

En overordnet geologisk vurdering af 6 udpegede lokaliteter for havvindmøller i Danmark

For Energistyrelsen (Energiforsyning)

Jørn Bo Jensen, Jørgen Overgaard Leth, Sara Borre,
Niels Nørgaard-Pedersen, Steen Lomholt
& Karen Edelvang



En overordnet geologisk vurdering af 6 udpegede lokaliteter for havvindmøller i Danmark

For Energistyrelsen (Energiforsyning)

Jørn Bo Jensen, Jørgen Overgaard Leth, Sara Borre,
Niels Nørgaard-Pedersen, Steen Lomholt
& Karen Edelvang

Indledning

Nærværende rapport er udført på foranledning af Energistyrelsens Forsyningsområde på møde afholdt 17. december 2010 på GEUS.

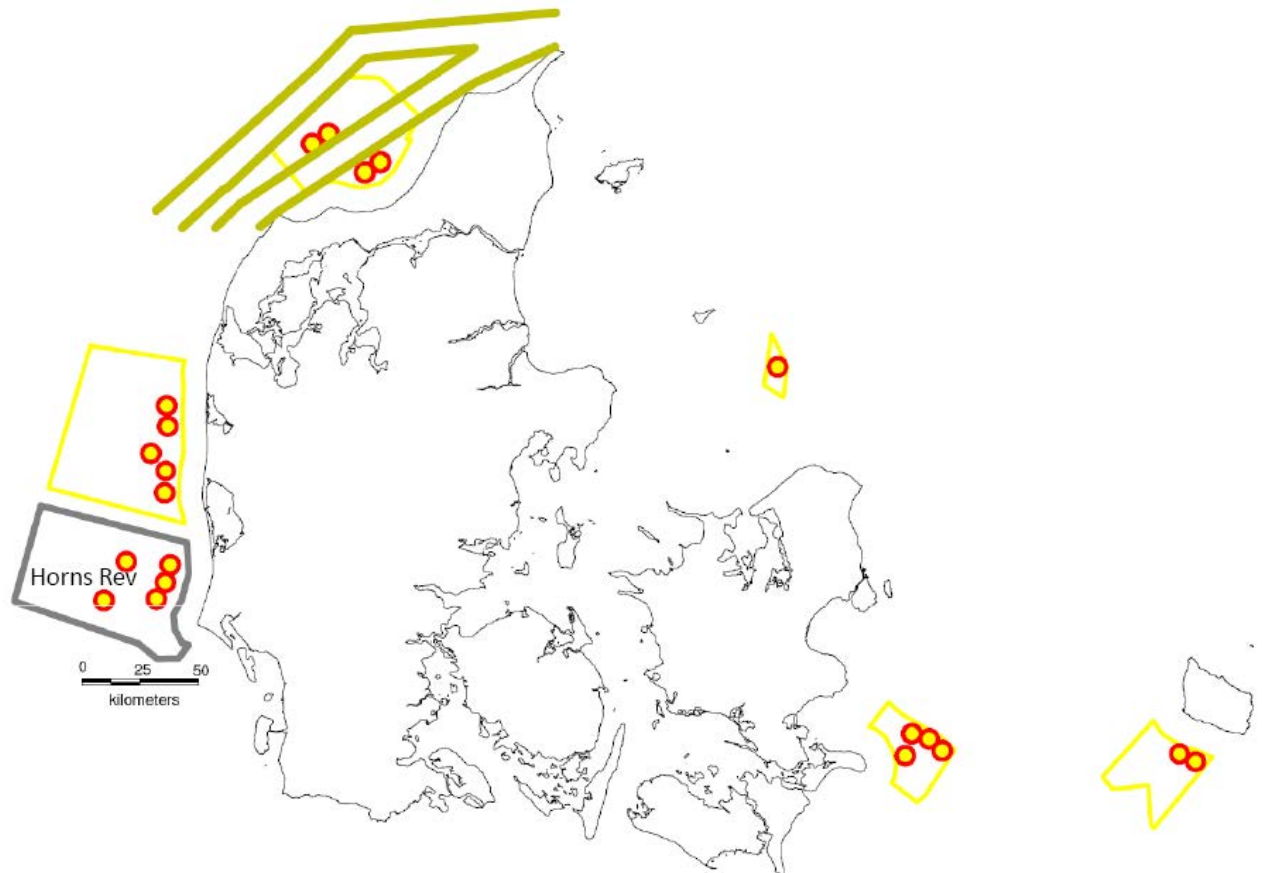
Energistyrelsen orienterede om Havmølleudvalgets arbejde og sammensætning, og opfordrede GEUS til at yde udvalget faglig assistance vedr. havbundsforhold, som en del af deres myndigheds-rådgivningsforpligtelse. GEUS accepterede, at der i et mindre omfang kunne ydes rådgivning i den konkrete sag omkring geologisk vurdering i form af 1-sides notater vedr. de 6 eksisterende mølleparkområder.

GEUS fremsender hermed rapport vedrørende de 6 mølleparkområder, der i rapporten er benævnt Horns Rev, Jammerbugten, Farvandet ud for Ringkøbing Fjord, Middelgrunden, Kriegers Flak og Rønne Banke.

Rapporten beskriver, hvad der overordnet kan konkluderes om de geologiske forhold i de respektive forundersøgelsesområder ud fra eksisterende kilder.

1. Horns Rev

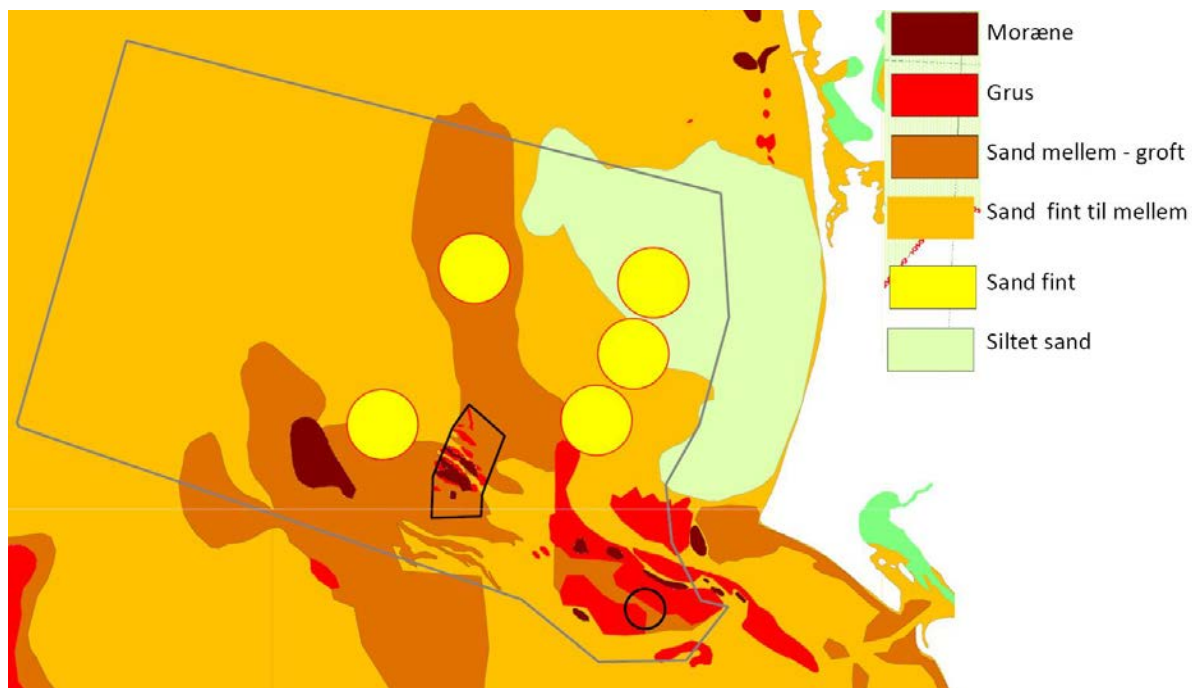
Horns Rev området er beliggende i Nordsøen nordvest for Esbjerg. Undersøgelsesområdet er ca. 75 X 42km svarende til et areal på omkring 3000 km². I dette område er der udpeget 5 potentielle interesseområder. Horns Rev området indeholder i forvejen to aktive vindmølleområder, som er placeret i den sydlige del af undersøgelsesområdet (se Figur 2.).



Figur 1. Fordelingen af vindmølle undersøgelsesområder (gule rammer) og potentielle interesseområder (gule cirkler med rød rand). Placeringen af Horns Rev undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme der indeholder 5 potentielle vindmølle interesseområder.

1.1 Dybdeforhold i Horns Rev undersøgelsesområdet

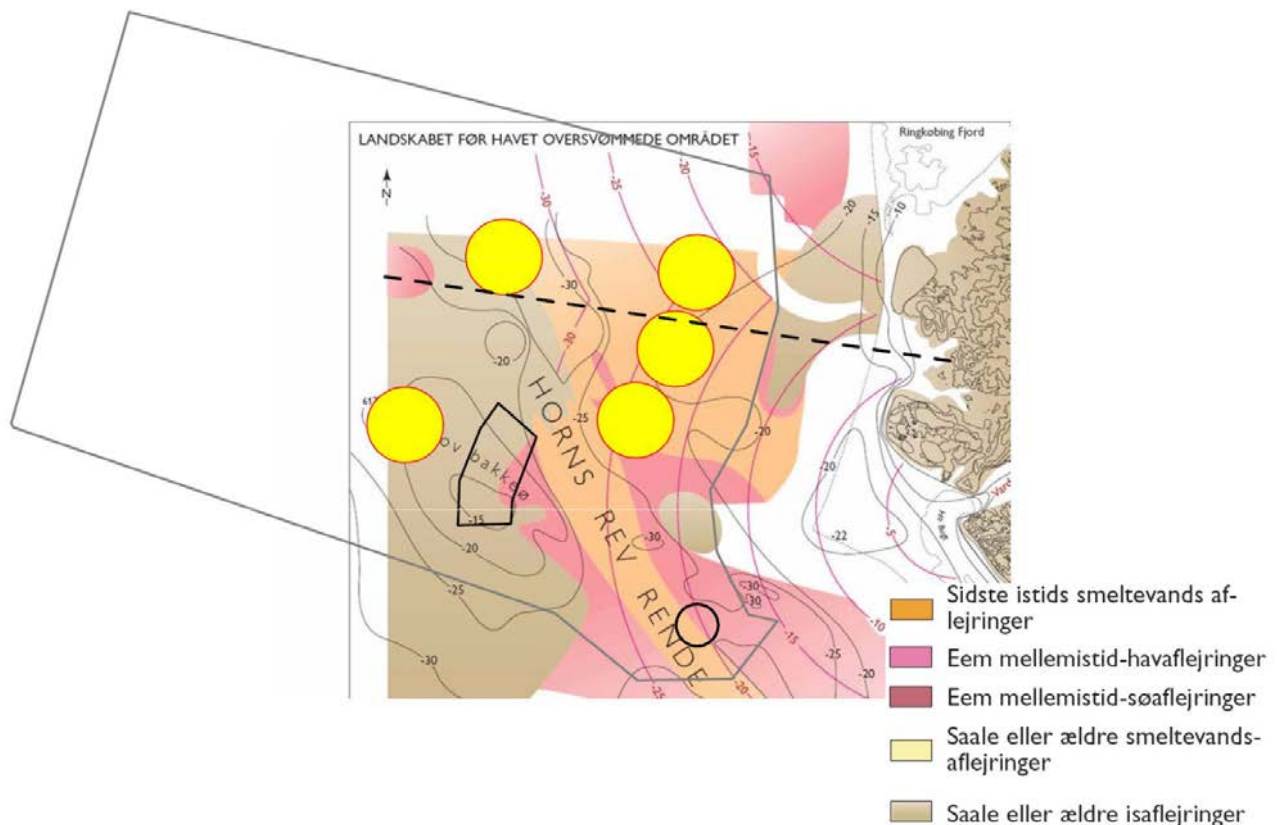
Undersøgelsesområdet omkranser i den sydøstligste del den morfologiske del af Ydre Horns Rev, hvor de 2 eksisterende vindmølleparker ligger henholdsvis på (Horns Rev I) og umiddelbart nord (Horns Rev II) for revet. De 5 nye potentielle områder befinder sig nord for Horns Rev på relativ flad bund med vanddybder omkring de 20m.



Figur 3. Overfladesedimenter i Horns Rev Undersøgelsesområdet. Placeringen af Horns Rev undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme der indeholder 5 gule potentielle vindmølle interesseområder. Eksisterende vindmølleparker angivet i sorte rammer. Overfladesediment kilde upubliceret kort fra GEUS pers med. Jørgen O. Leth.

1.3 Forventede havbundssedimenter i Horns Rev undersøgelsesområdet

Havbundssedimenterne under overfladesedimentet er ud over detailundersøgelserne foretaget i forbindelse med de eksisterende vindmølleparker dokumenteret af generelle undersøgelser foretaget af GEUS (Larsen, B. 2003 Geologi Nyt fra GEUS. Nr. 4 december 2003), Disse undersøgelser går ikke i detaljen, men giver et generelt overblik (Figur. 4).



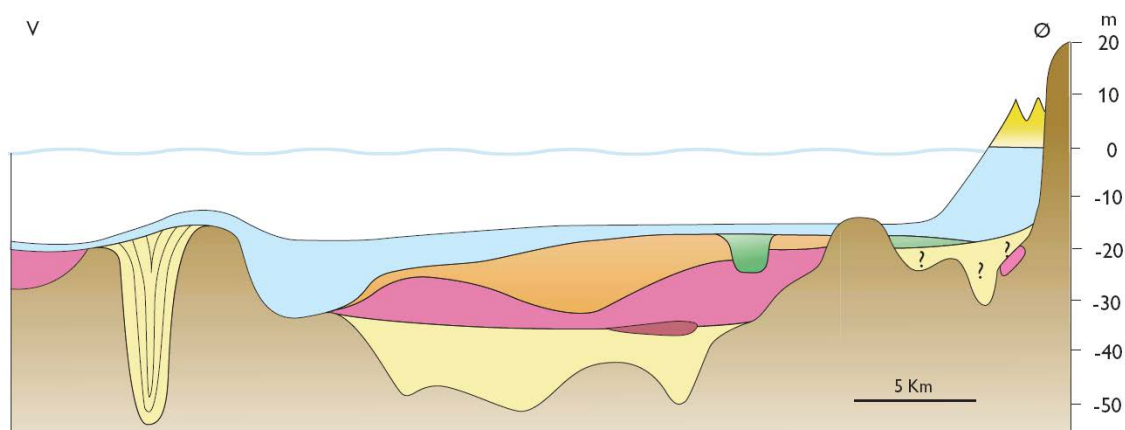
Figur 4. Havbundssedimenterne under efteristidens Holocæne aflejringer der delvist dækker Horns Rev undersøgelsesområdet. Stiplet linje viser placeringen af profil gennem havbundssedimenterne illustreret i Figur 5.

Informationerne fra Figur 4 og 5 viser at der generelt findes et op til 10m tykt Holocænt marint sandlag, der i de kystnære dele og omkring den eksisterende Horns rev II vindmøllepark underlejres af Saale eller ældre moræne aflejringer. Dog kan der ligeledes sporadisk findes interglaciale blødere sedimenter.

Denne type aflejringer er ligeledes sandsynlige i de to vestligste potentielle interesseområder.

De 3 østligste interesseområder ligger imidlertid i et område, hvor man under det Holocæne sand må forvente at finde en kombination af smeltevandssand og marine Eem finkornede sedimenter. De vestligste dele af undersøgelsesområdet er dårligt kendt.

Det kan konkluderes at de to vestlige interesseområder har en god chance for gode funderingsforhold, medens de 3 østlige interesseområder må forventes at kunne have dårlige funderingsforhold. Den vestlige del af undersøgelsesområdet er ikke undersøgt tilstrækkeligt til at give en vurdering, da der både er mulighed for morænebund og for blødere Eem aflejringer.



Figur 5. Profil gennem havbundssedimenterne markeret i Figur 6.

- Flyvesand, Holocæn
- Hav-sand, Holocæn
- Ferskvandsaflejringer, tidlig Holocæn
- Sidste istids smeltevands aflejringer
- Eem mellemistid-havaflejringer
- Eem mellemistid-søaflejringer
- Saale eller ældre smeltevands-aflejringer
- Saale eller ældre isaflejringer

Figur 6 Signaturer til figur 4 og 5.

Enheden fra Eem består af olivengråt, siltet ler, sandet silt og fint sand med sandlinser, skaller og skalfragmenter aflejret i et marint miljø. Eemaflejringerne er 10-15 m tykke mod vest (Konradi, Larsen & Sørensen, 2005; Larsen & Andersen, 2005), omkring tykke 5-10 m i den vestlige Nordsø (Knudsen, 1985) og op til 7 m mod nord ved grænsen til Norge, hvor de består af fint-mellem sand med skaller (Konradi, 2003). Der er dermed tale om en udbredelse over store del af Nordsøen. Stedvis starter Eem perioden med ferskvandsaflejringer, som består af tørv og planterester.

1.4 Sammenfatning af Horns Rev undersøgelsesområdet

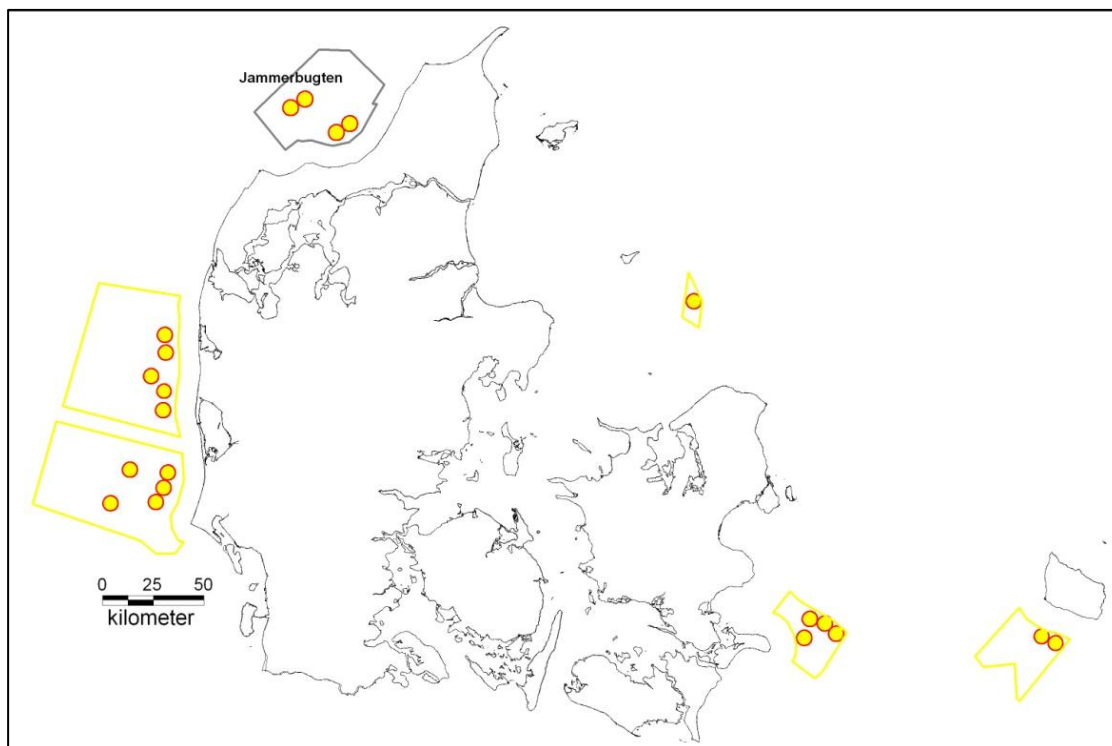
Ovenstående generelle gennemgang af Horns Rev undersøgelsesområdet viser at de 2 vestligste potentielle vindmølleområder har mulighed for gode funderingsforhold, men det må forventes at der kan være sand og grus råstofmæssige interesser.

De 3 østligste potentielle vindmølleområder kan forventes at have funderingsmæssige problemer medens de råstofmæssige interesser vil være begrænset.

I den vestlige del af undersøgelsesområdet mangler der information.

2. Jammerbugten

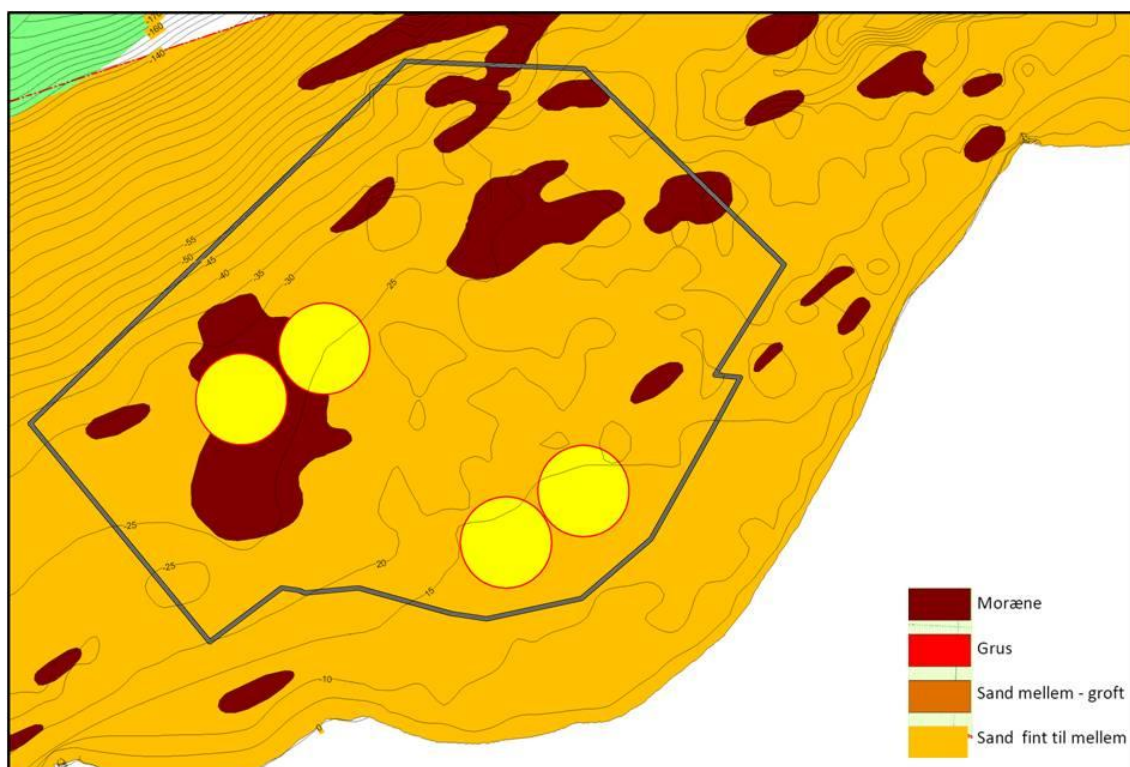
Jammerbugten er beliggende i Nordsøen mellem Hanstholm og Hirtshals. Undersøgelsesområdet er ca. 40 x 50 km svarende til et areal på 2000 km². I dette område er der udpeget 4 potentielle interesseområder (Figur 7).



Figur 7. Placeringen af Jammerbugten undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder de 4 potentielle vindmølle interesseområder (gule cirkler med rød rand). De øvrige vindmølleundersøgelsesområder er angivet med gule rammer.

2.1 Dybdeforhold i undersøgelsesområdet Jammerbugten

Undersøgelsesområdet dækker Jammerbugten samt området, der ligger nordvest herfor ud til ca. 50 m vanddybde. De 4 potentielle vindmølle interesseområder er beliggende i den sydlige halvdel af undersøgelsesområdet. De to inderste på ca. 15 m vand med en relativ jævn havbund, de to yderste mellem 25 og 30 m vand på en havbund jævnt skrånende mod nordvest. Undersøgelsesområdet skråner jævnt fra ca. 10 m tættest ved kysten til ca. 30 m længere mod nordvest, hvorefter havbundens hældning tiltager fra 35 m ud mod ca. 50 m yderst i området (Figur 8).



Figur 9 Overfladesedimenter i Jammerbugten undersøgelsesområdet. Placeringen af undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder 4 gule potentielle vindmølle interesseområder. Overfladesedimentkort upubliceret GEUS-kort (pers. medd. Jørgen O. Leth.)

2.3 Forventede havbundssedimenter i Jammerbug undersøgelsesområdet

Den geologiske opbygning af havbunden indenfor undersøgelsesområdet er ikke kendt fra detailstudier, men kan beskrives ud fra geologiske undersøgelser i de tilstødende områder. I området mod syd findes Kridt aflejringer i området omkring Hanstholm, hvor en salt diapir har løftet disse præ-kvartære aflejringer tæt mod havbunden. Flere steder på havbunden, op til 40 km mod vest for Hanstholm, står kridtaflejringerne frem direkte på havbunden. Det kan ikke udelukkes, at dette også kan forekomme indenfor undersøgelsesområdet.

Områderne med morænelers aflejringer er aflejret i den sidste istid i forbindelse med isens tilbagerykning til Norges kyst. Ud over afsætningen af disse stenede sedimenter forekommer der også en del interne forstyrrelser af lagene (dislokationer og foldninger), hvilket gør at lagene kan være noget opblandet. Dette kendes bl.a. fra Lønstrup Klint og fra havbunden i Jammerbugten, hvor isen også har skubbet rundt med de ældre lag.

Fra en større undersøgelse af Jyske Rev området syd herfor kendes en regional udbredt finkornet aflejring aflejret i den sidste del af istiden. Disse senglaciale sedimenter består typisk af ler og silt med et vist vandindhold, da de ikke har været overskredet af gletsjere. Sedimenterne udfylder lavningerne i istidslandskab med op til 50 m tykke lag. Det forventes, at disse enheder også kan findes indenfor undersøgelsesområdets yderste del.

Lokale bassiner (nogle kilometer i diameter) udfyldt med finkornede og organiskholdige sedimenter fra den senglaciale periode må ligeledes forventes at kunne findes i den inderste del af Jammerbugten.

Aflejringer af marint sand udgør havbunden i områderne udenfor morænelers områderne. Disse sandede sedimenter forventes at udgøre mellem 1 og 5 m tykkelse i den yderste del og på nordøstsiden af morænelers områderne.

Det er sandsynligt, at der findes sand og grusforekomster tæt ved morænelers områderne, idet disse typisk udgør kildeområder for de marine ressourcer.

2.4 Sammenfatning af Jammerbugten undersøgelsesområdet

Jammerbugten er præget af højtliggende Kridtaflejringer samt morænelers områder med gode funderingsforhold. Længst offshore forventes det, at der findes udbredte finkornede sedimenter fra senglacial oprindelse. Endvidere kan det ikke udelukkes, at der forekommer lokale bassiner udfyldt med finkornede, organiske sedimenter.

3. Farvandet ud for Ringkøbing Fjord

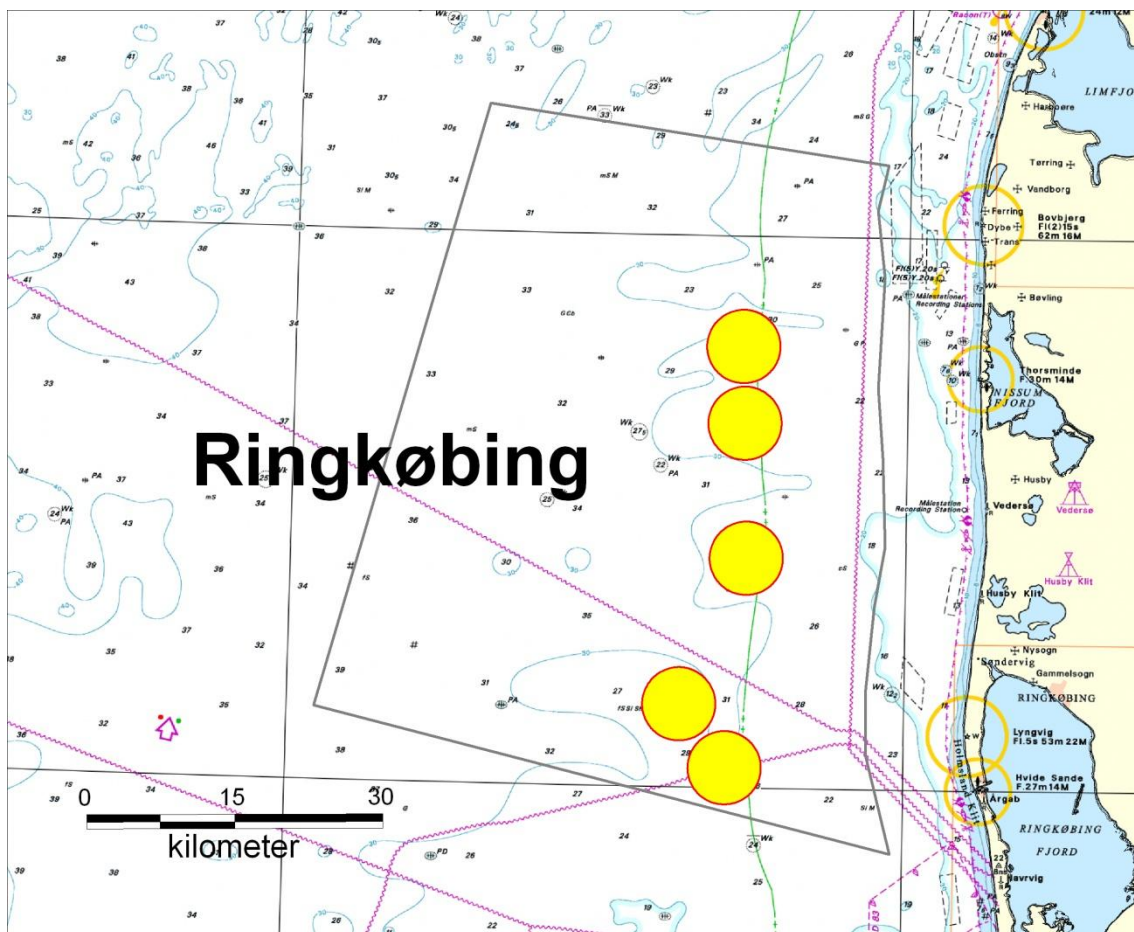
Undersøgelsesområdet Ringkøbing er beliggende i Nordsøen ud for den jyske vestkyst. Området er ca. 50 x 65 km svarende til et areal på omkring 3200 km². I dette område er der udpeget 5 potentielle interesseområder (Figur 10).



Figur 10. Fordelingen af vindmølle undersøgelsesområder (gule rammer) og potentielle interesseområder (gule cirkler med rød rand). Placeringen af undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme.

3.1 Dybdeforhold i undersøgelsesområdet Ringkøbing

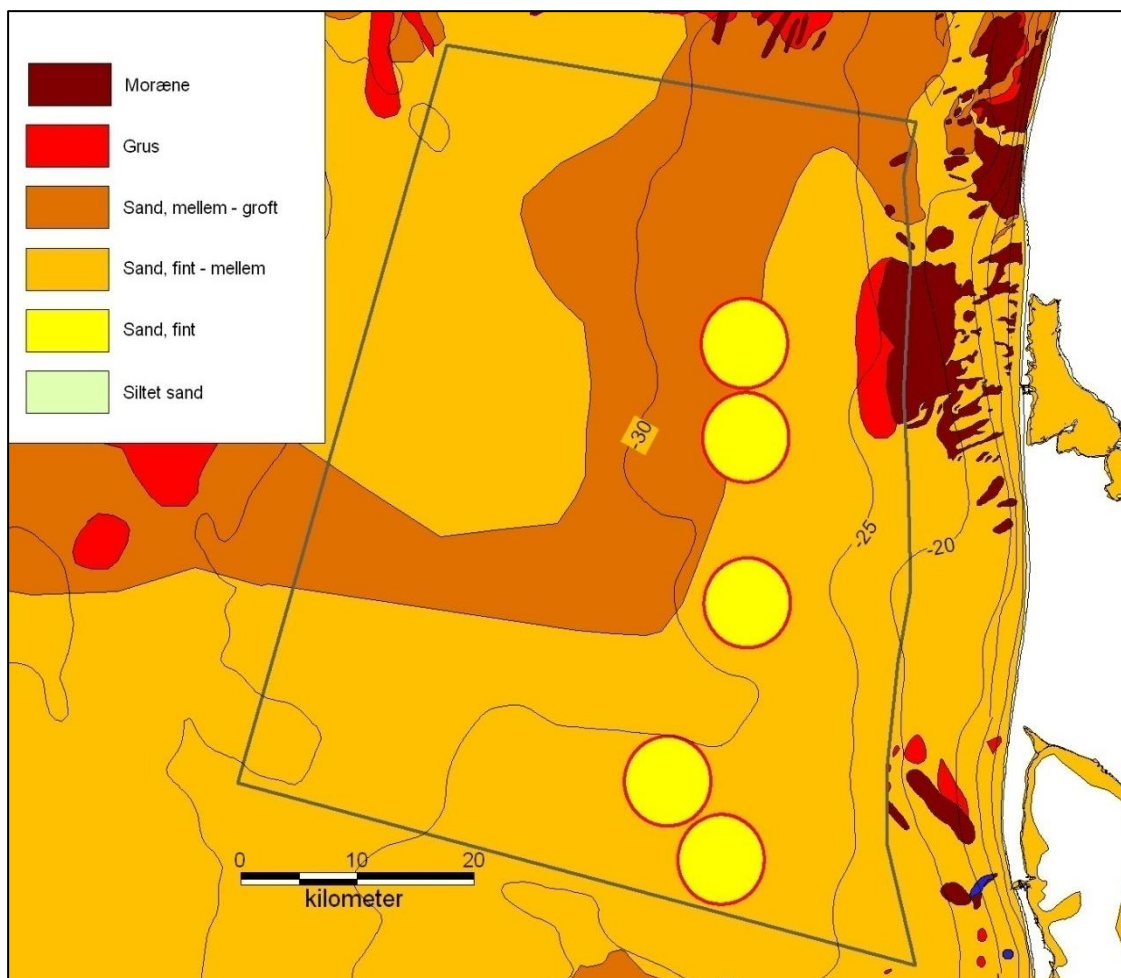
Undersøgelsesområdet Ringkøbing ligger på en jævnt skrånende havbund med vanddybder fra ca. 20 m i øst til ca. 35 m i vest (Figur 11). Dybdekurverne har overordnet et bølget og kystparallelt forløb. De 5 potentielle vindmølle positioner ligger alle mellem 25 og 30 m vanddybde.



Figur 11. Dybdeforholdene i undersøgelsesområdet Ringkøbing. Placeringen af undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder 5 gule potentielle vindmølle interesseområder. Søkort fra Kort og Matrikelstyrelsen.

3.2 Overfladesedimenter i undersøgelsesområdet Ringkøbing

Overfladesedimenterne i undersøgelsesområdet (Figur 12) er præget af fin - mellemkornet sand med en tendens til lidt grovere sand mod nordvest. De 5 potentielle vindmølle positioner er beliggende indenfor en ensartet fin-grovkornet sandbund. Overfladesedimentfordelingen antyder, at der 6 – 8 km øst for de to nordlige positioner findes et gruset område, der kan være af råstofmæssig interesse.



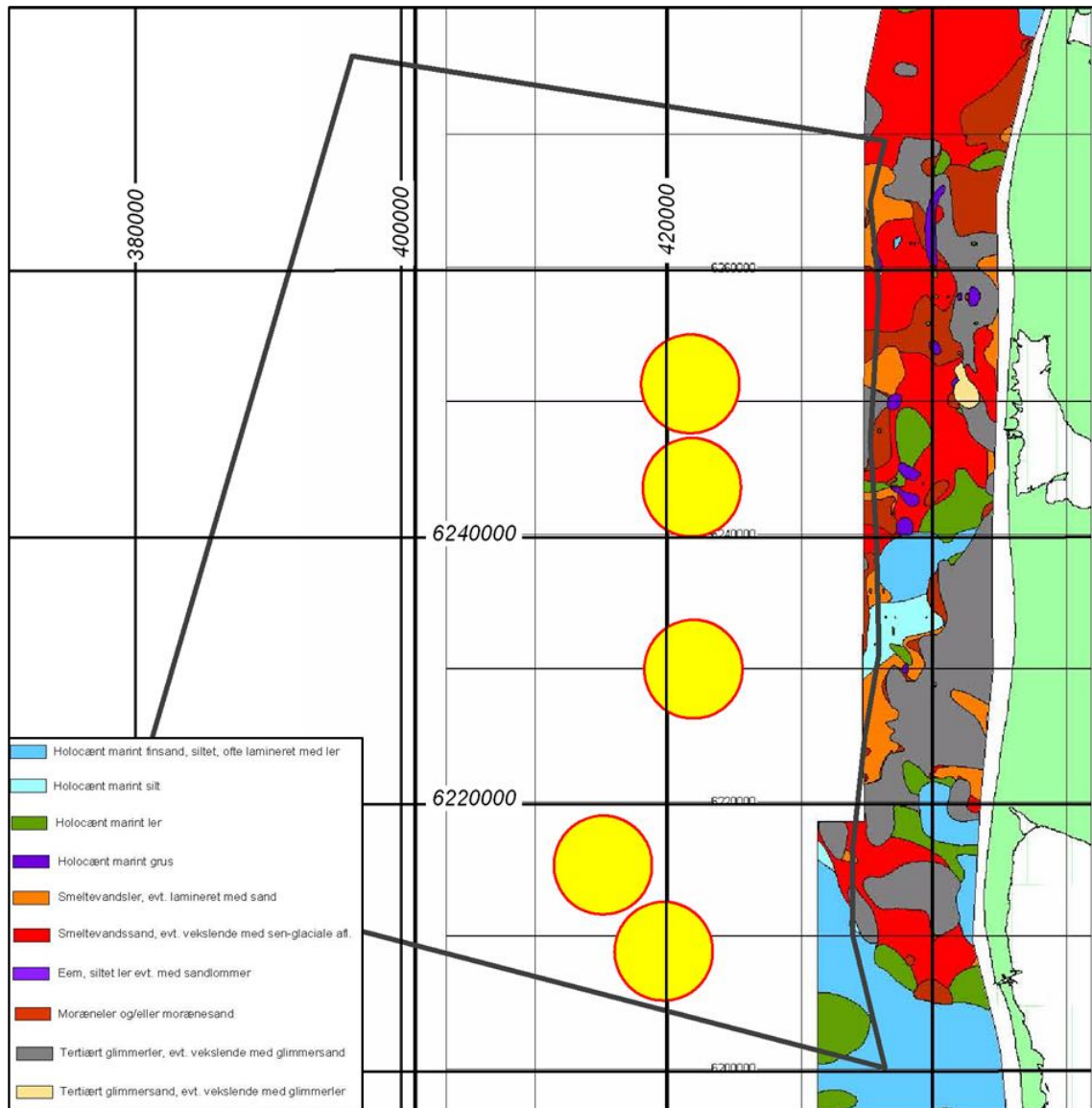
Figur 12. Overfladesedimenter i farvandet ud for Ringkøbing Fjord. Placeringen af undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder 5 gule potentielle vindmølle interesseområder. Overfladesedimentkort upubliceret GEUS-kort (pers. medd. Jørgen O. Leth.)

3.3 Forventede havbundssedimenter i undersøgelsesområdet Ringkøbing

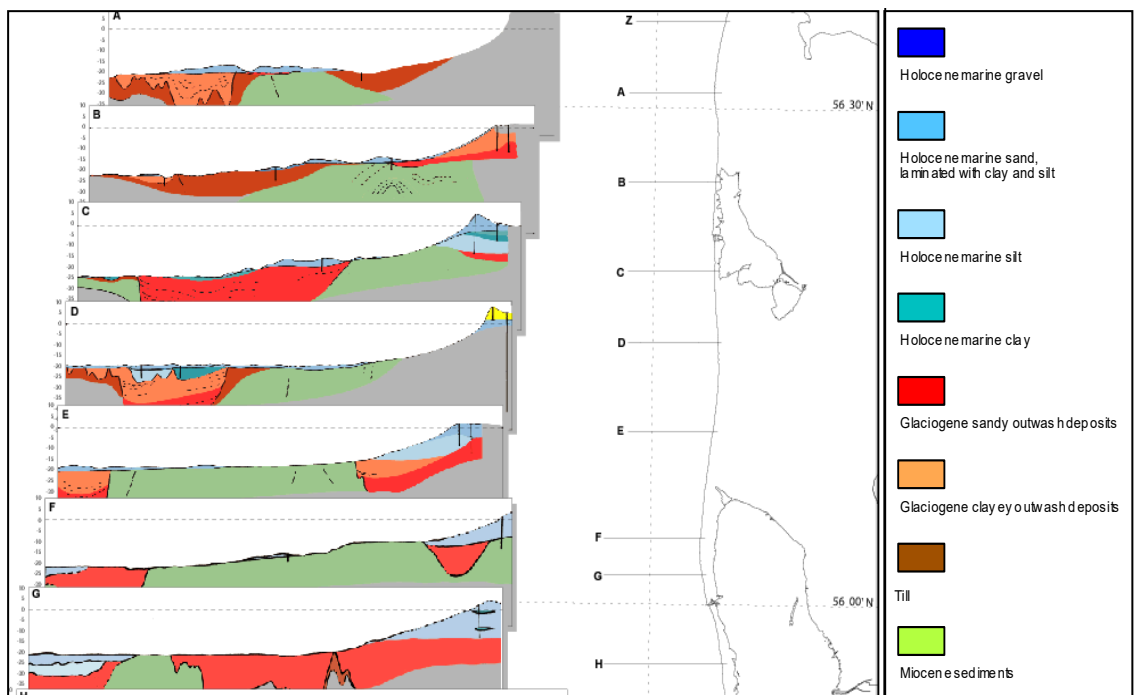
Havbundssedimenterne under overfladesedimentet er ikke kortlagt for undersøgelsesområdet. Til gengæld er der foretaget en meget detaljeret kortlægning af den tilstødende kystzone øst herfor af Leth et al., 1999 (**Figur 13**). Resultaterne herfra kan bruges til at forudsige, hvilke geologiske enheder, der findes i det potentielle vindmølleområde vest herfor.

I den nordligste del af undersøgelsesområdet er havbunden præget af istidsaflejringer som moræner fra den forrige istid (bakkeøer fra Saale istiden). Havbunden ud for de to fjorde, Nissum Fjord og Ringkøbing Fjord, er præget af flodsletteaflejringer bestående af sand og grus. Disse aflejringer forventes at kunne følges mod vest ud i undersøgelsesområdet med en betydelig horisontal og vertikal udstrækning. Imellem de to fjorde ses aflejringer fra den ældre Tertiær periode (Miocæn) at ligge tæt på havbunden. Disse sedimenter består hovedsagelig af glimmerholdigt ler, der har været overskredet af en gletsjer i Saale istiden. Lokalt i området findes finkornede sedimenter, dels fra Eem, og dels fra den sen-glaciale

periode. Disse sedimenters udbredelse er ikke velbeskrevet indenfor undersøgelseområdet og vanskelig at forudsige, idet der ofte er tale om lokale aflejringsbassiner og/eller erosionsrester, der står tilbage i den førromtalte flodslette. Profilerne i **Figur 14** giver et indtryk af fordelingen af de beskrevne aflejringstyper i en serie af øst-vest tværsnit.



Figur 13. Den geologiske opbygning af havbunden under det mobile sandlag i området umiddelbart øst for undersøgelsesområdet.



Figur 14. Geologien under havbunden i området umiddelbart øst for undersøgelsesområdet Ringkøbing. De stiplede linjer viser placeringen af profilerne gennem havbundssedimenterne. Efter Leth et al. 1999.

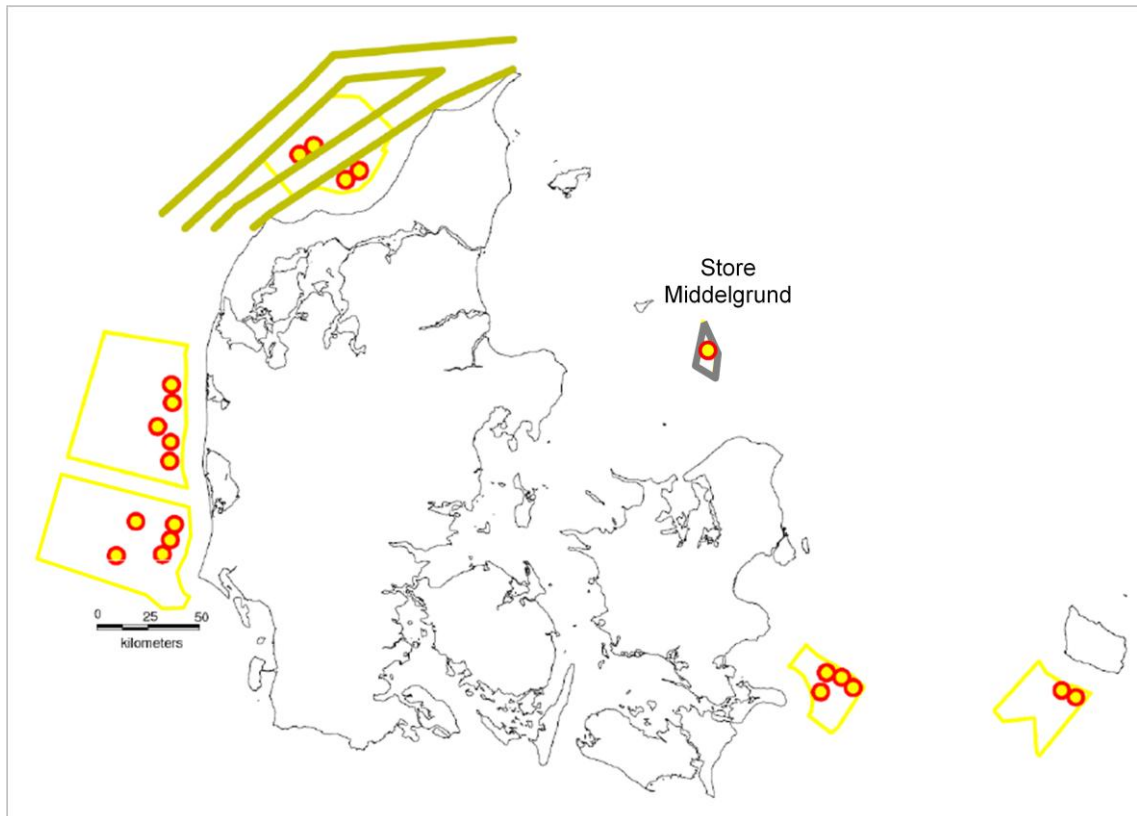
3.4 Sammenfatning af undersøgelsesområdet Ringkøbing

Ovenstående generelle gennemgang af undersøgelsesområdet viser, at der i den nordlige del af det potentielle vindmølleområde kan findes mulighed for gode funderingsforhold med moræneaflejringer tæt på havbunden, men der kan opstå råstøfmæssige interesser i området øst for de 2 nordligste potentielle vindmøllepositioner.

Funderingsmæssige problemer pga. lokale finkornede/bløde sedimenter kan forekomme indenfor undersøgelsesområdet. I den vestlige del af undersøgelsesområdet mangler der information.

4. Store Middelgrund

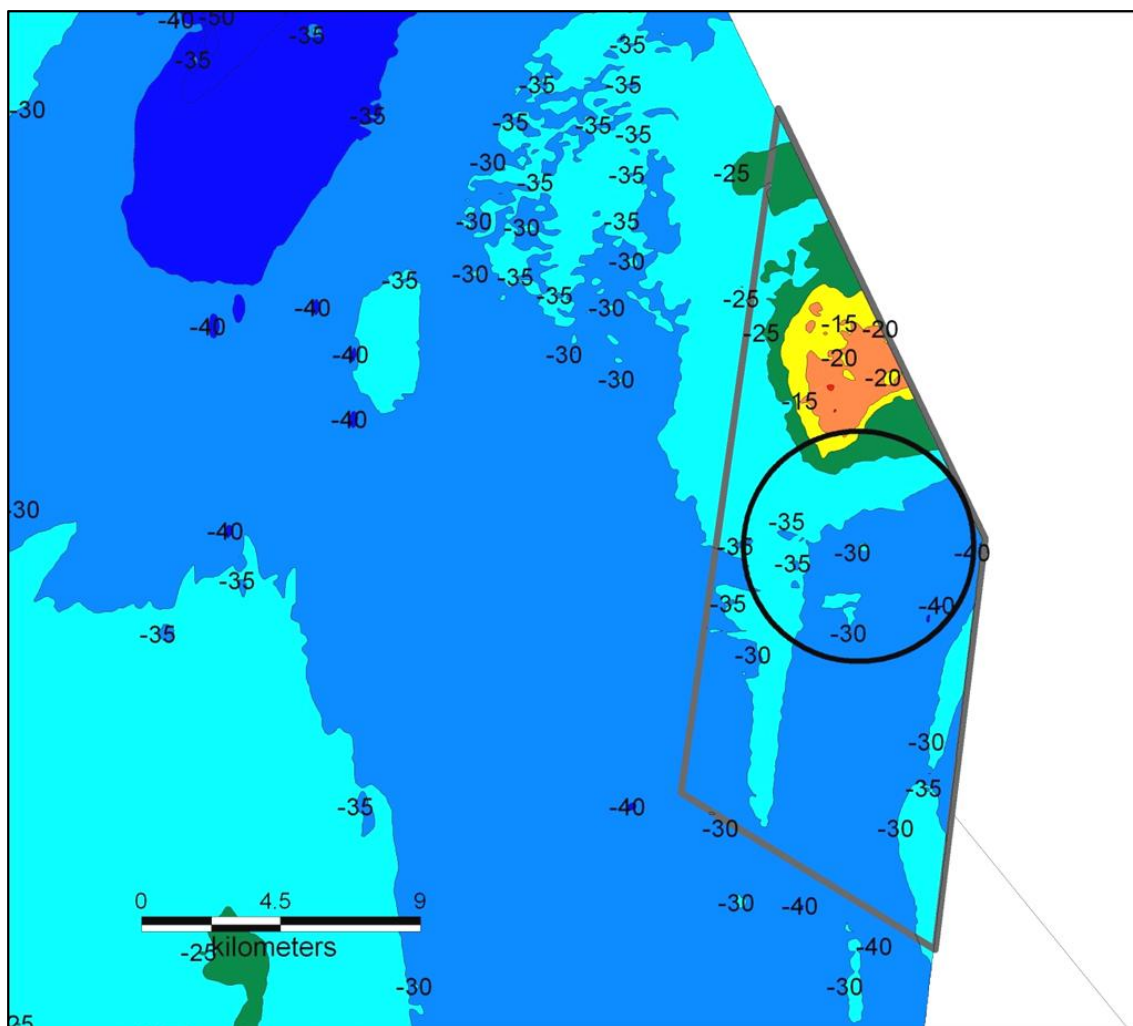
Store Middelgrund er beliggende i Kattegats østlige del på grænsen til Sveriges territorialgrænse. Undersøgelsesområdet er ca. 10 X 25 km med et areal på ca. 200 km² (Figur 15).



Figur 15. Fordelingen af vindmølle undersøgelsesområder (gule rammer) og potentielle interesseområder (gule cirkler med rød rand). Placeringen af Store Middelgrund undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme der indeholder ét potentielt vindmølle interesseområde.

4.1 Dybdeforhold i Store Middelgrund undersøgelsesområdet

Undersøgelsesområdet omkranser i den nordlige del den mest lavvandede del af Store Middelgrund med vanddybder i størrelsesordenen 10-15 m med enkelte isolerede grunde <10 m dybde (Figur 16). Syd herfor stiger dybden jævnt til 25 – 35 m, og dybere dele ned til ca. 40 m findes i den centrale sydøstlige del af undersøgelsesområdet. Det potentielle område udvalgt for vindmølleplacering befinder sig på den relativ flade bund med vanddybder omkring 30-40 m.

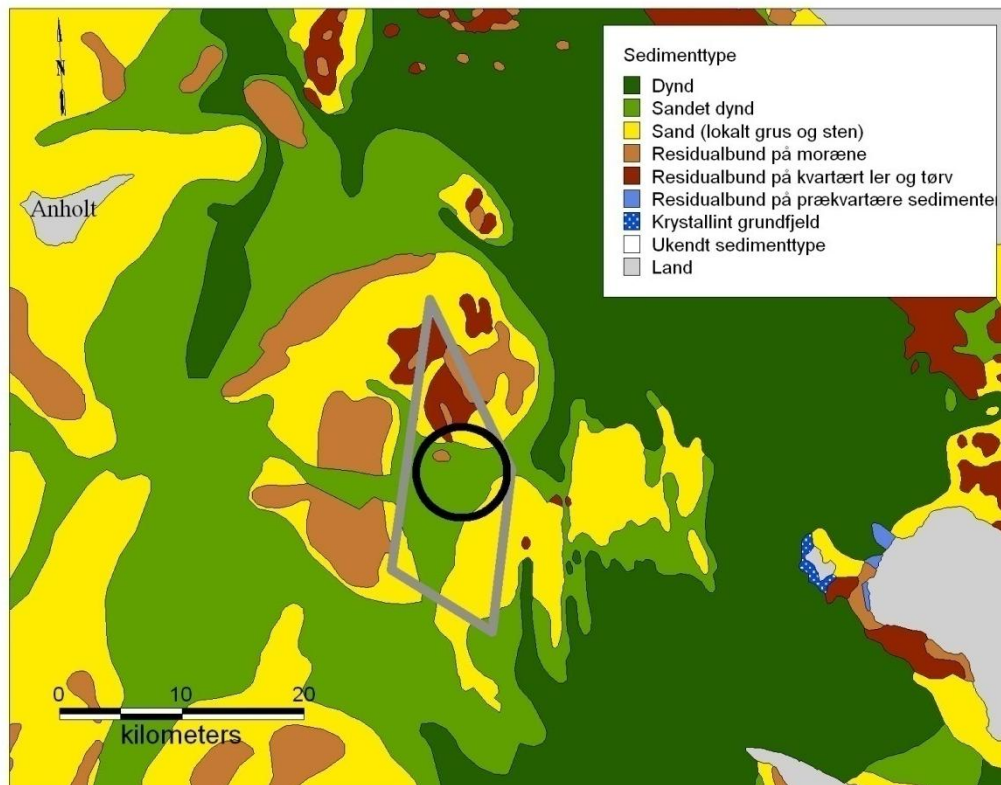


Figur 16. Dybdeforholdene i Store Middelgrund området. Placeringen af Store Middelgrund undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, og potentielt vindmølle placeringsområde er angivet med cirkel. Dybdekort Kilde: Farvandsvæsenets 25 m dybdemodel.

4.2 Overfladesedimenter i Store Middelgrund undersøgelsesområdet

Overfladesedimenterne i Store Middelgrund undersøgelsesområdet er præget af sand - grus og ler/moræne bund, medens mere dyndede fin-sandede aflejringer findes i den centrale del af Store Middelgrund (Figur 17). Overfladesedimentfordelingen antyder at der kan være råstofmæssige interesser i de grovkornede områder omkring den nordlige del af Store Middelgrund undersøgelsesområdet (sand og residualbund på moræne). Derudover findes mere finkornede sandforekomster i den sydøstlige del af området. Den nordlige og

sydøstlige del af undersøgelsesområdet kan således ligge i sand og grus råstofmæssige interesseområder. De funderingsmæssige forhold vurderes i næste afsnit.



Figur 17. Overfladesedimenter i Store Middelgrund Undersøgelsesområdet. Placeringen af Store Middelgrund undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder ét potentielt vindmølle interesseområde (sort cirkel).

Overfladesediment kilde: upubliceret kort fra GEUS (pers med. Jørgen O. Leth).

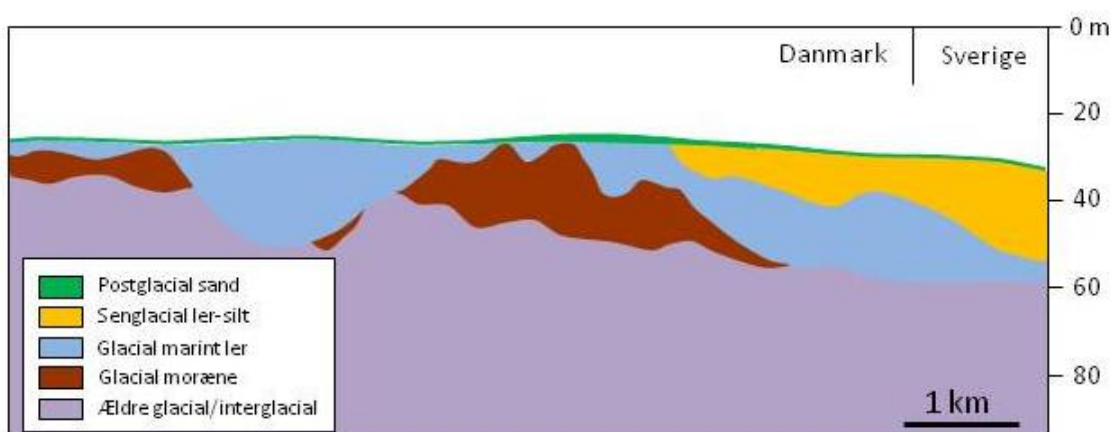
4.3 Forventede havbundssedimenter i Store Middelgrund undersøgelsesområdet

Nedenstående generelle beskrivelse af havbundssedimenterne under overfladesedimentet og den geologiske opbygning af Store Middelgrund området er baseret på Ressourceundersøgelse for SNS (1993) foretaget af Sveriges Geologiske Undersøgelse i 1985.

Kernen af store Middelgrund er opbygget af en op til 150 m tyk formation af lerede-siltede sedimenter af formodet Eem (sidste mellemistid) til tidlig Weichsel (sidste istid) alder (såkaldte Middelgrundformation). Formationen er glacio-tekonisk deformeret i områdets østlige del, og forstyrrelserne aftager mod vest. En moræneenhed med meget varierende udbredelse og tykkelse (max. 10-15 m) overlejrer Middelgrundsformationen. Moræneformationen når op til havbunden på den vestlige og nordlige del af Store Middelgrund. Over morænen ligger i store dele af området, glaciomarine ler aflejringer med

en tykkelse på op til ca. 20 m. I specielt den østlige del af området findes herover senglaciale ler-silt aflejringer. Postglaciale aflejringer, bestående af sandede residualaflejringer, findes i større legemer umiddelbart øst og sydøst for den mest grunde del af Store Middelgrund. Finkornede mere dyndede postglaciale aflejringer findes fortrinsvis på vanddybder mere end 30 m i specielt områdets sydøstlige del.

Havbundssedimentet (**Figur 17**) indenfor den nuværende placering af det potentielle interesseområde er generelt karakteriseret af finsandet dynd (<2-3 m tykkelse), der har dårlige funderingsegenskaber. Under dyndlaget findes med stor sandsynlighed glaciale moræneaflejringer, der har gode funderingsforhold. Geologien i området er dog kompleks (**Figur 18**), hvorfor det er vanskeligt præcis at forudse tykkelsen af moræneaflejringerne, der i øvrigt veksler med lag af smeltevandsler (glacialt marint ler) med mindre egnede funderingsforhold. Moræneaflejringerne forventes at have den største mægtighed i de centrale dele af Store Middelgrund men tynde ud mod syd med stigende vanddybde. Vælger man at flytte den nuværende placering mod syd er der risiko for, at de funderingsmæssige forhold kompliceres, da geologien efterhånden domineres af glacialt marint ler og ældre glaciale/interglaciale lerede aflejringer.



Figur 18. Simplificeret Ø-V geologisk profil gennem den centrale del af Store Middelgrund Undersøgelsesområdet syd for den højereliggende del af grunden. Profilet er baseret på tolket seismisk linje 546019 fra Skov- og Naturstyrelsen, 1993. Ressourceundersøgelse – Store Middelgrund.

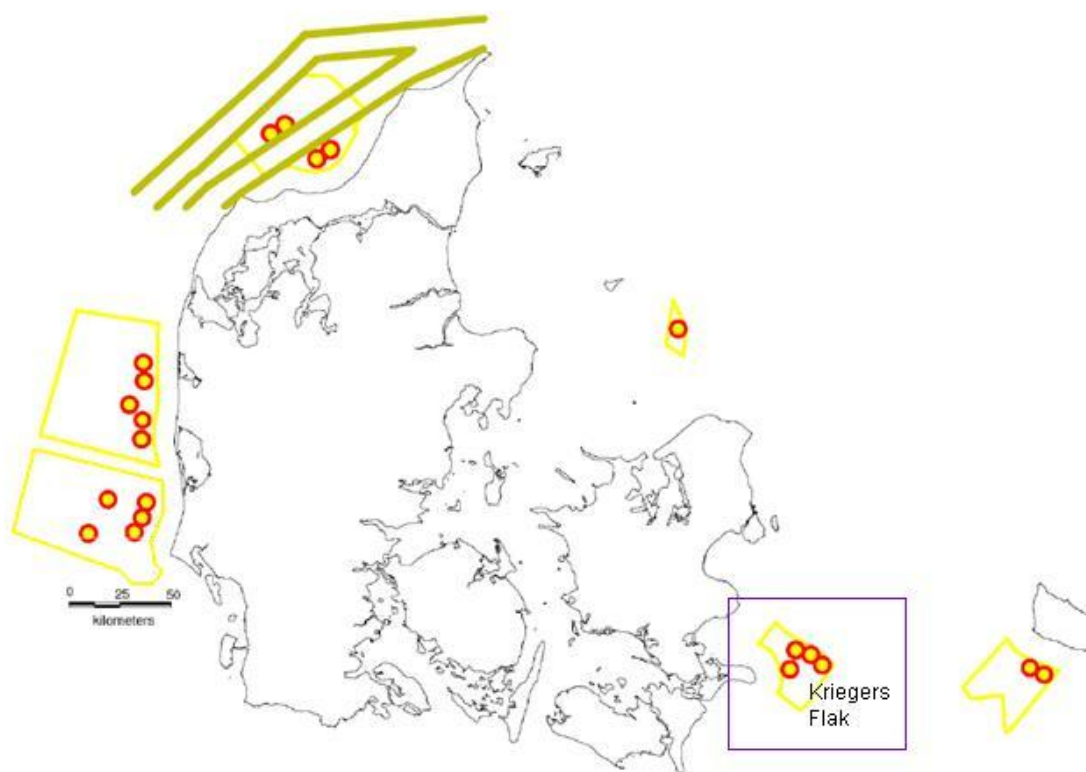
4.4 Sammenfatning af Store Middelgrund undersøgelsesområdet

Ovenstående generelle gennemgang af Store Middelgrund undersøgelsesområdet viser at der mangler detaljeret geologisk og geofysisk information om de konkrete funderingsmæssige forhold i området. Den foreslåede placering anses for den mest gunstige på trods af tilstedeværelsen af sandet dynd, da dette lag har en begrænset tykkelse på nogle få meter. Det forventes, at der findes gunstige funderingsegenskaber i

lag af moræneler under det forholdsvis tynde dyndlag. Mod syd forventes der en stigende dominans af lerede aflejringer med mindre gode funderingsegenskaber. I det mere lavvandede område i den nordøstligste del af for interesseområdet må det forventes, at der kan være sand og grus råstofmæssige interesser.

5. Kriegers Flak

Kriegers Flak området er beliggende i Østersøen øst for øen Møn (se **Figur 19**). Undersøgelsesområdet har et areal på omkring 700 km², hvori der er udpeget 4 potentielle interesseområder. Den følgende beskrivelse lægger vægt på ressourceforekomsterne på Kriegers Flak i forhold til placeringen af en vindmøllepark.

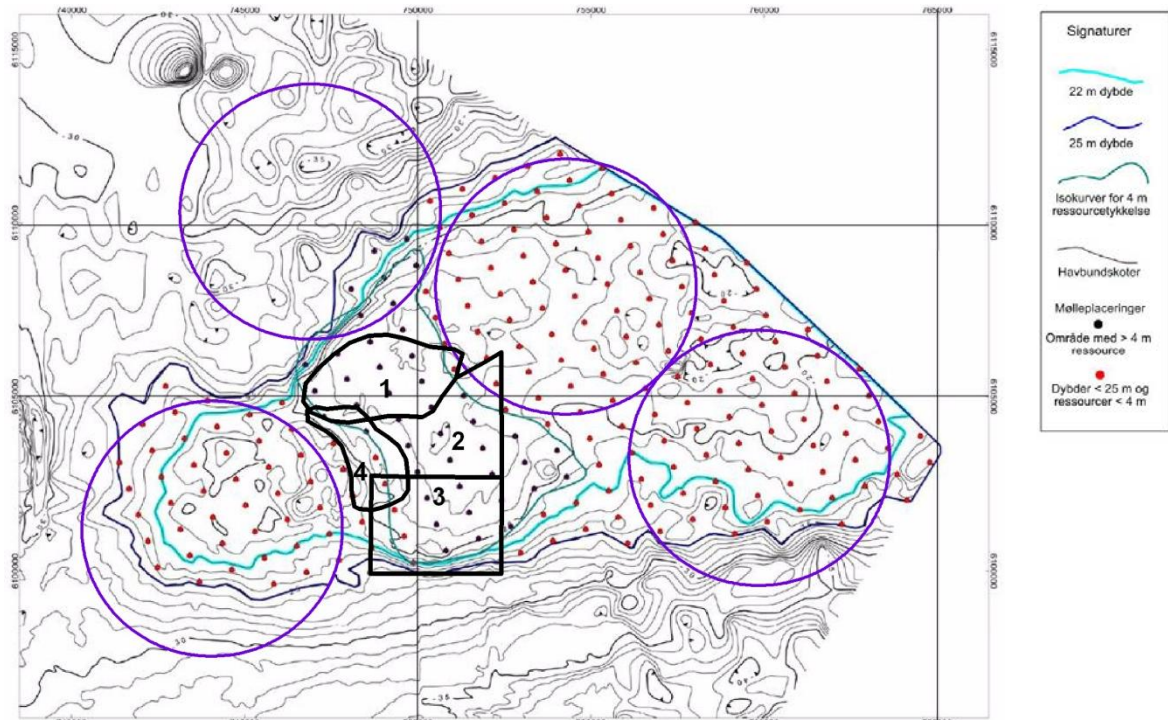


Figur 19. Fordelingen af vindmølleundersøgelsesområder (gule rammer) og potentielle interesseområder (gule cirkler med rød rand). Placeringen af Kriegers Flak undersøgelsesområdet er angivet med en lilla ramme, der indeholder 4 potentielle vindmølle interesseområder.

Den første interesse for Kriegers Flak som råstofområde blev udvist i 1984, som følge af publiceringen af et videnskabeligt arbejde fra Universitetet i Kiel af Tahrir (1984). Danmarks Geologiske Undersøgelser (DGU nu GEUS) har i perioden 1989-1992 udført en kortlægning for Skov- og Naturstyrelsen, som del af den generelle kortlægning af marine råstoffer (Leth, 1992). I 1992 foretog DGU en supplerende undersøgelse omfattende sandpumpning for A/S Øresundsforbindelsen (Jensen og Leth, 1992). Derudover har DGU foretaget en semidetaljeret undersøgelse i et delområde af Kriegers Flak (Lomholt og Jensen, 1993), og endelig er der lavet vurderinger af anvendeligheden af sandressourcerne til Øresundsforbindelsen og til Amager Strandpark (Larsen, 2003a, b).

5.1 Dybdeforhold i Kriegers Flak undersøgelsesområdet

De fire nye potentielle vindmølleområder befinder sig i den centrale del af Kriegers Flak undersøgelsesområdet på relativ flad havbund med vanddybder omkring 20-30 m. På Figur 20 er angivet de områder, der er undersøgt semidetajleret (Område 1-4), og hvori der er foretaget borer og sandpumpninger, mens det generelle område er mere spekulativt.



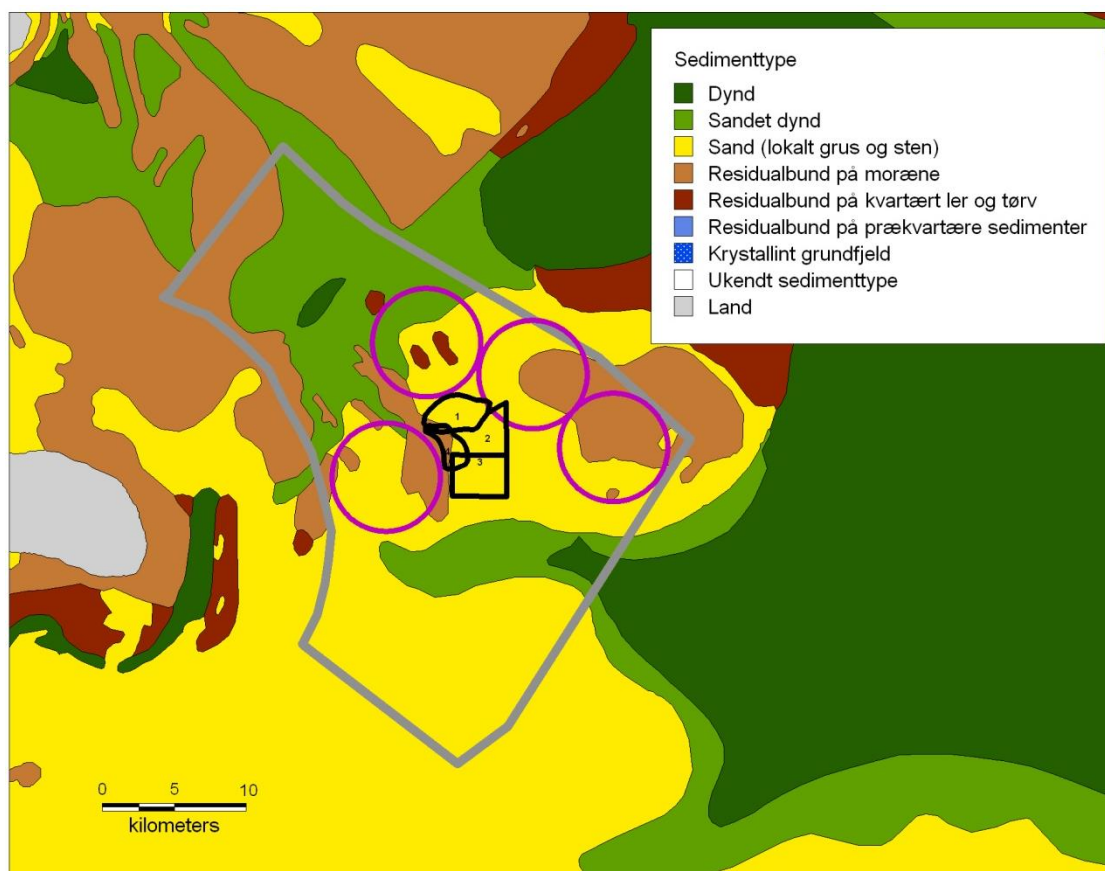
Figur 20. Dybdeforholdene i Kriegers Flak undersøgelsesområdet. De lille cirkler viser de 4 nye potentielle vindmølleinteresseområder. Mulige vindmølleplaceringer er angivet og området med >4 m ressourcetykkelse er indtegnet med sorte prikker. Den lyseblå linje angiver 22 m dybdekurven, og den mørkeblå linje 25 m dybdekurven.

5.2 Overfladesedimenter i Kriegers Flak undersøgelsesområdet

Overfladesedimenterne i Kriegers Flak undersøgelsesområdet (Figur 21) er præget af sand med lokale indslag af grus og sten, medens mere dyndede områder findes i den nordvestlige del af undersøgelsesområdet. Den centrale del af undersøgelsesområdet, som også inkluderer de fire potentielle vindmølleparker, er præget af residualbund på moræne. Den nordligste af disse områder må forventes også at indeholde residualbund på kvartært ler og tørv.

Overfladesedimentfordelingen antyder, at der kan være råstofmæssige interesser i de grovkornede centrale områder (sand og residualbund på moræne) omkring de fire

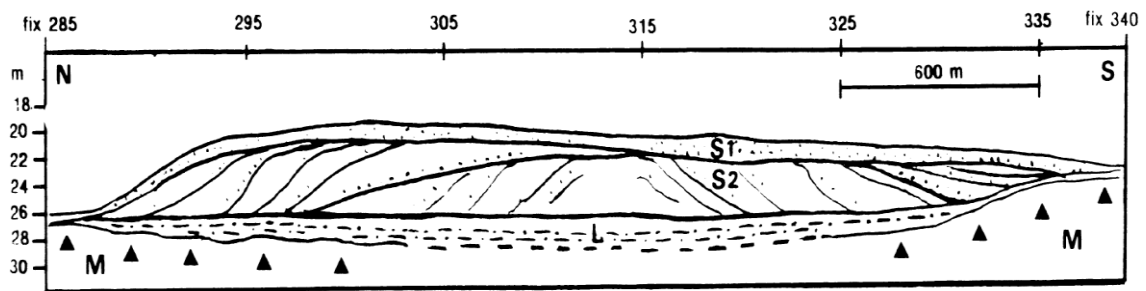
semidetallerede områder (Områderne 1-4). De funderingsmæssige forhold vurderes i næste afsnit.



Figur 21. Overfladesedimenter i Kriegers Flak undersøgelsesområdet. Placeringen af Kriegers Flak undersøgelsesområdet er angivet med en grå ramme, der indeholder fire lilla potentielle vindmølleinteresseområder. Overfladesedimentkilde: Hermansen & Jensen, 2000.

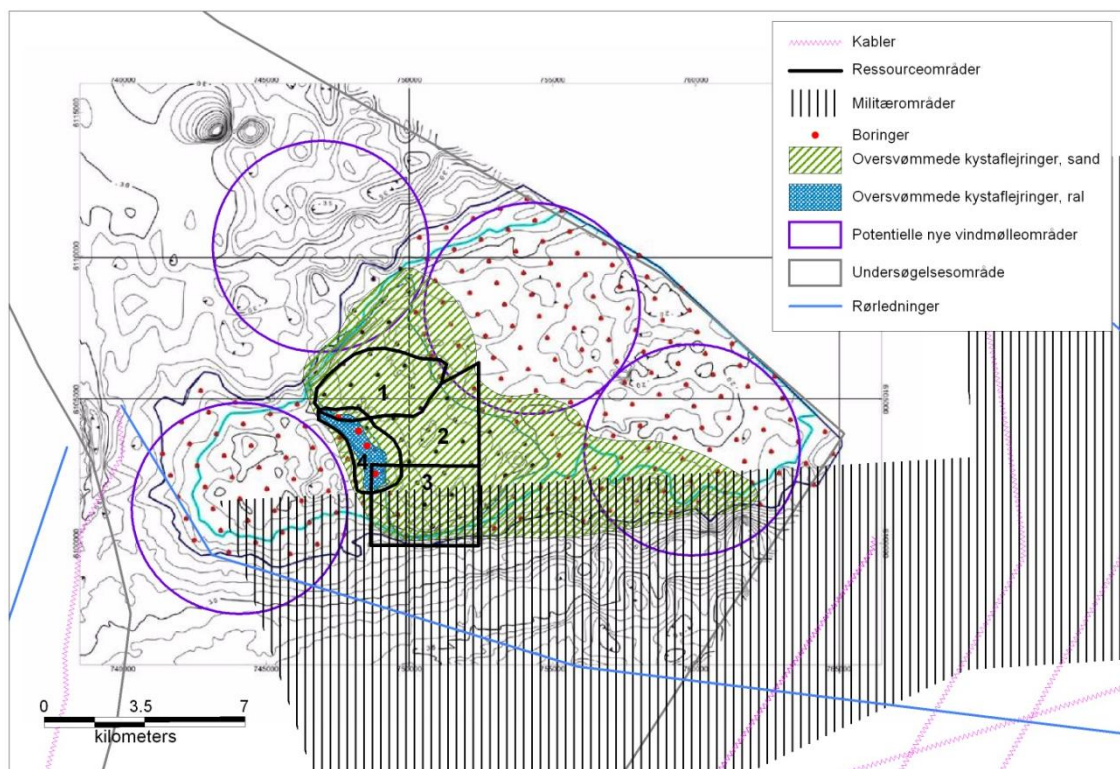
5.3 Forventede havbundssedimenter i Kriegers Flak undersøgelsesområdet

Geologisk set er sand- og grusressourcerne på Kriegers Flak overvejende dannet i forbindelse med Littorinahavets transgression. Under denne transgression opstod der oddedannelser, som udbyggede i læ af højtliggende moræneområder, som i dag udgør den sydøstlige del af Kriegers Flak. Den kontinuerlige vandstandsstigning druknede Kriegers Flak, og de mere nutidige sedimentationsforhold er repræsenteret i et op til 1 m tykt sandlag. Se **Figur 22** for et generelt tværsnit gennem Kriegers Flak, der viser flere generationer af flakudbygninger.



Figur 22. Skitsen viser et generelt nord-syd gående tværsnit, som giver et billede af de mange generationer af flakudbygninger (S2) på vest og nordsiden af en morænekold (M), der udgør den syd-østlige del af Kriegers Flak. Flakudbygningen er generelt dækket af et tyndt sandlag (S1). Figur fra Leth (1992).

Kortlægningen af Kriegers Flak omfatter et generelt seismisk net med en linjeafstand på 1×1 km, som i det mest interessante område blev efterfulgt af en detaljeret undersøgelse i et 0,5×0,25 km seismisk net, 23 borer, 12 prøvesandspumpninger og analyser af råstofkvaliteten. I det detaljerede område blev der identificeret fire ressourceområder (Område 1-4 på Figur 23), mens det generelle område er mere spekulativt rent råstofmæssigt.



Figur 23. Oversigt over undersøgelsesområdet Kriegers Flak og de potentielle ressourcer i området. Områderne 1-4 er undersøgt semidetaljeret, og der er foretaget borer/sandpumpninger i Område 1 og 4. Den formodede udbredelse af ressourcerne i området er indtegnet med grønne og blå skraveringer. Figuren viser også begrænsningerne i området i form af militært øvelsesområde og rørledninger.

Indenfor de fire områder blev der udført laboratorieanalyser af prøverne, som på den baggrund er blevet opdelt i råstofklasser. Råstofklasse A er defineret som sandmateriale

med uensformighedstal $U \geq 1,8$ og kornstørrelsesdiameter $D \geq 0,25$ mm. Råstofklasse B består af sandmateriale med $U(1,6-1,8)$ og $D \geq 0,25$ mm.

Forekomst 1 indeholder 14,8 mio. m^3 klasse A+B sand

Forekomst 2 indeholder 33,4 mio. m^3 klasse A+B sand

Forekomst 3 indeholder 5,4 mio. m^3 klasse A+B sand

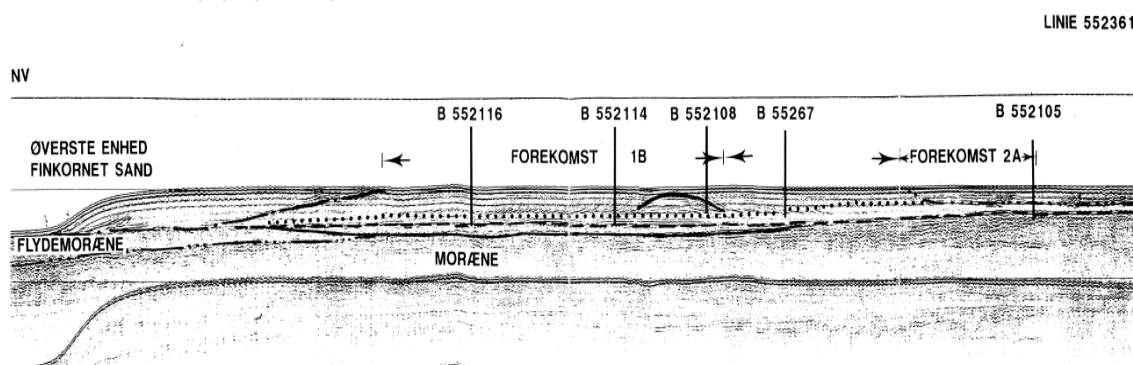
Forekomst 4 indeholder 10,2 mio. m^3 klasse B sand

Petrografiske analyser viser endvidere, at alle forekomsterne opfylder kravene til høj kvalitets beton tilslagsmateriale. Indvindingsforholdene er gode, og der findes generelt kun 0-1 m overjord i form af dæksand.

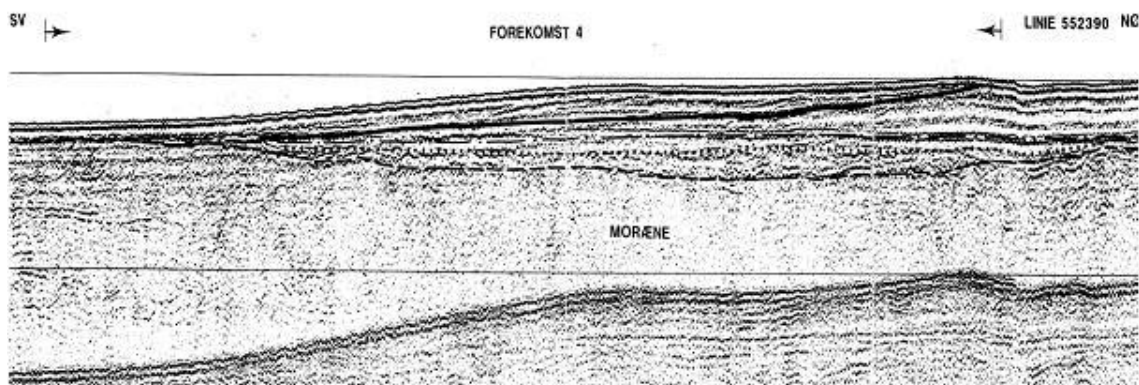
Vanddybden ligger mellem 18 og 20 m, og dybden til bunden af forekomsten er 18-24 m. I den sydlige del af ressourceområde 3 når vanddybden dog ned til 24 m, og bunden af forekomsten findes på omkring 28 m.

Der findes på Kriegers Flak store mængder sand, som generelt har $D_{50} \geq 0,25$, men erfaring viser, at sandet generelt har U-værdier mellem 1,6 og 2,0 og kun i begrænset omfang $U \geq 2,0$. Det største sammenhængende område, hvor dette er tilfældet, er fundet i forekomst 1.

Udover de store sandforekomster findes der stedvist iblanding af grus og sten. Disse er dokumenteret især ved boringer og sandpumpninger i forekomst 4 og til dels i forekomst 1. Ofte er tilstedeværelsen af grus i forekomst 1 relateret til foresets i oddeudbygningssystemer (Figur 24), mens gruset, der forekommer i ressource 4, optræder i kileformede lag (Figur 25).



Figur 24. Seismisk boomerprofil, der giver et billede af oddeudbygningssystemet i forekomst 1.



Figur 25. Seismisk boomerprofil, der giver et billede af de kileformede legemer i forekomst 4.

Kortlægningen på Kriegers Flak er forholdsvis detaljeret, men må nødvendigvis udbygges med et detaljeret ca. 100×100 m seismisk grid og tilhørende prøvetagninger for at få vished om ressourcens kvalitet og udbredelse. De interessante forekomster på Kriegers Flak er ikke behæftet med begrænsninger bort set fra et militært øvelsesområde i den sydlige del af området. De fire mulige fremtidige vindmølleparker ligger formentlig alle udenfor sandområdet, hovedsageligt i områder med residualbund på moræne (se Figur 21 og Figur 23).

Til sammenfatningen kan det konkluderes, at der, på trods af manglende geologisk og geofysisk viden om området, er en fin overensstemmelse mellem de fire centrale interesseområder for vindkraft (udpeget af Energistyrelsen) og de 4 forekomstområder udvalgt efter de detaljerede undersøgelser. Disse overlapper ikke hinanden, og det må formodes, at de fire potentielle vindmølleområder stedvist kan have gode funderingsforhold hvor moræneenheden ligger tæt ved havbunden.

Med nuværende vidensniveau anses det, at Område 1-4 indeholder vigtige ressourcer og bør derfor friholdes til råstofindvinding. Den sydøstligste del af området indeholdende >4 m ressource på Figur 25 er ikke dækket af den semidetaljerede kortlægning, men bør alligevel betragtes som et potentielt vigtigt ressourceområde.

5.4 Sammenfatning af Kriegers Flak undersøgelsesområdet

Ovenstående generelle gennemgang af Kriegers Flak undersøgelsesområdet viser, at det råstofmæssigt højt prioriterede centrale ressourceområde bør friholdes til råstofindvinding, hvorimod området nord for forekomst 1 kan inddrages i vindkraftområdet.

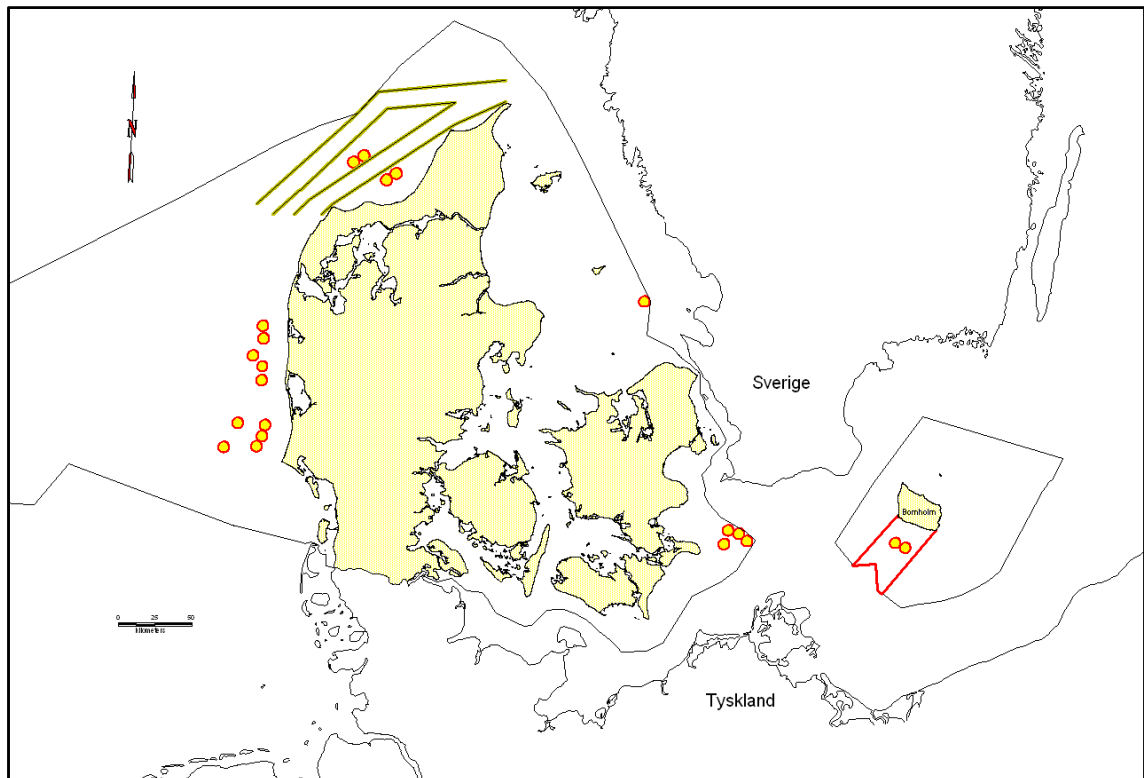
Denne gennemgang viser yderligere, at der mangler detaljeret geologisk og geofysisk information om de konkrete funderingsmæssige forhold i området. Det formodes, at de fire potentielle vindmølleområder stedvist kan have gode funderingsforhold, hvor moræneenheden ligger tæt ved havbunden.

GEUS anser det som urealistisk at foretage råstofindvinding imellem opstillede vindmøller og ligeledes bør det undersøges nærmere, hvorvidt en eventuel kabellægning bør gå uden om det prioriterede råstofområde. Afslutningsvis bør det nævnes, at undersøgelsesniveauet på nærværende ikke lever op til de normale krav til hverken en vindkraftpark eller detaljerede sand- og grusressourceundersøgelser.

Da de to typer anvendelse kræver tilnærmelsesvis den samme undersøgelsesgrad, bør man overveje at lave en koordineret feltundersøgelse af området og efterfølgende konstruere en 3D geologisk model, som baggrund for en integreret forvaltning af Kriegers Flak området.

6. Rønne Banke

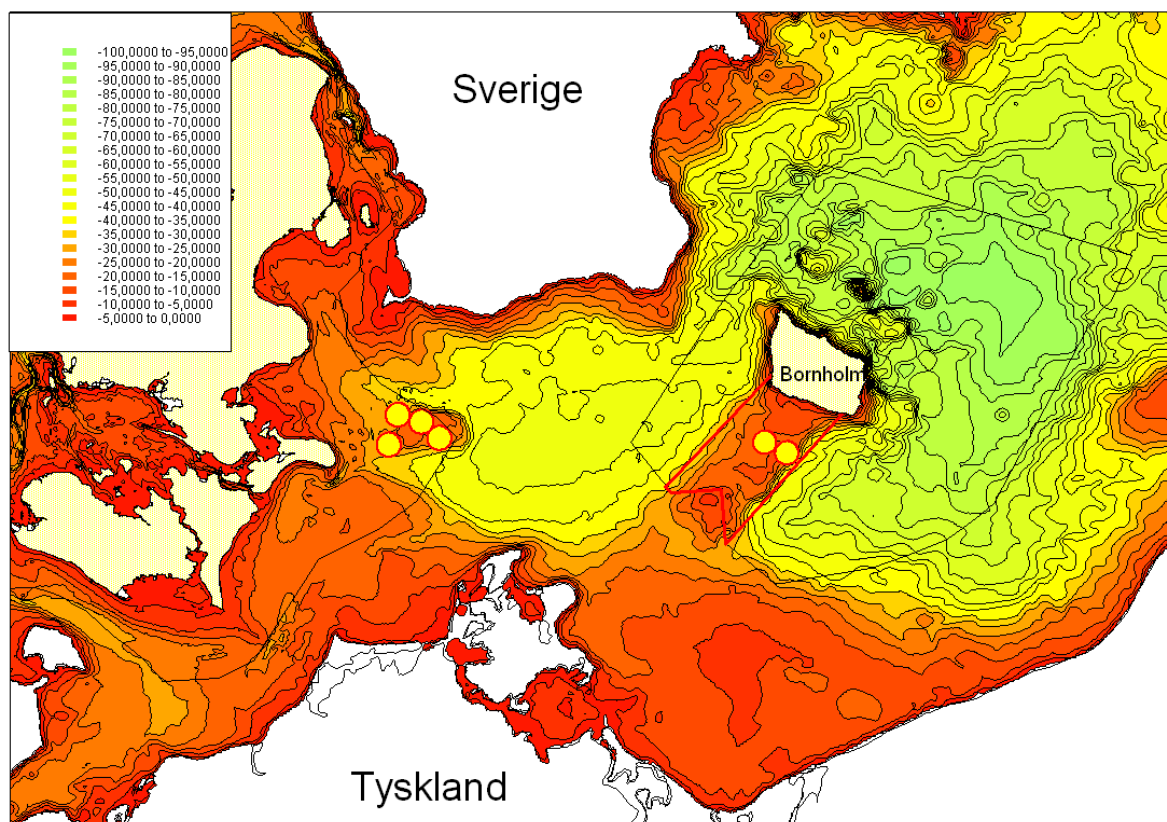
Rønne Banke området er beliggende sydvest for Bornholm. Undersøgelsesområdet dækker Rønne Banke samt de dele af Adler Grund, der er beliggende på den danske kontinentalsokkel. Området afgrænses mod syd af kontinentalsokkelgrænsen mod Tyskland mod vest og øst afgrænses området af ved ydergrænsen af bankestrukturen, **Figur 27**. Området dækker et areal på ca. 1250 km².



Figur 26. Vindmølle undersøgelsesområder (gule rammer) og potentielle interesseområder (gule cirkler med rød rand). Placeringen af Rønne banke undersøgelsesområdet er angivet med rød ramme der indeholder 2 potentielle vindmølle interesseområder.

6.1 Dybdeforhold i Rønne Banke området

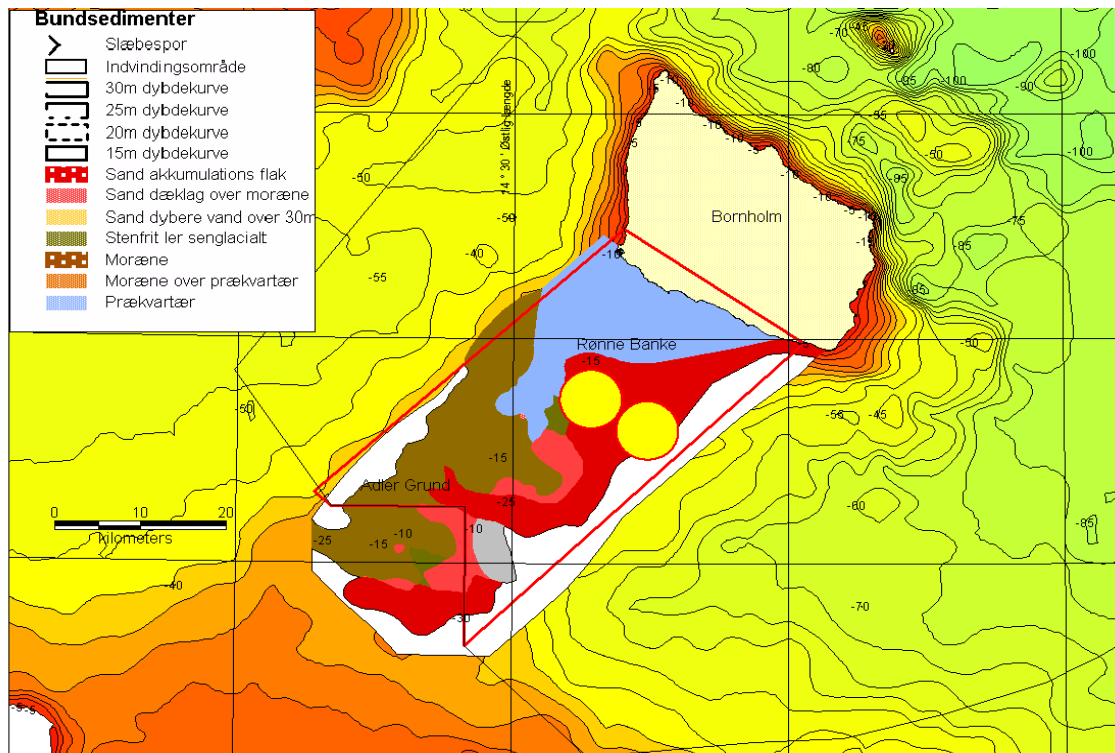
Undersøgelsesområdet omkranser et undersøisk højtliggende område med vanddybder imellem 10 og 20 m. Strukturen strækker sig ind på tysk område. De 2 nye mulige vindmølleområder er beliggende i den nordlige del af området, i den del af strukturen der betegnes Rønne banke.



Figur 27. Dybdeforholdene i Rønne Banke Undersøgelsesområdet. Placeringen af Rønne Banke undersøgelsesområdet er angivet med en rød ramme Der er vist 2 mulige placeringer af vindmølle interesseområder.

6.2 Overfladesedimenter i Rønne banke undersøgelsesområdet

Overfladesedimenterne i Rønne undersøgelsesområdet er præget af mellem til groft sand – grus. Der er moræne bund i den sydvestlige del af området er til dels dækket af et residual sediment, som er meget stenholdt; de dybere dele mod sydøst består af finkornet sand og til dels siltet sand. Området med residuale sedimenter har været genstand for indvinding i mange år, specielt til det Tyske marked, Der er i forbindelse med GEUS's kortlægninger i området lokaliseret over 1 mia m³ råstoffer i området, og der indvindes materialerne i området til en række forskelle anvendelser herunder en del kvalitetsmaterialer til bygge industrien. Se nedenfor for nærmere beskrivelser. Området hvor de to mulige placeringer af vindmølleparker er indtegnet er beliggende i et område på Rønne Banke, hvor der er større mængtigheder af sand. Råstofressourcerne i området er kort beskrevet nedenfor i afsnit 2.3

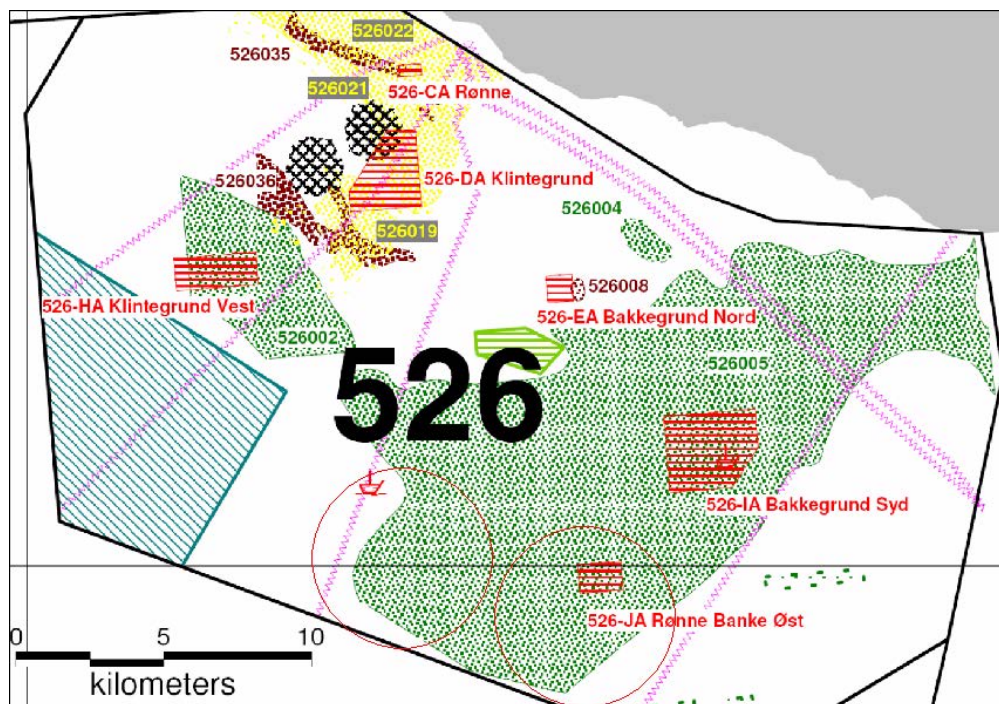


Figur 28. Overfladesedimenter i Rønne banke Undersøgelsesområdet. Placeringen af Horns Rev undersøgelsesområdet er angivet med en rød ramme. Der er vist 2 mulige placeringer af vindmølle interesseområder. Overfladesediment kortet er modificeret efter: Anthonsen K. L., Lomholt, S. 1998: Råstofgeologisk kortlægning af Adler Grund. Bornholm, område 526.

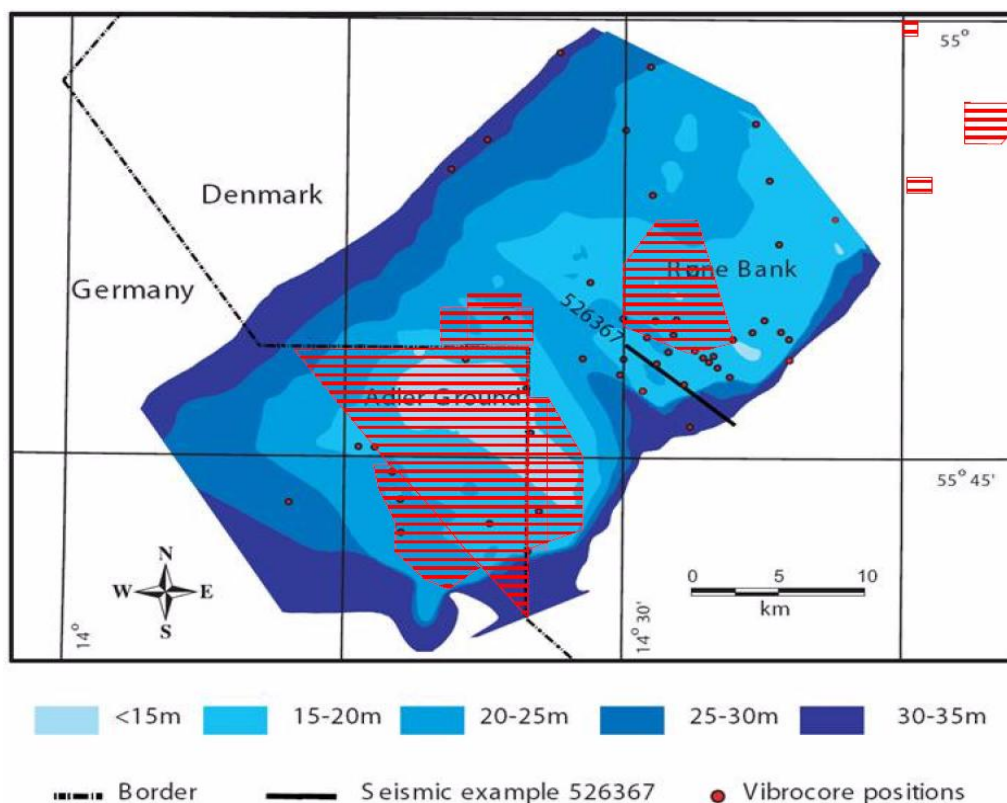
6.3 Råstofressource på Rønne Banke og Adler Grund

På grund af sin estimerede volumen på over 1.000 mill m³ har der været fokus på ressourceområderne, til eksempelvis Storebælts- og Øresundsforbindelsen, men de er ikke kommet i spil til disse brobyggerier. Ressourcen består hovedsagelig af Postglacialt marint sand, der er afsat som en kileformet enhed der stiger i tykkelse mod øst. Det er aflejret langs det højtliggende prækvartære lag, der stikker op sydvest for Bornholm.

I den nordlige del af Rønne Banke området er der en række kortlagte ressourcer og indvindingsområder som det fremgår af **Figur 28**. På figuren er en omtrentlig placering af de to mulige vindmølleparker på Rønne Banke indtegnet. På **Figur 29** er der vist råstofområder på den sydlige del af Rønne banke og Adler Grund



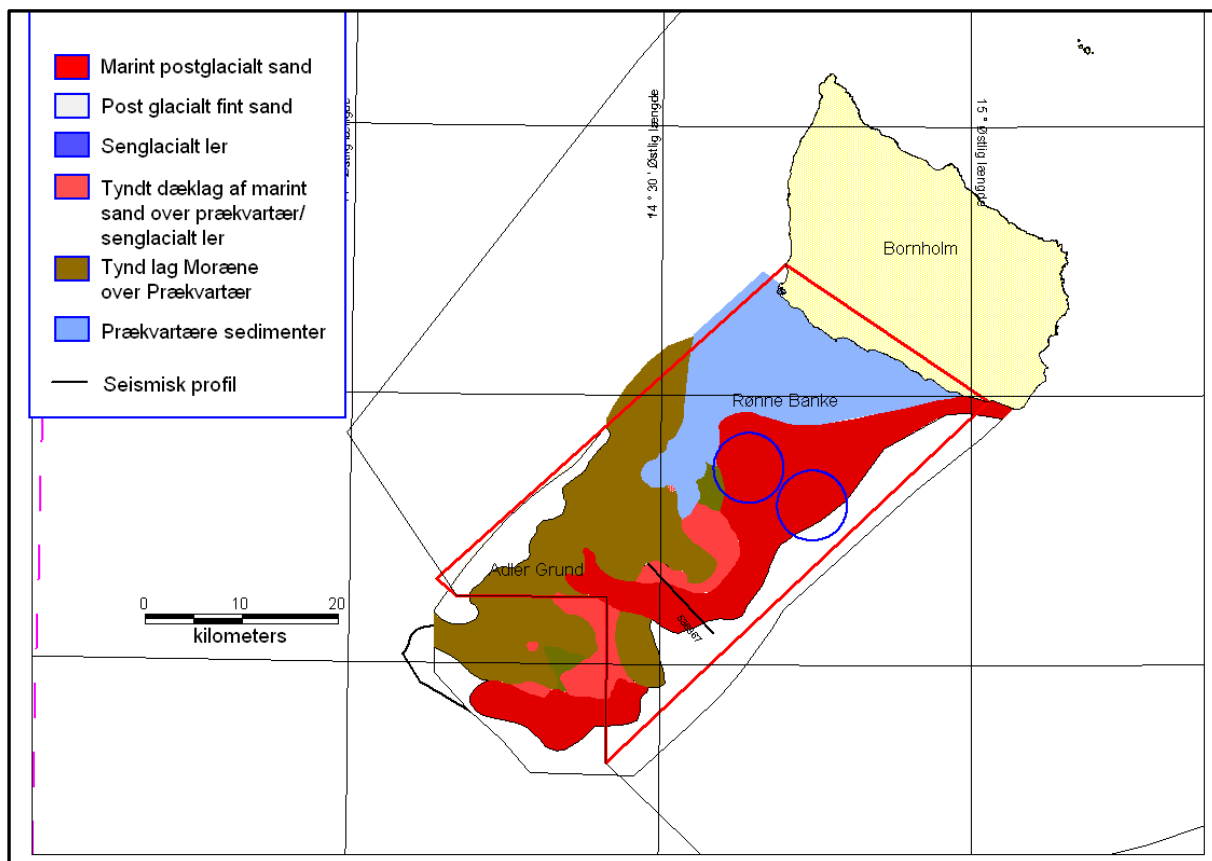
Figur 29. Område 526 Bornholm med potentielle ressourceområder, indvindingsområder og begrænsninger. Eksisterende indvindingsområder er vist med forskellig rød og brunlige signaturer, mens den grønne signatur viser mulige råstofområder.



Figur 30. Dybdeforholdene i den sydlige del af Rønne Banke og Adler Grund (Nielsen et al. 2004). Placering af indvindings områder er angivet (røde arealer).

6.4 Forventede havbundssedimenter i Rønne Banke undersøgelsesområdet

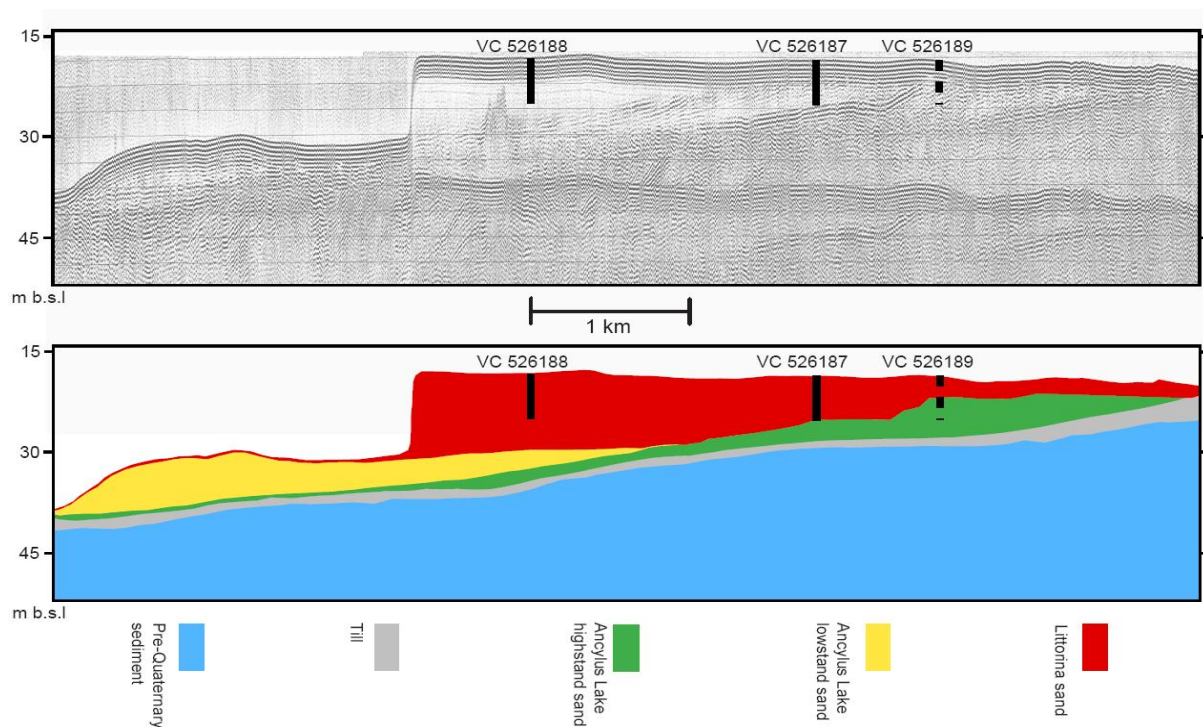
Havbundssedimenterne under overfladesedimentet er dokumenteret af generelle undersøgelser foretaget af GEUS igennem en række seismiske undersøgelser, suppleret af borer og anden prøvetagning (Anthonsen og Lomholt 1998). De geologiske forhold og råstofforekomsterne er efterfølgende bearbejdet og publiceret (Nielsen, P.E., Jensen, J.B., Binderup, M., Lomholt, S. and Kuijpers, A. 2004).



Figur 31. Havbundssedimenterne under recent marine aflejringer der delvist dækker Rønne Banke undersøgelsesområdet. Fuldt optrukken linje viser placeringen af seismisk profil gennem havbundssedimenterne illustreret i Figur 32.

Hele Rønne Banke/Adler Grund området er karakteriseret ved Højtliggende Prækvartære aflejringer der i står udstrækning nedre tertiær/Øvre kridt kalksten eller ældre sedimenter.

I den syd - sydvestlige del overlejres de prækvarter sedimenter af moræner afsat af isen. Tykkelsen af disse lag varierer fra nogle få meters tykkelse op til 8 til 10 m i de sydligste dele på tysk område. På den vestlige del af Rønne banke/Adler Grund området er de prækvarter lag hhv. moræne aflejringerne, enten er blottet på havbunden eller kun sporadisk dækket af et tyndt lag af grove residual sedimenter. På den østlige side af Rønne banke/Adler Grund strukturen er der aflejret kileformede marine aflejringer, som enten hviler direkte oven på prækvarter sedimenter eller en tyndt lag af glaciale/senglaciale sedimenter (**Figur 32**). Den marint aflejrte kileformede sandakkumulation på østsiden af Rønne banke/Adler Grund strukturen er op imod 20 m i tykkelsen, som illustreret på nedenstående seismiske profil med tilsvarende Geologisk snit..



Figur 32. Seismisk profil 526367 som viser snit af en sandkile i sydligste del af Rønne Banke. Lokalisering af profilet ses på Figur 31 (Nielsen et al. 2004).

6.5 Sammenfatning af Rønne Banke undersøgelsesområdet

Ovenstående generelle gennemgang af de geologiske forhold i Rønne Banke undersøgelsesområdet viser at der er gode funderingsforhold over det meste af området. Der er ikke påtruffet blødbundsforhold i området, men det må forventes at der kan være sand og grus råstofmæssige interesser, som skal afvejes. Der er ikke større råstofinteresser i den vestlige del af Rønne banke/Adler Grund området hvor de prækvarter lag hhv. moræne aflejringerne, enten er blottet på havbunden eller kun sporadisk dækket af et tyndt lag af grove residual sedimenter.

7. Litteratur

Anthonsen K. L., Lomholt, S. 1998: Råstofgeologisk kortlægning af Adler Grund. Bornholm, område 526. GEUS kunderapport nr. 112. 1998.

Binderup, M., Lomholt, S. 1995: Betonsand lokalisering på Rønne Banke. Rapport til Øresundskonsortiet. Sandpumpninger og kortlægning. DGU Kunderapport nr. 19. 1995.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser. Bornholm. Oversigt. Fredningsstyrelsen 1986a.

Havbundsundersøgelser. Råstofkvalitet. Bornholm. Statusrapport. Fredningsstyrelsen 1986b.

Hermansen, B. & Jensen, J.B. 2000: Digitalt kort over havbundssedimenter omkring Danmark 1:500.000. Digital sea bottom sediment map around Denmark. In: Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2000/68, København: GEUS, (1 CD-Rom).

Jensen, J. B. 1988a: Havbundsundersøgelser, råstofprospektering. Bornholm sydvest. Detaljerede undersøgelser. Skov- og Naturstyrelsen 1988

Jensen, J. B. 1988b: Havbundsundersøgelser, geologi. Bornholm sydvest. En detailundersøgelse. Skov- og Naturstyrelsen 1988.

Jensen, J. B. and Hamann, N.E. 1989: Geological mapping of Mesozoic deposits along the eastern margin of the Rønne Graben, offshore Bornholm, Denmark. Bull. geol. Soc. Denmark, Vol. 37, 237 - 260.

Jensen, J. B. and Stecher, O. 1992: Paraglacial barrier - lagoon development in the Late Pleistocene Baltic Ice Lake, Southwestern Baltic. Mar. Geol. Vol 107.

Jensen, J. B. 1992: Lokalisering af betonsand. Rønne Banke. Fase 1. DGU Kunderapport nr. 23. 1992.

Jensen, J.B. & Leth, J.O. 1992: Ressourcekortlægning på Kriegers Flak. Rapport til A/S Øresundsforbindelsen. DGU- Kunderapport nr. 56, 1992.

Jensen, J. B. 1998: Evaluering af sand og grus ressourcer på det danske havområde. Del III Bæltregionen; Kattegat Nord, Vestkysten og Bornholm. Bind 1 (2): Tekst og Bilag. GEUS rapport 1998/76.

Jensen, J.B. & Lomholt, S. 2006: Råstoffer ved HR2 Vindmølleparken. Vurdering af mulige sand- og grusforekomster på Horns Rev. Udarbejdet for ENERGI E2. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2006/4, 15 pp.

Jensen, J.B., Gravesen, P., Lomholt, S., Leth, J & Ebbesen H. 2006: Horns Rev II Offshore Windfarm. Geofysisk undersøgelse Windfarm. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2006/61, 237 pp. + 13 Enclosures.

Jensen, J.B., Gravesen, P. and Lomholt, S. 2008: Geology at Ydre Horns Rev, Danish North Sea. Review of Survey activities 2007, Geological Survey of Denmark and Greenland, 15 side 41 – 44.

Knudsen, K.L., 1985: Foraminiferal stratigraphy of Quaternary deposits in the Roar, Skjold and Dan Fields, central North Sea. *Boreas*, Vol. 14, side 311-324.

Konradi, P., 2003: Description of vibrocores from four well sites in the Danish North Sea. Geological description af vibrocores from NINI-4. SIRI-5 CECILIE-2 and JETTE-1 well sites, Store Fisker Banke area and northern Tail End area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders.,. Rap 2003/75, 18 sider + bilag.

Konradi, P., Larsen, B. & Sørensen, Aa.B., 2005: Marine Eemian in the Danish eastern North Sea. *Quaternary International* 133, side 21-31.

Kuijpers, A., Werner, F. & Rumohr, J. 1993. Sandwaves and other large-scale bedforms as indicators of non-tidal currents in the Skagerrak off Northern Denmark. *Marine Geology* 111, 209-221.

Larsen B. 1992: Lokalisering af Betonsand. Rønne Banke. Fase 2. DGU Kunderapport nr. 27. 1992.

Larsen, B. 2003: Blåvands Huk – Horns Rev området – et nyt Skagen. *Geologi Nyt fra GEUS*. Nr. 4 december 2003.

Larsen B. 2003: Sand til Amager Strandpark fra Kriegers Flak. En ressourcevurdering. *GEUS rapport* 2003/60.

Larsen B. 2003: Sand til Amager Strandpark fra Kriegers Flak. En ressourcevurdering, supplerende undersøgelser. *GEUS rapport* 2003/67.

Larsen, B. & Andersen, L.T., 2005: Late Quaternary stratigraphy and morphogenesis in the Danish eastern North Sea and its relation to onshore geology. *Geologie en Mijnbouw* 84, side 113-128.

Leth, J. 1992. Råstofgeologiske undersøgelser i Østersøen. Kriegers Flak. Område 552. DGU Kunderapport 20, 1992.

Leth, J.O., 1998. Late Quaternary Geology and recent sedimentary processes of the Jutland Bank region, NE North Sea. *Ph.d Thesis. Aarhus University & GEUS*.

Leth, J.O., Anthony, D., Andersen, L.T & Jensen, J.B. 1999. Geologisk kortlægning af Vestkysten. Regionalgeologiske tolkning af kystzonen mellem Lodbjerg og Nymindegab. Udført for Kystinspektoret i 1998 og 1999. GEUS Rapport 1999/75.

Leth, J.O., Anthony, D., Andersen, L.T & Jensen, J.B. 2001. Geologisk kortlægning af Vestkysten. Samlede resultater af den regionalgeologiske kortlægning af kystzonen mellem Lodbjerg og Blåvandshuk. Udført for Kystinspektoret 1998 – 2001. GEUS Rapport 2001/111.

Lomholt, S. & Jensen, J.B. 1993: Ressourcekortlægning på Kriegers Flak. Område 1. Rapport til A/S Øresundskonsortiet. DGU - Kunderapport nr. 60, 1993.

Lomholt, S. 1994: Betonlokalisering på Adler Grund. Udført for Øresundskonsortiet. DGU Kunderapport nr. 65, 1994

Lomholt, S. 1994: Betonlokalisering på Adler Grund. Sandsugning og ressourcevurdering. Udført for Øresundskonsortiet. DGU Kunderapport nr. 66, 1994

Lomholt, S., Jensen, J.B. & Gravesen, P. 2006: Horns Rev II Offshore Windfarm. Geofysisk undersøgelse Cable Route. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2006/60, 139 pp. + 16 Enclosures.

Nielsen, P.E., Jensen, J.B., Binderup, M., Lomholt, S. and Kuijpers, A. 2004: Marine aggregates in the Danish sector of the Baltic Sea: Geological setting, exploitation potential and environmental assessment. Zeitschrift für Angewandte Geologie. Sonderheft 2, 2004

Skov- og Naturstyrelsen, 1993. Ressourceundersøgelse – Store Middelgrund, Område 546.

Tahrir, S. 1984: Surface sediment distribution and subsurface structures of Kriegers Flak (Central Baltic Sea). Berichte – Reports, Geologisch – Paläontologisches Institut der Universität Kiel, 8 109 pp.

Resultater af laboratorieundersøgelser. Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1983.