

Vesterhavet Nord Havvindmøllepark

Geologiske modeller som basis for udpegning
af arkæologiske hotspots

Jørgen Overgaard Leth

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
KLIMA-, ENERGI- OG BYGNINGSMINISTERIET



GEUS

Vesterhav Nord Havmøllepark

Geologiske modeller som basis for udpegning af arkæologiske hotspots

Jørgen Overgaard Leth

Indhold

1.	Sammenfatning	5
2.	Indledning	7
2.1	Baggrund	7
2.2	Formål	8
3.	Vesterhavets generelle geologi	10
4.	Data	16
4.1	EGS data fra Vesterhav Nord Havmøllepark	17
4.1.1	Multibeam bathymetri	17
4.1.2	Side-scan-sonar data	17
4.1.3	Subbottom profilering	17
4.1.3.1	Multikanal sparker data indsamlet med EGS Pioneer	17
4.1.3.2	Chirp data indsamlet med EGS Pioneer	18
4.1.4	Prøvetagninger i form af grabprøver	18
4.2	GEO data fra Vesterhav Nord kabelkorridorene	18
4.2.1	Multibeam bathymetri	18
4.2.2	Side-scan-sonar data	18
4.2.3	Subbottom profilering	18
4.2.3.1	Sparker	18
4.2.3.2	Højopløselig subbottom profiler	18
4.2.4	Prøvetagninger i form af vibrationsboringer	19
4.3	Dybe boringer og CPT test udført af Fugro	19
4.4	Arkiv seismiske data og geologiske prøver	19
5.	Metodebeskrivelse af bearbejdning og tolkning af data	20
5.1	Gennemgang af prøvetagninger og eksisterende data samt udtagning af prøver til C-14 dateringer i Vesterhav Nord området	20
5.1.1	Dybe boringer Fugro	20
5.1.2	Vibrationsboringer GEO	21
5.1.3	GEUS arkiv materiale	21
5.1.4	C-14 dateringer	21
5.2	Opstilling af kystlinjeforskydningskurver for Vesterhav Nord Havmøllepark	22
5.3	Retolkning af akustiske EGS og GEO data	23
5.3.1	Harmonisering af EGS, GEO og GEUS Holocæne seismiske stratigrafi.	23
5.3.2	Procedure for loadning og tolkning af data	28
5.3.2.1	Loadning og tolkning af seismiske data	28
5.3.2.2	GIS databehandling i Mapinfo/Vertical Mapper	28
6.	Kortlægningsresultater relevante for udpegning af arkæologiske boplads hot spots	30

6.1	Multibeam bathymetri.....	30
6.2	Præ-Holocæn Transgressionsoverflade	30
6.3	Holocæne marine sedimenter.....	32
6.4	Palæo-scenarie kote -27m svarende til ca. 9900 BP	32
6.5	Palæo-scenarie kote -24m svarende til ca. 9400 BP	32
6.6	Datatæthed i forhold til geologisk variation.....	33
7.	Arkæologiske hot spots i de Holocæne sedimenter	34
8.	Referencer	37
	Bilag:	39
	A: Kortbilag	39
	B: Seismiske eksempler	40

1. Sammenfatning

Denne rapport beskriver de geologiske forhold i Vesterhav Nord Havmøllepark forundersø- gelsesområdet (VHN), samt de 2 kabelkorridorer, CR1 og CR2, der forbinder Havmøllepar- ken med Jylland syd for Thyborøn.

Rapporten har til opgave at give geologiske oplysninger, med henblik på at fokusere den arkæologiske screenings indsats til områder, hvor der er stor sandsynlighed for bosættelser langs potentielle forhistoriske kystdannelser.

GEUS har gentolket de udførte akustiske undersøgelser og prøvetagninger i den kystnære Havmøllepark med fokus på de Holocæne sedimenter. Dette er gjort med henblik på at rekonstruere efteristidens overflademorfologi og lokale havniveaustigninger for dermed at kunne dokumentere den gradvise drukning af den kystnære Havmøllepark og kabelkorrido- rer. Det geologiske koncept går således ud på at verificere relevante sedimenter i arkæolo- giske interessante tidsperioder, samt at lokalisere palæo-kystlinjetyper, som ifølge arkæo- logisk erfaring er "hot spots" for kystbosættelser.

Størstedelen af data, som indgår i arbejdet, er indsamlet i forbindelse med forundersøgel- ser foretaget af EGS, GEO samt Fugro, for Energinet.dk, med henblik på input til VVM og indledende vurdering af funderingsforhold til Havmølleparken samt kabelkorridorerne. Der- udover er også anvendt arkivdata fra GEUS i form af seismiske data og prøvetagningsdata fra lokalområdet.

Den bedst mulige kystlinje forskydningskurve er opstillet for lokalområdet, baseret på eksi- sterende publicerede data og kurver, suppleret med nye C-14 dateringer af relevante hori- sonter i undersøgelsesområdet eller nærområdet.

De akustiske og seismiske data er indsamlet i et net af sejllinjer med en afstand på 65 m i en nord-syd retning og tværlinjer med en linjeafstand på 1000 m. Data omfatter sparker og chirp samt fuldt dækkende sidescan sonar og multibeam ekkolod.

Områdets sydlige del domineres af en underliggende salt dome, der har haft indflydelse på udbredelsen af de kvartære aflejringer. Således er der ikke kortlagt aflejringer fra Weichsel perioden over og syd for salt dommen. Nord herfor findes derimod sandede/lerede og stene- de moræneaflejringer, der flere steder står frem i havbunden. Sen-glaciale og Holocæne sedimenter findes aflejret i et ca. 40 m dybt bassin nord for dommen. Det er indenfor dette område samt i kabelkorridorerne efterforskningen efter de arkæologiske hot spots er foku- seret.

Idet udbredelsen af de tynde dæklag i området er kortlagt på basis af seismiske chirp data, der har en vertikal opløsning i decimeter skalaen, og havbundsoverfladen imellem de sei- smiske linjer er fuldt dækket af de akustiske side scan sonar data, vurderes det, at den an- vendte linjetæthed er tilstrækkelig til at opløse de geologiske strukturer af betydning for udpegning af potentielle begravede arkæologiske kystbosættelses hot spots.

Det bør pointeres, at man med de anvendte metoder og geologiske tolkninger, dvs. akustiske undersøgelser, inddragelse af lokale kystlinje forskydningskurver, detaljerede sedimentkortlægninger, palæo-morfologiske tolkninger samt vurderinger af erosionsgrad, og dermed bevaringspotentiale, understøtter det arkæologiske koncept om kystboplads (Fischer 1987).

2. Indledning

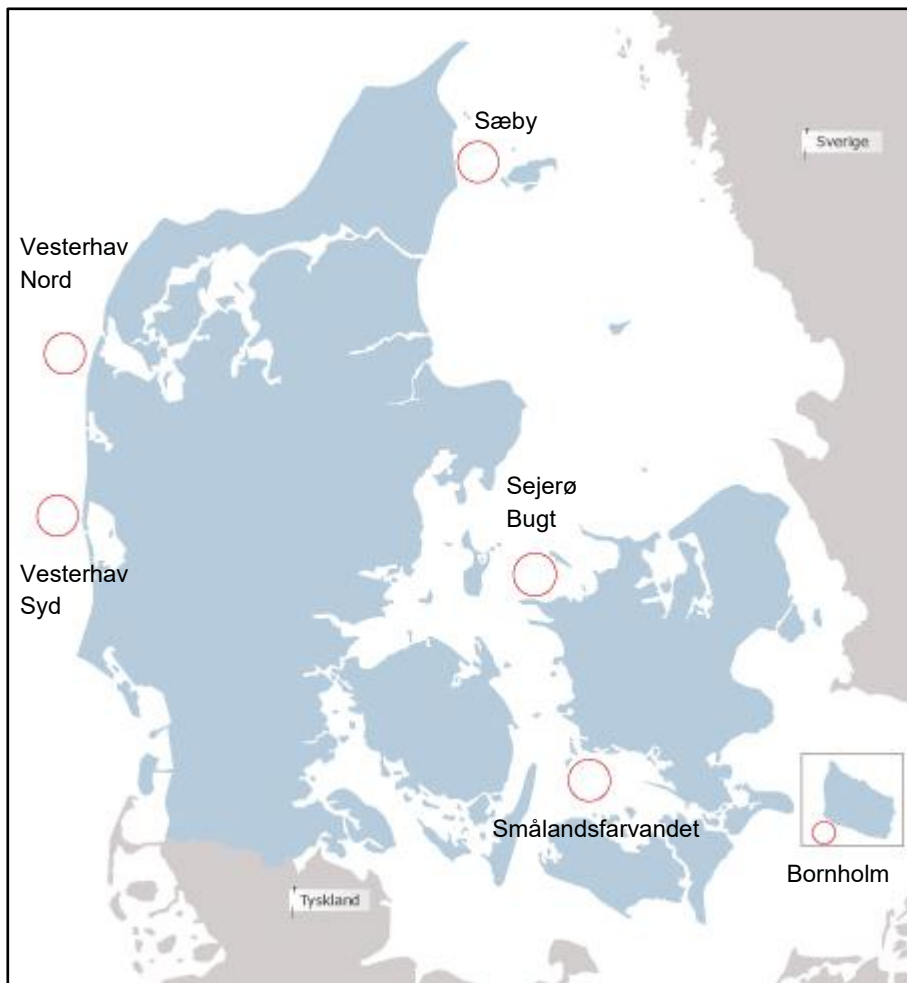
2.1 Baggrund

Den danske regering indgik sammen med Venstre, Det konservative Folkeparti, Dansk Folkeparti og Enhedslisten et energiforlig den 22. marts 2012. Som led i dette energipolitiske forlig og omstilling til grøn energiforsyning er ambitionen, at der inden 2020 opstilles 500 MW nye kystnære havmølleparker i Danmark.

I den forbindelse blev regeringen enig med resten af energiforligskredsen om, at der skal gennemføres udbud af 450 MW produktionsmøller i 6 udpegede områder (Figur 1), mens de resterende 50 MW bliver forsøgsmøller. Partierne bag energiforliget indgik i juni 2014 en aftale om en vækstpakke, som betyder at udbuddet af 450 MW produktion møller blev reduceret til 350 MW.

For at havmølleparkerne kan blive etableret med mindst mulig risiko for kommende bygherrer og for at opnå den lavest mulige pris, har energiforligskredsen besluttet at igangsætte forundersøgelser (VVM-redegørelse og relevante havbundsundersøgelser herunder arkæologisk screening efter vrug og bopladser m.v.) af de seks områder, hvor der som udgangspunkt kan blive placeret produktionsmøller. Forundersøgelserne færdiggøres, før tilbudsgiverne afgiver deres bud. Energiforligskredsen er efterfølgende blevet enig om, at området ved Bornholm maksimalt skal indeholde 50 MW vindmøller. Årsagen til denne beslutning er dels den begrænsede kapacitet i det bornholmske elnet, dels kabelforbindelsen til Sverige.

Områderne vil blive udbudt i 2013-2016 med forventet idriftsættelse senest ultimo 2019, hvilket betyder at udkast til VVM-redegørelse er en hastesag. I VVM-redegørelsen indgår også, så vidt som de tilgængelige data tillader det, en arkæologisk vurdering af områdets kulturhistoriske potentiale og truslerne imod det.



Figur 1. Placering af de 6 kystnære Havmølleparker.

2.2 Formål

Formålet med denne geologiske rapport er at benytte geologiske oplysninger til at fokusere den arkæologiske indsats til områder med største naturgivne potentiale for bosættelser langs mulige forhistoriske kystdannelser i kortlægningsområderne.

I efteråret 2014 blev Energinet.dk opmærksom på at det kunne være nyttigt at supplere de arkæologiske undersøgelser med detaljerede geologiske re-tolkninger af de allerede udførte akustiske undersøgelser samt prøvetagninger i de kystnære havmøllepark forundersøgelsesområder. Fokus er på de Holocæne sedimenter med henblik på at rekonstruere efteristidens overflademorfologi og lokale havniveaustigninger og dermed gradvise drukning af de 6 kystnære Havmølleparker. Det geologiske koncept går således ud på at verificerer kombinationen af relevante sedimenter i arkæologiske interessante tidsperioder, samt at lokalisere palæo-kystlinjetyper, som ifølge arkæologisk erfaring er hot spots for kystbosættelser.

De mulige kystdannelser evalueres både geologisk og tidsmæssigt i forhold til vandspejls- og kystniveauændringer samt dybdeforhold. Evalueringen er foretaget i 2 faser:

Fase 1 Indledende detaljeret gennemgang af rapporter samt aldersdateringer af bo-reprøver

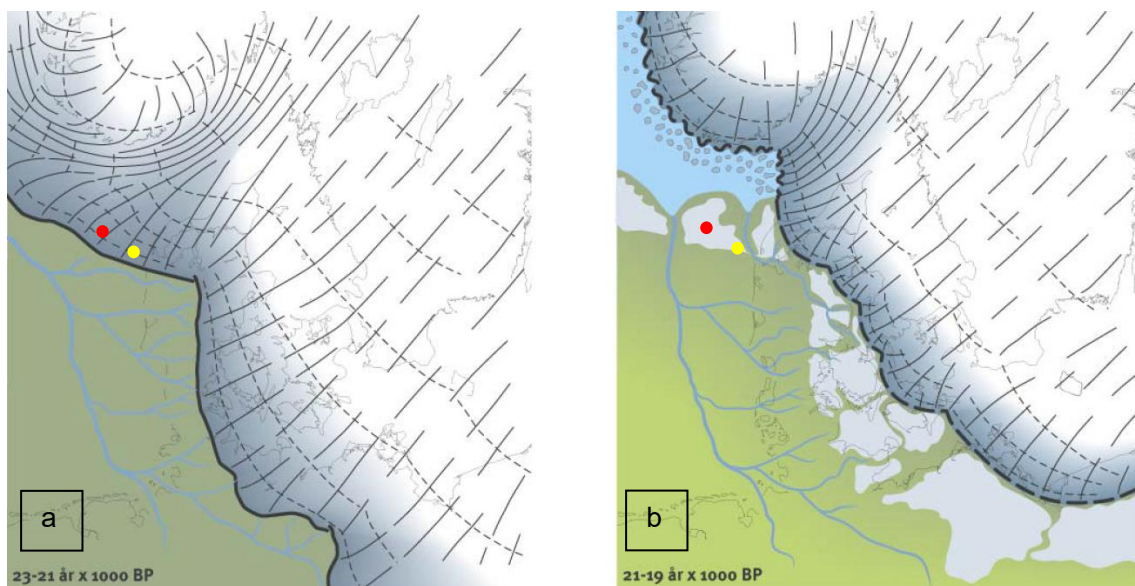
Fase 2 Detailtolkning af seismiske data mm. samt afrapportering

Resultatet af undersøgelseerne giver et forbedret grundlag for arkæologernes vurdering af potentialet for Stenalderbopladser samt eventuelle behov for supplerende undersøgelser, oprettelse af friholdelseszoner og/eller etablering af in situ beskyttelse af fortidsminder.

3. Vesterhavets generelle geologi

Udviklingen af den nordøstlige del af Nordsøen/Vesterhavet gennem Holocæn er beskrevet af Leth (1998, 2003) fra Jyske Rev området umiddelbart nord for havmølleparkområdet. På grund af Jyske Revs nærhed til Havmølleparkområdet vil den geologiske model, der beskrives her, være den samme for de to områder.

Det maksimale isfremstød fra nordøst i slutningen af Weichsel for ca. 23000-21000 BP dækkede størstedelen af VNH området (Leth, 1998; Leth, 2005) samt Jyske Rev og Lille Fisker Banke nord herfor. Isfronten fortsatte mod øst til Bovbjerg og området omkring Viborg. Herfra fortsatte isfronten mod syd og udgjorde samtidig en del af den såkaldte hovedopholdslinje ned gennem Jylland (Houmark-Nielsen, 1987) (Figur 2).

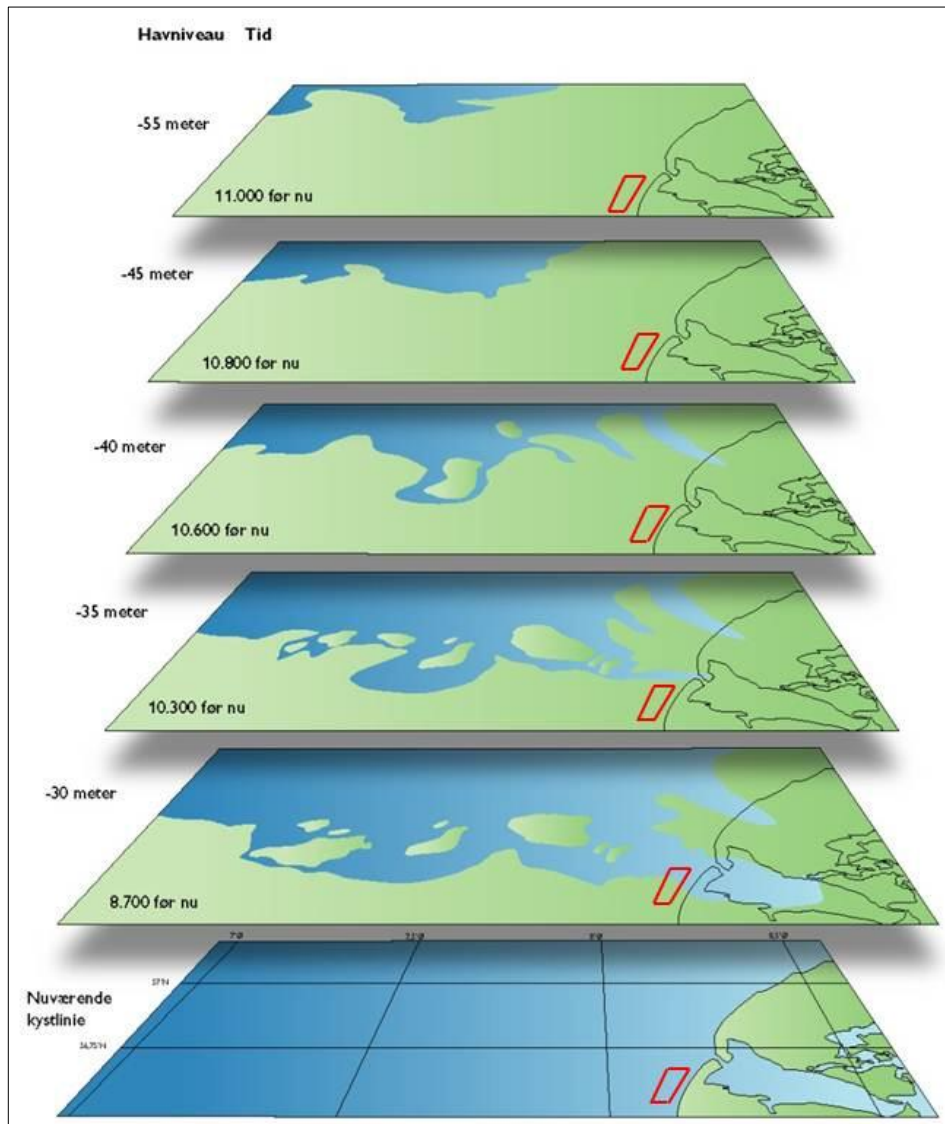


Figur 2. a. Maksimal udbredelse af iskjoldet over Sydskandinavien i Sen Weichsel for omkring 23-21000 BP - også kaldet NØ fremstødet b. Begyndende afsmeltning mod NV af iskjoldet med smeltevandskanaler ud til Yngre Yoldia Hav (fra Houmark-Nielsen et al., 2005). Gule punkt er VNH området og det røde punkt er Jyske Rev og Lille Fisker Banke området.

Aflejringer fra israndsområdet i den sydlige del af Jyske Rev fremstår som relativt højtliggende moræneaflejringer med glacialtektoniske forstyrrelser. I området syd for Weichsel israndslinjen findes smeltevands sand og grus i de glaciale lavninger i Weichsel landskabet og som proximale – distale smeltevandsslette aflejringer, der overligger de ældre glaciale dannelser (Saale/Elster) syd for hovedopholdslinjen (Figur 2).

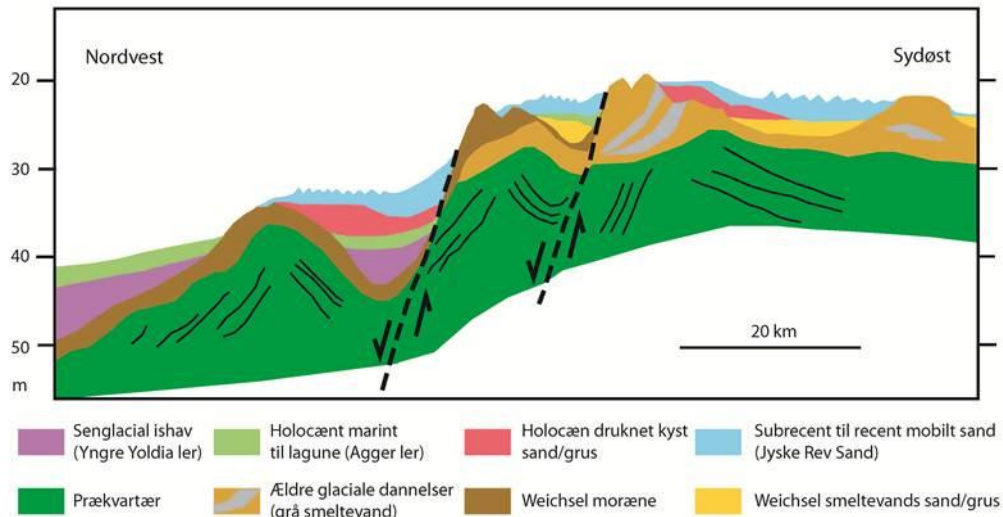
Syd for israndslinjen findes Weichsel smeltevandssand og –grus i lavninger mellem ældre glaciale dannelser (Elster/Saale). Saltdiapir tektonik har tydeligvis præget sedimentationshistorien og fordelingen af de kvartære aflejringer. Områder karakteriseret som moræneler, lokalt med residualgrus, sten og blokke fra Weichsel perioden er afgrænset i forbindelse med EGS's kortlægning af Havmølleparkområdet og fremgår således af kortet over havbundens sedimentfordeling som områder med varierende grad af stendækning.

Ældre dale og mindre depressioner mellem morænehøjene er erosivt skåret i toppen af smeltevandsaflejringer, der repræsenterer senglaciale dræningssystemer, som har præget området under isens tilbagesmeltning, ud til kystlinjen af det Yngre Yoldia Hav.



Figur 3. Palæogeografisk udvikling af det nordøstlige Vesterhavsområde omkring Jyske Rev under den tidligste Holocæne transgression. Grøn farve angiver landområder. Vesterhav Nord havmøllepark områdets omtrentlige placering er angivet med rød boks. Efter Leth (2003).

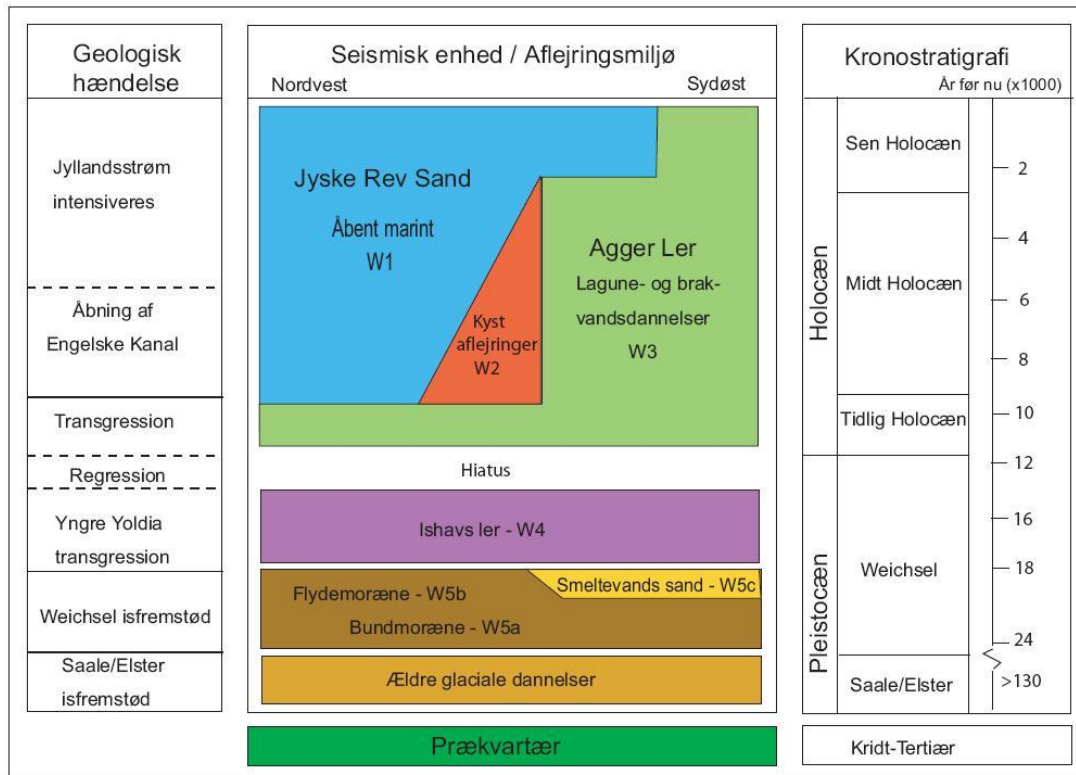
På baggrund af en række C-14 dateringer og seismiske undersøgelser er der opstillet et udviklingsforløb (Figur 3) fra transgressionens start i tidlig Holocæn indtil den definitive drukning af området omkring 6000 BP. I forbindelse med senere undersøgelser i Jyske Rev området er der opstillet et idealiseret geologisk profil, der viser de overordnede enheder i regionen, som også er gældende for Havmølleparkområdet (Jensen et al. 2010) (Figur 4). Det samme gælder for det opstillede stratigrafiske tidsskema, der viser tidsudviklingen for de geologiske lag i området (Figur 5).



Figur 4. Idealiseret geologisk profil fra nordvest til sydøst gennem området omkring VHN-Havmøllepark.

De prækvartære aflejringer, primært miocæn sand/ler, ligger i vindmølleområdet sydlig del tæt på havbunden, da de på grund af salt dome bevægelser fra Kridt tiden til i dag er blevet løftet op nær havbunden.

I takt med Weichsel israndens tilbagesmeltning udbredte det yngre Yoldia Ishav sig. Ishavs ler fra denne periode findes generelt som dæklag oven på de glaciæle lag. Den relative sænkning af havniveauet i perioden mellem 17000 – 11000 BP (Figur 8) medførte en regression af kystlinjen, som når et minimum på -50 m omkring 11000 BP. På det tidspunkt var størstedelen af undersøgelsesområdet over havniveau og frem til den efterfølgende Holocæne transgression, må man forvente at der har været en hiatus, hvor der har kunnet udvikles jordbunde og tørre fugtige lavninger og/eller søer.

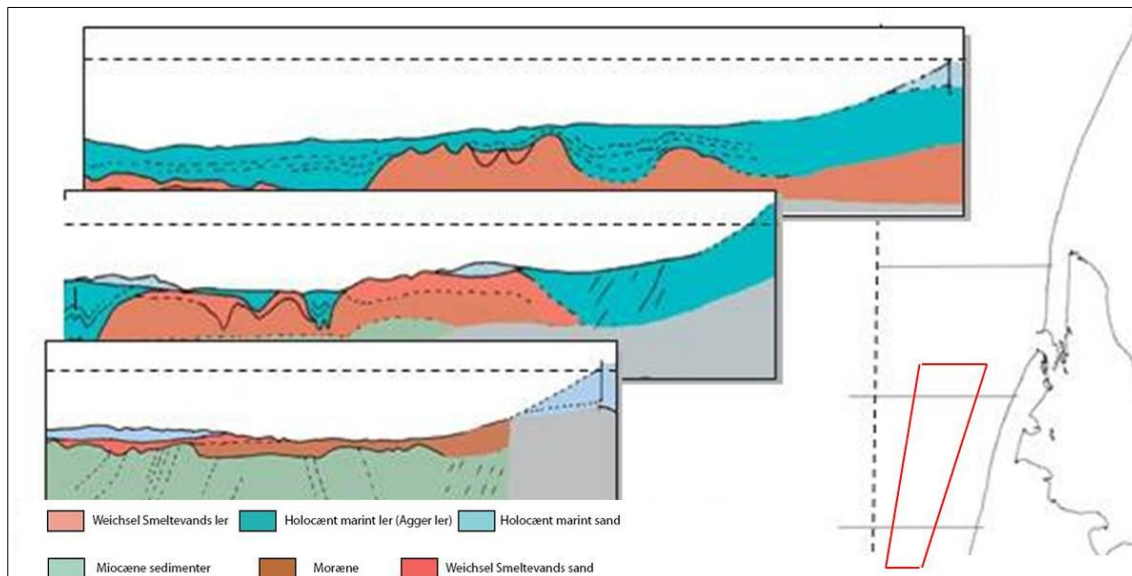


Figur 5. Stratigrafisk tidsskema for Jyske Rev og Havmølleparkområdet. Fra Jensen et al. 2010).

Fra 11000 BP og frem til ca. for ca. 6000 BP har der været en kontinuerlig havstigning i området. De hydrografiske forhold i denne del af Nordsøen frem til drukningen af de sidste glacialøer er karakteriseret som et tidevandsmiljø med en tidevandsamplitude på flere meter. Disse forhold er afspejlet i sedimenterne fra denne periode, idet der fra transgressionens begyndelse omkring 10000 til ca. 6000 BP, udvikledes lagunesystemer og fjordarme beskyttet mod det åbne hav af en række glaciale øer. Den fortsatte transgression betød ud over at de glaciale rygge blev omdannet til øer i det åbne hav også at kysterosionsprocesser dannede kystaflejringer i form af strandvolde og oddedannelser på læsiden. Sedimenterne aflejret i lagunesystemet består af finkornede, lerede og siltede lagunesedimenter – det såkaldte Aggerler (Leth 1996). Enheden afspejler som oftest en udvikling fra brakvandsmiljø til fulde marine forhold.

De nu druknede kystaflejringer blev udsat for varierende grad af erosion i det gradvist stærkt eksponerede Nordsømiljø og i de fleste områder dækket af dynamisk sand (Jyske Rev Sand), aflejret efter etableringen af åbne marine forhold. Det kan således forventes, at der under transgressionen er borteoderet op til flere meter af den oprindelige lagtykkelse. Lokalt står Aggerleret frem i havbunden og er derfor stadig udsat for erosion. Figur 6 viser i tværsnit fra en tidligere undersøgelse, hvordan enheden af Aggerler fordeler sig i området omkring Havmølleparken.

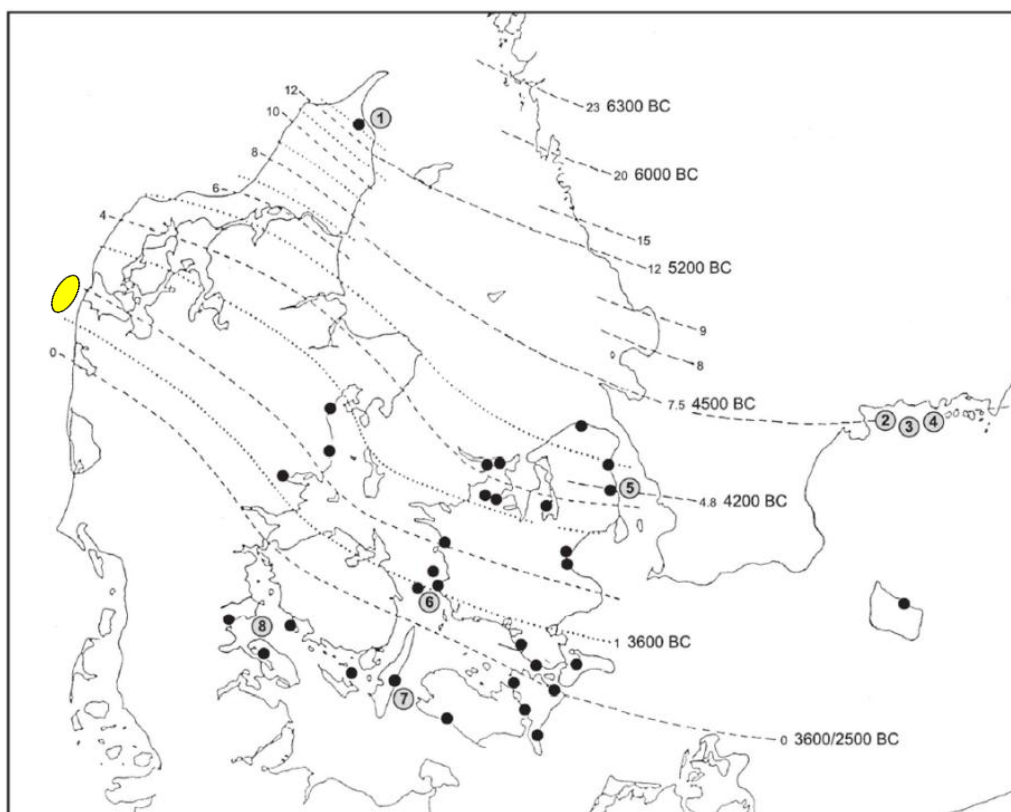
Jyske Rev Sandet repræsenterer således aflejringer fra de sidste omkring 6000 år og kan opnå adskillige meters tykkelse, hvoraf de mest recente aflejringer kan være aflejret i dynamiske sand bundformer, som ofte er sandbølger, der kan blive op til flere meter høje og med bølgelængder på over 100 m.



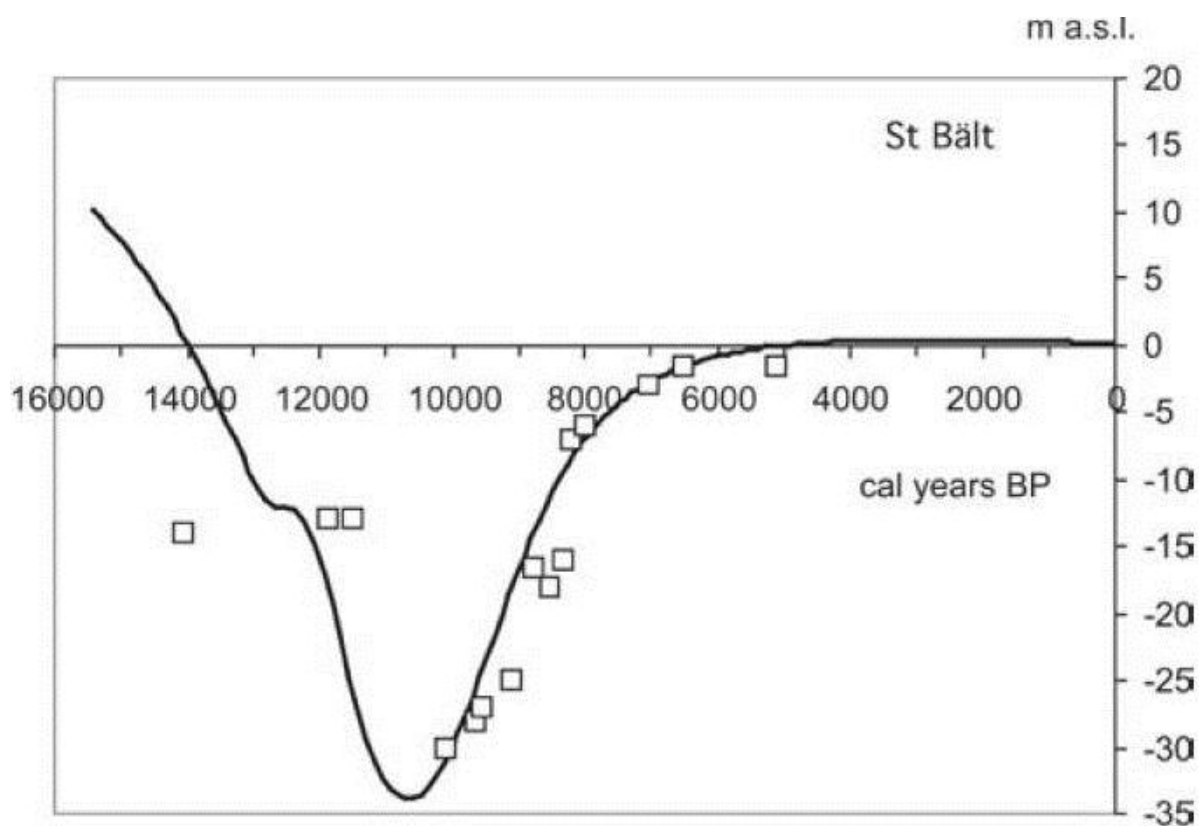
Figur 6. Idealiserede tværnsnit gennem Havmøllepark området (rød boks), der viser de overordnede geologiske enheder. Bemærk den dominerende salt dome i det sydligste profil. Fra Leth et al. (1999).

Efteristidens landhævning har haft mindre effekt jo længere væk man kommer fra nedslagsområdet, hvilket har haft stor betydning for de lokale relative kystlinjeændringer i Holocæn. Dette kan illustreres ved et kort over Danmark, som viser isobarene for højeste registrerede kystlinje for Litorinahavet i Danmark (Figur 7). Mertz (1924) var den første som præsenterede isobarkortet, som er revideret flere gange siden, eksempelvis af Christensen & Nielsen (2008).

Efterhånden findes der en mængde dateringsdata fra det skandinaviske område og Påsse og Andersson (2005) har i en empirisk model beregnet kystlinjeforskydningskurver fordelt i det skandinaviske område (Figur 8). Generelt set må disse kurver anses for at være meget nøjagtige og kan med omtanke benyttes langs højeste kystlinje isobarene (Figur 7). Det antages her at Påsse og Anderssons kystlinjeforskydningskurver for Storebælt (Figur 8) kan anvendes i VHN området, idet 1 m isobaren for de højeste kystforskydninger jf. Mertz (1924) kan følges fra Storebælt til den centrale del af VHN området.



Figur 7. Isobarer for de højeste kystlinjer af Litorinahavet i Danmark. Mertz (1924) og Christensen & Nielsen (2008). VHN angivet som gul polygon.

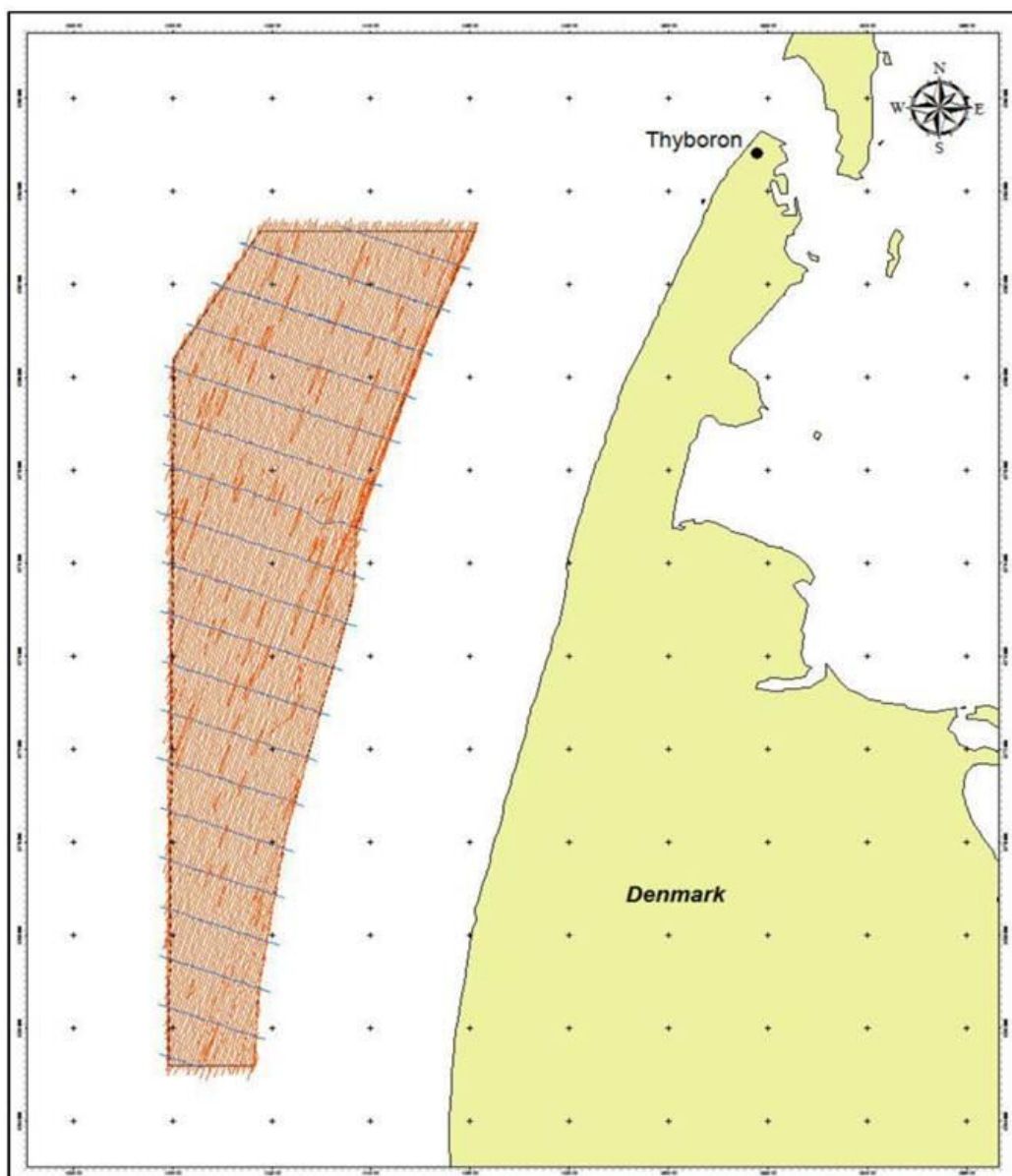


Figur 8. Udregnet kystlinje forskydningskurve i Storebælt omkring 0 isobaren (Påsse og Andersson 2005).

4. Data

Størstedelen af data som indgår i arbejdet er indsamlet i forbindelse med forundersøgelserne foretaget af EGS (havmølleparken, Watchorn, P. 2014), GEO (kabelkorridorer, Manso F. 2014) og Fugro (Amstrong, 2014) med henblik på input til VVM og indledende vurdering af funderingsforhold til Havmølleparken samt kabelkorridorer.

Survey specifikationerne krævede linjeafstand på 65 m i Havmøllepark området, som er ca. 59 km² svarende til 966 linjekilometer og inklusive tværgående linjer med 1km linje afstand i alt 1149 linjekilometer. I kabelkorridorerne er linjeafstanden 80 m i den ydre del og 100 m i den indre del.



Figur 9. Oversigt over Vesterhav Nord survey grid fra EGS surveyrapport (Watchorn, 2014).

De akustiske målinger i Havmølleparkområdet blev fulgt op af 3 dybe borer (ca. 80m dybde) og 12 CPT test udført af Fugro. I kabelkorridor-1 (CR1) blev der udført 4 stk. vibro-core borer og i kabelkorridor-2 (CR2) 5 stk. vibro-core borer.

De tilgængelige borer indenfor området er blevet gennemgået for at finde brugbart materiale til C-14 dateringer med henblik på fastlæggelse af sedimentaldre og kystniveauændringer. Kun prøvemateriale fra en boring fra én af kabelkorridorerne blev fundet egnet til datering.

På Bilag A1 fremgår placeringerne af sejlede linjer og prøvetagningspositioner.

4.1 EGS data fra Vesterhav Nord Havmøllepark

EGS undersøgelsesdata inkluderer:

- Multibeam bathymetri 100 % dækning
- Side-scan-sonar kortlægning fulddækkende
- Sub-bottom profilering med højopløselig pinger (chirp) og deep penetration multi-kanal sparker
- Magnetisk profilering
- Prøvetagninger i form af grabprøver

4.1.1 Multibeam bathymetri

Multibeam data blev indsamlet med Kongsberg 2040 MBES og med en linjeafstand på 50 m er resultatet 100 % dækning. Rapporteringen inkluderede en række dybde grid, hvor vi har valgt 5 m opløsning, som er blevet konverteret til Mapinfo GRD format.

4.1.2 Side-scan-sonar data

Der blev benyttet Klein 3000 dual frequency SSS på henholdsvis 445 kHz og 125 kHz. Range var på 75 m og sejlhastigheden på omkring 4 knob SSS mosaik kort er produceret i forskellige opløsninger, hvor GEUS har valgt 2 m grid versionen.

4.1.3 Subbottom profilering

4.1.3.1 Multikanal sparker data indsamlet med EGS Pioneer

Der blev benyttet et Geo-Source 200 Sparker system, som fik energi fra en Geo-Spark 1000x, og Geo-Sense 24 channel streamer blev benyttet til optagelse af signalet i en Geometrics GEODE 24 channel seismograph med Geometrics Seismodule software og logged i SEG-D format. Efterfølgende blev data processeret og gemt i SGY format.

4.1.3.2 Chirp data indsamlet med EGS Pioneer

Højopløselige chirp data blev indsamlet i hele undersøgelsesområdet (Figur 9) med en Knudsen 3260 Chirp/Pinger. Data blev logget i SGY format.

4.1.4 Prøvetagninger i form af grabprøver

Der blev indsamlet 30 grab prøver med en 0.1 m² Van Veen grab, til støtte for tolkningen af multibeam og side-scan-sonar data til bestemmelse af havbundens overfladesedimenter.

4.2 GEO data fra Vesterhav Nord kabelkorridorerne

GEO undersøgelsesdata inkluderer:

- Multibeam bathymetri 100 % dækning
- Side-scan-sonar kortlægning fuldt dækkende
- Sub-bottom profilering Innomar SES-2000 højopløselig seismik og enkeltkanal sparker
- Prøvetagninger i form af grabprøver

4.2.1 Multibeam bathymetri

Multibeam data blev indsamlet med RESON Seabat 7125 SV og med en linjeafstand på 80 – 100 m er resultatet 100 % dækning. Rapporteringen inkluderede en række dybde grid, hvor GEUS har valgt 5 m opløsning, som er blevet konverteret til Mapinfo GRD format.

4.2.2 Side-scan-sonar data

Der blev benyttet Edgetech 4200-HFL, dual frequency SSS på henholdsvis 300 KHz og 600 KHz. Range var på 75 m og sejlhastigheden på omkring 4 knob. SSS mosaik kort er produceret i forskellige opløsninger, hvor GEUS har valgt 2 m grid versionen.

4.2.3 Subbottom profilering

4.2.3.1 Sparker

Der blev benyttet et GEO-Sparker 200, multi tip system, 1-3 KHz, 100 to 1000 Joule, Pulse rate op til 2 Hz. Data er processeret og gemt i SGY format.

4.2.3.2 Højopløselig subbottom profiler

Højopløselige data blev indsamlet med en Innomar SES-2000 Light parametric subbottom profiler, 1-10 kHz, Pulse rate op til 50 Hz. Data blev logget i SGY format.

4.2.4 Prøvetagninger i form af vibrationsboringer

Der blev udført 9 vibrocores i kabel korridorerne med mulighed for op til 6 m penetration.

4.3 Dybe boringer og CPT test udført af Fugro

Fugro udførte 3 dybere boringer på hver omkring 70 m dybde.

Boringerne var en kombination af rotation og åben hul teknik, hvilket efterlader prøver med henblik på C-14 datering af varierende kvalitet.

4.4 Arkiv seismiske data og geologiske prøver

Som supplement til VHN Havvindmølle forundersøgelser har vi gennemgået GEUS's arkiver med henblik på bestemmelse af sedimenttyper og aldre for sedimenterne, henholdsvis seismiske data i Marta databasen:

(http://data.geus.dk/geusmapmore/marta/guide_marta.html)

og prøvetagninger i Jupiter databasen:

(<http://www.geus.dk/DK/data-maps/jupiter/Sider/default.aspx>)

5. Metodebeskrivelse af bearbejdning og tolkning af data

Det geologiske koncept for nærværende undersøgelser er:

- Eksisterende akustiske- og prøvetagningsdata fra lokalområdet gennemgås og sammenholdes med data fra havvindmølle området, samt kabelkorridorer. Den geologiske udvikling siden sidste istid efterprøves med fokus på den Holocæne udviklingen i den arkæologisk mest interessante periode, omhandlende de sidste ca. 9500 år. Relevante horisonter tolkes, prøvematerialet beskrives og relevante enheder søges dateret.
- Den bedst mulige kystlinjeforskydningskurve for lokalområdet opstilles, baseret på eksisterende publicerede data og kurver, suppleret med nye C-14 dateringer af relevante horisonter i undersøgelsesområdet eller nærområdet
- De indsamlede akustiske data i havvindmølleområdet og i kabel korridorerne retolkes med fokus på den Holocæne transgressionsflade og de aflejrte ferskevands og marine aflejringer afsat i de sidste omkring 9500 år.
- Med basis i den opstillede kystniveaukurve samt de retolkede Holocæne transgressionsflader fremstilles relevante palæogeografiske kort, som illustrerer palæo-kystlinjerne på relevante tidspunkter, samt kort med fordeling og tykkelsen af sediment indfyld og mulige toplags tykkelser.

5.1 Gennemgang af prøvetagninger og eksisterende data samt udtagning af prøver til C-14 dateringer i Vesterhav Nord området.

I en erkendelse af nødvendigheden af en korrekt beskrivelse af de Holocæne sedimenters lithologi og miljøbeskrivelse samt dateringen af transgressionsforløbet, gennemgik GEUS prøvematerialet indsamlet i forbindelse med havvindmølle projektet, samt eksisterende arkivprøver fra nærområdet til Vesterhav Nord området.

5.1.1 Dybe boringer Fugro

De 3 dybe boringer udført af Fugro(VHN-BH001, VHN-BH002 og VHN-BH003) (Bilag A1) blev tolket ud fra rapporteringen (Amstrong 2014), hvor det fremgår at VHN-BH001 indeholder omkring 7 m sandet Holocæne sediment, som ikke kan relateres til kystlinje dannelse og dermed ikke har interesse for undersøgelsen medens VHN-BH002 indeholder omkring 7 m Holocæne sediment og VHN-BH003 omkring 11 m, som kunne være interessante. Et besøg på Fugros kernelager i Newcastle viste imidlertid, at der ikke fandtes materiale i borekernerne, som kunne benyttes til C-14 dateringer.

5.1.2 Vibrationsboringer GEO

GEO har udført 9 vibrationsboringerne i de kortlagte kabelkorridorer (Manso 2014) (Bilag A1). En gennemgang af boringerne og deres placering viser at 3 vibrationsboringer indeholder Holocæne sedimenter, der kunne bidrage til forståelsen af Havmølleparkens stratigrafi. Derfor blev derfor udtaget en prøve fra korridor-2 til datering.

5.1.3 GEUS arkiv materiale

En gennemgang af GEUS's databaser viser, at der findes relevante rapporter i og omkring Havmølleparken. Her skal fremhæves et ph.d. studie af Jyske Rev (Leth, 1998) området umiddelbart nord for Havmølleparken, en undersøgelse efter råstoffer udført af GEUS for By- og Landskabsstyrelsen (Jensen et al. 2010) samt en regionalgeologisk undersøgelse af kystzonen udført af GEUS for Kystinspektoret (Leth et al. 1999).

Ud fra de tidligere undersøgelser kan det konkluderes, at området omkring Vesterhav Nord vindmølleområdet er præget af domestrukturer, der skyldes at dybereliggende salt diapirer har presset de prækvartære lag op til et niveau tæt på havbunden. Morænelersaflejringer er udbredt i området og udgør i store områder havbunden i form af stenede og grusede havbundssedimenter.

5.1.4 C-14 dateringer

GEUS udtog en prøve til C-14-datering fra en af de nye vibrocore kerner. Alderen på materialet fremgår af tabel 1. Der er tidligere gennemført en række aldersdateringer af Aggerleret (Leth, 1998). Dateringerne er udført på marine muslingeskaller.

Tabel 1 Kulstof-14 datering fra Vesterhav Nord kabelkorridor-2 vibrocore boring.

Kabelrute og kerne	Materiale	Dybde ukt ¹ (cm)	Dybde uhn ² (m)	Lab. nummer	Alder (¹⁴ C år BP)	Kalibreret alder (BP) ³
Corr-2-007	<i>S. subtruncata, C. gibba</i>	355	25,1	Beta-403135	1140 ± 30	658–713

¹ ukt: under kernetop. ² under havniveau. ³ Kalibrering ifølge INTCAL13 og MARINE13 data, ved hjælp af CALIB programmet, version 7.1.

Tabel 2. Ældre C-14 dateringer af Aggerleret fra Jyske Rev området

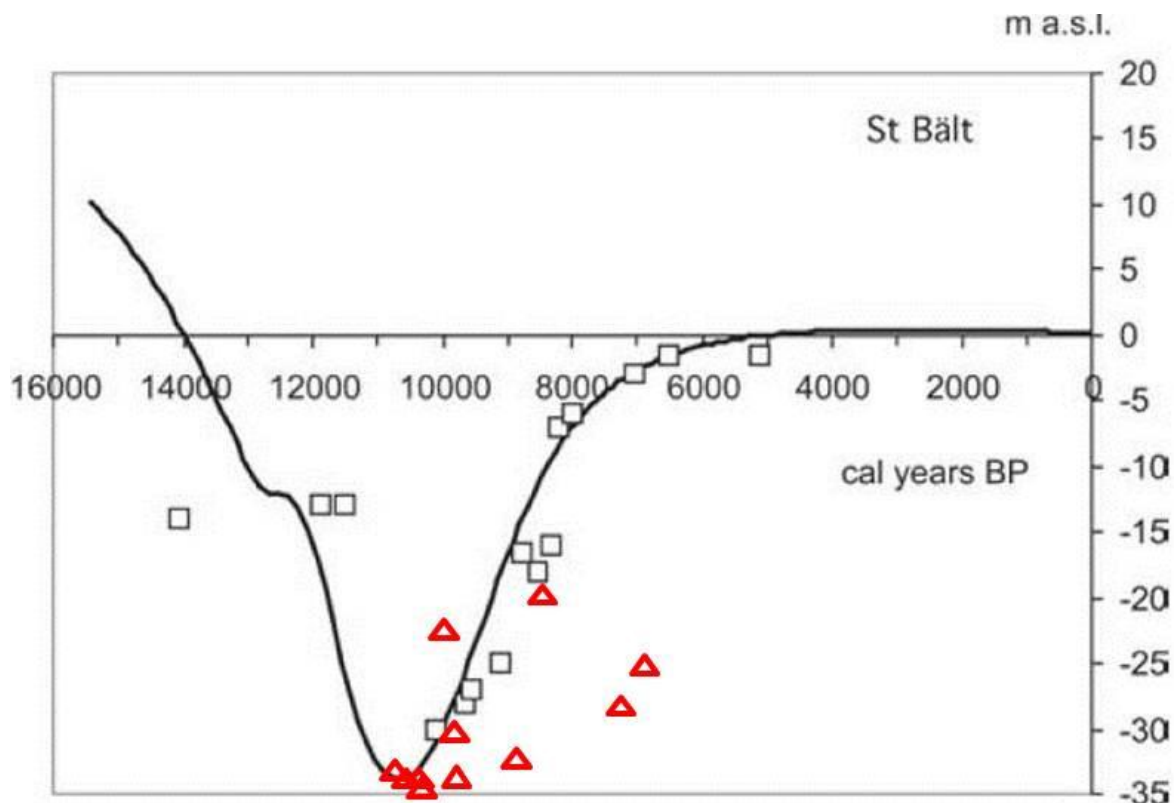
Boring	Laboratorie kode	Prøve niveau (m uhn ² .)	materiale	¹⁴ C alder (BP)	Reservoir korrigeret ¹⁴ C alder (BP.)
562006	AAR-3294	26.10	Corbula gibba	6,350+70	5,950+70
562006	AAR-3295	27.70	Corbula gibba	6,650+65	6,250+65
AGGER 2	K-4291*	23.00	(unknown)	7,690+110	7,290+110
562003	AAR-1819	33.25	Tellina fabula	8,320+110	7,920+110
562010	AAR-1821	30.60	Nucula nitida	9,090+90	8,690+90

562017	AAR-3298	34.05	Mytilus edulis	9,190+75	8,790+75
Agger 1	AAR-1827	24.50	Littorina littorea	9,270+90	8,870+90
562017	AAR-3296	34.70	various species	9,380+90	8,980+90
562010	AAR-1820	33.60	Cardium edule	9,480+90	9,080+90
562011	AAR-1822	34.50	Cardium edule	9,750+100	9,350+100
Agger 2	AAR-1828	33.00	Macoma baltica	9,900+140	9,500+140

To af dateringerne (562011 og Agger-2), der begge repræsenterer transgressionslaget i bunden af Aggerleret, giver aldre på hhv. 9350 og 9500 BP i hhv. 34,5 og 33,0 m dybde.

5.2 Opstilling af kystlinjeforskydningskurver for Vesterhav Nord Havmøllepark

Som en indikation på, hvor godt Påsse og Anderssons kurve matcher i området er dateringer fra undersøgelserne på Jyske Rev og Agger Tange som er listet i tabel 2 (Leth, 1998) plottet på kystlinje forskydningskurven fra Storebælt (Figur 10). Ved plotning af de supplerende dateringer sammen med Storebælt's dateringerne ses lowstand punktet omkring kote -35 m at blive dokumenteret medens der er nogen spredning på øvrige dateringer, specielt de to yngste prøver mellem 6000 og 7000 BP, disse dateringer er taget i bassin sedimenter, som ikke giver palæo kystlinjeniveauerne. Det konkluderes at Påsse og Anderssons kurve for Storebælt er anvendelig for VHN området.



Figur 10. Kystlinje forskydningskurve i Storebælt jf. Påsse og Andersson (2005) med dateringer fra Jyske Rev undersøgelserne (Leth, 1998) plottet ind.

5.3 Retolkning af akustiske EGS og GEO data

Med basis i den af GEUS opstillede Holocæne stratigrafi er der foretaget en retolkning af hovedsagelig sparker og Chirp data indsamlet af EGS og GEO, med henblik på at forbedre grundlaget for udpegning af arkæologiske boplads hot spots.

5.3.1 Harmonisering af EGS, GEO og GEUS Holocæne seismiske stratigrafi.

EGS har opdelt de seismiske data i vindmølleområdet i en række tolkede enheder (Figur). Farverne angiver GEUS' stratigrafi for området (Figur 4).

Unit	Sediment	Depositional Environment	Age
1a	Sand, Gravel	Spit-Platform- Beach ridges	Holocene
1b	Sand, silt	Spits-lagoon	Holocene
2	Sand, silt, clay	Outlet	Holocene
3	Clay	Brackish lagoonal	Holocene
4	Clay	Brackish lagoonal	Holocene
5	Clay, sand, boulder	Pro-glacial, Plain	Weichsel
6	Clay - Sand	Delta - Fluvial	Pre- Quaternary
7	Clay - Sand	Delta - Fluvial	Pre- Quaternary
8	Clay - Sand	Delta - Fluvial	Pre- Quaternary
9	Clay - Sand	Delta - Fluvial	Pre- Quaternary
10	Clay - Sand	Delta - Fluvial	Pre- Quaternary

Figur 11. EGS (Watchorn 2014) Havmøllepark stratigrafi baseret på tolkningen af sparker og chirp. Farverne angiver GEUS stratigrafi se Figur 4.

Nedenfor listes og diskuteres de af EGS kortlagte enheder i forhold til GEUS retolkninger.

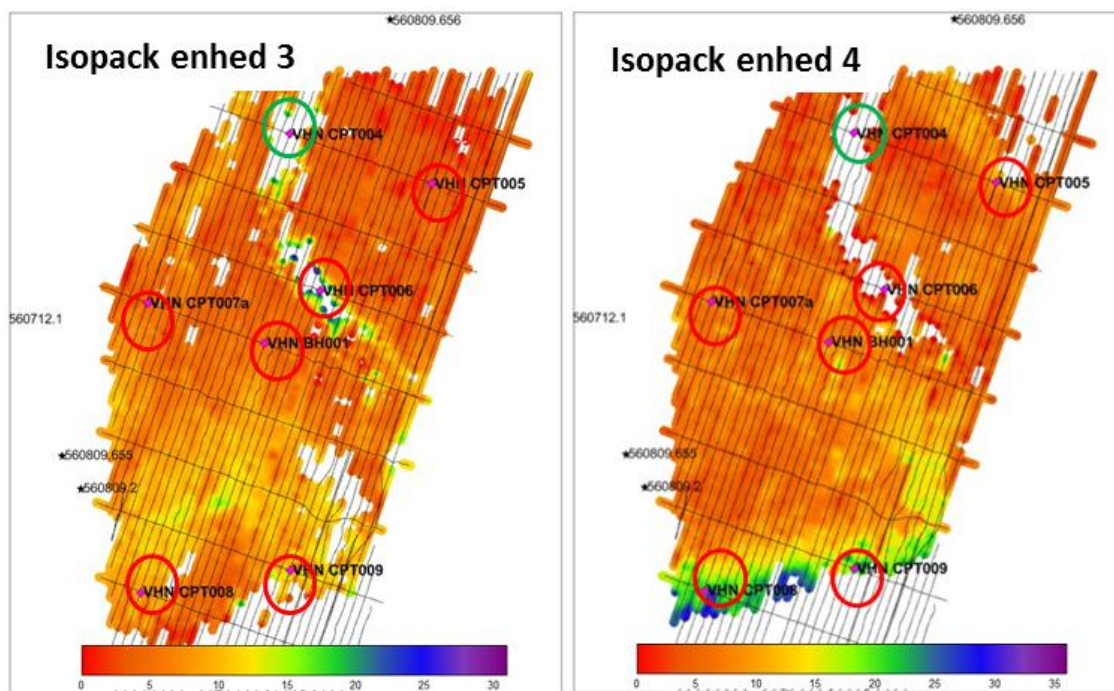
EGS enhed 6-10: Prækvarterne tertiære aflejringer.

EGS enhed 5: Weichsel moræne og smeltevandssedimenter

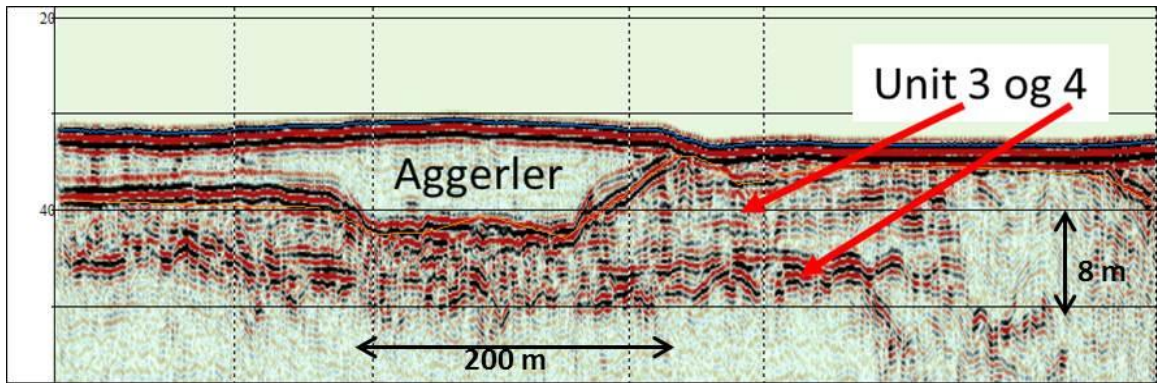
EGS enhederne 3 og 4: Tolket som Holocæne brakiske, lagunale aflejringer svarende til Aggerleret. Er i uoverensstemmelse med de gennemborede lag i boring VHN BH001 samt Fugros tests af VHN CPT-005, CPT-006, CPT-007, CPT-008 og CPT-009, der alle i følge Fugro indeholder marint sand i de øverste 5-10 m. Derimod viser Fugros tests af VHN CPT-004, at der findes siltet ler i de øverste 7,50 m på denne position (Bilag B1). Den seismiske arkitektur af disse enheder adskiller sig ligeledes fra den karakteristiske transparente arkitektur, som kendes fra Aggerleret i Jyske Rev området (Figur 13). Enheden er

karakteriseret ved at være overvejende seismisk transparent med en utydelig planar lagdeling, og der ses ofte gas i enheden. Der ses altid en erosiv nedre grænse, hvor den marine transgression stedvist har eroderet kraftigt i de underliggende ferskvandslag. Sammenholder man disse informationer og informationerne fra boringer/CPT med udbredelseskortene for EGS enhederne 3 og 4 (Figur 12) må det konkluderes, at enhederne 3 og 4 ikke kan repræsentere Aggerleret. Enhederne tolkes i stedet som aflejringer af glacielt/senglacielt smeltevandssand og –grus aflejret i glacielle lavninger i Weichsel landskabet og som proximale – distale smeltevandsslette aflejringer foran isfronten.

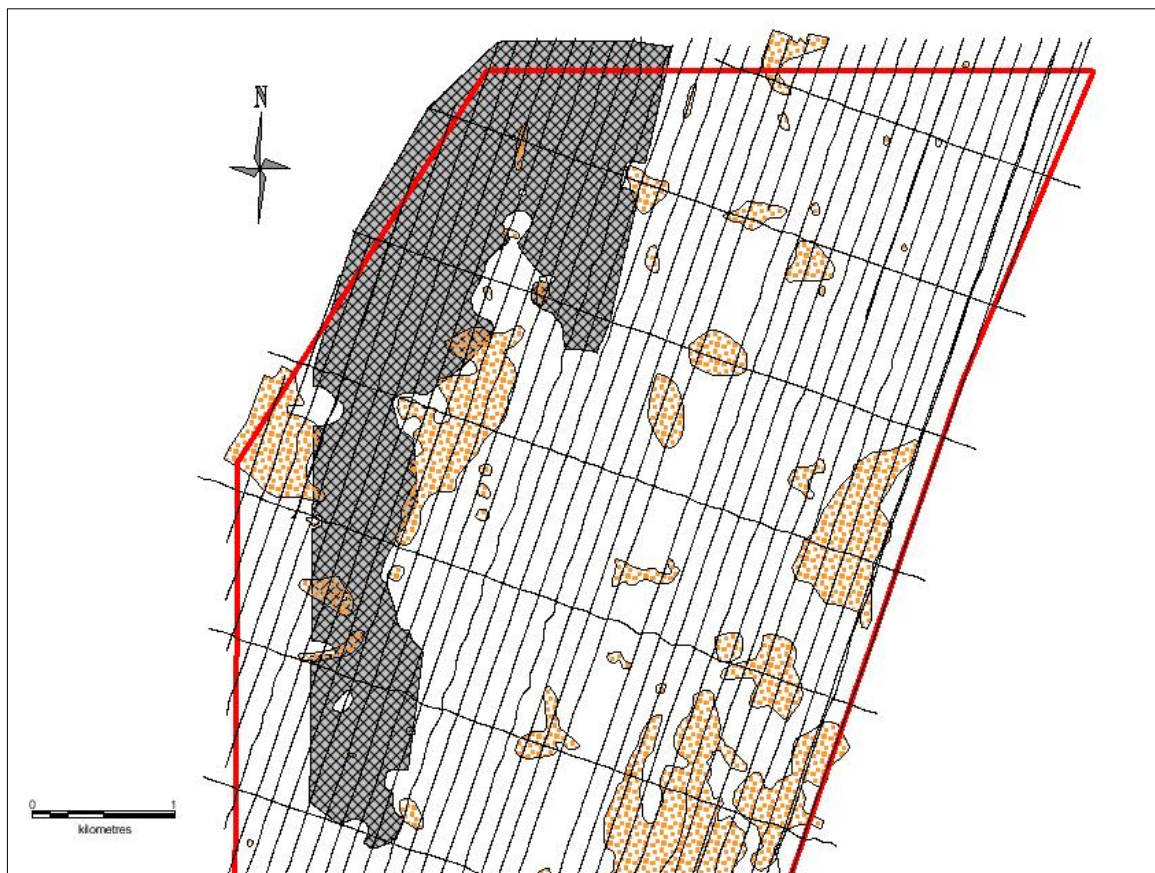
GEUS har ud fra sparker og chirp data gentolket området og kortlagt en enhed, der kan korreleres til Aggerleret ud fra de karakteristika nævnt ovenfor og de informationer, som kan uddrages af dels boringer, dels CPT forsøgene. Seismiske eksempler findes i bilagene B1, B2 og B3. Der er afgrænset et sammenhængende område i den nordvestlige del af VHN Havmølleparkområdet. Udbredelseskortet af denne enhed fremgår af Figur 14. Aflejringsbassinet for Aggerleret er til dels begrænset af højtliggende glacielle aflejringer, hvilket områderne med stenet havbund på kortet indikerer.



Figur 12. Tykkelseskort over EGS enhederne 3 og 4, der af GEUS tolkes som Aggerler. Informationerne fra de udførte CPT forsøg (røde cirkler) viser, at der ikke findes Aggerler på disse positioner. Derimod tolker GEUS CPT forsøg af CPT-04 (grøn cirkel), at der er 7,5 m Aggerler her. Se også Bilag B1.



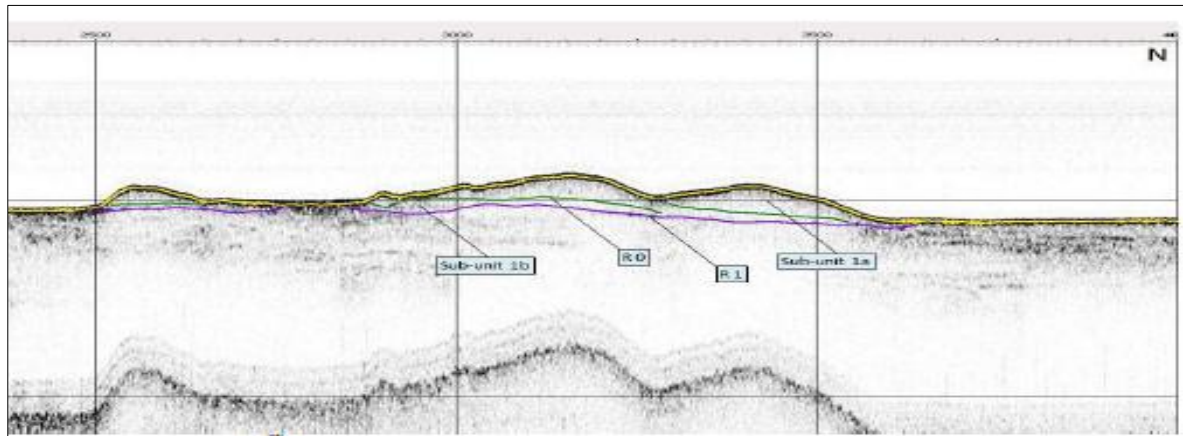
Figur 13. Sparker linje XL018, der viser Aggerleret som den transparente seismiske enhed samt de underliggende lagdelte enheder 3 og 4, som EGS fejlagtigt har tolket som Aggerler. Se også bilagene B1, B2 og B3.



Figur 14. Udbredelsen af den af GEUS kortlagte Aggerler-enhed (grå skravering) i den nordvestlige del af VHN. Den orange prikkede signatur angiver udbredelsen af områder med sten på havbunden.

EGS enhed 1: EGS har kortlagt den yngste enhed (Unit 1) som odde-dannelser og strandvoldannelser. Enheden har et erosivt basis og typisk stød- og læsider. Ud fra en retolkning af data har GEUS konkluderet, at enheden svarer til marint sand (Jyske Rev Sand), der i hele vindmølleområdet er meget tyndt, dynamisk og mobilt. Det seismiske udsnit (Figur 15) viser et karakteristisk tværsnit af enheden, med mobile bundformer. Denne sandede enhed repræsenterer det yngste stratigrafiske lag, der samtidig indikerer det hydrografiske skift, der fandt sted omkring 6000 BP. På grund af det høje energiniveau i de kystnære områder

af Nordsøen omlægges disse sandede lag regelmæssigt i forbindelse med stormsituationer. Dateringer af enheden har i tidligere undersøgelser givet aldre på maksimalt 1000 år selv i 5 meters dybde under havbunden. Dateringen, der blev udført i denne undersøgelse i kabelkorridoren bekræfter dette forhold med en C-14 alder på ca. 700 år.



Figur 15. EGS underinddeling af unit-1 i sub-unit 1a og sub-unit1b (Watchorn 2014). Enhederne repræsenterer recent til sub-recent marint dynamisk sand.

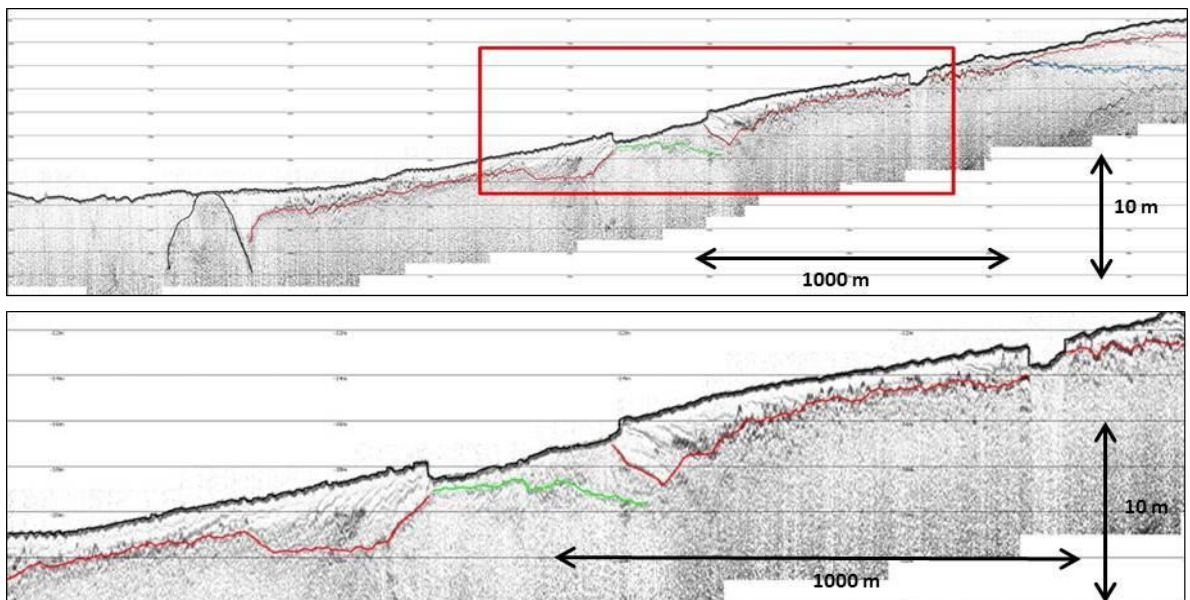
EGS enhed 1a vil i så fald i store træk svare til den af GEUS tolkede marine Holocæne enhed.

I kabelkorridorerne har GEO tolket de seismiske data og opdelt sedimenterne i en række enheder fra prækvartært/tertiært ler (3) til moræneaflejringer (2) med en række underinddelinger (Figur 16) samt Holocæne marine sedimenter (1), som er indeholdt i GEUS stratigrafien benævnt sub-recent til recent sand (Figur 11). Informationer fra de gennemførte vibrocore borer i korridor -1 viser imidlertid tilstedeværelsen af Aggerler i 2 fra toppen af borerne (VHN_CR-1VC+002 og VHN_CR-1VC+006) til 3-5 m dybde. De interne refleksionsmønstre (se Figur 17 og 18) underbygger, at der findes et udbredt bassin med Aggerler indenfor korridor-1. Af hensyn til palæo-miljøtolkningen og den efterfølgende udpegning af potentielle marinarkæologiske hot spots er Aggerler enheden i gentolkning udskilt som en separat enhed ligesom det var tilfældet indenfor Havmølleparkområdet.

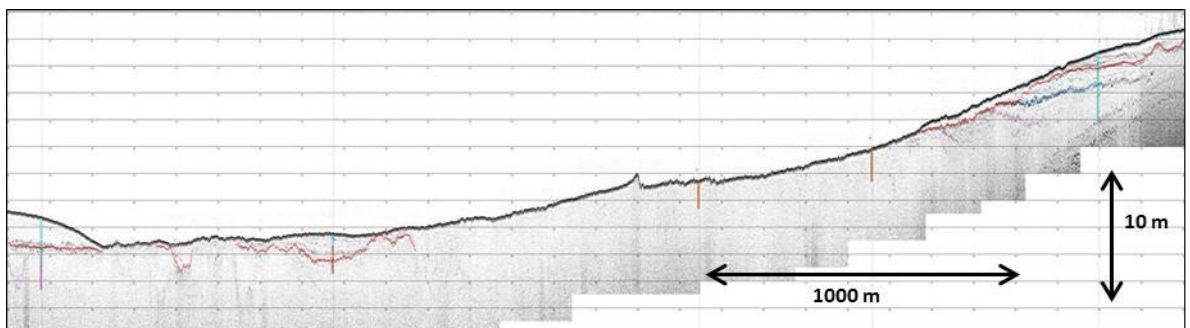
Korridor-2 viser iflg. borerne og seismikken (figur 18 og Bilag b7) generelt at være præget af sub-recent til recent sand og glaciale aflejringer. I den inderste del findes dog en enhed tolket som postglacialt gyttja, men enheden er dækket af 1-2 m postglacialt sand. En aldersdatering af boring VHN-CR2VC+007 3,55 m under havbund (kote: -25,1 m) giver en C-14 kalibreret alder på ca. 700 BP.

SBP units	Sparker sub-units	Pinger sub-units	Interpretation
1	I	A	Postglacial marine sediments (sand, silt, gyttja and clay)
		B	Pinger sub-unit B
2	II	A	Glacial meltwater sand and clay with postglacial marine sediments on the top
	III	C	Glacial clay till
3	IV		Unknown lithology
	V		Possible Tertiary marine clay

Figur 16. Oversigt over sub-bottom profiler enhederne tolket af GEO (Manso, 2014). Det skal bemærkes, at sparker og pinger sub-units ikke nødvendigvis kan korreleres. Farverne svarer til farverne i den kvartære stratigrafi for Nordsøen i Figur 4.



Figur 17. GEO's tolkning af centerlinje VHN kabelkorridor-1 (øverste profil) med zoom af delområde på nederste profil. Se omtale i teksten.



Figur 18. GEO's tolkning af centerlinje VHN kabelkorridor-2

5.3.2 Procedure for loading og tolkning af data

Data fra EGS og GEO surveys i Havmølleparken og i kabelkorridorerne er stillet til rådighed af Energinet.dk. Seismiske data i SGY format er loaded på GEUS's seismiske tolkestation (Geographix), medens GEUS har loaded fladedækkende data så som sejllinjer, multibeam og sidescan data i Mapinfo GIS format.

5.3.2.1 Loading og tolkning af seismiske data

Chirp, Innomar og sparker data i SGY format er tolket på Geographix arbejdsstation, hvor en mindre processing af frekvens område og gain er benyttet, inden en generel gennemgang af data blev foretaget.

Ud fra et forhåndskendskab til stratigrafien og transgressions historien af denne del af Nordsøen blev det besluttet at digitalisere 2 horisonter henholdsvis havbunden (som benyttes som referencelag) og bunden af det marine Holocæne transgressionslag, der i den nederste del indeholder Aggerleret. De tolkede horisonter blev eksporteret som xyz-filer og efterfølgende korrigeret fra tidsværdier til dybder i meter med en lydhastighed på 1600 m/s.

Da hele området inklusive kabelkorridorerne har været - og stadig er - udsat for omfattende erosion i forbindelse med transgressionen og havets påvirkning har fokus været rettet mod at finde områder, der har været mere beskyttet mod erosion og dermed potentielt har givet anledning til bevarelse af potentielle bosættelses hot spots. En gentolkning af de seismiske data viste i den nordvestlige del af vindmølleområdet et sammenhængende bassinområde. Borings og CPT-oplysningerne viste sammen med de seismiske informationer, at der er tale om en fjordarm hørende til Aggerler bassinet, som kendes umiddelbart nord herfor. Det blev vurderet, at denne formation vil indeholde det største potentiale for mulige bevarede bosættelsesområder, idet det gennem Holocæen formodes at have været beskyttet mod den åbne marine kyst.

Den sydligste del af Havmølleparkområdet er som tidligere beskrevet præget af højtliggende glaciale og præ-kvartære aflejringer og ingen eller kun tynde lag af sub-recent og recent sand. Gentolkningen af de seismiske data viste dog tilstedeværelsen af en bassinstruktur i den sydøstlige del af området med en seismisk stratigrafisk placering, der kunne gøre den interessant i forhold til mulige bevarede bosættelsesområder. Enheden er sammen med enheden i nordvest blevet kortlagt, og det vil være disse enheder, der bliver behandlet i analyserne nedenfor.

Som for Havmølleparkområdet har gentolkningen af kabelkorridorerne på grund af eksponeringen til den kraftige erosion både gennem Holocæen og i dag i denne sammenhæng, hvor der skal findes arkæologiske hot spots, rettet fokus mod tilstedeværelsen af bassinstrukturen med det Holocæne Aggerler.

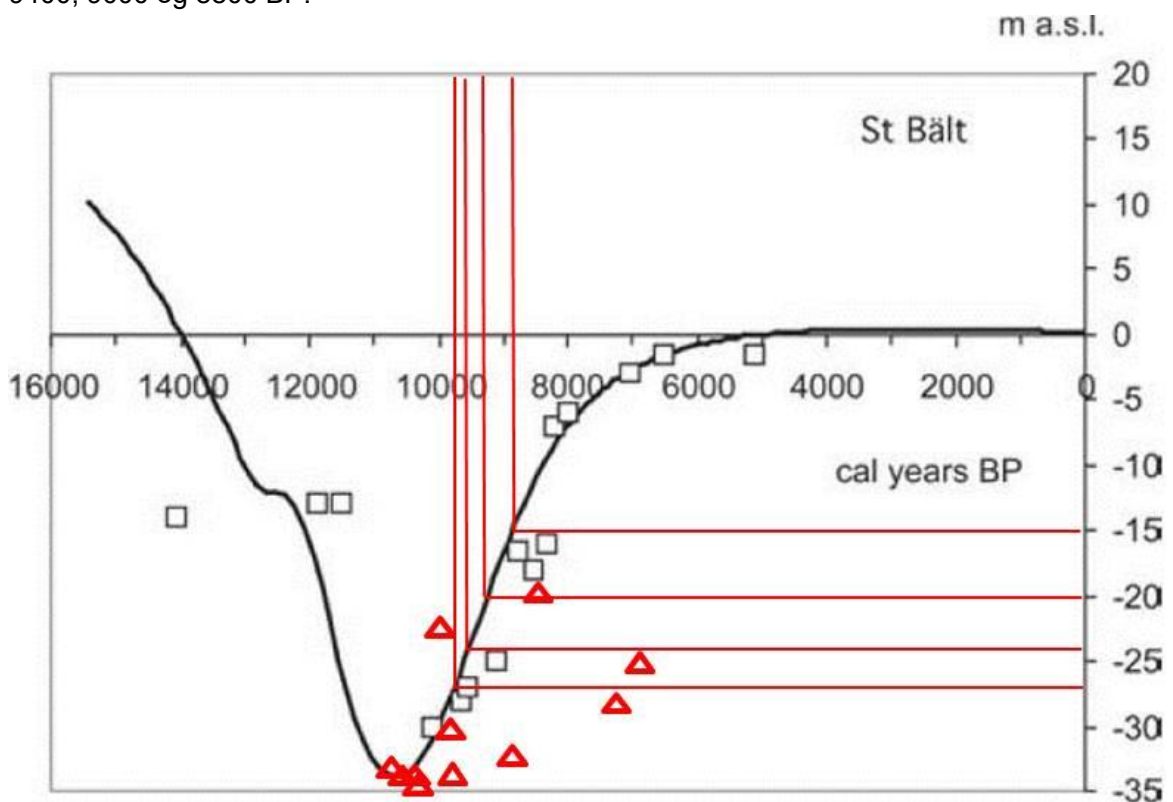
5.3.2.2 GIS databehandling i Mapinfo/Vertical Mapper

De eksporterede horisonter blev importeret til Mapinfo GIS og griddet i Vertical Mapper ved brug af Natural Neighbour metoden, med en "grid celle størrelse" på 5 m og en "aggradations afstand" på 10 m.

Ved brug af den kortlagte havbund som reference, blev tykkelserne af de kortlagte enheder, og dermed de Holocæne enheder, beregnet ved hjælp af "grid calculator" i Vertical Mapper.

Ud over tykkelserne af de Holocæne enheder er det meget vigtigt at kunne præsentere overflademorfologien af den Præ-Holocæne Transgressionsflade dvs. bunden af Aggerlerbassinet svarende til dybden af den marine transgressionsflade. For at få en så nøjagtig kote som muligt, blev multibeam data importeret til Mapinfo i en 5 m grid celle størrelse og tykkelsen af de Holocæne lag blev trukket fra til fremstilling af den Præ-Holocæne Transgressionsflade samt bunden af den marine transgression.

Med basis i den marine, Holocæne transgressionsflades morfologi og aflejringer afsat i de sidste omkring ca.10000 år er der for området i nordvest blevet produceret 2 palæo-geografiske kort med vanddække dels for kote -27 m, dels for kote -24 m (bilag 4.1.1 og 4.1.2). Disse niveauer repræsenterer tidsperioder, hvor der er en begrundet forventning om, at bosættelser kunne have fundet sted langs kysten. For området i sydøst er der med tilsvarende formål produceret 2 kort for hhv. kote -24 m og -20 m (bilag 4.2.1 og 4.2.2). Dybdekoterne større end de nævnte værdier er vist med en grå raste, hvilket dermed repræsenterer vanddække på de givne tidspunkter. Tilsvarende er der for hver af kabelkorridorerne fremstillet 2 palæo-geografiske kort med vanddække dels for kote -20 m (bilagene 4.3.1 og 4.4.1), dels for kote -15 (bilagene 4.3.2 og 4.4.2). Sammenlignes de fire palæo-niveauer med kystlinje forskydningskurven (Figur 19) svarer det til henholdsvis ca. 9900, 9400, 9000 og 8800 BP.



Figur 19. Palæo-havspejlsniveauekurve for Havmølleområdet og de omtrentlige tidspunkter for, hvornår havspejlet stod i disse niveauer. Havsniveauekurven er fra Pässe & Andersson (2005) med indplotning af dateringer fra Jyske Rev.

6. Kortlægningsresultater relevante for udpegning af arkæologiske boplads hot spots

Kortlægningsarbejdet udført af GEUS har haft fokus på at producere et geologisk fundament for udpegning af arkæologiske boplads hot spots. I det følgende diskuteres relevante kortlægningsoverflader samt geologiske konklusioner af kortlægningsarbejdet i forskellige horisonter og formodede tidsperioder i henhold til kystlinje forskydningskurven, både i Havmølleparken og i kabelkorridorerne. Desuden diskuteres datatæthed og -kvalitet i forhold til geologiske variation og formålet med nærværende projekt.

6.1 Multibeam bathymetri

Multibeam bathymetrien i Havmølleparken (Bilag A2) er ikke en GEUS kortlagt overflade. Ud fra den recente morfologi ses der som den iøjnefaldende struktur i det nordvestlige område en nordøst-sydvest forløbende dal i havbunden med dybder ned til ca. kote -27 m. Resten af områdets morfologi kan beskrives som relativt fladt til svagt ondulerende. Dog ses en række langstrakte positive strukturer med en overordnet øst-vest orientering. Disse strukturer repræsenterer mobile sandede bundformer, der afspejler den recente sandtransport henover området. Dybdeforholdene i kabelkorridoren (Bilag A2) viser en jævnt faldende vanddybde fra den yderste del til den inderste del. Den allerinderste lavvandede del af korridorerne er sandsynligvis domineret af mobile sandbølger.

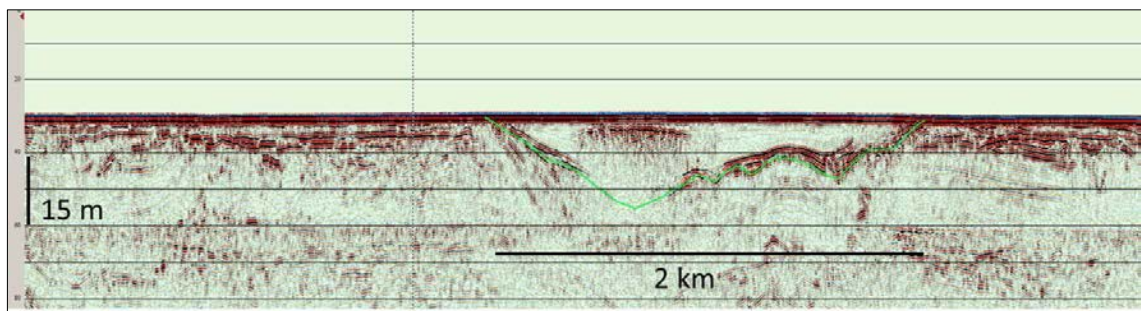
6.2 Præ-Holocæn Transgressionsoverflade

Hele Havmølleparkområdet har ingen eller kun tynde lag af Holocæne sedimenter bevaret. Ændringen i hydrografien i den østlige del af Nordsøen i midt Holocæn, fra et tidevands domineret miljø til et åbent marint højenergi miljø, betød en kraftig erosion af havbunden. Tidlig Holocæne aflejring ses sjældent i området, da de ofte er borteroderet. Kun hvor lokale forhold som beskyttede fjorde og dalstrukturer fandtes, er de Holocæne aflejring bevaret. GEUS har ud fra disse betingelser i denne undersøgelse derfor fokuseret på at finde nogle af de gunstige miljøer, for bevarelsen af Holocæne aflejring. Transgressionsoverfladen i Havmølleparken er således kortlagt for to områder, hvor der med størst sandsynlighed i forhold til den geologiske model og havspejlsstigningen over området, kan findes bevarede transgressionsflader uden påvirkning af erosion og omlejring. Det gælder for et område i den nordvestlige del (bilag A3.1 samt Bilag B1, B2 og B3), hvor en sammenhængende lavning udfyldt med Holocænt Aggerler har kunnet afgrænses og et område i den sydøstlige del, hvor en bassinudfyldning med formodede Holocæne marine eller ferskvandsaflejring ligeledes har kunnet afgrænses (Bilag A3.2) samt Bilag B4 og B5).

For området i nordvest (bilag A3.1) ses morfologien af transgressionsfladen at udforme en nord-sydgående lavning på 2-5 m i forhold til Havmølleparkens bathymetri. Længst mod nordøst i dette område findes en relativ dyb struktur ned til næsten kote -50 m. Denne tolkes at afspejle en dybereliggende dalstruktur, som f.eks. en smeltevandsdal eller en lav-

ning i den glaciare overflade, der gennem transgressionen, som det første sted i havvindmølleområdet, er blevet oversvømmet og udfyldt af det marine Aggerler. Det kortlagte, afgrænsede område med Aggerler (bilag A.3.1) betragtes som den mest sandsynlige struktur med relevans for fund af mulige bosættelser, idet bassinstrukturen har ligget beskyttet for den åbne kyst og dermed uden erosionspåvirkning.

Området mod sydøst (A3.2), hvor transgressionsfladen også har kunnet kortlægges, udviser en øst-vest orienteret bananlignende form. Udformningen af bassinet kan muligvis relateres til tilstedeværelsen af den underliggende salt dome, der ofte danner bassiner langs med randen af denne domestruktur, de såkaldte randsynklinale bassiner. Det har dog ikke i denne undersøgelse været muligt at dokumentere denne teori. Transgressionsfladen har bemærkelsesværdig stejle sider med relativt stor dybde til den dybeste del (45-50 m). Enheden er som oftest gasholdig pga. af organisk rigt dynd, som giver ophav til metan gasproduktion. Det giver anledning til små gasbobler i sedimentet, hvilket betyder at det akustiske signal bliver stoppet i få meters dybde (Figur 20). Ud fra den seismiske konfiguration (Bilag B4 og B5) og tilstedeværelsen af gas kan det ikke udelukkes, at der er tale om en sødannelse fra Holocæn. I forhold til udpeging af stenalderboplads kunne det være relevant at foretage en efterforskning langs med den formodede søbred.



Figur 20. Seismisk tværsnit gennem den kortlagte struktur i det sydøstlige område af Havmølleparken. Midt i den transparente enhed i midten ses en svag domeform, der skyldes gas. Se også bilag B4 for seismisk chirp profil.

I korridor-1 ses transgressionsfladen at være todelt, en vestlig, meget dybtliggende flade og en østlig knap så dyb flade (bilag A3.3). Imellem de to delområder ligger fladen højt pga. af en højtliggende moræne overflade (se Figur 18 og bilag B6). I begge delområder er der tegn på kraftig erosion af de Holocæne aflejringer, som til stadighed pågår. I korridor-2 er der kun et mindre område tæt på kysten fundet en bevaret Holocæn aflejring (bilag A3.4 og bilag B7). Erosion og et dækkende lag af mobilt recent sand på mere end 1 m gør dog, at denne lokalitet ikke er interessant i forhold til at efterforske bosættelser.

Det er i samråd mellem geologer og arkæologer vurderet, at de kortlagte Holocæne aflejringer i de to kabel traceer har været eksponeret for erosion i et omfang, der gør det usandsynligt at finde potentielle bevarede kystbosættelser, på trods af at de palæogeografiske kort indikerer, at kystlinjer har eksisteret i områderne gennem Holocæn.

6.3 Holocæne marine sedimenter

Omkring 10800 BP nåede havspejlet sit laveste niveau i Havmølleparkområdet (Påsse & Andersson, 2005). Fra dette tidspunkt satte en marin oversvømmelse af området ind med fuld styrke, der i de efterfølgende ca. 3000 år var relativ kraftig. Den fortsatte drukning af landområderne bevirkede at marine kystsedimenter blev aflejret langs palæokysterne, delvist overlejrende de ældre mere eller mindre eroderede ferskvandssedimenter. De seismiske data viser, at de dybereliggende dele er mærkbart eroderede med en resulterende erosions diskordans. Eventuelle strandvoldssystemer på læsiden af palæokysterne er blevet borteroderet i forbindelse med oversvømmelsen, der til sidst dækkede hele Havmølleparkområdet. Kun de beskyttede fjordarme, der pga. de højtliggende glacialøer var beskyttet mod den åbne kyst, kunne give anledning til kontinuerlig sedimentation af marine sedimenter.

6.4 Palæo-scenarie kote -27m svarende til ca. 9900 BP

Ud fra dateringer af Aggerleret (tabel 2) vides det, at Jyske Rev området nord for Havmølleparkområdet blev oversvømmet allerede omkring 10500 BP i dybder omkring kote -35 m. Eventuelle aflejringer fra denne periode i Havmølleparkområdet findes begravet under de yngre aflejringer. Evidensen på den gradvise drukning af det glacielle landskab ses i Havmølleparkområdets nordvestlige område omkring 9900 BP, da kystlinje niveauet var nået kote -27 m (bilag A4.1.1). I takt med at havniveauet fortsatte med at stige blev de glacielt dannede dalstrukturer i Havmølleparkområdet relativt hurtigt oversvømmet. Palæogeografien omkring 9900 BP repræsenterer således et tidspunkt, hvor kystlinjen har ligget indenfor Havmølleparkens nordvestlige område, hvor Holocæne aflejringer netop er blevet afgrænset. Niveauet og aflejringerne fra dette tidspunkt findes blotlagt på eller tæt på den nuværende havbund på grund af erosionen i området, der har fjernet eventuelle overliggende yngre aflejringer. I det kortlagte område mod sydøst Havmølleparkområdet ligger potentielle palæokyster svarende til 9900 BP eller tidligere derimod begravet under de yngre aflejringer.

6.5 Palæo-scenarie kote -24m svarende til ca. 9400 BP

Den fortsatte gradvise drukning af Havmølleparkområdet er illustreret på bilag A4.1.2, hvor transgressionsoverfladen nu er steget til -24 m, hvilket ifølge kystlinjeforskydningskurven repræsenterer kystlinjeniveauet for ca. 9400 år siden. Størstedelen af havmølleparkens nordvestlige område med Holocæne aflejringer er nu druknet, og palæokysten har tilsyneladende været udformet som en langstrakt dalstruktur. Dette underbygger antagelsen om, at der har eksisteret en åbning mod nord til Jyske Rev og videre ud til den åbne kyst nord herfor. Den sydøstlige del af Havmølleområdet, hvor Holocæne aflejringer er kortlagt, er stadig tørt land (bilag A4.1.2).

I det kortlagte område i Havmølleparkens sydøstlige del, hvor en formodet sødannelse er afgrænset, ses det, at bassinet præcist er oversvømmet ved et havspejl omkring kote -24 svarende til ca. 9400 BP (bilag 4.2.1) og en palæokyst (bilag B4) langs bassinets rand på

dette tidspunkt (udbredelsen af det Holocæne aflejringsbassin ses som underlag for palæohavsspejlets grålige farve). Fuldt marine forhold i stort set hele Havmølleområdet er udviklet ved et havspejl omkring kote -20 kun ca. 400 år senere omkring 9000 BP (bilag 4.2.2).

6.6 Datatæthed i forhold til geologisk variation

De seismiske data omfattende multikanal sparker indsamlet i et net med en sejllinjeafstand på 130 m med tværlinjer i en linjeafstand på 1000 m samt sidescan sonar og chirp er indsamlet i et net med en sejllinjeafstand på 65 m med tværlinjer i en linjeafstand på 1000 m. Sejllinjeretningen var i en nord-nordøstlig/syd-sydvestlig retning. I kabelkorridorerne bestod de seismiske data af sidescan sonar og chirp (Innomar) sejlet i parallelle linjer med en gennemsnitlig afstand på 75 m.

I tolkningen af henholdsvis den Præ-Holocæne transgressionsflade, ferskvandsaflejringer samt marine indfyldninger i lavninger og glaciæle rendesystemer, har det været muligt at kortlægge de geologiske strukturer, som har fungeret som Holocæne aflejringsbassiner (Bilag A4.1 til A4.3), hvilket er dokumenteret i de seismiske eksempler (Figur 13, 15, 17, 18 og 20 samt Bilag B1-B7). Datagrundlaget giver umiddelbart en høj konfidens m.h.t. at opløse den geologiske variation i form af udstrækningen af tolkede horisonter og mægtighedsvariation af de geologiske enheder.

7. Arkæologiske hot spots i de Holocæne sedimenter

Retolkningen af EGS og GEO survey data har resulteret i detaljeret kortlægning af den Præ-Holocæne Transgressionsflade og sedimentindfyld med henholdsvis ferskvands- og marine lag i en formodet sø samt fjorde og vige. På basis af de tolkede data er det ligeledes lykkedes at fremstille palæogeografiske kort, der viser nogle sedimentære strukturer, der kan give indikationer på, hvor mulige bosættelser kan have fundet sted og potentielt set være blevet bevaret.

Det vurderes, at datatætheden er tilstrækkelig til at opløse de geologiske strukturer, men at de tyndeste toplag ikke kan ses i de seismiske data på grund af den begrænsede vertikale seismiske opløsning. Den fulddækkende sidescan mosaik afslører imidlertid disse tynde dæklag. Side scan sonar data har bl.a. også været brugt til at afgrænse stenede områder på havbunden, der er en indikation på højtliggende morænelandskab i havbunden.

To områder indenfor Havmølleparkområdet er udpeget som arkæologiske hot spots (figur 21). Områdernes afgrænsning er dels baseret på resultaterne af kortlægningen af palæokystlinjerne/transgressionsflader, dels på en række konkrete forslag til prøvesugningspositioner vurderet på en workshop med deltagere fra GEUS og marinarkæologer fra Strandingsmuseet og Moesgård Museum. De seismiske profiler fra de to områder med Holocæne aflejringsbassiner i Havmølleområdet blev gennemgået på workshoppen. Med udgangspunkt i de palæogeografiske kort (bilagene 4.1 til 4.2) blev seismiske onlaps lokaliseret (Bilag B1 og B5), idet disse vil repræsentere kystlinjer ældre end dem, der alene kan udledes ud fra de palæogeografiske kort. Positionerne for disse onlaps blev registreret og plottet på det bathymetriske kort over Havmølleområdet. Afgrænsningen af de registrerede onlaps udgør således de arkæologiske hot spots for de respektive områder (figur 21).

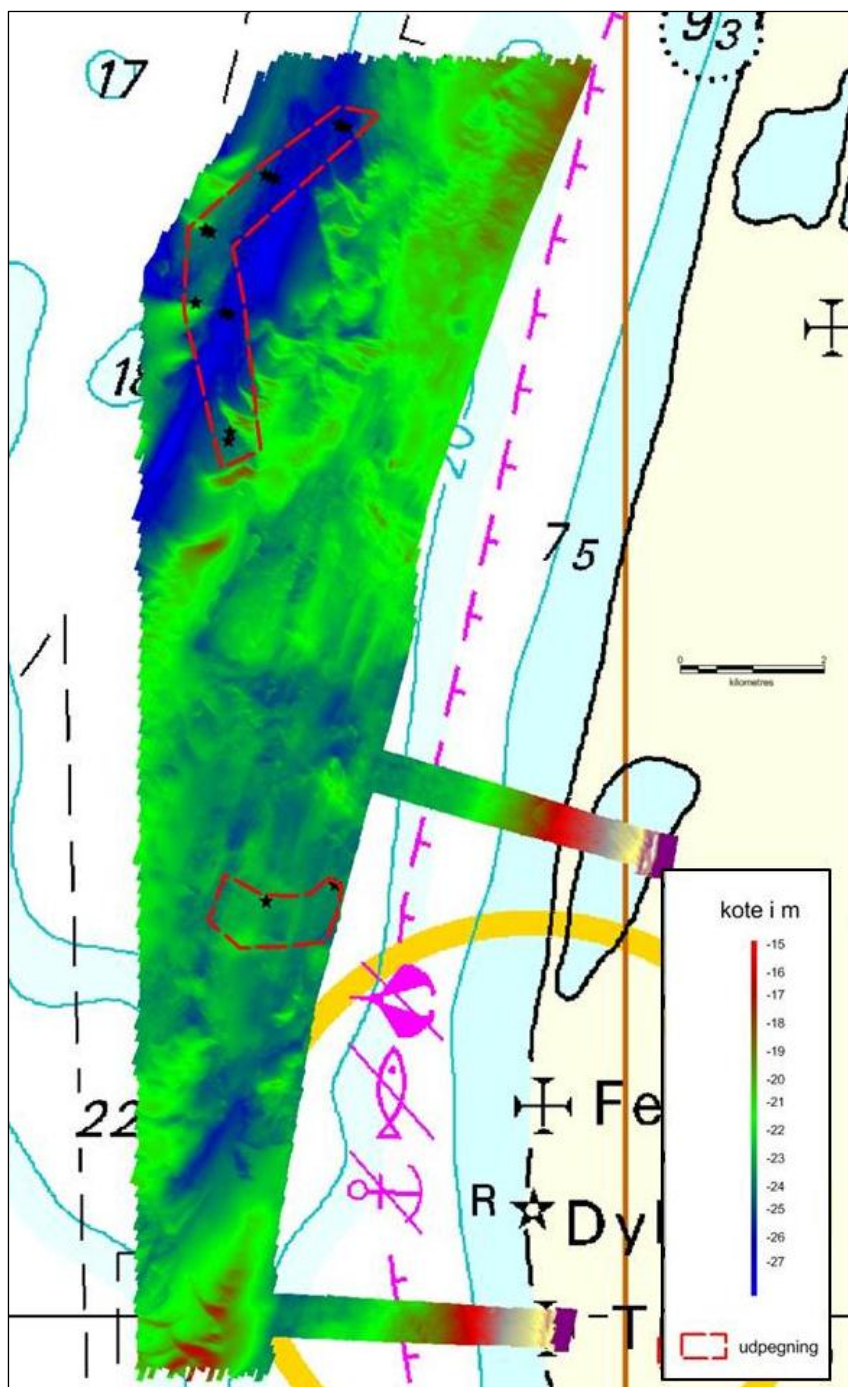
Nedenfor opsummeres vurderingerne for disse udpegninger:

- Holocæne, marine, lerede sedimenter aflejret i et fjordlignende system er fundet i Havmølleparkens nordlige del. Evidensen på den gradvise drukning af det glaciale landskab ses i Havmølleparkområdet omkring 9900 BP, da kystlinje niveauet var nået kote -27 m. Kystlinjerne fra dette niveau i fjordsystemet vurderes bevaret langs med randen af den kortlagte struktur (bilag A4.1.1), hvorfor fjordsystemet er udpeget som et hot spot (figur 21). Konkrete forslag til prøvesugningspositioner er udpeget i et samarbejde mellem GEUS og marinarkæologer fra Strandingsmuseet og Moesgård Museum (figur 21), og er derfor udpeget hot spot (figur 21) for studier af arkæologiske bopladser. Som omtalt tidligere blev området nord for Havmølleparkområdet transgrederet allerede omkring 10500 BP svarende til kote -35 m. De tilsvarende niveauer findes sandsynligvis også i Havmølleparkområdet, men er begravet under yngre aflejringer og ligger derfor ikke tilgængeligt for marinarkæologiske undersøgelser. Frem mod 9400 BP drukner området gradvist (bilag A4.1.1).

- I den sydøstlige del af Havmølleparken skærer et bananformet udfyldt bassin sig ind i området fra øst. Bassinet formodes at være udfyldt af en sødannelse, der gradvist transgrederes frem mod 9400 BP. I forhold til udpeging af stenalderboplads er det værende relevant at foretage en efterforskning langs med den formodede søbred. Konkrete forslag til prøvesugningspositioner er udpeget i et samarbejde mellem GEUS og marinarkæologer fra Strandingsmuseet og Moesgård Museum (figur 21).

I kabelkorridorerne er der ligeledes fundet Holocæne sedimenter, som dog er vurderet til ikke at indeholde arkæologiske hot spots:

- I den sydlige kabelkorridor, CR2, er de Holocæne sedimenter stærkt eksponeret for erosion ligesom dækket af mobilt sand er større end 1 m, hvorfor der ikke er begrundet potentiale for mulige fund af bopladsrester indenfor den forventede kabelinstallationsdybde.
- I den nordlige korridor er transgressionsfladen todelt: en vestlig, meget dybtliggende flade og en østlig knap så dyb flade. Imellem de to delområder ligger fladen højt pga. af en højtliggende moræne overflade. I begge delområder er der tegn på kraftig erosion af de Holocæne aflejringer, en erosion, som til stadighed pågår. GEUS og marinarkæologer fra Strandingsmuseet og Moesgård Museum har derfor konkluderet, at der ikke er begrundet forventning om at finde bevarede boplads her. Derfor udpeges der ingen arkæologiske hot spots her.



Figur 21. De udpegede arkæologiske hot spots for Vesterhav Nord området (rødt skraverede polygoner) med det bathymetriske kort som baggrund. Forslag til prøvesugningspositioner, vurderet ud fra de seismiske data, er angivet med stjerner.

8. Referencer

Amstrong, N.A. 2014: Preliminary geotechnical investigations 2014 Vesterhav Nord Nearshore Wind Farm. Contract reference: N142008E Oct. 2014. Fugro..

Fischer, A.: 2013 The Stone Age flood in Denmark and Mesopotamia. *In Counterpoint: Essays in Archaeology and Heritage Studies*, in Honour of Professor Kristian Kristiansen Edited by Sophie Bergerbrant and Serenaand Sabatini BAR International Series 2508, 2013

Fischer, A. 1987: Stenalderboplader på bunden af Smålandsfarvandet. En teori afprøvet ved dykkerbesigtigelse. Skov- og Naturstyrelsen, København.

Houmark-Nielsen, M. 1999: A lithostratigraphy of Weichselian glacial and interstadial deposits in Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 46, 101–114.

Houmark-Nielsen, M., Krüger, J. og Kjær, K.H. 2005: De seneste 150.000 år i Danmark, Istidslandskaber og naturens udvikling. *Geoviden* 2005, 2.

Jensen, J.B., Leth, J.O., Borre, S. & Nørgaard-Petersen, N. 2010: Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande. Delområde Jyske Rev – Lille Fisker Banke. GEUS Rapport 2010/23.

Leth, J.O. 1996: Late Quaternary geological development of the Jutland Bank and the initiation of the Jutland Current, NE North Sea. *Nor. Geol. Unders. Bull.* 430, 25-34.

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

Leth, J.O., Anthony, D., Andersen, L.T. & Jensen, J.B. 1999: Geologiske kortlægning af Vestkysten. Regionalgeologisk tolkning af kystzonen mellem Lodbjerg og Nymindesgab. GEUS Rapport 1999/75.

Leth, J.O. 2003: Nordsøen efter istiden – udforskningen af Jyske Rev. *Geologi Nyt fra GEUS. Temanummer 2003 nr. 3.*

Mertz, E. L. 1924: Oversigt over de sen- og postglaciale niveauforandringer i Danmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse II. Række, Nr. 41. Copenhagen.

Watchorn, P. 2014: Danish Windfarm Site Surveys Volume 2: Interpretative Report. Site 2 – Vesterhav Nord. Revision 3 – Final April 2014.

Manso F. 2014: Cable Route Survey Vesterhav Nord. Geophysical and geotechnical investigations. Interpretative Report. GEO project no. 36692

Påsse, T. & Andersson, L. 2005: Shore-level displacement in Fennoscandia calculated from empirical data. GFF, 127:4, 253-268

Bilag:

A: Kortbilag

- A1 Databaggrund for geologisk model
Vesterhav Nord Havmøllepark
- A2 Multibeam bathymetri for
Vesterhav Nord Havmøllepark
- A3.1 Præ-Holocæne Transgressionsoverflade
Vesterhav Nord Havmøllepark – nordvestlige område
- A3.2 Præ-Holocæne Transgressionsoverflade
Vesterhav Nord Havmøllepark – sydøstlige område
- A3.3 Præ-Holocæne Transgressionsoverflade
Vesterhav Nord Havmøllepark – kabelkorridor-1
- A3.4 Præ-Holocæne Transgressionsoverflade
Vesterhav Nord Havmøllepark – kabelkorridor-2
- A4.1.1 Palæogeografisk kort kote -27m ca. 9900 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - nord område
- A4.1.2 Palæogeografisk kort kote -24m ca. 9400 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - nord område
- A4.2.1 Palæogeografisk kort kote -24m ca. 9400 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - syd område
- A4.2.2 Palæogeografisk kort kote -20m ca. 9000 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - syd område
- A4.3.1 Palæogeografisk kort kote -20m ca. 9000 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - korridor-2
- A4.3.2 Palæogeografisk kort kote -15m ca. 8800 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark – korridor-1
- A4.4.1 Palæogeografisk kort kote -20m ca. 9000 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - korridor-2
- A4.4.2 Palæogeografisk kort kote -15m ca. 8800 BP
Vesterhav Nord Havmøllepark - korridor-2

Vesterhav Nord

Bilag:

A1 - Data grundlag

SIGNATURFORKLARING:

-  Undersøgelsesområde
-  Grabprøver
-  Boringer i kabelkorridorer
-  Arkiv boringer (Jupiter)
-  CPT positioner
-  Sejllinjer
-  Arkiv sejllinjer
-  Fugro dybe boringer

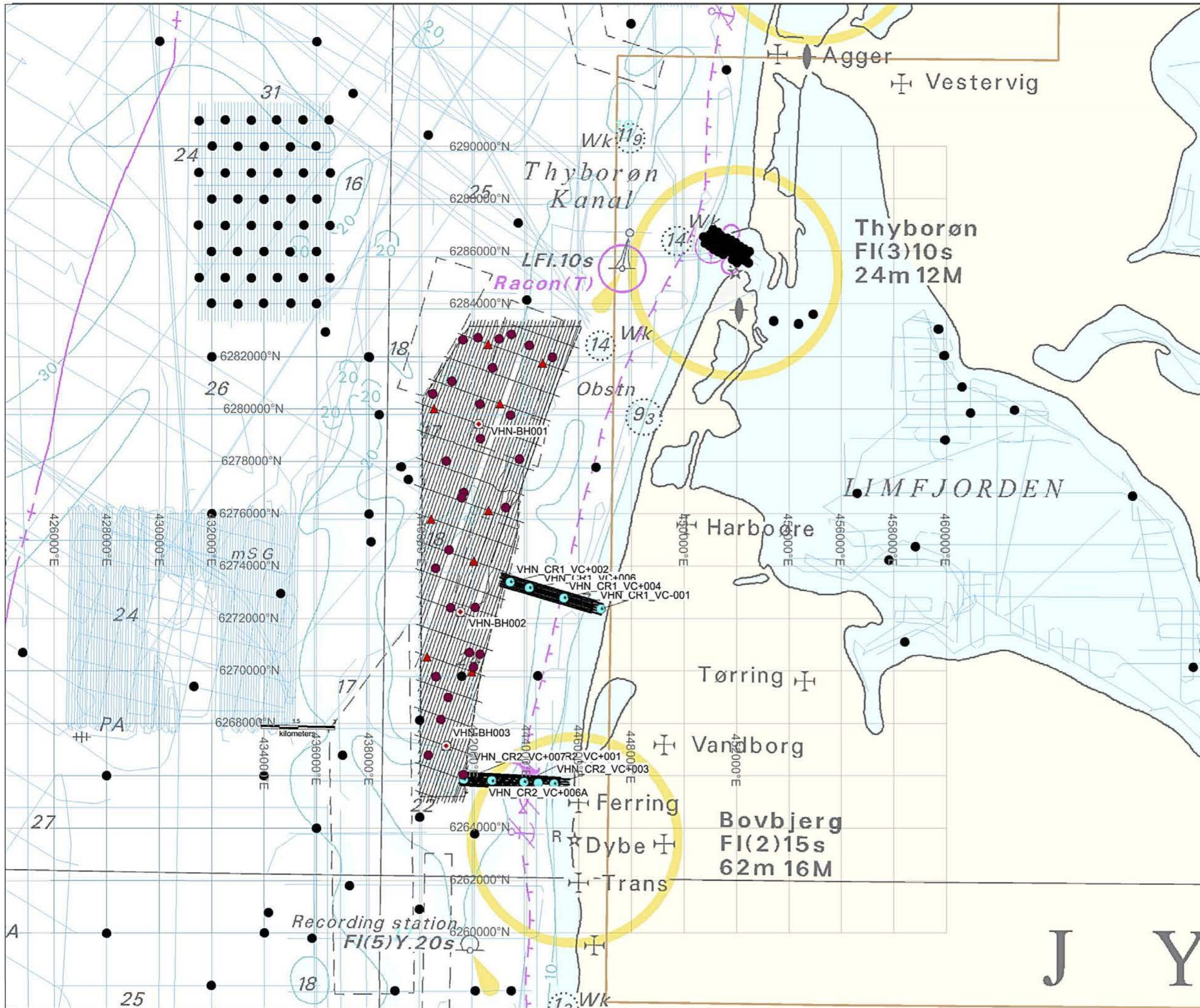
Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:




De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland



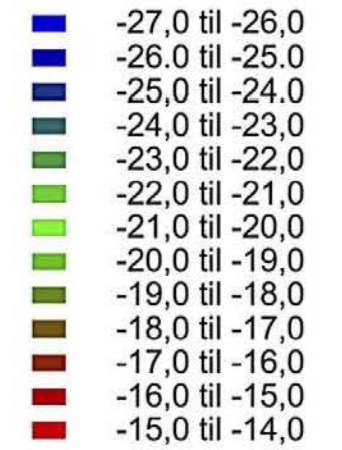
Vesterhav Nord

Bilag: **A2 Bathymetri for Havmøllepark**

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

Vanddybde kote i meter



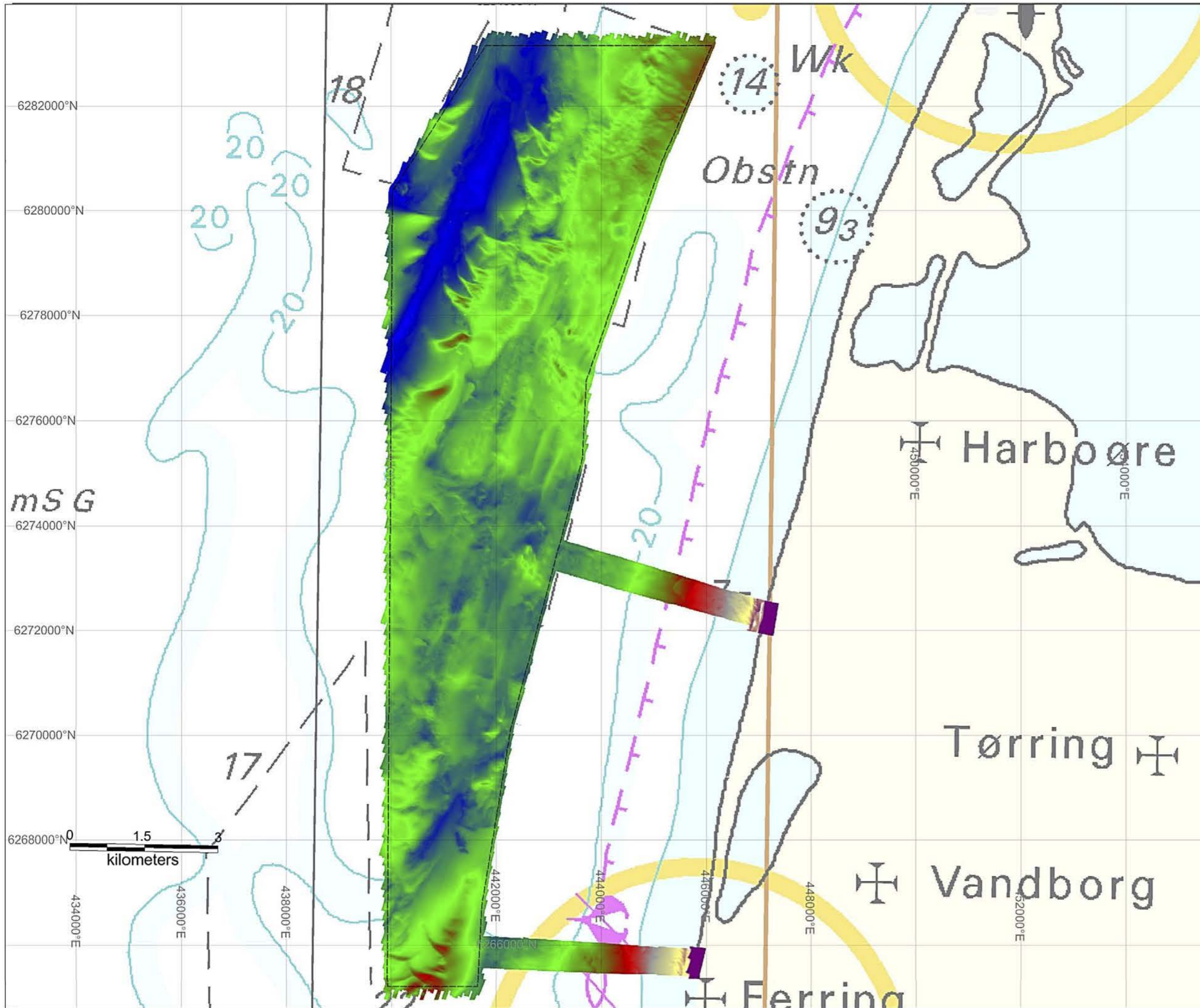
Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:



De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland



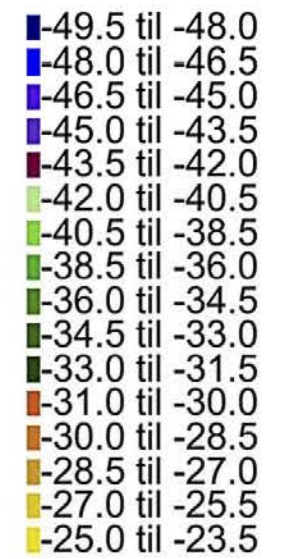
Vesterhav Nord

Bilag: **Præ-Holocæn transgressionsflade for Havmøllepark**
A3.1

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

Kote til Holocæn transgressionsflade



Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

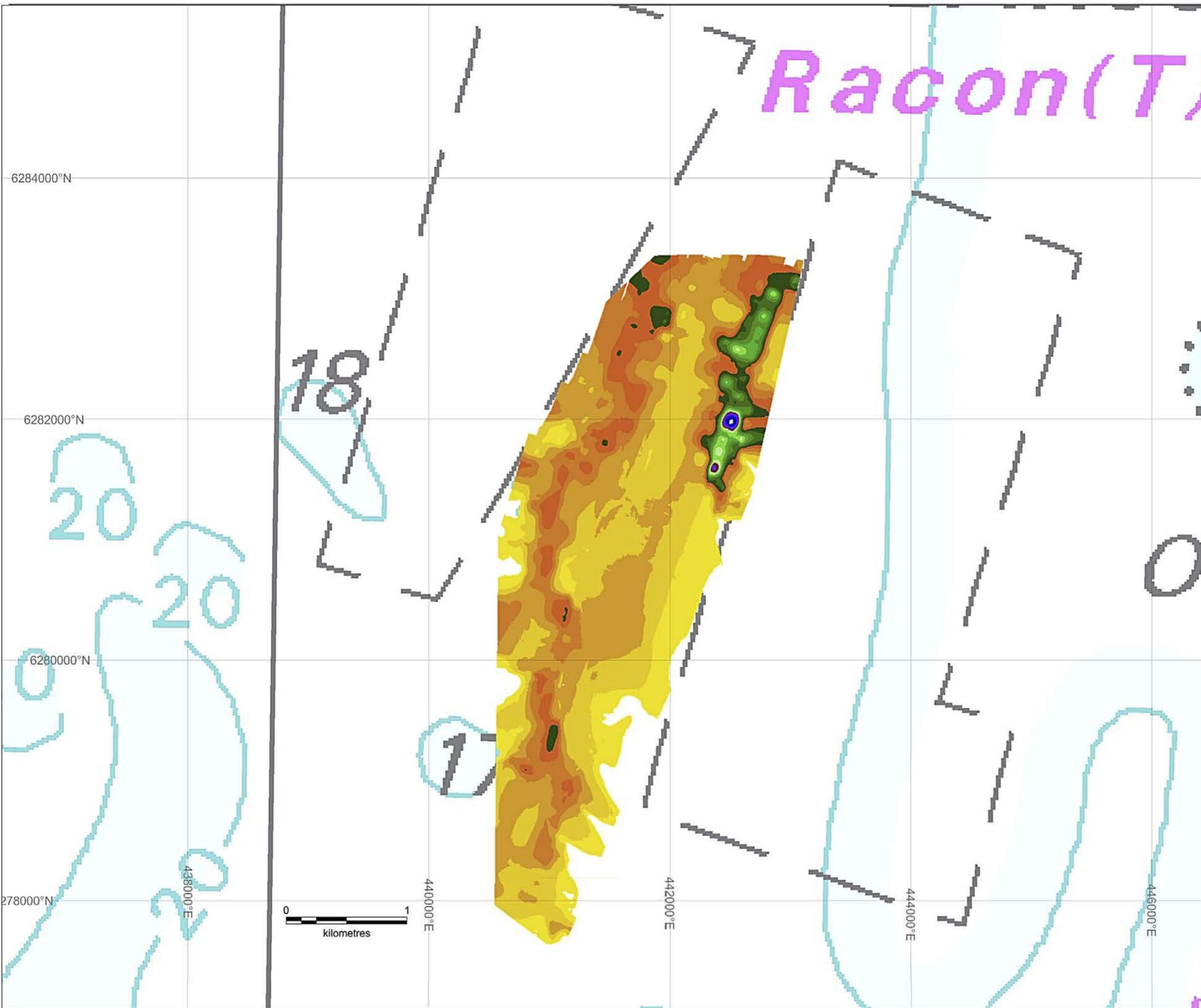


Klient:



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

Racon(T)



6284000°N

6282000°N

6280000°N

6278000°N

438000°E

440000°E

442000°E

444000°E

446000°E

















Vesterhav Nord

Bilag: **Præ-Holocæn**
A3.2 transgressionsflade for
Havmøllepark

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

Kote til Holocæn transgressionsflade

-  -49.5 til -48.0
-  -48.0 til -46.5
-  -46.5 til -45.0
-  -45.0 til -43.5
-  -43.5 til -42.0
-  -42.0 til -40.5
-  -40.5 til -38.5
-  -38.5 til -36.0
-  -36.0 til -34.5
-  -34.5 til -33.0
-  -33.0 til -31.5
-  -31.0 til -30.0
-  -30.0 til -28.5
-  -28.5 til -27.0
-  -27.0 til -25.5
-  -25.0 til -23.5

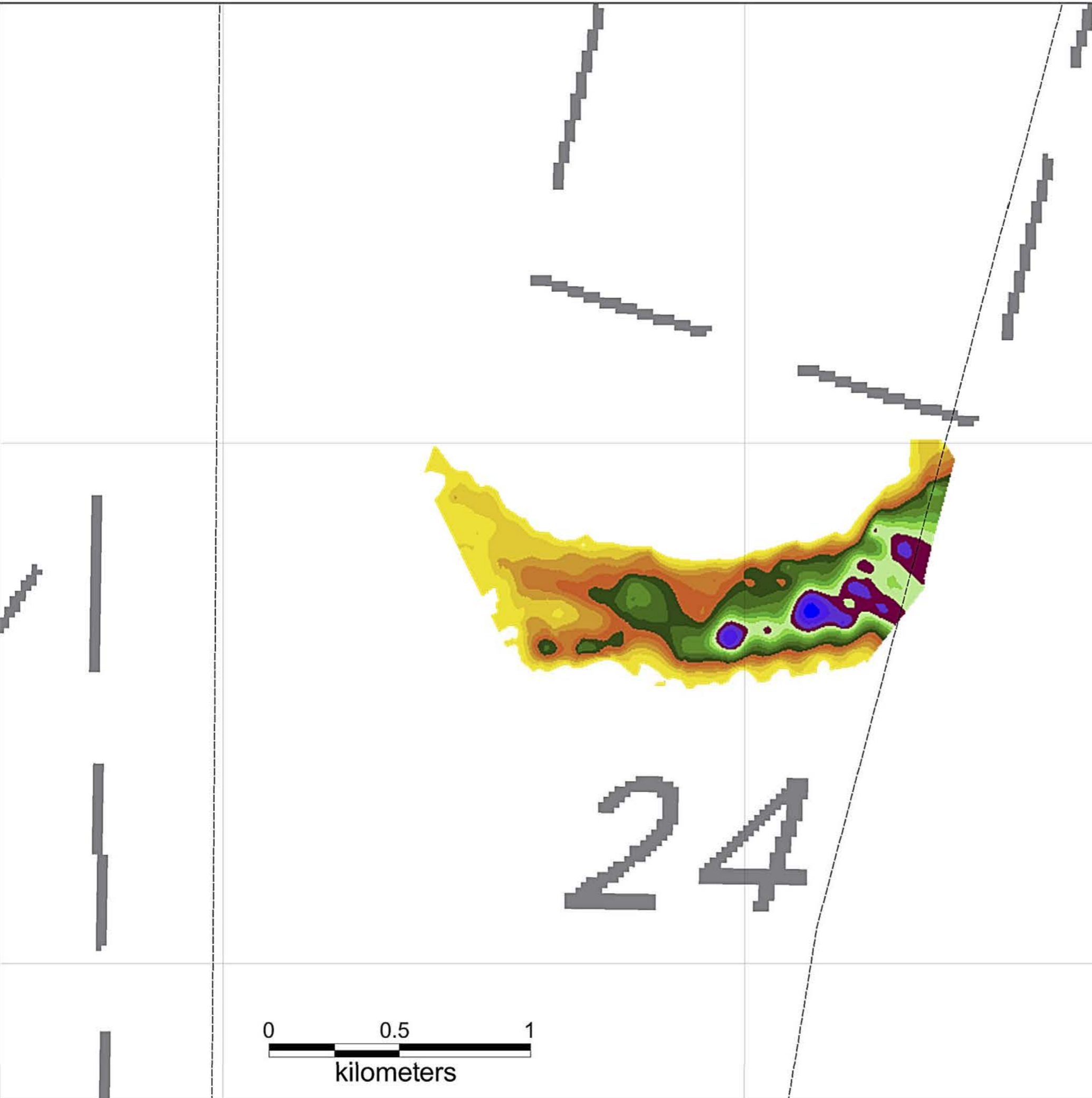
Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

















Vesterhav Nord

Bilag: **Præ-Holocæn
A3.3 transgressionsflade for
Havmøllepark**

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -30.0 til -28.0
-  -28.0 til -26.0
-  -26.0 til -24.0
-  -24.0 til -22.0
-  -22.0 til -20.0
-  -20.0 til -18.0
-  -18.0 til -16.0
-  -16.0 til -14.0
-  -14.0 til -12.0
-  -12.0 til -10.0
-  -10.0 til -8.0
-  -8.0 til -6.0
-  -6.0 til -4.0
-  -4.0 til -2.0

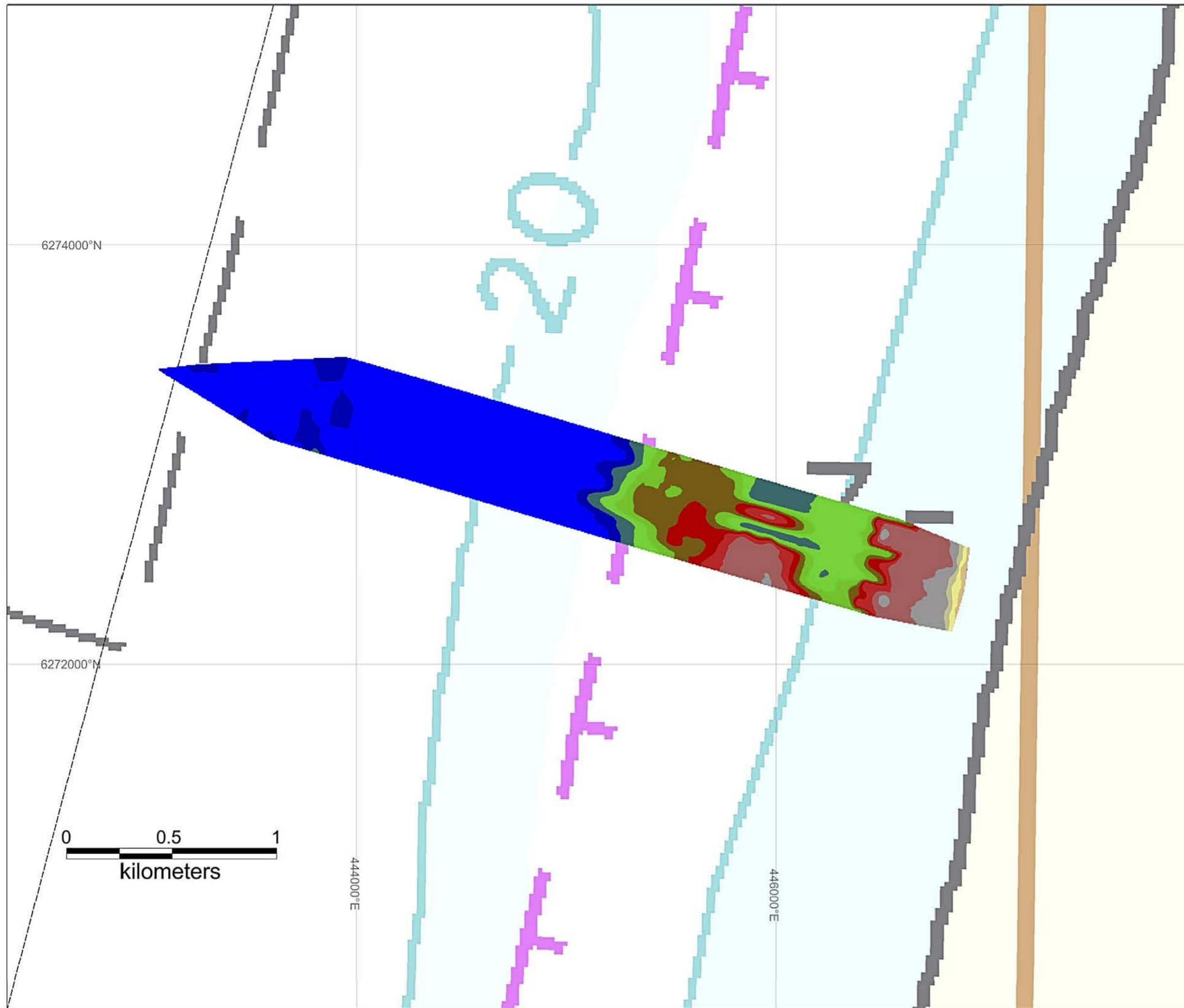
Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland



















Vesterhav Nord

Bilag: **Præ-Holocæn
A3.4 transgressionsflade for
Havmøllepark**

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -21.0 til -20.0
-  -20.0 til -19.0
-  -19.0 til -18.0
-  -18.0 til -17.0
-  -17.0 til -16.0
-  -16.0 til -15.0
-  -15.0 til -14.0
-  -14.0 til -13.0
-  -13.0 til -12.0
-  -12.0 til -11.0
-  -11.0 til -10.0
-  -10.0 til -9.0
-  -9.0 til -8.0
-  -8.0 til -7.0
-  -7.0 til -6.0
-  -6.0 til -5.0

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:

ENERGINET/DK



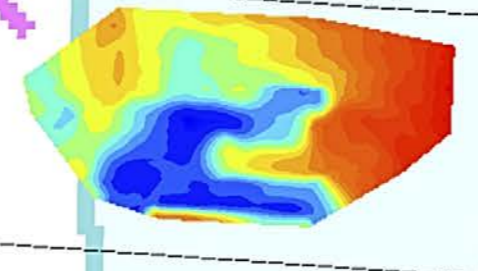
De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

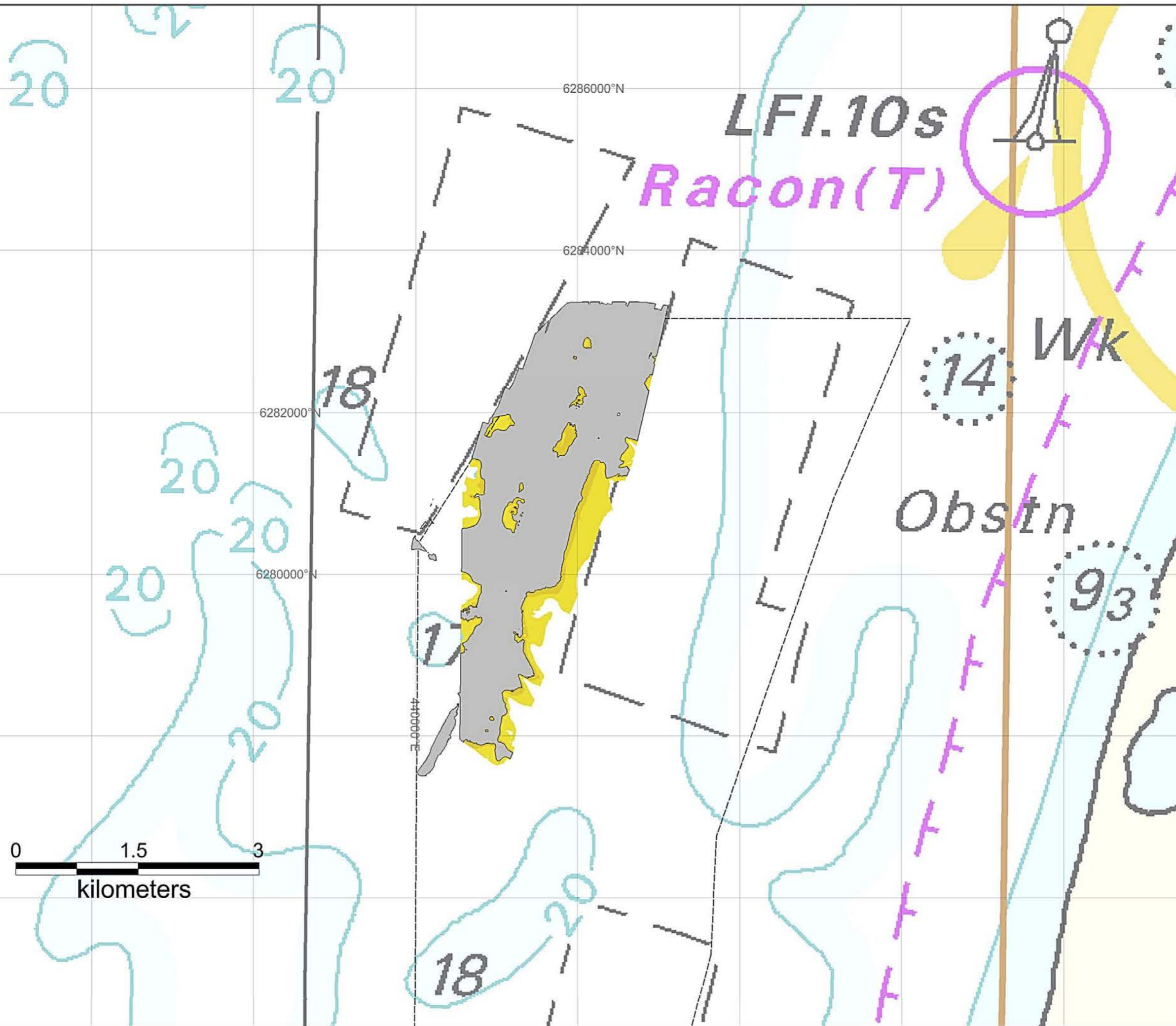
442000°E

6266000°N

6264000°N

0 0.5 1
kilometers





Vesterhav Nord
 Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.1.1 kote -27m ca. 9.900 år BP
for Havmølleområde

SIGNATURFORKLARING:
 [Dashed line] Undersøgelsesområde
 [Grey area] Palæovanddække kote-27m svarende til 9.900 år BP

Kote til Holocæn transgressionsflade:

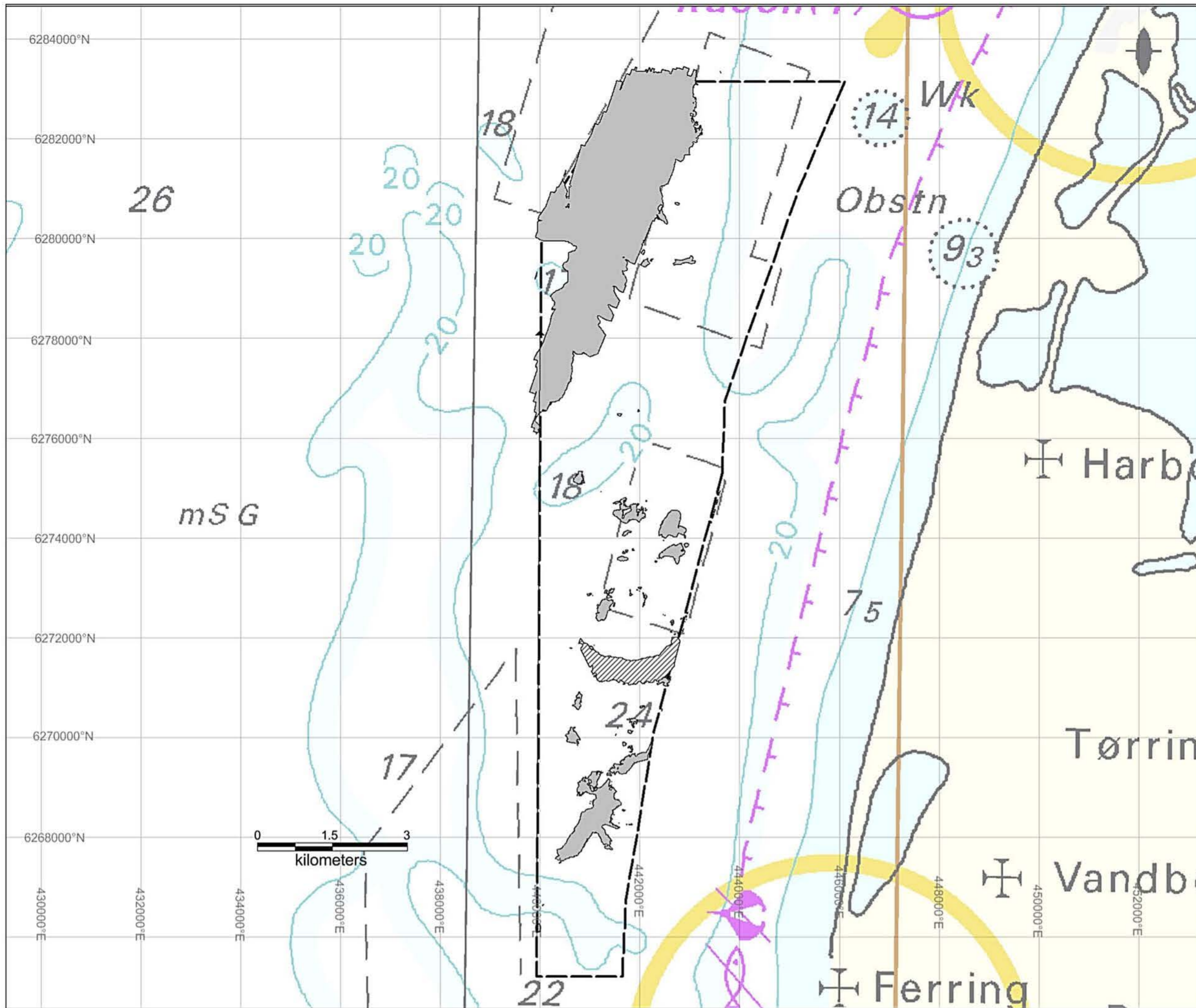
Blue	-49.5 til -48.0
Dark Blue	-48.0 til -46.5
Light Blue	-46.5 til -45.0
Medium Blue	-45.0 til -43.5
Dark Green	-43.5 til -42.0
Light Green	-42.0 til -40.5
Yellow-Green	-40.5 til -38.5
Yellow	-38.5 til -36.0
Light Yellow	-36.0 til -34.5
Orange	-34.5 til -33.0
Dark Orange	-33.0 til -31.5
Red-Orange	-31.0 til -30.0
Red	-30.0 til -28.5
Dark Red	-28.5 til -27.0
Orange-Red	-27.0 til -25.5
Yellow-Orange	-25.0 til -23.5

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:
ENERGINET/DK

De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
 GEUS



Vesterhav Nord

Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.1.2 kote -24m ca. 9.400 BP
for Havmølleområde

SIGNATURFORKLARING:

- Undersøgelsesområde
- Palæovanddække kote-24m svarende til 9.400 år BP
- Præ-Holocæn transgressionsområde

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:
ENERGINET/DK


De Nationale Geologiske
 Undersøgelser for Danmark
 og Grønland

Vesterhav Nord

















Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.2.1 kote -24m ca. 9.400 BP
for Havmølleområde

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

 Palæovanddække kote -24m svarende til ca. 9.400 år BP

Kote til Holocæn transgressionsflade

-  -49.5 til -48.0
-  -48.0 til -46.5
-  -46.5 til -45.0
-  -45.0 til -43.5
-  -43.5 til -42.0
-  -42.0 til -40.5
-  -40.5 til -38.5
-  -38.5 til -36.0
-  -36.0 til -34.5
-  -34.5 til -33.0
-  -33.0 til -31.5
-  -31.0 til -30.0
-  -30.0 til -28.5
-  -28.5 til -27.0
-  -27.0 til -25.5
-  -25.0 til -23.5

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

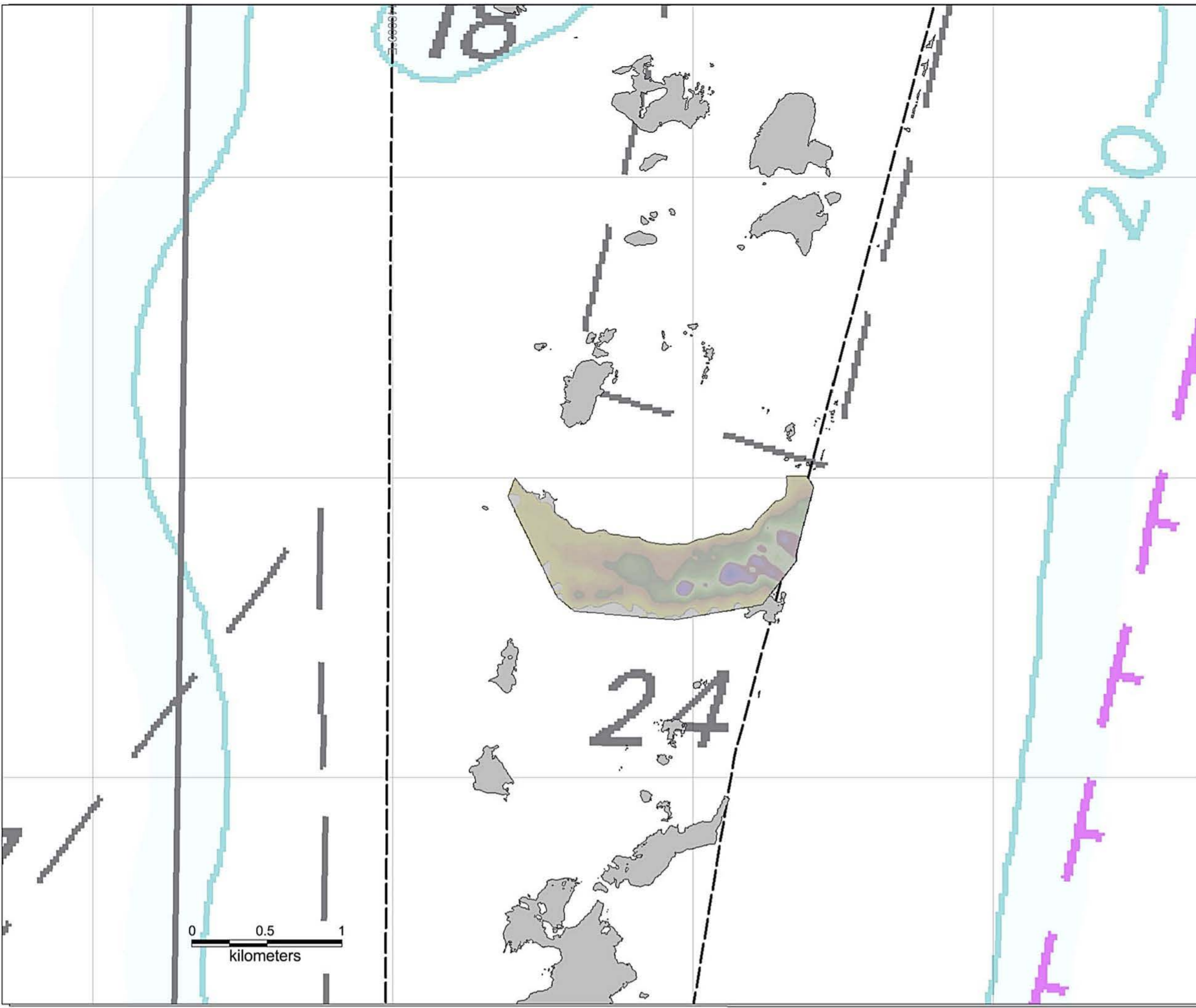


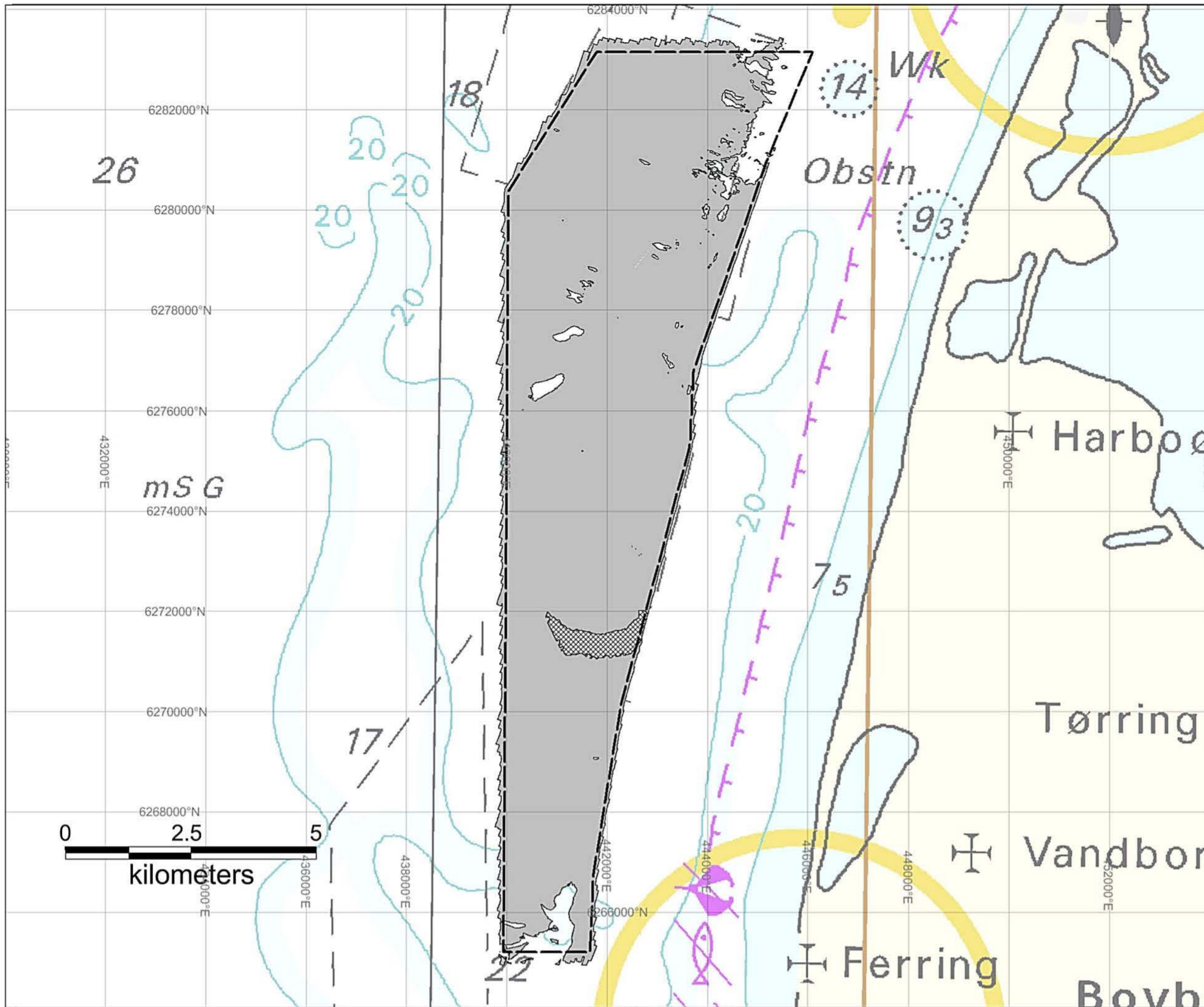
Klient:



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

0 0.5 1
kilometers





Vesterhav Nord
 Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.2.2 kote -20m ca. 9.000 BP
for Havmølleområde

- SIGNATURFORKLARING:
- Undersøgelsesområde
 - > -20 m
 - Druknet Præ-Holocæn transgressionsflade

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:
ENERGINET/DK

De Nationale Geologiske
 Undersøgelser for Danmark
 og Grønland
 GEUS

Vesterhav Nord












Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.3.1 kote -20 m ca. 9000 BP
for VHN-korridor 1

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

 Palæovandstandsdekke
kote -20m svarende til
ca. 9000 år BP

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -30.0 til -28.0
-  -28.0 til -26.0
-  -26.0 til -24.0
-  -24.0 til -22.0
-  -22.0 til -20.0
-  -20.0 til -18.0
-  -18.0 til -16.0
-  -16.0 til -14.0
-  -14.0 til -12.0
-  -12.0 til -10.0
-  -10.0 til -8.0
-  -8.0 til -6.0
-  -6.0 til -4.0
-  -4.0 til -2.0

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:

ENERGINET/DK



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

6274000°N

6272000°N

0 0.5 1
kilometers

444000°E


446000°E

Vesterhav Nord















Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.3.2 kote -15 m ca. 8800 BP
for VHN-korridor 1

SIGNATURFORKLARING:

 Undersøgelsesområde

 Palæovandstandsdekke
kote -15m svarende til
ca. 8.800 BP

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -30.0 til -28.0
-  -28.0 til -26.0
-  -26.0 til -24.0
-  -24.0 til -22.0
-  -22.0 til -20.0
-  -20.0 til -18.0
-  -18.0 til -16.0
-  -16.0 til -14.0
-  -14.0 til -12.0
-  -12.0 til -10.0
-  -10.0 til -8.0
-  -8.0 til -6.0
-  -6.0 til -4.0
-  -4.0 til -2.0

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



Klient:

ENERGINET/DK



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

6274000°N

6272000°N

0 0.5 1
kilometers

444000°E

446000°E










Vesterhav Nord

Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.4.1 kote -20 m ca. 9000 BP
for VHN-korridor 2

SIGNATURFORKLARING:

-  Undersøgelsesområde
-  Palæovandstandsdekke
kote -20m svarende til
ca. 9000 BP

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -21.0 til -20.0
-  -20.0 til -19.0
-  -19.0 til -18.0
-  -18.0 til -17.0
-  -17.0 til -16.0
-  -16.0 til -15.0
-  -15.0 til -14.0
-  -14.0 til -13.0
-  -13.0 til -12.0
-  -12.0 til -11.0
-  -11.0 til -10.0
-  -10.0 til -9.0
-  -9.0 til -8.0
-  -8.0 til -7.0
-  -7.0 til -6.0
-  -6.0 til -5.0

Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

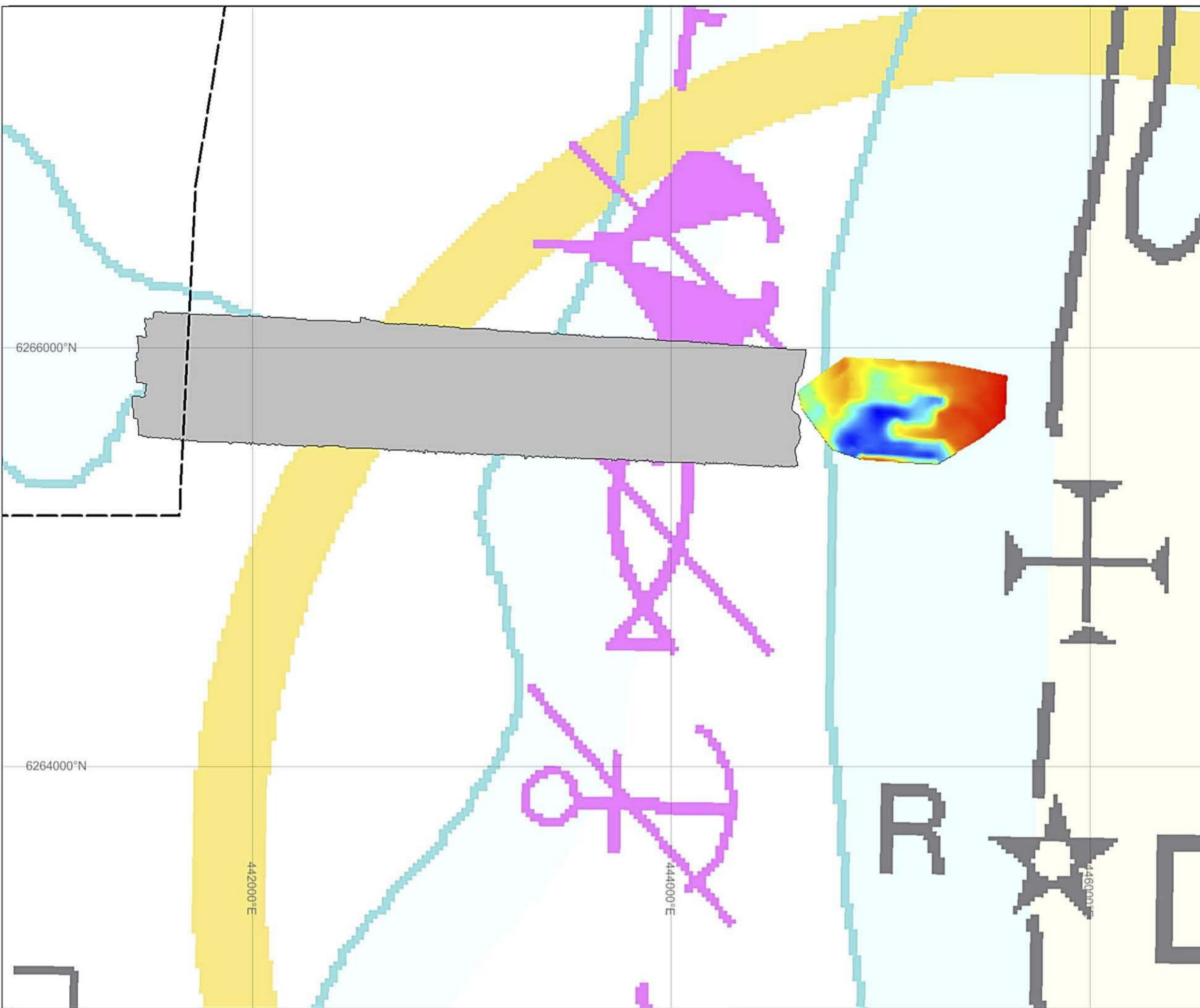


Klient:

ENERGINET/DK





De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland









Vesterhav Nord

Bilag: **Palæogeografisk kort**
A4.4.2 kote -15 m ca. 8.800 BP
for VHN-korridor 2

SIGNATURFORKLARING:

-  Undersøgelsesområde
-  Palæovandstandsdekke
kote -15m svarende til
ca. 8.800 BP

Kote til Holocæn transgressionsflade:

-  -21.0 til -20.0
-  -20.0 til -19.0
-  -19.0 til -18.0
-  -18.0 til -17.0
-  -17.0 til -16.0
-  -16.0 til -15.0
-  -15.0 til -14.0
-  -14.0 til -13.0
-  -13.0 til -12.0
-  -12.0 til -11.0
-  -11.0 til -10.0
-  -10.0 til -9.0
-  -9.0 til -8.0
-  -8.0 til -7.0
-  -7.0 til -6.0
-  -6.0 til -5.0

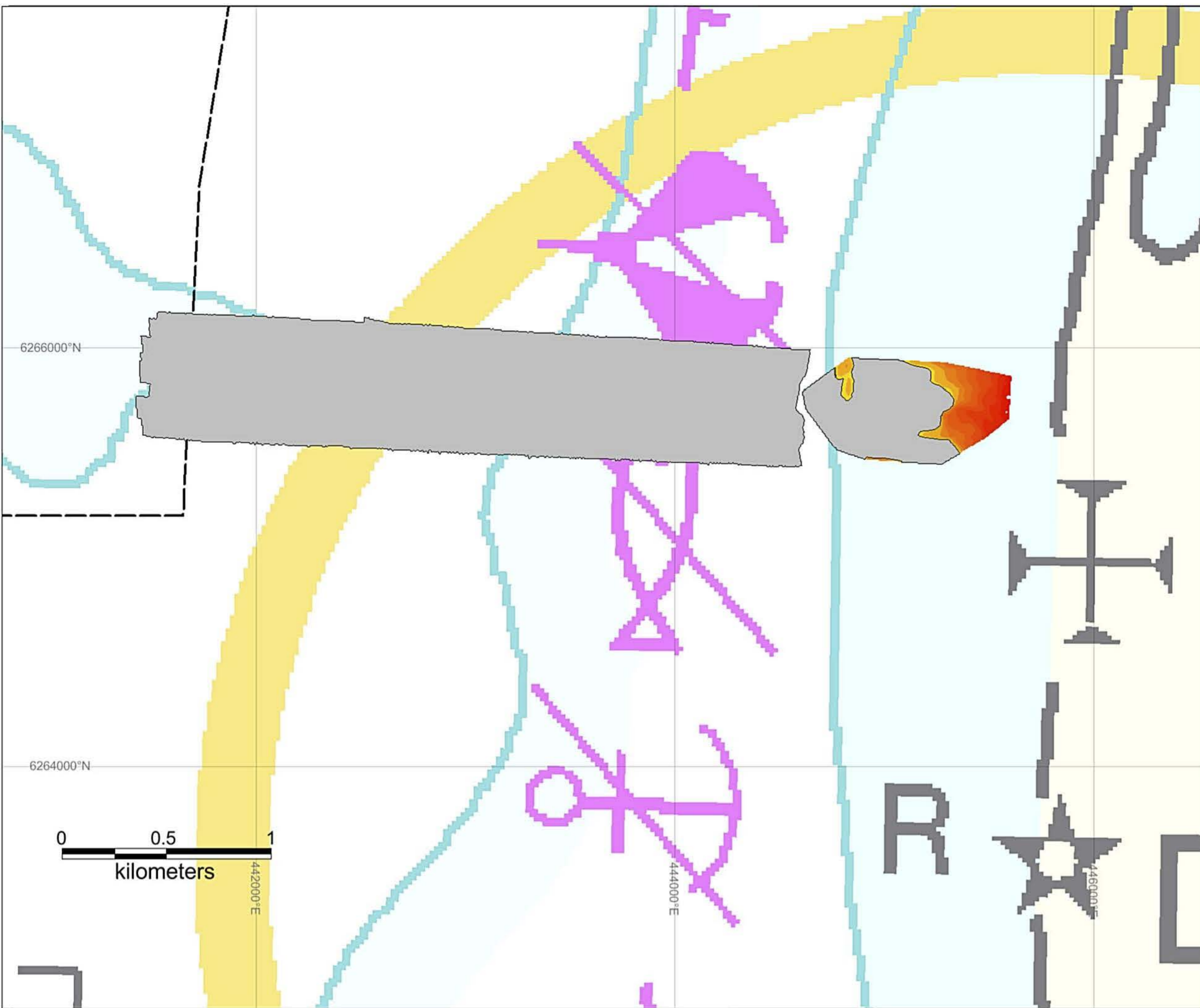
Datum: WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



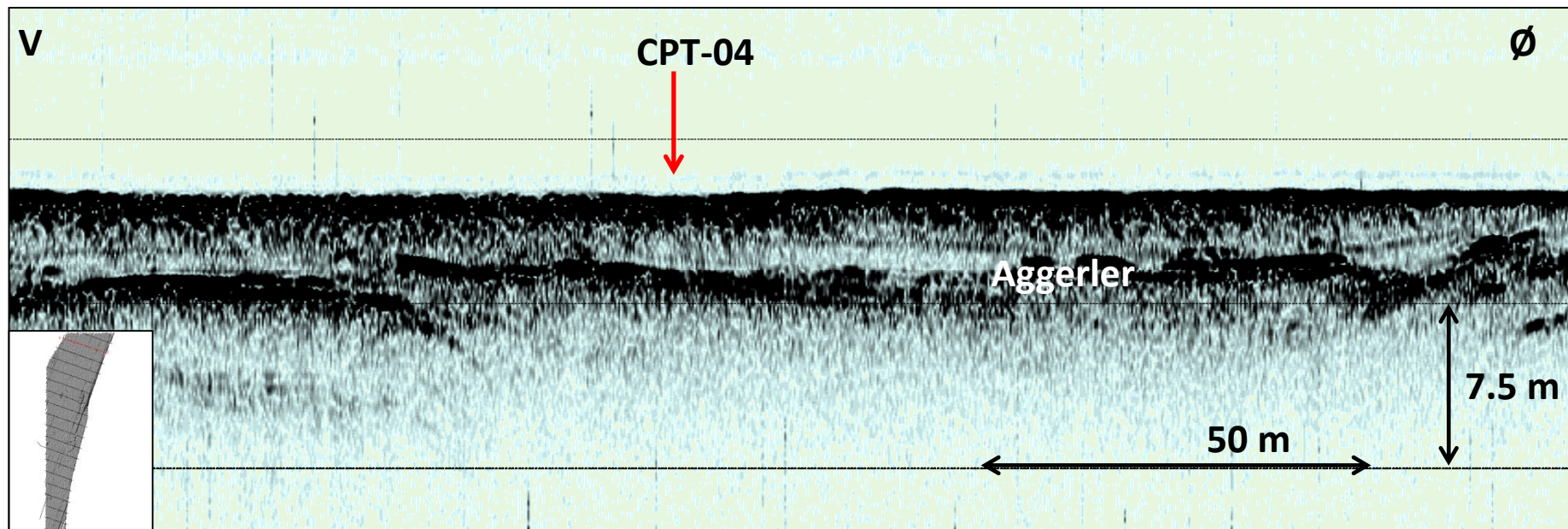
Klient:



De Nationale Geologiske
Undersøgelser for Danmark
og Grønland

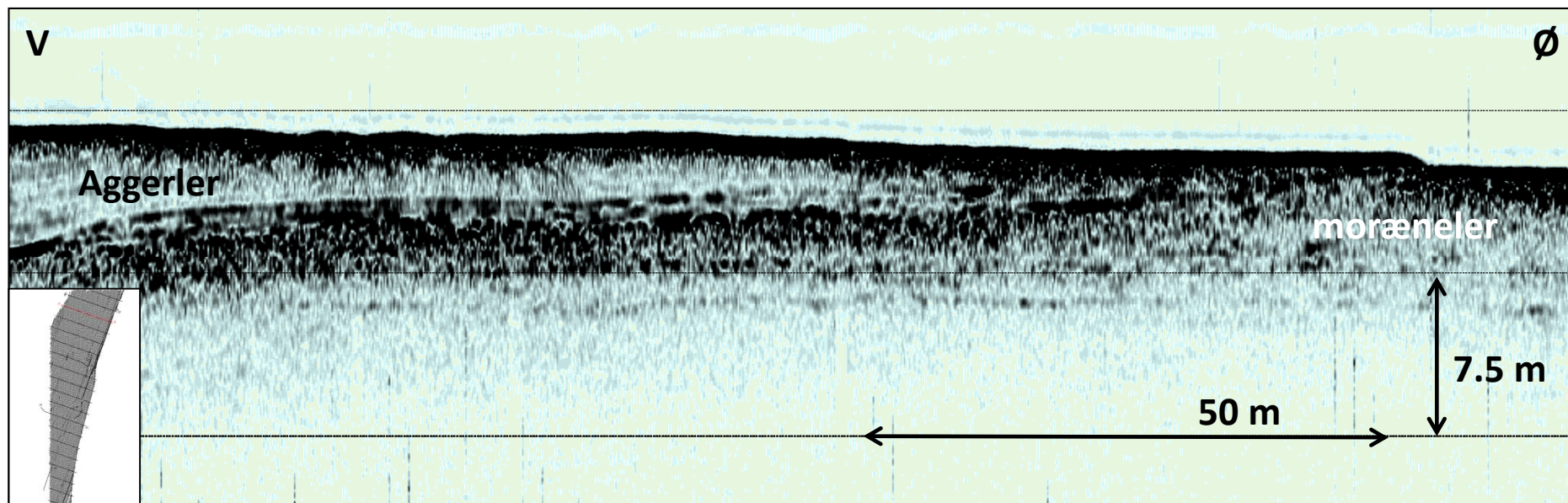


B: Seismiske eksempler



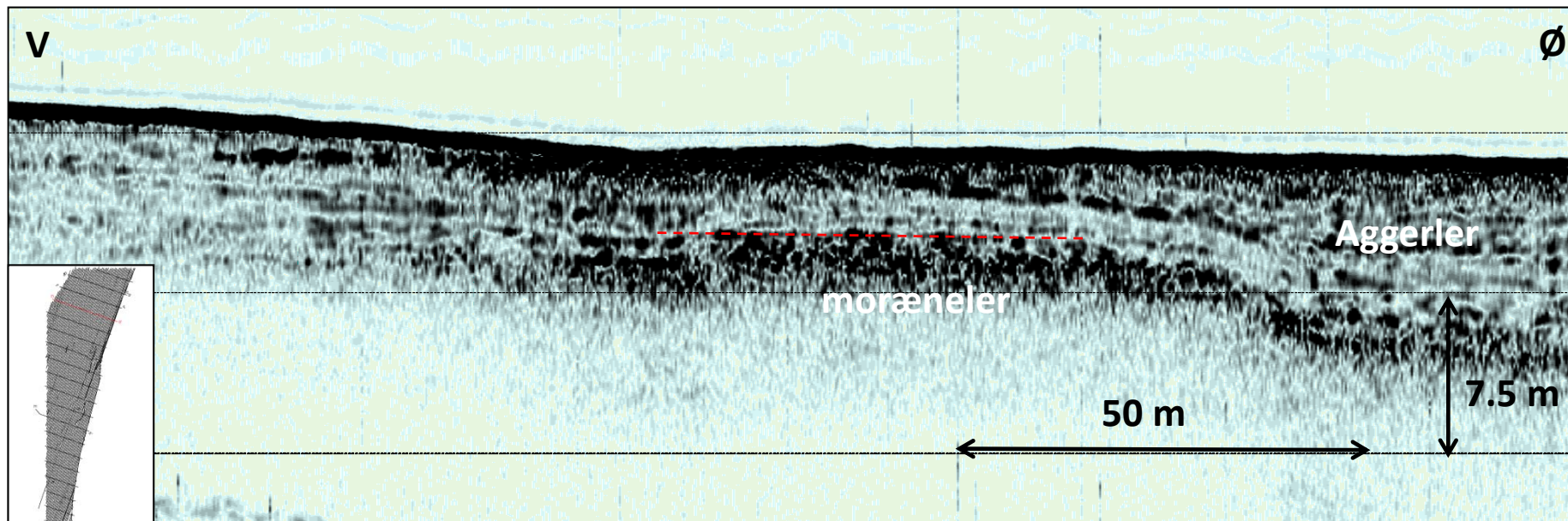
Bilag B1 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Chirp seismisk profil fra det nordvestligste område med en bassinudfyldning af Holocænt Aggerler. På positionen for CPT-04 angivet med rød pil ses en seismisk lamination, som er karakteristisk for Aggerleret.



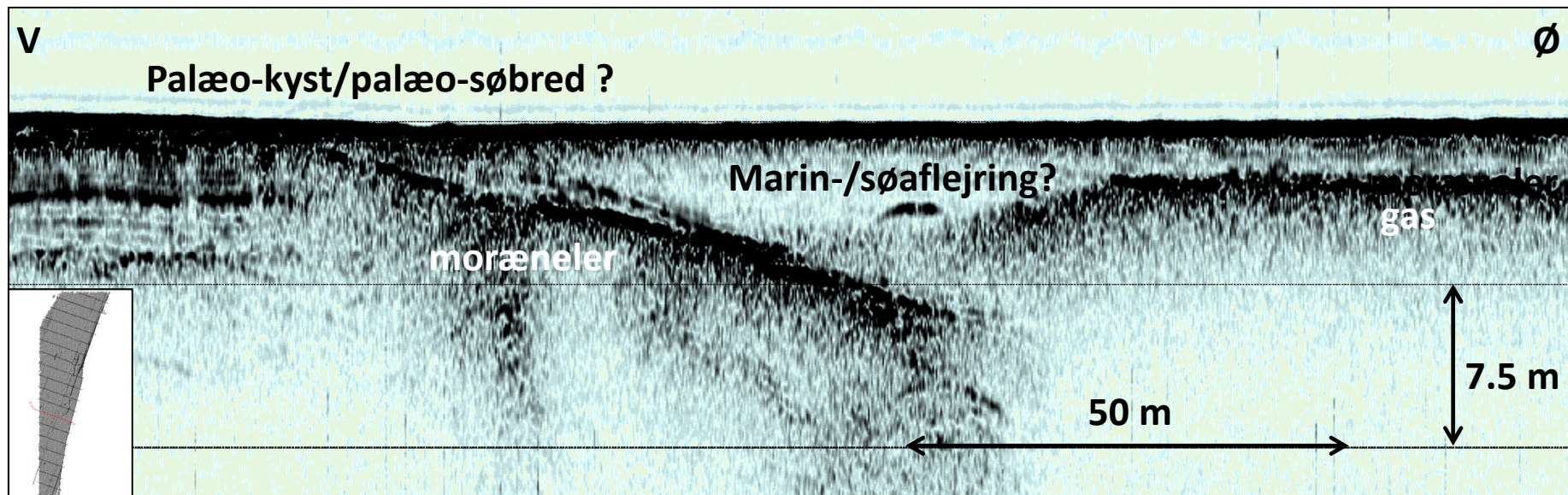
Bilag B2 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Chirp seismisk profil fra det nordvestligste område med en bassinudfyldning af Holocænt Aggerler. Relativt flad onlap i den østlige bassin kant



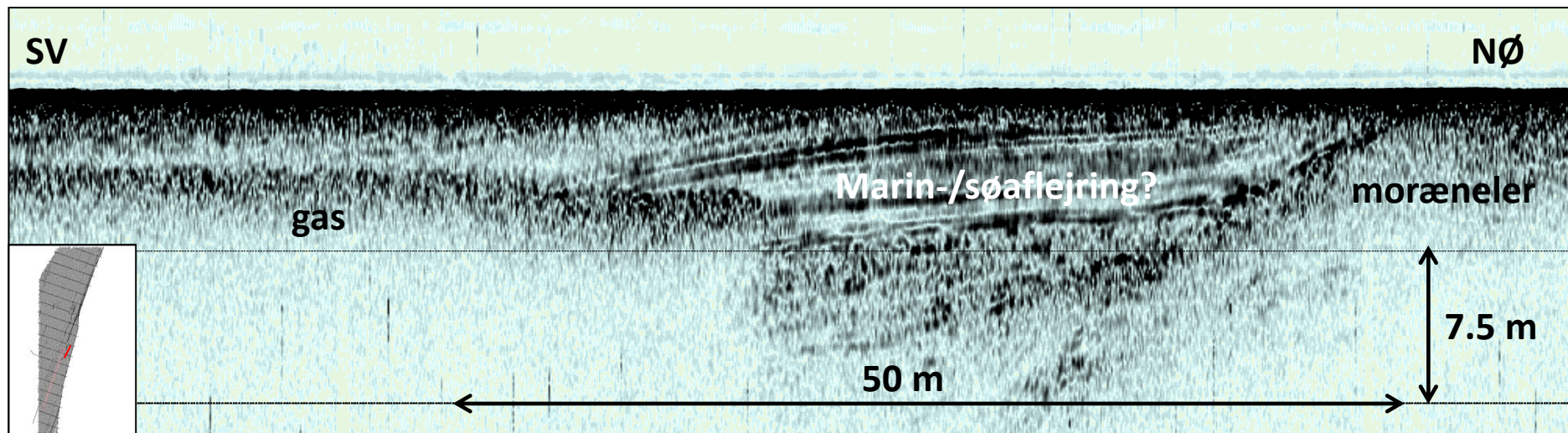
Bilag B3 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Chirp seismisk profil fra det nordvestligste område med en bassinudfyldning af Holocænt Aggerler. Plateau (rød stipling) med mulig palæokyst i bunden af bassin struktur ca. 2m under havbund.



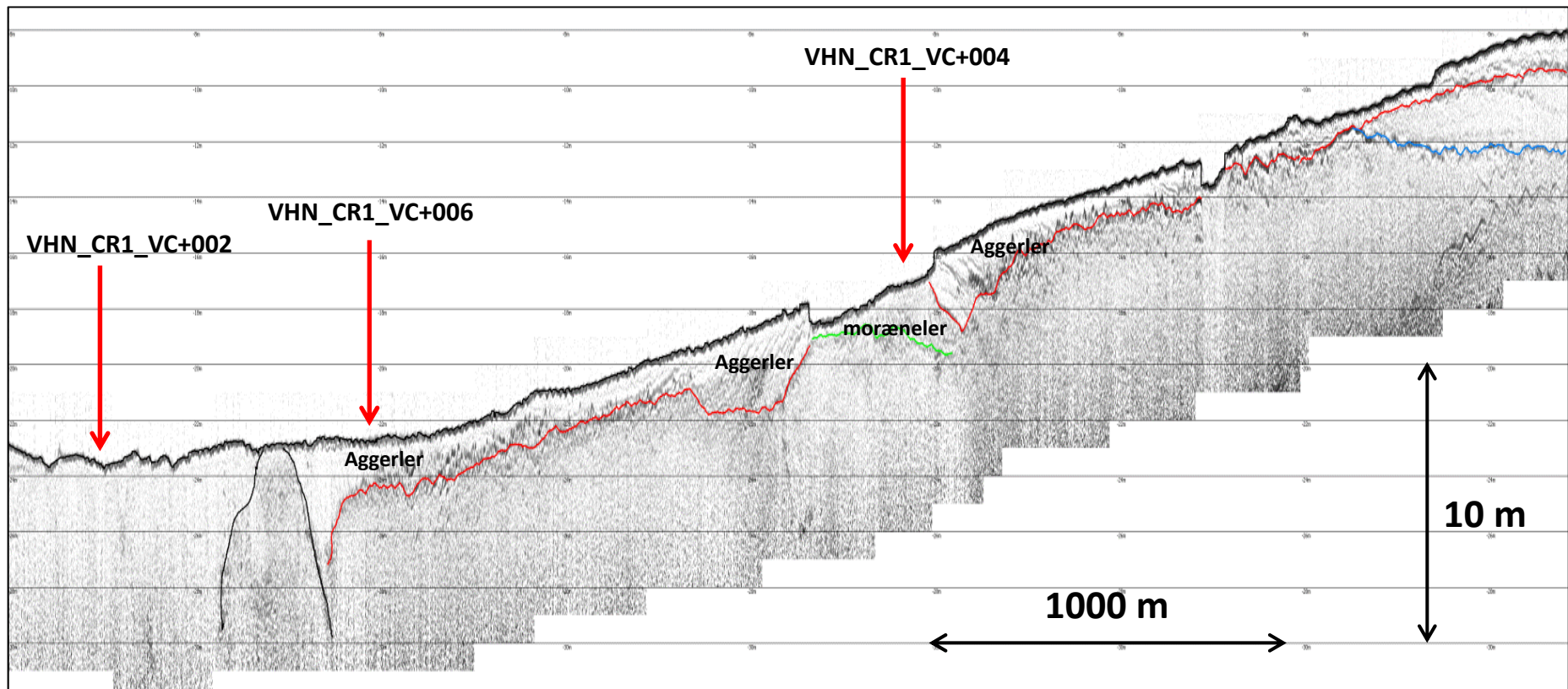
Bilag B4 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Chirp seismisk profil fra det sydøstligste område med en bassinudfyldning af marine- eller søaflejringer og en mulig kyst/søbred på den vestlige flanke af bassinet.



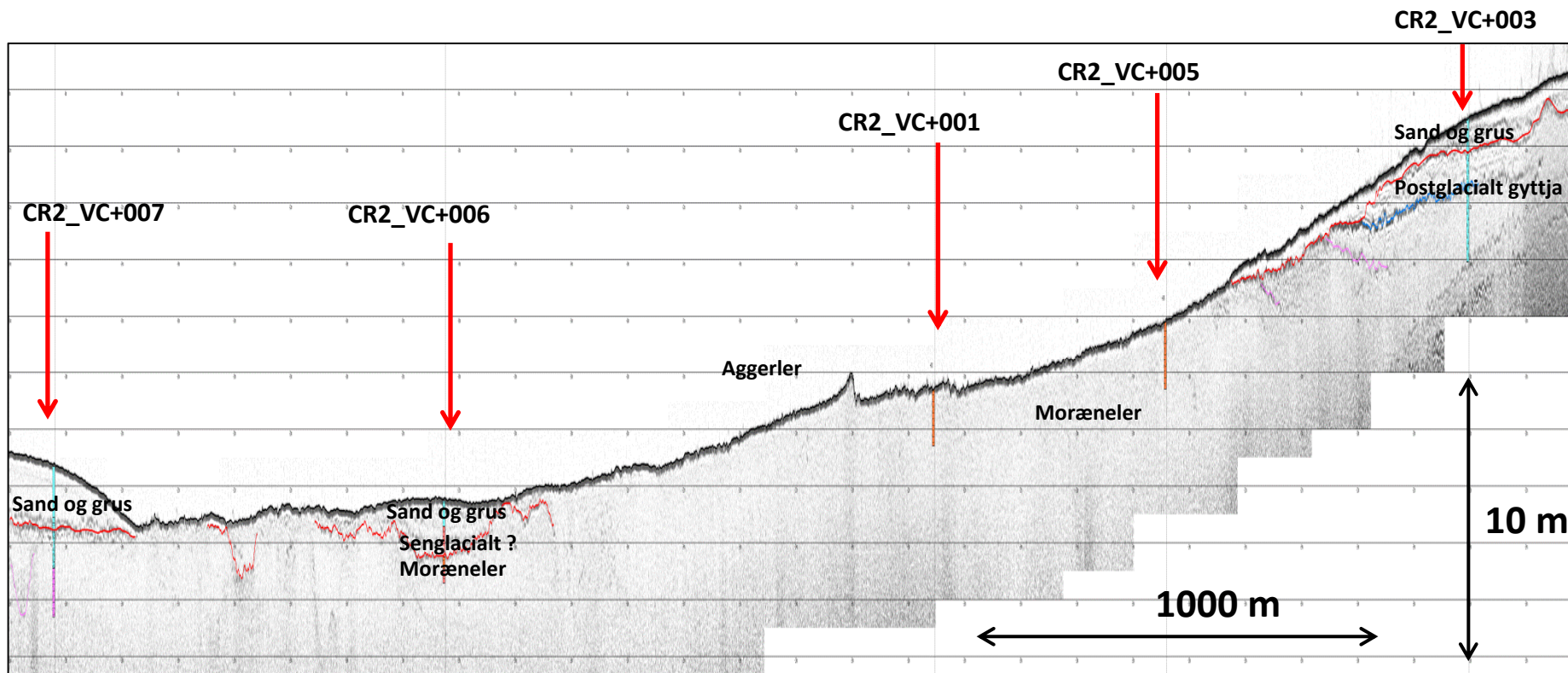
Bilag B5 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Chirp seismisk profil fra det sydøstligste område med en bassinudfyldning af formodede marine eller søaflejringer. Profilet viser seismisk onlap på de underliggende glaciale dannelser på den nordlige flanke af bassinet.



Bilag B6 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Pinger seismisk profil fra kabelkorridor-1. Profilet viser en seismisk lagdeling i enheden (rød horisont) tolket som Aggerler af GEUS med boringskontrol i borerne VC-002 og VC-006. Boring VC-004 går i moræneler.



Bilag B7 . Vesterhav Nord Havmøllepark

Pinger seismisk profil fra kabelkorridor-2. Profilet viser en seismisk lagdeling i en enhed tæt på land ud fra boring VC-003 tolket som postglacialt gyttja overlejret af 1-2 m postglacialt sand/grus.