

MAJ 2020
ENERGISTYRELSEN

HAVBUND OG GEOLOGISKE FORHOLD FOR BORNHOLM I + II, NORDSØEN II + III OG OMRÅDET VEST FOR NORDSØEN II + III

FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING AF NYE HAVMØLLEPARKER
MED DIREKTE FORBINDELSE TIL LAND

MAJ 2020
ENERGISTYRELSEN

HAVBUND OG GEOLOGISKE FORHOLD FOR BORNHOLM I + II, NORDSØEN II + III OG OMRÅDET VEST FOR NORDSØEN II + III

FINSCREENING AF HAVAREALER TIL ETABLERING AF NYE HAVMØLLEPARKER
MED FORBINDELSE TIL ENERGIØ/HUB

PROJEKTNR.

A132994

DOKUMENTNR.

A132994-2-2

VERSION

FINAL

UDGIVELSESDATO

18-05-2020

BESKRIVELSE

Delrapport

UDARBEJDET

MGPA, SPN, KAPN, LOKL
MYG

KONTROLLERET

GODKENDT

TRLC

INDHOLD

1	Indledning	7
1.1	Delrapportens indhold	8
2	Sammenfatning	10
3	Metode og antagelser	11
3.1	Områdernes beliggenhed	11
3.2	Analysens omfang	11
3.3	Forudsætninger for energiøer	12
3.4	Vurdering af egnethed	13
4	Datagrundlag	15
5	Resultater	17
5.1	Bornholm I + II	17
5.2	Nordsøen II + III	27
5.3	Området vest for Nordsøen II + III indtil en havdybde på 50 m (Område Vest)	33
5.4	Relativ vurdering af områderne	37
6	Referencer	39

1 Indledning

Energistyrelsen har gennemført den såkaldte 10 GW screening som opfølgning på Energifaen i 2018. På den baggrund har Energistyrelsen valgt 6 områder, der skal finscreenes i dette studie (Figur 1-1). Formålet med screeningen er dels at bekræfte, at det er praktisk muligt at etablere havmølleparker med specifik placering i de angivne områder og dels at levere økonomiske beregninger og rangordne havmølleparkerne herefter. Beregningerne belyser økonomien i at opstille parker på de identificerede specifikke placeringer ved at tage højde for miljø og planmæssige forhold, havbundsforhold, vindressource, layouts og energiproduktions samt elektriske systemer.



Figur 1-1: Overblik over det samlede studieområde. Grønne arealer opdateres fra 2018 finscreening. Blå områder er nye områder til vurdering.

Screeningsopgaven er prioriteret i 3 hovedelementer hvoraf første element består i at opdatere de områder, som var omfattet af en finscreening i 2018. Området der i 2018 finscreeningen blev reserveret til den kommende havmøllepark Thor ekskluderes for opdateringen da havmølleparken er i aktiv udvikling. Opdatering af områderne er dels baseret på ny information om interesserne i dele af områderne og dels baseret på ændringer i forudsætningerne for de økonomiske beregninger. Opdateringen af områderne fra finscreening i 2018 med direkte forbindelse til land inkluderer:

- > Nordøen I (3174 km² hvoraf 440 km² er reserveret til Thor)
- > Hesselø (247 km²)
- > Kriegers Flak II (173 km²)

De resterende elementer i opgaven er baseret på, at der er givet politisk opdrag til at afsøge muligheder for at etablere en eller flere såkaldte energiøer/hubs i havområder uden for dem, der var omfattet af 2018 finscreeningen. Med etableringen af sådanne

energiøer / hubs åbnes muligheden for at bygge væsentlig flere havindmølleparker i nye områder.

Andet element i opgaven består således i at udføre en grov screening for placering af en energiø / hub.

Tredje og sidste element består i selve finscreeningen af havvindmølleparker i de nye tilgængelige delområder der leverer strøm til en Energiø/hub. Disse områder inkluderer:

- > Bornholm I + II (270 km² + 568 km²)
- > Nordsøen II + III (1872 km² + 1642 km²)
- > Området vest for Nordsø II + III ud til en havdybde på 50 m

1.1 Delrapportens indhold

Denne delrapport beskriver resultaterne af finscreeningen i relation til havbund, geologiske- og funderingsmæssige forhold for de tre ovennævnte områder. Delrapporten skal sammenholdes med konklusioner og anbefalinger fra de andre delrapporter fra serien som angivet i Tabel 1-1.

Tabel 1-1: Oversigt over rapporter

ID	Report
1-0	Finscreening af havarealer til etablering af nye havmølleparker med direkte forbindelse til land.
1-1	Miljø-og planmæssige forhold for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II
1-2	Havbund og geologiske forhold for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II
1-3	Vindressource, layouts og energiproduktion for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II
1-4	Elektriske systemer for Nordsøen I, Hesselø og Kriegers Flak II
2-0	Finscreening af havarealer til etablering af nye havmølleparker med forbindelse til Energiø / hub.
2-1	Miljø-og planmæssige forhold for Bornholm I + II, Nordsøen II + III og Området vest for Nordsøen II + III
2-2	Havbund og geologiske forhold for Bornholm I + II, Nordsøen II + III og Området vest for Nordsøen II + III
2-3	Vindressource, layouts og energiproduktion for Bornholm I + II, Nordsøen II + III og Området vest for Nordsøen II + III
2-4	Elektriske systemer for Bornholm I + II, Nordsøen II + III og Området vest for Nordsøen II + III

2 Sammenfatning

Områder og underområder inkluderet i finscreeningen er rangeret efter den geotekniske vurdering, overordnet geologi, havbundssedimentet og vanddybden samt variationsmulighed for placering af havvindmøllerne. Til eksempel er Nordsøen II vurderet bedre egnet end Nordsøen III, da havbundedybden generelt er lavere og der er kortere afstand til land for eksportkabelruten. Det lille delområde af Nordsøen III der ligger i sydlig forlængelse af Nordsøen II er vurderet bedre egnet end resten af Nordsøen III grundet den geografiske placering. For begge områder (Nordsøen II og Nordsøen III) vurderes de geologiske og geotekniske forhold at være tilsvarende hinanden på nuværende vidensniveau. Bornholm I og Bornholm II er rangeret lavere end Nordsøen II og Nordsøen III, grundet den mindre tykkelse af glaciale sedimenter og dermed mindre dybde til hårde bjergarter.

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

Samlet vurdering og rangering af de seks screenede områder.

Rang	Område	Kategori	Områdepolygoner på kortbilag
1	Nordsøen II	Velegnet (V)	
2	Området vest for Nordsøen II og III – Delområde 2	Velegnet (V)	
3	Nordsøen III	Velegnet (V)	
4	Området vest for Nordsøen II og III – Delområde 1	Velegnet (V)	
5	Bornholm II	Mindre Velegnet (V-)	
6	Bornholm I	Mindre Velegnet (V-)	

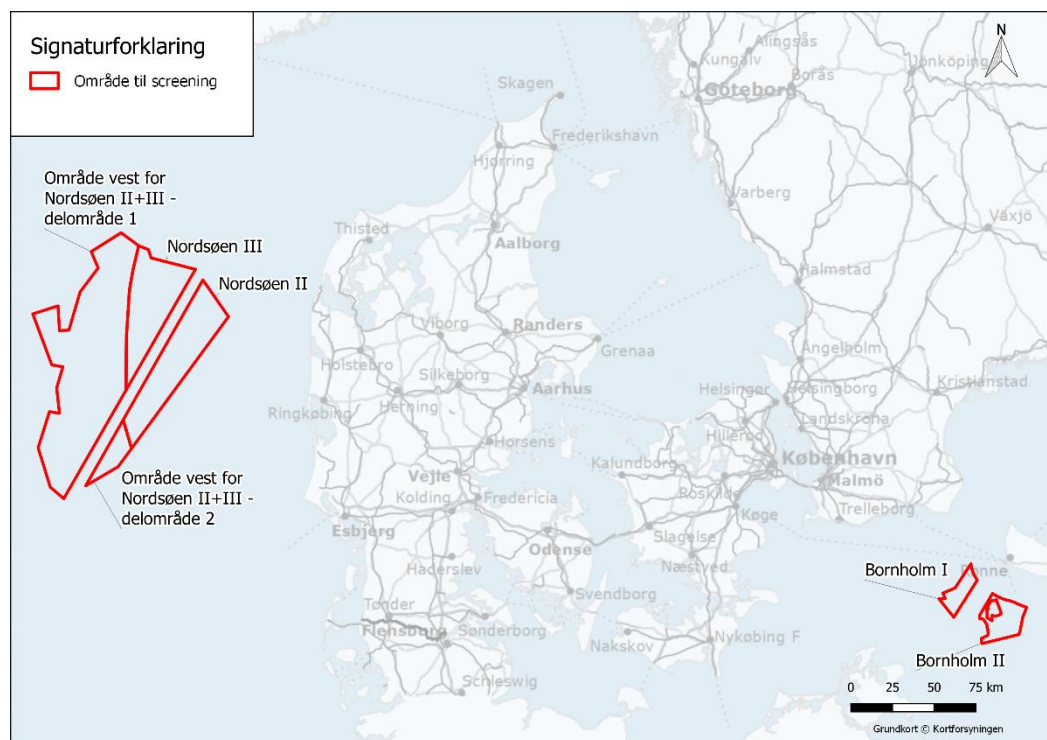
3 Metode og antagelser

3.1 Områdernes beliggenhed

Der er udpeget tre områder til finscreening for placering af nye havvindmølleparker og energiøer / hubs. De tre områder er:

- > Bornholm I + II
- > Nordsøen II + III
- > Området vest for Nordsøen II + III indtil en havdybde på 50 m (Område Vest).

Placeringen af de tre områder er vist på Figur 2.



Figur 2: Placering af de tre områder inkluderet i nærværende finscreening.

3.2 Analysens omfang

Screeningen af de geologiske- og funderingsmæssige forhold i relation til etablering af nye havvindmølleparker og energiøer / hubs omfatter:

- > En GIS-baseret vurdering af de geologiske- og funderingsmæssige forhold i forbindelse med rangordning af lokaliteterne og delområder inden for de udpegede områder i relation til egnethed i forhold til etablering af havvindmøller.

- > En GIS-baseret vurdering af de geologiske og funderingsmæssige forhold i forbindelse med placering af energiøer/hubs inden for områderne Bornholm I+II, Nordsøen II+III og Område Vest.
- > En GIS-baseret vurdering af oplagte kabeltracéer fra havvindmølleparken til nettilslutningspunktet på land.
- > Konceptuelle geomodeller, der karakteriserer de tre potentielle havvindmølleområder.

3.3 Forudsætninger for energiøer

Det overvejes at anlægge såkaldte energiøer i forbindelse med havvindmølleparke-kerne. Energiøerne vil fungere som knudepunkter for kabler og platform for AC/DC-konvertere samt AC-transformere, og kan konstrueres forskelligt alt efter havdybde og funderingsforhold.

Der vil i evalueringen af områderne blive anvendt følgende forudsætninger (Tabel 3-1) med 4 forskellige koncepter. Forudsætningerne er udarbejdet af COWI som det bedste estimat på nuværende tidspunkt og godkendt af Energinet og Energistyrelsen.

Tabel 3-1: Overblik over de forskellige konstruktionsmuligheder for energiøer. Baseret på case i Nordsøen, ca. 100 km fra kysten.

Type	Ø	Ø	Platform	Platform
Fundament	Sugebøtte-fundament / sand afgrænset med spuns	Sand	Jacket	Gravity based
Vanddybde, begrænsninger	<25m	<40m	<50m	<100m
Kapacitet, antagelse	10GW	10GW	2GW Units	6 GW Units
Fase- og modularitetsmulighed	Begrænset, kan udvides	Begrænset, kan udvides	Ja	Ja
Pladsbehov (over havniveau)		70 Ha Højde 30m	140mx70m, Højde 30m	
Pladsbehov – optimeret (over havniveau)	25 Ha Højde 40-45m		115mx70m, Højde 45m	
Tilgængelighed	Delvist beskyttet	Beskyttet	Ikke beskyttet	Ikke beskyttet

3.4 Vurdering af egnethed

Egnetheden er vurderet gennem følgende to trin:

- > Trin 1: Samling og analyse i GIS af data for havbund, geologi- og funderingsmæssige forhold. Vurdering af parametre, der erfaringsmæssigt kan gavne eller besværliggøre etableringen af hhv. havvindmøller og energiøer.
- > Trin 2: Kategorisering og rangordning af de tre områders og delområders egnethed til etablering af havvindmølleparker og for Nordsøens vedkommende, etablering af energiø, samt fremstilling af GIS-kort.

3.4.1 Trin 1

Trin 1 i vurderingen omfatter udarbejdelse 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 allerede 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, afhænger af områdets størrelse, den geologiske variation og datatilgængelighed.

Sammen med tilgængelige overfladesedimentkort for områderne samt ekspertviden om de geotekniske parametre for de forskellige sedimenttyper, er områderne yderligere delt op i underområder.

De faste parametre, som områderne er vurderet ud fra, er opstillet og prioriteret herunder.

Tabel 3-2: Geologiske- og geotekniske forhold der bruges i vurderingen.

Parameter	Bemærkninger
Vanddybde	Vil vanddybden begrænse brugen af forskellige typer af fundament?
Overfladenær kalk / hårde bjergarter	Vil kalk/hårde bjergarter fordyre eller umuliggøre brugen af f.eks. monopæle som fundament?
Mængde af stenet sediment (glaciale sediment)	Vil store sten besværliggøre installationen af fundamenterne?
Bløde sediment 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 interarray- eller eksportkabler? Er der sandlag tykke nok til at muliggøre f.eks. anvendelse af suction buckets og dermed give alternativer til monopæl-fundamenter?

Parameter	Bemærkninger
Strømhastigheder og sedimenttransport	Vil høje havstrømhastigheder besværliggøre installationen af møllerne (øget mængde vejrlig)? Vil høj sedimenttransport øge risikoen for erosion eller blotlægning af kabler som dermed skaber behov for fordyrende tiltag?
Design af kabelruter	Er området langt fra kysten, går ruten igennem fordyrende sedimenttyper (blødbund, glaciære sedimenter eller stenrev)?
UXO ¹ -risiko	Er UXO-risikoen forhøjet og dermed kræver yderligere undersøgelser?

3.4.2 Trin 2

Under trin 2 er underområderne blevet givet en overordnet kategorisering, V+, V, eller V-, som rangerer deres egnethed til konstruktion af hhv. vindmøller og energjøer 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 havbunds-sedimentkortlægningen i områderne. Anden type viser kategoriseringen af de scree-nede områder. På begge kort er placeringen af de konceptuelle geomodeller og de vurderede eksportkabelruter vist.

¹ UXO – Un-eXploded Ordnance – ueksploderet ammunition

4 Datagrundlag

Herunder er opstillet det, på screeningstidspunktet, tilgængelige datagrundlag.

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

I forhold til vurdering af UXO er der for alle områder udelukkende indhentet udtalelse fra Det Nationale Beredskab, Søværnskommandoen, omkring den generelle UXO-risiko. Dette er derfor ikke at anse som en specifik UXO-forundersøgelse.

Bornholm I +II

- > Batymetri og søkort fra hhv. GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans (<https://download.gebco.net>) og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet Geoviden 2014, nr. 2.
- > Kortlagte havbundssedimenter i tysk og polsk farvand i Østersøen er hentet fra Emodnet (https://www.emodnet-geology.eu/map-viewer/?p=seabed_substrate)
- > Boringer fra GEUS' Jupiter database
- > Videnskabelige artikler og rapporter, se Referencer.

Nordsøen II + III

- > Batymetri og søkort fra hhv. GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans (<https://download.gebco.net>) og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet 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.

- > Boringer fra GEUS' Jupiter database
- > Videnskabelige artikler og rapporter, se Referencer.

Området vest for Nordsøen II + III

Området afgrænses af 50 m dybdekurven.

- > Batymetri og søkort fra hhv. GEBCO – General Bathymetric Chart of the Oceans (<https://download.gebco.net>) og Geodatastyrelsen
- > GIS-lag over kortlagte havbundssedimenter udgivet af GEUS i 2015, beskrevet i tidsskriftet 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 dale 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.
- > Boringer fra GEUS' Jupiter database
- > Videnskabelige artikler og rapporter, se Referencer.

5 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 kort over arealvurderingen i de tre finscreenede områder er vist i Bilag 1.1, 2.1 og 3.1.

5.1 Bornholm I + II

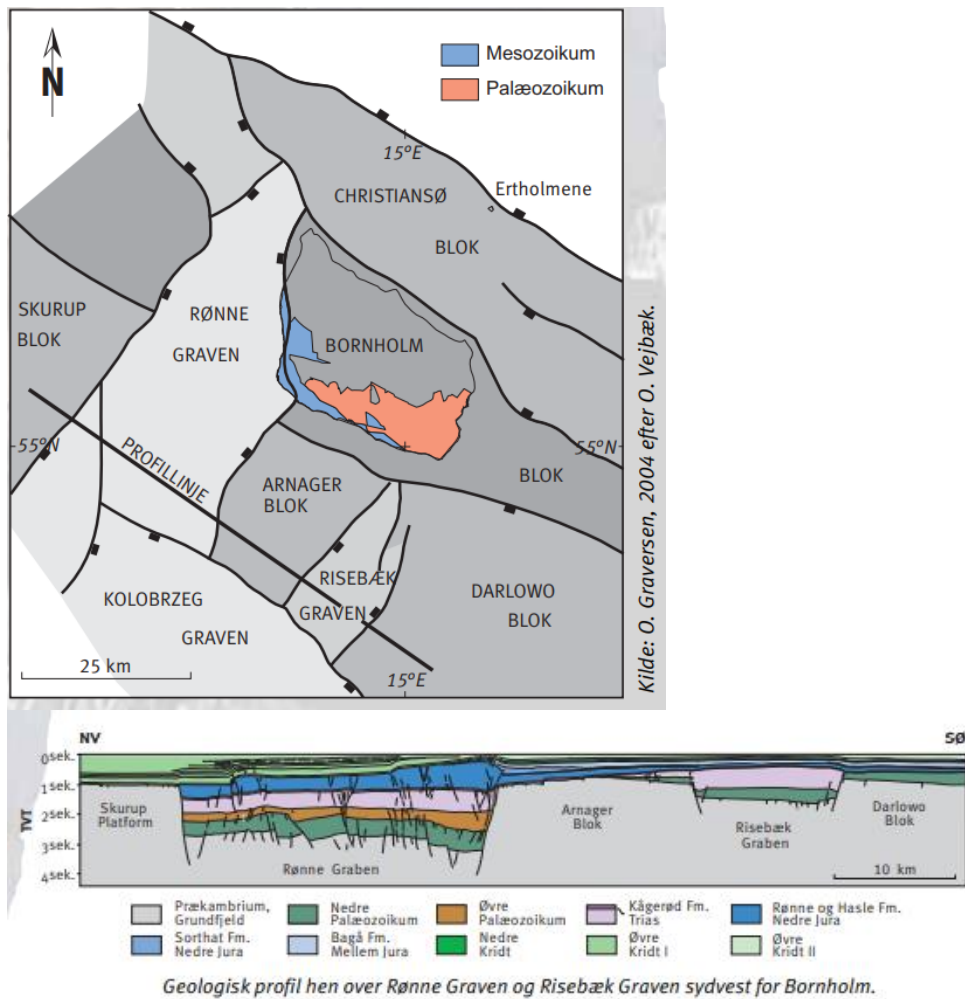
Bornholm I+II er beliggende ca. 23 km sydvest for Rønne (55 – 80 km fra Ystad, Sverige og ca. 50 km fra Rügen, Tyskland). Bornholm I ligger mod vest mens Bornholm II ligger mod øst (Figur 4). Bornholm I har et areal på ca. 270 km² mens Bornholm II har et areal på ca. 461 km². I den vestlige del af Bornholm II er der et område der er friholdt til råstofindvinding.

Klassifikationen på havbundssedimentkortet i Bornholm I området viser et sandet lag der ikke umiddelbart er i overensstemmelse med boringsdata fra området. Det antages derfor, at der findes et tyndt (0 – 2 m) lag mobilt post-glacialt sand ovenpå den moræne, der fremgår af borerne. I Bornholm II-området er tykkelsen af det post-glaciale sand generelt større, mellem 2 og 10 m og overensstemmelsen med havbundssedimentkortet bedre.

De glacialle aflejringer i Bornholm I-området er primært lerede, men med adskillige sand og gruslag. De er i området 5-20 m tykke. I både Bornholm I og II-områderne kan der forventes tilstedeværelse af kanaler eroderet ned i prækvartæret. I disse kanalstrukturer kan tykkelsen af de glacialle aflejringer nå op på 50 m eller mere. Tilstedeværelsen af de glacialle aflejringer samt systemet af kanaler er primært identificeret på seismisk data. Det tilgængelige datagrundlag er sparsomt og kanalsystemerne er derfor ikke kortlagt i nærværende finscreening.

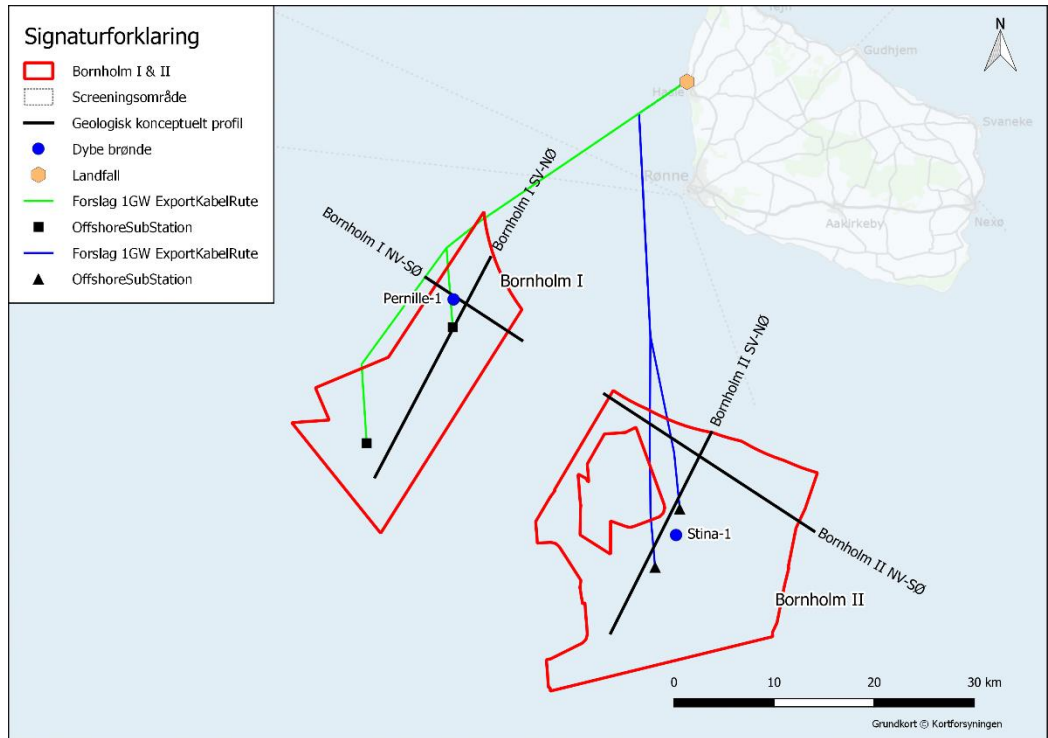
Prækvartæret forventes mod nord og sydøst at bestå af Øvre og Nedre Kridt kalk. Mod sydvest forventes Mellem Jura marine og delta-aflejringer bestående af sand-, silt-, og lersten. Denne forskel skyldes, at regionalgeologien er strukturelt kompleks (Figur 3) med flere graben strukturer (bl.a. Kolobzreg Graven og Rønne Graven) og med forkastningsaktivitet i flere perioder. Indenfor Bornholm I og II-områderne betyder dette, at der indenfor korte afstande forekommer store ændringer i

prækvartergeologien og dermed funderingsforholdene, hvilket er illustreret i de konceptuelle profiler i Figur 6 og Figur 8.

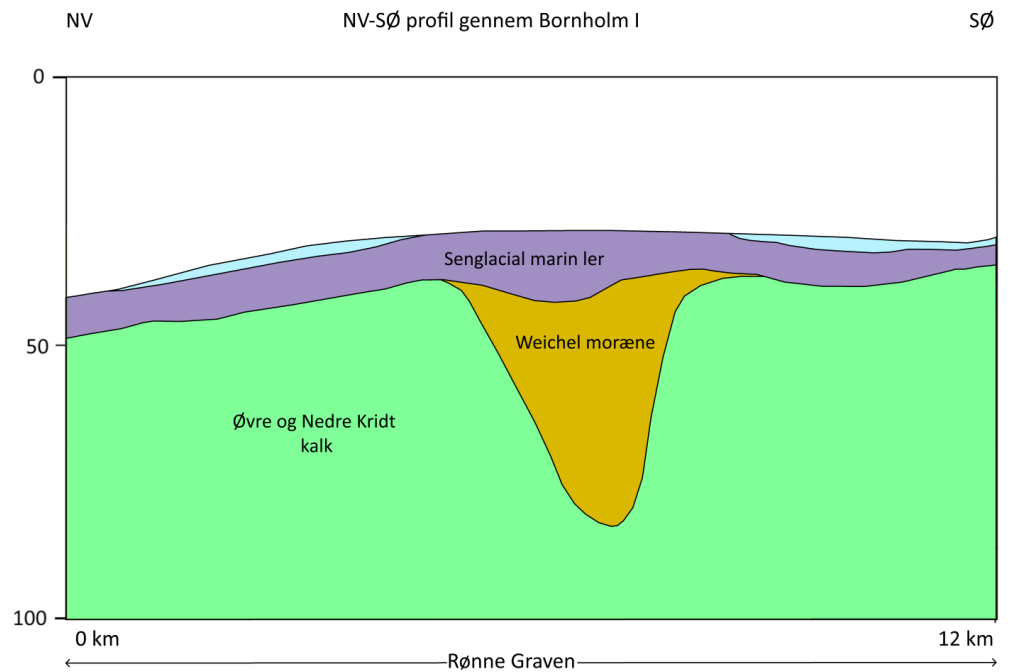


Figur 3: Oversigt over den strukturelle opbygning omkring Bornholm. Bornholm I-området strækker sig fra Kolobzreg Graven i syd til Rønne Graven i nord. Bornholm II-området omfatter dele af Arnager Blokken, Kolobzreg Graven, og Risebæk Graven. b) NV-SØ gående profil, placering ses på a) /6)/.

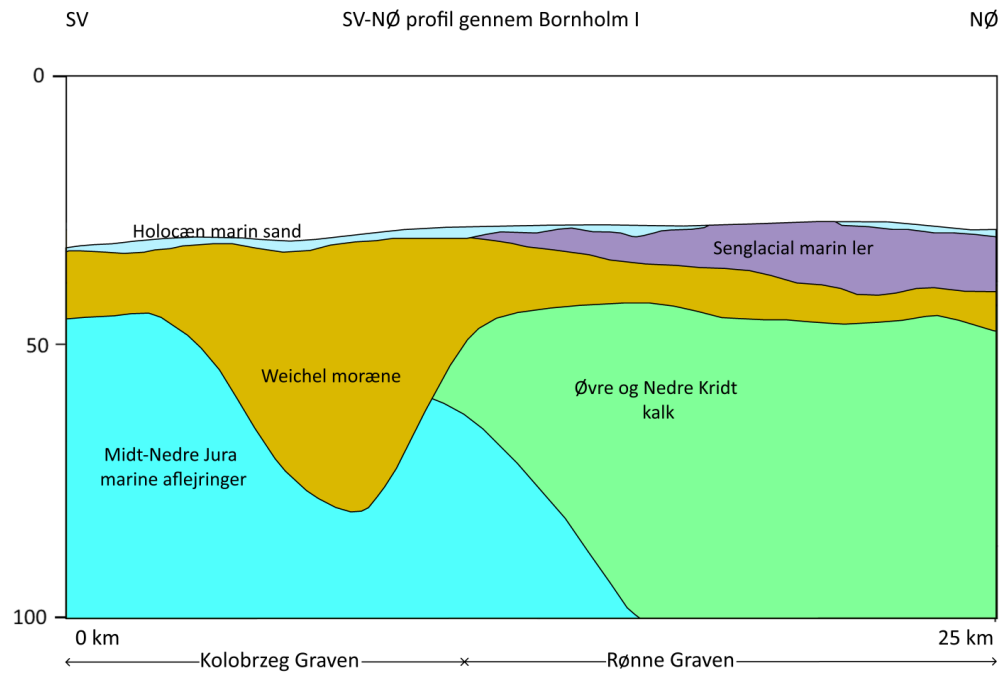
Fire konceptuelle profiler af geologien kan ses i Figur 5, Figur 6, Figur 7, og Figur 8. En oversigt over den samlede vurdering af Bornholm I og II områderne er vist i Tabel 5-1 og Tabel 5-2. Arealvurdering og havbundssedimentkort er vist på henholdsvis Bilag 1.1 og Bilag 1.2.



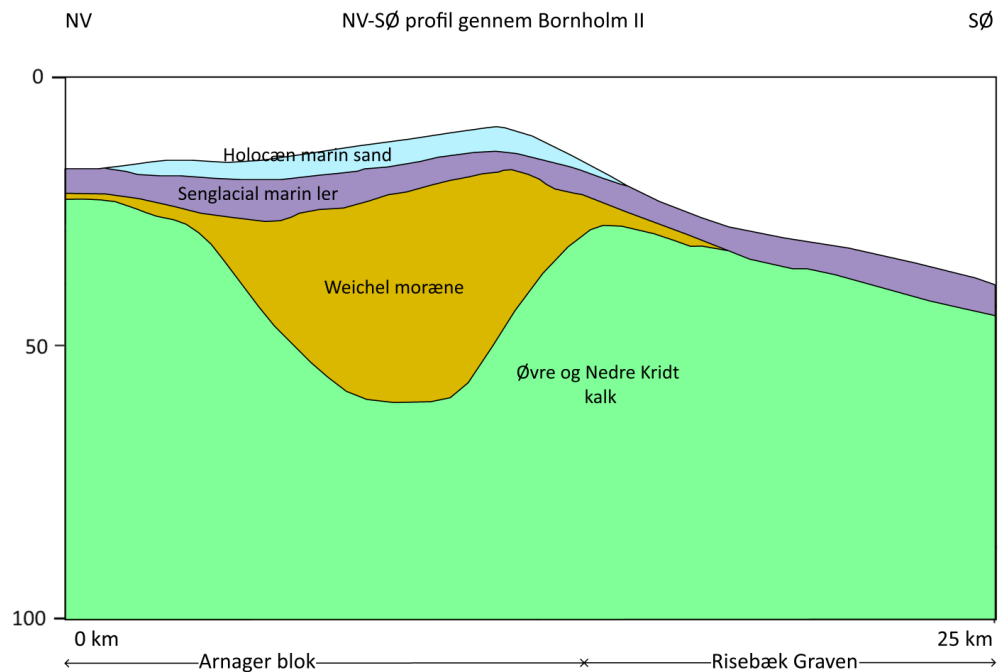
Figur 4: Placering af Bornholm I og II. Placeringer af konceptuelle profiler, planlagte eksportkabelruter, samt de to dybe borer, Pernille-1 og Stina-1, er vist.



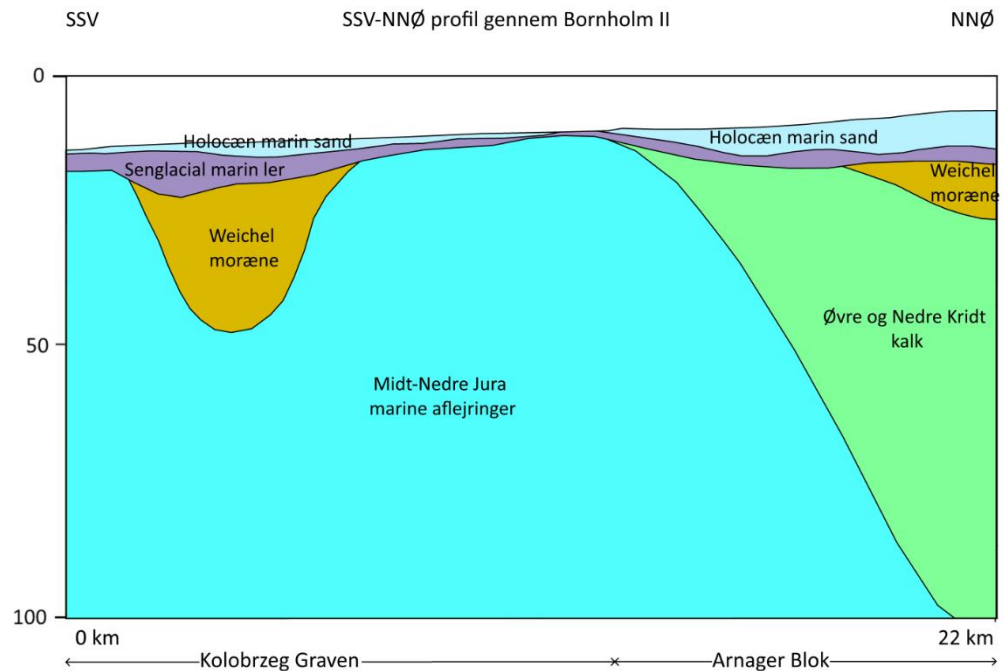
Figur 5: Konceptuelt profil gennem Bornholm I-området gående fra nordvest mod sydøst.



Figur 6: Konceptuelt profil gennem Bornholm I-området gående fra sydvest mod nordøst. Udstrækningen af Kolobrzeg Graven og Rønne Graven er markeret under profilet. Disse er på stor dybde adskilt af en forkastning, men udover opløft af Midt-Nedre Jura aflejringer har den ikke betydning i funderingsdybden.



Figur 7: Konceptuelt profil gennem Bornholm II-området gående fra nordvest mod sydøst.



Figur 8: Konceptuelt profil gennem Bornholm II-området gående fra syd-sydvest mod nord-nordøst. Udstrækningen af Kolobrzeg Graven og Arnager Blokken er markeret under profilet. Disse er på stor dybde adskilt af en forkastning, men udover opløft af Midt-Nedre Jura aflejringer har den ikke betydning i funderingsdybden.

5.1.1 Placering af Energiø

Der er på nuværende tidspunkt ikke planer om at placere en energiø i Bornholm I og II-områderne.

5.1.2 Eksportkabelrute

Der er foretaget en screening for to mulige eksportkabelruter, begge med landfall ved Hasle (Figur 4). Området på land fra landfall til den endelige destination for eksportkablerne er ikke medtaget i screeningen. Det skal her bemærkes, at sedimentkortet stemmer dårligt overens med information fra boreriger i området, hvorfor havbundsforholdene langs kabelruten er baseret på boringsdata.

Kabelruterne til Bornholm I-området er ca. 51 km til den fjerneste platform og ca. 37 km til den nærmeste, og krydser varierende bundforhold. Tæt på landfall forventes grundfjeld og moræne/diamikt. Langs de følgende 27 km forventes havbunden at bestå af 0-3 m post- og senglacialt sand mod øst og 0-6+ m senglacialt ler på den vestlige del af strækningen. Hvor de to kabelruter adskilles og fortsætter mod syd forventes bundforholdene at variere fra 0-3 m senglacialt dyndet silt og ler, til 5+ m glaciale ler- og sandaflejringer.

Eksportkabelruten til Bornholm II-området er ca. 51 km til fjerneste platform og ca. 47 km til nærmeste platform. De første ca. 28 km fra landfall følger kabelruten til de to platforme samme strækning. Her forventes varierende bundforhold med 0-2 m postglaciale grus, sand og ler ovenpå grundfjeld eller moræne/diamikt. Fra hvor de to kabelruter skilles og til både den vestlige og østlige platform ses øgede tykkelser af de post-glaciale sandede og lerede aflejringer til 6+ m, overlejrende glacialt ler og sand, lokalt mod vest også grus.

Tabel 5-1: Oversigt over vurderingen af Bornholm I området

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Østersøen		Området vurderes som mindre velegnet for fundering med monopæle, idet installation af monopæle besværliggøres af mulig hårdt moræneler med sten, højtliggende, mulig hårdt og flintrig kalk, samt højtliggende, muligvis cementerede marine aflejringer.
Vanddybde, kote	-30 - -50 m		
Havbund	Dyndet sand, sand, og kvartært ler og silt	Jack-up i forbindelse med udførelsen er formentlig uproblematisk	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	0-2 m marint sand		Jackets kan være en mulig funderingsmetode, dog vil samme udførelsesmæssige problemer som for monopæle gøre sig gældende ved nedbringning af pæle. Direkte fundering vurderes ikke realistisk på de aktuelle vanddybder.
Senglaciale aflejringer	0-6+ m marint ler		
Glaciale aflejringer	5-15 m, lokalt 30-50 m moræneler	Kan indeholde sten. Kan have høje styrker.	
Øvre og Nedre Kridt	Op til 850 m i Rønne Graven, kalk	Stærkt varierende mægtighed pga. forkastningsaktivitet. Er fraværende mod SSV. Kalken kan være hård og flintrig.	
Midt-Nedre Jura	400-500 m i Kolobzreg Graven, marine sedimenter i den øverste del af lagfølgen	Underlejrer de glaciale sedimentter mod SSV. Lagfølgen forventes at være kompakteret. Aflejringerne kan være cementerede.	
Kabelrute			
			Kabler forventes dels at kunne spules ned i havbunden (sand) dels at skulle pløjes/graves ned (ler).

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Energiø			
			Der er for nuværende ikke planer om at placere en energiø ved Bornholm
UXO			
		Der er tidligere udført UXO-undersøgelser, samt konstateret UXO i området	Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering sandsynligvis mulig med monopæle og jacket-fundamenter.
- > **Negativt:** Installation af monopæle og jacket-fundamenter besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt højtliggende hårde jord-/bjergarter. Direkte fundering vurderes ikke realistisk med store fundamenter og store vanddybder.

Tabel 5-2: Oversigt over vurderingen af Bornholm II området.

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Østersøen		Området vurderes som mindre velegnet for fundering med monopæle, idet installation af monopæle besværliggøres af mulig hårdt moræneler med sten, højtliggende, mulig hårdt og flintring kalk, samt højtliggende, muligvis cementerede marine aflejringer. Jackets kan være en mulig funderingsmetode, dog vil samme udførelsmæssige problemer som for monopæle gøre sig gældende ved nedbringning af pæle. Direkte fundering vurderes ikke realistisk på de aktuelle vanddybder.
Vanddybde, kote	-14 - -50 m		
Havbund	Sand, kvartærler og silt, lokalt sandet dynd	Jack-up i forbindelse med udførelsen er formentlig uproblematisk	
Jordlag			
Postglaciale aflejringer	0 - +10 m marint sand, lokalt sandet dynd		
Senglaciale aflejringer	1 - +6 m marint ler		
Glaciale aflejringer	0 - +2 m, lokalt 30-50 m moræneler	Kan indeholde sten. Kan have høje styrker	
Øvre og Nedre Kridt	0 - 175 m nord for Kolobzreg Graven, kalk	Stærkt varierende mægtighed pga. forkastningsaktivitet mod SSV. Kalken kan være hård og flintring.	
Midt-Nedre Jura	400-500 m i Kolobzreg Graven, marine aflejringer i den øverste del af lagfølgen	Underlejrer de glaciale sedimenter i Kolobzreg Graven. Lagfølgen forventes at være kompakteret. Aflejringerne kan være cementerede.	

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Kabelrute			
			Kabler forventes dels at kunne spules ned i havbunden (sand) dels at skulle pløjes/graves ned (ler). På strækninger med grundfjeld i havbunds niveau vil eventuel nedbringning i grundfjeldet kræve særlige tiltag såfremt kablet skal nedgraves.
Energiø			
			Der er for nuværende ikke planer om at placere en energiø ved Bornholm
UXO			
		Der er tidligere udført UXO-undersøgelser, samt konstateret UXO i området	Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering sandsynligvis mulig med monopæle og jacket-fundamenter.
- > **Negativt:** Installation af monopæle og jacket-fundamenter besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt højtliggende hårde jord-/bjergarter. Direkte fundering vurderes ikke realistisk med store fundamenter og store vanddybder.

5.2 Nordsøen II + III

Nordsøen II + III er to områdeafgrænsninger der er placeret henholdsvis 80 km og 100 km vest for den jyske vestkyst ud for Thorsminde (Figur 9). Nordsøen II dækker et areal på 1872 km² mens Nordsøen III dækker et areal på 1642 km². Nordsøen II ligger på mellem 35 – 40 m vanddybde mens Nordsøen III ligger på 25 – 40 m vanddybde, hvor de laveste vanddybder (kote -25 - -30 m) ligger i den centrale del af området.

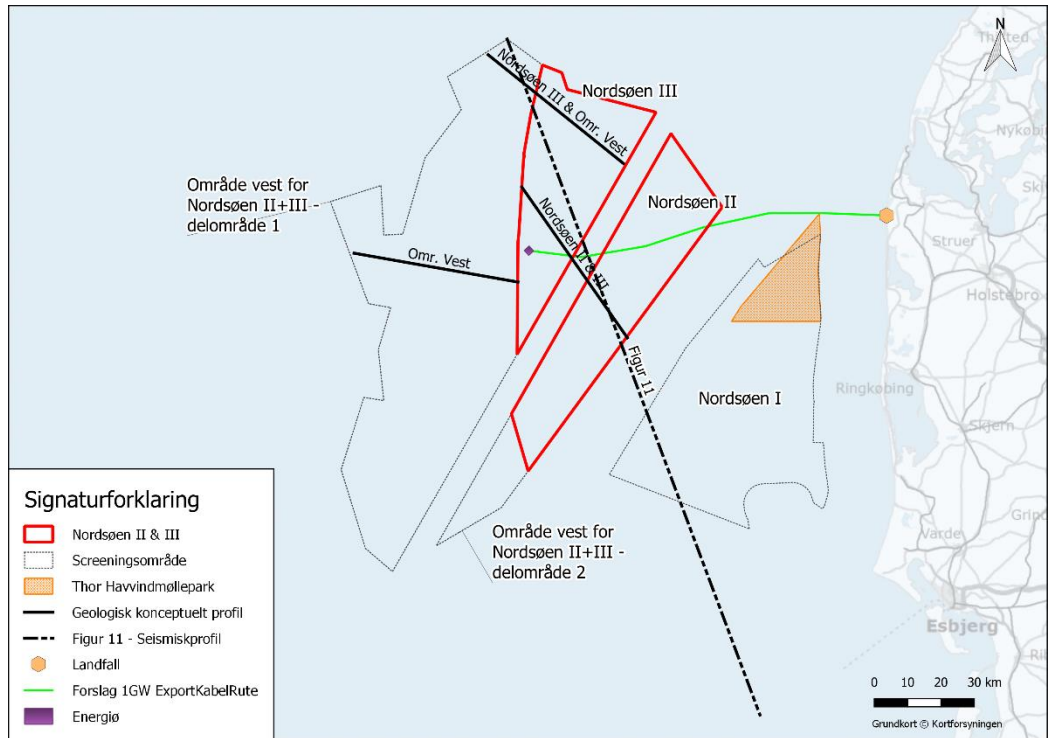
Viden om den kvartære stratigrafi bliver mindre jo længere væk fra den jyske vestkyst man kommer. Det har derfor ikke været muligt at foretage en underopdeling af områderne. Generelt for området er dog, at geologien har en meget kompleks opbygning med flere generationer af erosion, aflejring i forskellige marine og glaciæle systemer og glacialtektoniske påvirkninger.

Havbunden består primært af mobilt sand, groft sand og grus. Det vurderes, at der kan forefindes mobile sandbanker på 5 – 10 m tykkelse med en bølgelængde på 100 – 200 m.

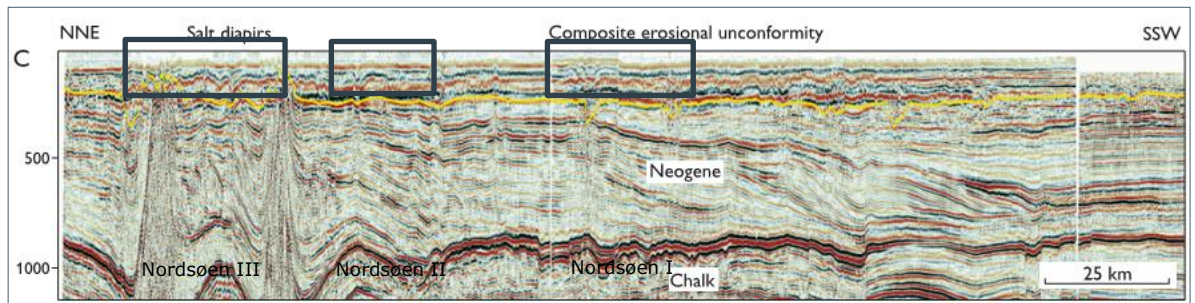
Det vurderes at de to områder overordnet består af 0 – 10 m Holocæne, sandede sedimenter, der overlejrer primært glaciofluviale sandede sedimenter fra Weichsel med en tykkelse på 0 – 15 m og enkelte steder, primært i den østlige del, marine ler- og sandaflejringer fra Eem med en tykkelse på 0 – 8 m.

I den nordlige del af Nordsøen III er der kortlagt moræneaflejringer på havbunden. Under dette ligger mere kontinuerte lag af moræneaflejringer fra Saale (10 – 15 m) og marine leraflejringer af Holstein-Elster alder (10 – 100 m). De nederste marine sedimenter er aflejret i kanalstrukturer, der skærer >100 m ned i de underliggende prækvartære aflejringer. De prækvartære aflejringer består af marint ler, silt og sand og vurderes til at ligge ca. 30 – 150 m under havbunden, dybest i de nord-syd-gående glaciæle kanalstrukturer, der er kortlagt flere steder i Nordsøen II og Nordsøen III (12)/.

I den nordlige del af Nordsøen III er de Kvartære sedimenter blevet tektonisk forstyrret af saltdiapirer, hvis top ses tæt på havbunden på seismiske profiler der går gennem området (9)/. Se Figur 10 og Figur 12.

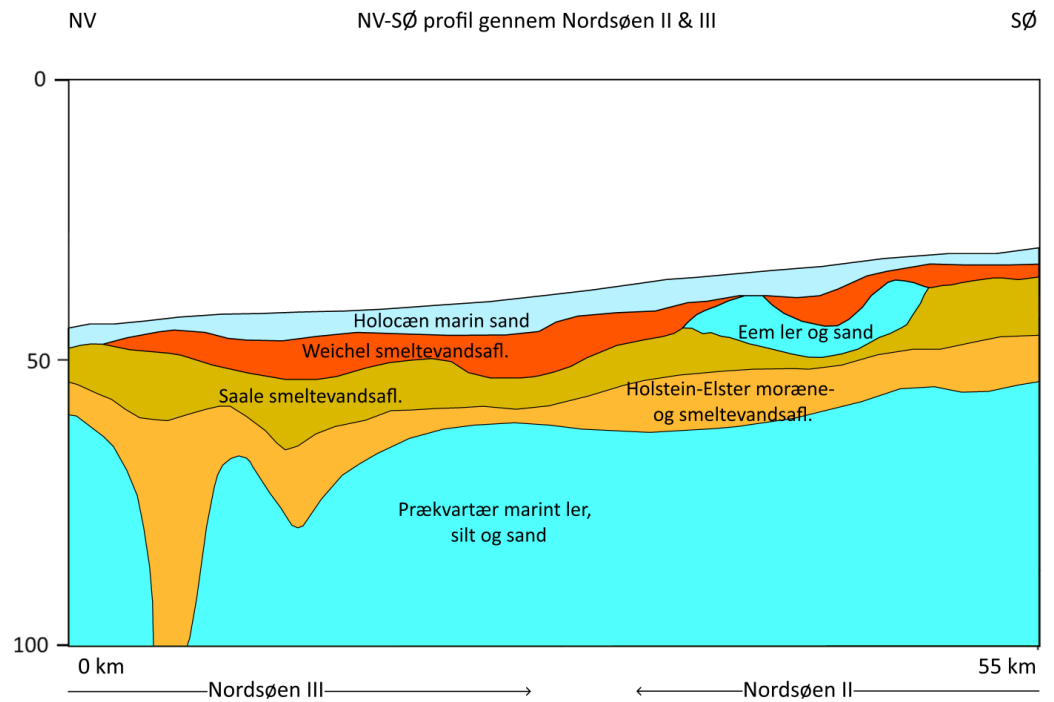


Figur 9: Placering af Nordsøen II og III. Placeringer af screenede områder, planlagte eksportkabelruter, placering af planlagt energiø, og konceptuelle profiler er vist.

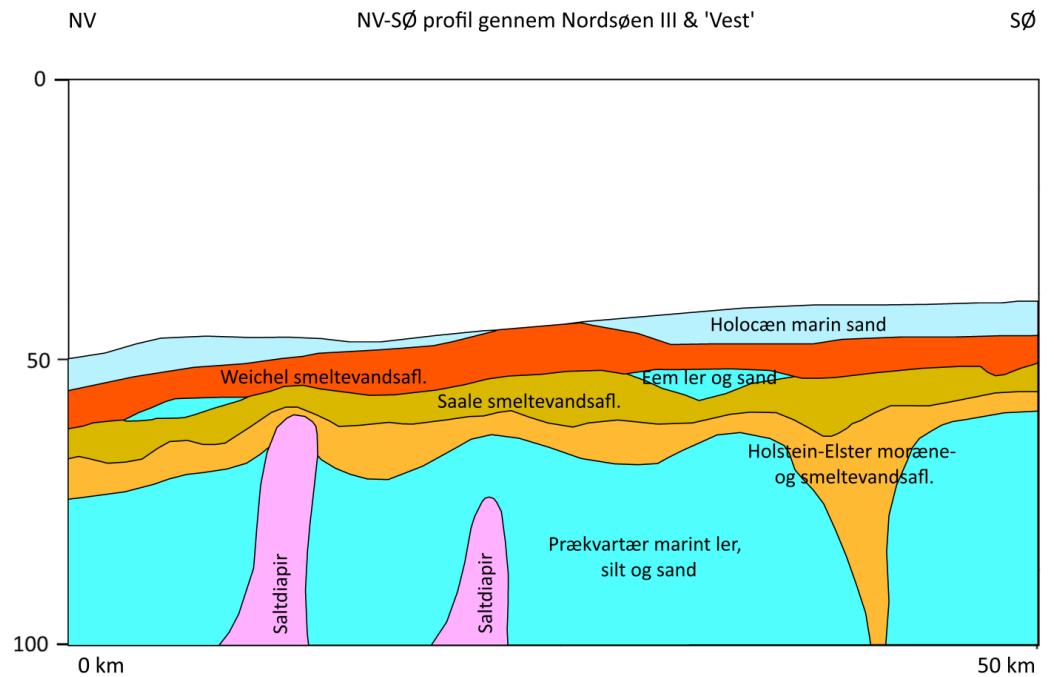


Figur 10: Seismisk profil af de kvartære og neogene sedimenter på tværs af Nordsøen I, II og III (9). Der ses to saltdiapirer i den nord-nordøstlige del af profilet. Profilets placering ses på figur 10 og 15. De sorte bokse angiver Nordsø-områdernes omtrentlige placering langs profilet. Bemærk dybdeskalaen – de konceptuelle geologiske profiler i nærværende rapport medtager kun de øverste 100 m under havbunden. (9)

Konceptuelle profiler af geologien i Nordsøen II + III er vist i Figur 11 og Figur 12.



Figur 11: Konceptuelt profil af Nordsøen II + III



Figur 12: Konceptuelt profil af den nordlige del af Nordsøen III og Området vest for Nordsøen II og III ('Vest'), med saltdiapirer.

En oversigt over den samlede vurdering af Nordsøen II + III området er vist i Tabel 5-3.

5.2.1 Placering af Energiø

Placeringen af en mulig energiø i Nordsøen er blevet indkredset til en lokation indenfor grid punkt 11 i Nordsøen III-området, på ca. 40 meters vanddybde (Se Figur 9). Afstanden til landfall ved Ferring er ca. 108 km. Havbunds- og fundamentforholdene forventes at være som beskrevet ovenfor og i Tabel 5-3.

Energiø:

En jacket-løsning vurderes mulig, men kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale og prækvartære aflejringer.

For en ø opbygget med sand vil funderingsforholdene på havbunden sandsynligvis være velegnede med hensyn til bæreevne, stabilitet og sætninger af havbunden. Der må påregnes store udførelsesmæssige udfordringer.

5.2.2 Eksportkabelrute

Der er foretaget screening for én mulig eksportkabelrute, med landfall ved Ferring sydvest for Nissum Bredning (Figur 9). Området på land fra landfall til den endelige destination for eksportkablerne er ikke medtaget i screeningen.

Eksportkabelruten går fra landfall nær Ferring ca. 108 km mod vest til den planlagte placering af energiøen i Nordsøen III-området. Havbunden langs strækningen forventes at være varierende, men primært at bestå af mobilt sand, groft sand og grus. Der forventes at være 0 – 10 m Holocæne, sandende sedimenter, der overlejrer primært glaciofluviale sandede sedimenter fra Weichsel med en tykkelse på 0 – 15 m.

Det vurderes, at der kan forefindes mobile sandbanker på 5 – 10 m tykkelse med en bølgelængde på 100 - 200 m. De sidste 20 km ind mod landfall er der kortlagt moræneaflejringer tæt på havbunden overlejret af et tyndt (< 1m) lag mobilt sand.

Tabel 5-3: Oversigt over vurderingen af Nordsøen II + III.

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Nordsøen	Risiko for meget standby tid i forbindelse med udførelsen	Området vurderes generelt velegnet for fundering med monopæle. For områder med stor vanddybde vurderes monopæle dog mindre egnede.
Vanddybde, kote	-25 - -50 m		
Havbund	Hovedsageligt sand og groft sand/grus - Moræne i den nordlige del af Nordsøen III og centrale del af Nordsøen II	Jack-up i forbindelse med udførelsen formentlig uproblematisk i hovedparten af området i forhold til havbunden.	Generelt forventes områder med lav vanddybde at være mere velegnede end områder med stor vanddybde.
Jordlag			
Post- og sen-glaciale aflejringer (Holocæn)	0 – 10 m marint sand		
Glaciofluviale aflejringer (Weichsel)	0 – 15 m glaciofluvialt sand		
Interglaciale aflejringer (Eem)	0 – 8 m ler og sand	Kan have høje styrker.	Områder med højtliggende salt-horste bør undgås.
Glaciale aflejringer (Saale)	10 – 15 m glaciofluvialt sand		
Interglaciale og glaciale aflejringer (Holstein – Elster)	10 – 100 m glaciofluvialt sand og moræneler	Moræneler Kan indeholde sten. Kan have høje styrker.	
Prækvartære aflejringer	> 100 m marint ler, silt og sand, lokalt salt diapirer, der gennemskærer de prækvartære og yngre aflejringer	De prækvartære aflejringer ligger 35 - >100 m under havbunden Kan have høje styrker.	
Kabelrute			
	80 – 110 km fra havvindmølleområdet til landfall	Kabelruten forventes at gå i land ved Vedersø Klit	På det foreliggende grundlag vurderes, at af kablet kan spules ned på hovedparten af strækningen.
Energiø			

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
			<p>En jacket-løsning vurderes mulig, men kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale og prækvartære aflejringer.</p> <p>For en ø opbygget med sand vil funderingsforholdene på havbunden sandsynligvis være velegnede med hensyn til bæreevne, stabilitet og sætninger af havbunden. Der må påregnes store udførelsesmæssige udfordringer.</p>
UXO			
		Der er tidligere udført UXO-undersøgelser, samt fjernet UXO i området	Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko

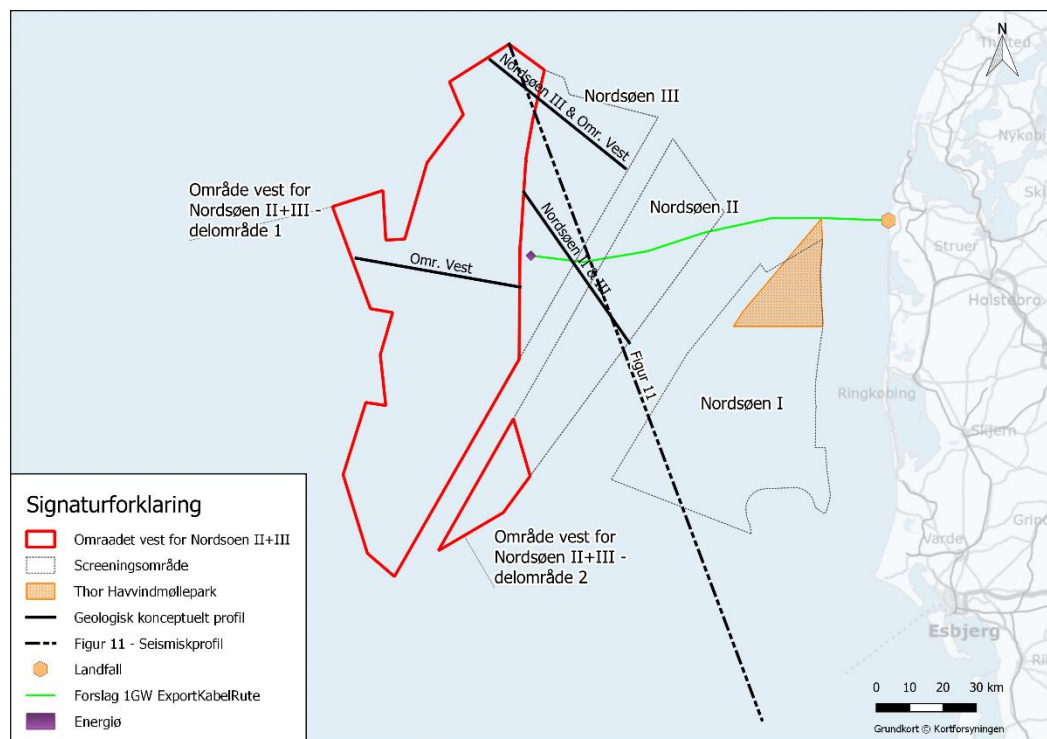
Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Vejrlig i Vesterhavet giver risiko for megen standby ifm. udførelsen. Installation af monopæle kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale og prækvartære aflejringer. Muligvis betydelig sedimenttransport i området.

5.3 Området vest for Nordsøen II + III indtil en havdybde på 50 m (Område Vest)

Området vest for Nordsøen II + III indtil en havdybde på 50 m (Område Vest) består af to delområder. Delområde 1 ligger vest for Nordsøen III og strækker sig ca. 75 km længere mod syd mens delområde 2 ligger som en sydlig forlængelse af Nordsøen II. De to delområder er placeret ca. 110 km vest for den jyske vestkyst. Delområde 1 dækker et areal på ca. 5.000 km² mens delområde 2 dækker et areal på ca. 353 km². Delområde 1 ligger på mellem 35 m – 50 m vanddybde mens Nordsøen III ligger på 35 m – 45 m vanddybde. Det vurderes, at der kan forefindes mobile sandbaner på 5 m – 10 m tykkelse med en bølgelængde på 100 m - 200 m.

Viden om den kvartære stratigrafi bliver mindre jo længere væk fra den jyske vestkyst man kommer. Det har derfor ikke været muligt at foretage en underopdeling af områderne. Generelt for området er, at geologien har en kompleks opbygning med flere generationer af erosion, aflejring i forskellige marine og glaciale systemer og glacialtektoniske påvirkninger.

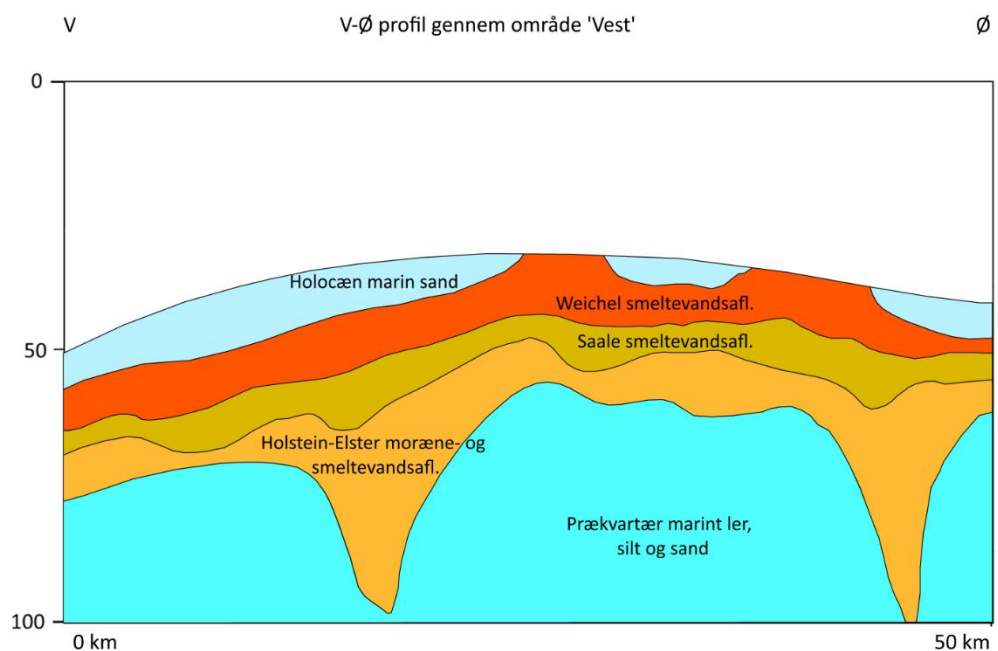


Figur 13: Placering af Område Vest (to delområder). Placering af de konceptuelle geologiske profiler, planlagte eksportkabelruter og placering af planlagt energiø er vist.

Havbundssedimentet i delområde 1 består hovedsageligt af moræneaflejringer, Holocæn sand, groft sand og grus i den nordlige og centrale del mens der i den sydlige del er kortlagt store områder med Holocæn dynd og dyndet sand. I delområde 2 er

der kortlagt Holocæn dyndet sand og sand i hele området. Tykkelsen af de Holocæne aflejringer er 0 – 10 m. De Holocæne enheder overligger glaciale lerede moræneaflejringer og sandede fluviale sedimenter fra Weichsel med en tykkelse på 5 – 15 m. Enkelte steder ses der i borer (f.eks. DGU 560420.34) 5 m tykke, sandede interglaciale aflejringer fra Eem. Under dette ligger mere kontinuerte lag af moræneaflejringer fra Saale (5 – 15 m) og marine leraflejringer af Holstein-Elster alder (10 – 100 m). De nederste marine sedimenter er aflejret i kanalstrukturer, der skærer >100 m ned i de underliggende prækvartære aflejringer. De prækvartære aflejringer består af marint ler, silt og sand og vurderes til at ligge ca. 30 – 150 m under havbunden, dybest i de nord-syd-gående glaciale kanalstrukturer der er kortlagt flere steder i Område Vest /12)/.

Der er konstateret salt diapirer tæt ved havbunden i den nordlige del af Nordsøen III området /9)/. Det kan forventes at der også i den nordlige del af Område Vest kan findes salt diapirer nær havbunden. Det må forventes at de øverste prækvartære aflejringer og til dels også de kvartære aflejringer er påvirket af salttektonik. Eksempel vist i Figur 10 og Figur 12.



Figur 14: Konceptuelt geologisk profil gennem den centrale del af Område Vest.

5.3.1 Placering af Energiø

Behandlet i afsnit 5.3.1.

5.3.2 Eksportkabelrute

Der er for nuværende ikke planlagt eksportkabelruter til området Vest for Nordsøen II og III. Dette område forventes at blive forbundet med landfall via energiøen i Nordsøen II-området.

Tabel 5-4: Oversigt over vurderingen af Område Vest

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Vejrlig	Nordsøen	Risiko for meget standby tid i forbindelse med udførelsen	Området vurderes generelt velegnet for fundering med monopæle. For områder med stor vanddybde vurderes monopæle dog mindre egnede.
Vanddybde, kote	-28 - -50 m		
Havbund	Hovedsageligt sand - stedvist dyn-det sand, grus og groft sand	Jack-up i forbindelse med udførelsen formentlig uproblematisk i hovedparten af området i forhold til havbunden.	Generelt forventes områder med lav vanddybde at være mere velegnede end områder med stor vanddybde.
Jordlag			
Post- og senglaciale aflejringer (Holocæn)	0 – 10 m marint sand		
Glaciale og glaciofluviale aflejringer (Weichsel)	5 – 15 m glaciofluvialt sand		
Interglaciale aflejringer (Eem)	0 – 5 m ler og sand	Leret kan have høje styrker.	
Glaciale aflejringer (Saale)	5 – 15 m glaciofluvialt sand		
Interglaciale og glaciale aflejringer (Holstein – Elster)	10 – 100 m glaciofluvialt sand og moræneler	Moræneler kan indeholde sten og kan have høje styrker.	
Prækvartære aflejringer	>100 m marint ler, silt og sand	De prækvartære aflejringer ligger 15 – >100 m under havbunden. Kan have høje styrker.	
Kabelrute			
	115 – 140 km fra havvindmølleområdet til landfall ved Houstrup Strand 135 km fra havvindmølleområdet til landfall ved Vedersø Klit	Kabelruten forventes at gå i land ved Vedersø Klit og/eller Houstrup Strand	På det foreliggende grundlag vurderes at af kablet kan spules ned på hovedparten af strækningen.

Parameter	Screening	Bemærkninger	Vurdering
Energiø			
Se Tabel 5-3			
UXO			
		Der er tidligere udført UXO-undersøgelser, samt konstateret UXO i området	Der må påregnes udgifter til udredelse af UXO-risiko

Konklusion:

- > **Positivt:** Fundering mulig med monopæle
- > **Negativt:** Vejrlig i Vesterhavet giver risiko for megen standby ifm. udførelsen. Installation af monopæle kan besværliggøres af mulig hård og stenfyldt moræne samt hårde interglaciale og prækvartære aflejringer. Muligvis betydelig sedimenttransport i området.

5.4 Relativ vurdering af områderne

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.

Områder og underområder er rangeret efter den geotekniske vurdering, overordnet geologi, havbundssedimentet og vanddybden samt variationsmulighed for placering af havvindmøllerne. Til eksempel er Nordsøen II vurderet bedre egnet end Nordsøen III, da havbundsdybden generelt er lavere og der er kortere afstand til land for eksportkabelruten. Det lille delområde af Nordsøen III der ligger i sydlig forlængelse af Nordsøen II er vurderet bedre egnet end resten af Nordsøen III grundet den geografiske placering. For begge områder (Nordsøen II og Nordsøen III) vurderes de geologiske og geotekniske forhold at være tilsvarende hinanden på nuværende vidensniveau. Bornholm I og Bornholm II er rangeret lavere end Nordsøen II og Nordsøen III, grundet den mindre tykkelse af glaciære sedimenter og dermed mindre dybde til hårde bjergarter.

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

Tabel 5-5: Samlet vurdering og rangering af de seks screenede områder.

Rang	Område	Kategori	Områdepolygoner på kortbilag
1	Nordsøen II	Velegnet (V)	
2	Området vest for Nordsøen II og III – Delområde 2	Velegnet (V)	
3	Nordsøen III	Velegnet (V)	
4	Området vest for Nordsøen II og III – Delområde 1	Velegnet (V)	
5	Bornholm II	Mindre Velegnet (V-)	
6	Bornholm I	Mindre Velegnet (V-)	

6 Referencer

- 1) Jensen, J.B., 2013: *Kriegers Flak: Revideret råstofopgørelse 2019'*. Opdatering af GEUS-rapport 78/2013.
- 2) J.B. Jensen, S. Borre, N. Nørgaard-Pedersen & J.O. Leth, 1999: *Model for potentielle sand-og grusforekomster for de danske farvande. Delområderne Kattegat syd og Østersøen vest'*. GEUS-rapport 2010/99.
- 3) Leth, J.O., Anthony, D., Larsen, B., Andersen, L.T. og Jensen, J.B., 2001: *Geologisk kortlægning af Vestkysten. Samlede resultater af den regionalgeologiske kortlægning af kystzonen mellem Lodbjerg og Blåvandshuk*. GEUS-rapport 2001/111.
- 4) Watchorn, P., 2014: *Interpretative Report – Site 1- Vesterhav Syd (Revision 5 – Final)*. EGS International Ltd, for Energinet.
- 5) Watchorn, P., 2014: *Interpretative Report – Site 2- Vesterhav Nord (Revision 3 – Final)*. EGS International Ltd, for Energinet.
- 6) Graversen, O., 2004: *Upper Triassic – Cretaceous stratigraphy and structural inversion offshore SW Bornholm, Tornquist Zone, Denmark*. Bulletin of the Geological Society of Denmark, 2004.
- 7) Perini et al., 1994: *Seismic stratigraphy of Late Quaternary glacial to marine sediments offshore Bornholm, southern Baltic Sea*. Sedimentary Geology 102 (1996) 3-21.
- 8) Watchorn, P., 2014: *Interpretative Report – Site 6 – Rønne Banke (Revision 2 – Final)*. EGS International Ltd, for Energinet.
- 9) Nielsen et al. 2007: *Base Quaternary in the Danish parts of the North Sea and Skagerrak*. Geological survey of Denmark and Greenland bulletin.
- 10) Jensen et al. 2011: *Mapping of raw materials and habitats in the Danish sector of the North Sea*. Geological survey of Denmark and Greenland bulletin 23, pp. 33-36.
- 11) *National boringsdatabase (Jupiter databasen), GEUS*. Boringer DGU 550711.12, DGU 550711.18, DGU 560722.3 <https://data.geus.dk/JupiterWWW/index.jsp>
- 12) Huuse, M. og Lykke-Andersen, H., 2000: *Begravede dale i Nordsøen og i Sønderjylland*. Geologisk Nyt 5/00.