne er vurderet ud fra, er opstillet og prioriteret
i Tabel 2-1 herunder.

Tabel 2-1 Geologiske- og geotekniske forhold der bruges i vurderingen

Parameter	Bemærkninger
Vanddybde	Vil vanddybden begrænse brugen af forskellige typer af fundament?
Overfladenær kalk	Vil kalken fordyre brugen af f.eks. monopæle som fun- dament?
Mængde af stenet sedi- ment (glaciale sedimen- ter)	Vil store sten besværliggøre installationen af fundamen- terne?
Bløde sedimenter på overfladen	Er der store mængder blødbund som kan udfordre jack- up operationer eller give specielle krav til funderingen?
Tyndt- eller tykt sandlag i overfladen	Vil meget tynde sandlag fordyre installationen af inter- array- eller eksportkabler? Er der sandlag tykke nok til at muliggøre f.eks. sugebøt- tefundamenter og dermed give alternativer til monopæl- fundamenter?
Strømhastigheder og se- dimenttransport	Vil høje havstrømhastigheder besværliggøre installatio- nen af møllerne (øget mængde vejrlig)? Vil høj sedimenttransport øge risikoen for erosion eller blotlægning af kabler som dermed skaber behov for for- dyrende tiltag?

Design af kabelruter	Er området langt fra kysten, går ruten igennem fordyrende sedimenttyper (blødbund, glaciale sedimenter eller stenrev)?
UXO ¹ -risiko	Er UXO-risikoen forhøjet og dermed kræver yderligere undersøgelser?

2.3.2 Trin 2

Under trin 2 er underområderne blevet givet en overordnet kategorisering, V+, V, eller V-, som rangerer 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 rangeret i forhold til hinanden. Dermed er underområderne rangeret relativt til hinanden.

For hvert hovedområde er der produceret 2 typer kort. Første type viser kategoriseringen af underområderne med nyeste tilgængelige søkort som baggrund. Anden type viser placeringen af hovedområderne med et kort over overfladesedimenterne som baggrund. På begge kort er placeringen af de konceptuelle geomodeller vist med sort stregmarkering. Disse kort er ikke en del af rapporten, leveret i en særskilt fil.

¹ UXO – unexploded ordnance – ueksploderet ammunition

3 Datagrundlag

Herunder er opstillet det, på screeningstidspunktet, tilgængelige datagrundlag.

Grundlaget varierer fra område til område, og er dermed opstillet individuelt for områderne.

Nordsøen A og B,

- > Batymetri og søkort fra hhv. Emodnet og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geoviden 2014, nr. 2.
- > Seismiske profiler fra GEUS rapporten "Marin råstofkortlægning i Nordsøen 2012. Detaljeret undersøgelse af 3 delområder. Udført for Naturstyrelsen" af Lomholt, S. Leth, J.O. & Skar, S. Følgende seismiske profiler er primært anvendt NS12_210, NS12_212, NS12_225, NS12_227 og NS12_237.
- > Georefereret oversigtskort over kortlagte begravede fra artiklen "Begravede dale i Nordsøen - og i Sønderjylland" af Huuse, M. og Lykke-Andersen, H. i Geologisk Nyt 5/00.
- > De geologiske lag under den kvartære lagpakke fra "Geologisk Kort og den Danske Undergrund" udgivet af Varv i 1992.
- > Oversigtskort over geologisk kortlægning af det kystnære område (20 km) mellem Lodbjerg og Blåvandshuk på Vestkysten fra rapporten "Geologisk kortlægning af Vestkysten. Samlede resultater af den regionalgeologiske kortlægning af kystzonen mellem Lodbjerg og Blåvandshuk". Leth, J.O., Anthony, D., Larsen, B., Andersen, L.T. og Jensen, J.B. (2001). GEUS-rapport 2001/111
- > Desuden Energinets rapporter fra udviklingen af havvindmølleparkerne Vesterhav Syd og Nord samt Horns rev 3.

Jammerbugt,

- > Batymetri og søkort fra hhv. Emodnet og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geoviden 2014, nr. 2.
- > Seismiske sektioner og geologiske tolkninger i rapporten "Skagerrak 4 HVDC Cable Route Survey – Bulbjerg, Denmark to Kristiansand, Norway, Volume number 2 of 4 Survey Report" fra 2009 som Deep Ocean har udført for Energinet.
- > De geologiske lag under den kvartære lagpakke fra "Geologisk Kort og den Danske Undergrund" udgivet af Varv i 1992.

Hesselø Nord

- > Bathymetri og søkort,
- > Tolket geologisk tværsnit som strække sig på tværs Hesselø Nord området modtaget af Energistyrelsen
- > De geologiske lag under den kvartære lagpakke fra "Geologisk Kort og den Danske Undergrund" udgivet af Varv i 1992.

Hesselø Syd

- > Bathymetri og søkort fra hhv. Emodnet og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geoviden 2014, nr. 2.
- > 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.

Krigers Flak Syd og Nord

- > Bathymetri og søkort fra hhv. Emodnet og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geoviden 2014, nr. 2.
- > De geologiske lag under den kvartære lagpakke fra "Geologisk Kort og den Danske Undergrund" udgivet af Varv i 1992.
- > Geologien er primært opstillet på baggrund af tolkede seismiske og geologiske profiler fra Krigers Flak rapporterne. Særligt er øst-vest orienterede profiler fra nordlige og sydlige dele af Krigers Flak området anvendt.

4 Resultater

I dette afsnit er det enkelte område beskrevet nærmere med hensyn til de respektive konklusioner og vurderinger. Områderne er til sidst opstillet i relativ prioriteret rækkefølge (rangordnet) med de mest egnede områder listet først.

Følgende vurderinger er anvendt:

- > Meget Velegnet (V+)
- > Velegnet (V)
- > Mindre Velegnet (V-)

De tilhørende GIS-kort er vist i 4.2Bilag A og leveret som separate filer.

Alle kort er leveret i pdf-format. Filerne er georefereret og kan bruges i de fleste GIS-programmer. De er desuden gjort interaktive, så hvert enkelt GIS-lag kan slås til og fra efter behov. Til sidst er geomodellerne tilføjet som et interaktivt ikon. Ved at klikke på ikonet, vil den enkelte geomodel åbnes som billede.

Denne funktion kræver dog at den originale billedfil gemmes i samme mappe som kortet. Bibeholdes denne relative placering mellem kort og billede, kan man frit flytte dem imellem mapper.

4.1 Områdebeskrivelser

HESSELØ A (SYD)

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Indre danske farvande	-	Hele området har samme kategori (Velegnet med samlet rangordning 6). Kalken i ca. 25 meter under havbunden. Kan medføre øgede omkostninger ved monopæle. Kabelruten kan muligvis spules ned hele vejen, dog er der risiko for enkelte steder hvor der skal graves.
Vanddybde, kote	-20 - -25 m		
Havbund	Sand	Jack-up i forbindelse med udførelsen er formentlig uproblematisk	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	0 – 5 m (tykkelse)		
Senglaciale aflejringer	0 – 10 m (tykkelse)	Muligvis marine leraflejringer (Yoldialer)	
Glaciale moræneaflejringer	20 – 25 m (tykkelse)	Kan indeholde sten Kan have høje styrker	
-Kalk	< kote -50 m	Kan være hårdt Kan indeholde flintlag	

Konklusion:

- > **Positivt:** Beskeden vanddybde, fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Installation af monopæle besværliggøres af højtliggende, mulig hård og flintrig kalk. Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne

HESSELØ B (NORD)

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Indre danske farvande	-	Området opdeles i to kategorier: Velegnet (samlet rangordnet som 3) og Meget Velegnet (samlet rangordnet som 1).
Vanddybde, kote	-20 - -30 m		
Havbund	Dyndet sand i store dele af området	Kan evt. dække over opfyldte dale med blødt materiale. Jack-up i forbindelse med udførelsen kan være problematisk hvis der forekommer bløde lag af stor mægtighed	Blødbundsaflejringer i det velegnede området kan være problematiske. Mægtighederne vurderes som små men lokalt kan der være tykke lag, specielt i renden i den sydlige del af området.
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	0 – 20 m (tykkelse)	Kan være blødt	De to meget velegnede områder vurderes ens og har ingen umiddelbare problemer ud over en hård moræne. Kabelruten kan muligvis spules ned hele vejen, dog er der risiko for enkelte steder hvor der skal graves.
Senglaciale aflejringer	20 - 60 m (tykkelse)	Muligvis marine leraflejringer (Yoldialer)	
Glaciale moræneaflejringer	20 – 30 m (tykkelse)	Kan indeholde sten Kan have høje styrker	
Kalk	< kote -100 m	Kan være hårdt Kan indeholde flintlag	

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle. Senglaciale aflejringer (muligvis marine leraflejringer) formentlig velegnede til installation af monopæle

- > **Negativt:** Mulige dybe dale fyldt med bløde, postglaciale aflejringer i den østlig del af området kan medføre øget pælelængde og problemer med jack-up under udførelsen

KRIEGERS FLAK A (NORD)

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Østersøen	-	Vurderes som dårligt egnet (Mindre Velegnet, samlet rangordnet som 9) Lavtliggende hård kalk, hård moræneler og blødbund trækker ned. Kabelruten passerer flere steder hvor der skal graves en rende hvilket vil øge omkostningerne.
Vanddybde, kote	-25 - -30 m		
Havbund	Dyndet sand	Jack-up i forbindelse med udførelsen kan være problematisk, hvis bløde lag af stor mægtighed	
Jordlag	5 m		
Postglaciale aflejringer	2 – 5 m (tykkelse)		
Glaciale moræneaflejringer	5 m (tykkelse)	Kan indeholde sten Kan have høje styrker	
Kalk	< kote -40 m	Kan være hårdt Kan indeholde flintlag	

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Installation af monopæle besværliggøres af højtliggende hård og flintrig kalk. Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne. Bløde aflejringer i området kan medføre øget pælelængde og problemer med jack-up under udførelsen

KRIEGERS FLAK B (SYD)

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Østersøen	-	Området opdeles i to, begge velegnet (samlet rangordnet som 6 og 7). Begge områder har lavtliggende kalk. Det østlige område vurderes lidt dårligere pga. blødbund. Kabelruten passerer flere steder
Vanddybde, kote	-20 - -35 m		
Havbund	Dyndet sand / sand	Jack-up i forbindelse med udførelsen kan være problematisk, hvis bløde lag af stor mægtighed	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	2 – 5 m (tykkelse)		
Glaciale moræneaflejringer	10 – 15 m (tykkelse)	Kan indeholde sten	

	- stedvist meget større	Kan have høje styrker	hvor der skal graves en rende hvilket vil øge omkostningerne. Dog mindre end i det nordlige område.
Kalk / skrivekridt?	< kote -40 - -50 m	Kan være hårdt Kan indeholde flintlag	

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Installation af monopæle besværliggøres af højtliggende hård og flintrig kalk / skrivekridt. Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne. Bløde aflejringer i dele af området kan medføre øget pælelængde og problemer med jack-up under udførelsen

JAMMERBUGT

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Skagerrak	Risiko for en del standby tid i forbindelse med udførelsen	Området vurderes dårligt egnet (mindre velegnet, rangordnet som 8) Meget lavtliggende kalk og moræne trækker ned. Området er ubeskyttet mod bølger og der er kraftig sedimenttransport. Kabelruten vurderes meget dårlig egnet pga. stor påkrævet begravelsesdybde i tyndt sandlag.
Vanddybde, kote	-12 - -25 m		
Havbund	Sand	Jack-up i forbindelse med udførelsen formentlig uproblematisk	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	1 – 5 m (tykkelse)		
Glaciale moræneaflejringer	10 – 15 m (tykkelse)	Kan indeholde sten Kan have høje styrker	
- skrivekridt	< kote -35 m	Ingen tilgængelige data for skrivekridtet Kan være hårdt Kan indeholde flintlag	

Konklusion:

- > **Positivt:** Beskeden vanddybde, fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Vejrlig giver risiko for en del standby ifm. udførelsen. Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne. Installation af monopæle besværliggøres af højtliggende mulig hård og flintrig skrivekridt

NORDSØEN

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig		Risiko for meget standby tid i forbindelse med udførelsen	Området opdeles i 4 delområder Velegnet (rangordnet som 4 og 5) samt meget velegnet (rangordnet som 2). De velegnede områder med polygonnr 6 og 7 har samme vurdering men polygonnr velegnet 5 vurderes lidt lavere pga. blødbund. Det meget velegnede område har denne vurdering da den ligger på en tyk pude af sand som kan være velegnet til sugebøttefundament. Skal der bruge monopæle vil vurderingen være den samme som resten af området. Kabelruten vurderes til at være i et forholdsvis svært område pga. stor sedimenttransport med stor begravesedybde til følge. Der må påregnes udgifter til udrivelse af UXO-risiko.
Vanddybde, kote	-20 - -35 m		
Havbund	Hovedsageligt sand - stedvist dynet sand, ler og silt	Jack-up i forbindelse med udførelsen formentlig uproblematisk i hovedparten af området	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	Lokalt op til 30 m ler og silt i sydlig del		
Glaciale moræneaflejringer og smeltvandsaflejringer	20 – 25 m (tykkelse)	Kan indeholde sten Kan have høje styrker	
- Interglaciale aflejringer (Fra mellem to istider)	0 – 25 m (tykkelse)	Kan have høje styrker (Fugro undersøgelse VHS)	
- Miocæne aflejringer og Elster - Holsten	< kote – 40 m - -70 m	Kan have høje styrker	

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle

- > **Negativt:** Vejrlig i Vesterhavet giver risiko for megen standby ifm. udførelsen. Bløde aflejringer af postglacialt ler og silt i den sydlige del af området kan medføre øget pælelængde og problemer med jackup under udførelsen. Installation af monopæle besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale-aflejringer

4.2 Forholdsmæssig vurdering af områderne. (Bedst til værst)

Ud fra ovenstående vurderinger og konklusioner fås følgende rangordning af områderne. Da flere af områderne er blevet tildelt samme kategori, er disse rangeret i forhold til hinanden. Dermed er underområderne rangeret relativt til hinanden.

Rang	Område	Kategori	Reference til nummerering af områdepolygoner på kortbilag
1	Hesselø B (Nord)	Meget Velegnet (V+)	V+ 1 & V+ 2
2	Nordsøen A	Meget Velegnet (V+)	V+ 3
3	Hesselø B (Nord)	Velegnet (V)	V 1
4	Nordsøen A	Velegnet (V)	V 6
	Nordsøen B		V 7
5	Nordsøen A	Velegnet (V)	V 5
6	Hesselø A (Syd)	Velegnet (V)	V 3
	Kriegers Flak B (Syd)		V 8
7	Kriegers Flak B (Syd)	Velegnet (V)	V 4
8	Jammerbugt	Mindre Velegnet (V-)	V- 1
9	Kriegers Flak A (Nord)	Mindre Velegnet (V-)	V- 2

Note ad 8 – Jammerbugt kan muligvis flyttes op lige under Velegnet 3 & 8 hvis en undersøgelse kan give et bedre billede af dybden til kalk

Bilag A Interaktive GIS-kort