

Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande

Delområderne Kattegat syd og Østersøen vest

Jørn Bo Jensen, Sara Borre, Niels Nørgaard-Pedersen
& Jørgen Overgaard Leth



Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande

Delområderne Kattegat syd og Østersøen vest

Klient: By- og Landskabsstyrelsen

Jørn Bo Jensen, Sara Borre, Niels Nørgaard-Pedersen
& Jørgen Overgaard Leth

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Opgaven.....	4
1.2	Kattegat syd området.....	6
1.3	Østersøen vest området.....	8
2.	Konklusioner og anbefalinger	9
3.	Tidligere undersøgelser Kattegat syd	12
3.1	Generel datagrundlag og metodik.....	12
3.2	Detaljerede undersøgelser og udlagte habitater.....	15
4.	Geologisk model Kattegat syd	17
4.1	Prækvartære sedimenter og strukturer.....	22
4.2	Præ-Weichsel glaciale og interglaciale aflejringer.....	24
4.2.1	Saale moræne enhed.....	25
4.2.2	Eem Mellemistid aflejringer.....	26
4.3	Weichsel glaciale aflejringer.....	27
4.4	Senglaciale marine sedimenter (Yngre Yoldia Ishav).....	29
4.5	Tidlig holocæne kanaludfyldninger og initiale transgression.....	35
4.6	Tidlig holocæne druknede kystaflejringer som eksempelvis et estuarie – lagune system.....	35
4.7	Holocæne druknede transgressive kystaflejringer.....	39
4.7.1	Grus erosionsrest aflejringer.....	41
4.7.2	Sandede- og grusede strandvolds- og oddedannelser.....	41
4.8	Subrecent til recent mobilt sand.....	41
5.	Anholt vindmøllepark et detailstudie	43
5.1	Bathymetry og havbundssedimenter.....	44
5.2	Den kvartærgeologiske udvikling.....	45
6.	Kortlagte overfladesedimenter Kattegat syd	50
7.	Mulige sand- og grusforekomster Kattegat syd	52
8.	Potentielle ressourceområder Kattegat syd	54
8.1	Smeltevandsaflejringer.....	55
8.1.1	Grønne Revle (Fællesområde og efterforskningstilladelse).....	55
8.1.2	Bolsaks (Fællesområde).....	56
8.2	Senglaciale kystaflejringer.....	59
8.2.1	Nordøst for Samsø.....	60
8.3	Tidlig Holocæn kanaludfyldning og transgressions kyst lag.....	60
8.3.1	Storebælt palæoudløbet.....	60

8.4	Holocæne transgressions kystaflejringer.....	62
8.4.1	Lyse Grund (Fællesområde)	62
8.4.1.1	Datagrundlag og eksisterende undersøgelser	63
8.4.1.2	Geologisk dannelse	64
8.4.1.3	Model for Lyse Grund råstofforekomster.....	65
8.4.2	Store Middelgrund (Fællesområde)	67
8.4.2.1	Geologisk opbygning	67
8.4.2.2	Råstofforekomster	67
8.4.2.3	Model for Store Middelgrund råstofforekomster.....	68
8.4.3	Sydvest for Anholt	70
8.4.4	Læsø sydøst.....	71
8.4.5	Djursland Nord	72
8.4.5.1	Bathymetri og overfladesedimenter	72
8.4.5.2	Geologisk udvikling.....	72
8.4.5.3	Ressource vurdering	73
8.5	Holocæn transgression og subrecent til recent mobilt sand.....	75
8.5.1	Hals barre (paragraf 20 tilladelse).....	75
8.5.2	Bathymetri og overfladesedimenter	75
8.5.3	Ressource vurdering	78
9.	Den vestlige del af Østersøen - et resumé af GEUS rapport 2010/105	81
9.1	Geologisk model for området.....	82
9.2	Potentielle ressourceområder i den vestlige del af Østersøen.....	82
9.3	Vejsnæs Flak.....	83
9.4	Område Femern Bælt	85
9.4.1	Område 568015 og 568016	86
9.5	Kriegers Flak	87
9.6	Rønne Banke	91
10.	Referencer	94
11.	Referencer til de gamle undersøgelsesområder	99
11.1	Område 502 Århus Bugt	99
11.2	Område 504 Samsø SØ.....	99
11.3	Område 506 Samsø Nordøst	100
11.4	Område 516 Samsø vest	100
11.5	Område 518 Grenå	100
11.6	Område 522 Sejerø Bugt	100
11.7	Område 528 Læsø Rende	100
11.8	Område 530 Nordsjælland	101
11.9	Område 534 Djursland nord.....	101
11.10	Område 536 Sjællands Rev	101
11.11	Område 540 Anholt	101
11.12	Område 544 Storebælt.....	102
11.13	Område 546 Store Middelgrund.....	102
11.14	Område 550 Fyn nord	102

1. Indledning

1.1 Opgaven

By – og Landskabsstyrelsen har bedt GEUS om at sammenstille data med henblik på at udføre et skrivebordsarbejde vedrørende lokalisering af relevante fremtidige sand og grus kortlægningsområder i de danske farvande.

Formålet med opgaven er på baggrund af en analyse af eksisterende viden at få opbygget modeller, der redegør for områder med potentielle sand- og grus ressourcer.

Arbejdet har ud over denne rapport foreløbigt resulteret i en rapport omhandlende Jyske Rev – Lille Fisker Banke området (Jensen et al. 2010).

Herværende rapport omhandler først og fremmest Kattegat syd, fra Læsø i nord til Storebælt ved Røsnæs i syd og fra den Jyske østkyst til EEZ grænsen til Sverige. Desuden er der en mindre gennemgang af vestligste del af Østersøen baseret på en GEUS rapport udfærdiget for Femern Bælt A/S i 2009 (Jensen 2010).

Modellerne skal benyttes af By- og Landskabsstyrelsen til at udpege og prioritere kortlægningsområder.

Modellerne vedlægges udbudsmaterialet for de marine kortlægninger som baggrundsmateriale.

Med udgangspunkt i eksisterende viden er der i denne rapport opstillet en geologisk model for tilstedeværelsen af potentielle sand og grus råstofressourcer i Kattegat syd.

Opgaven omfatter et litteraturstudie af den kvartære udviklingshistorie, samt en gennemgang af eksisterende marine råstofrapporter.

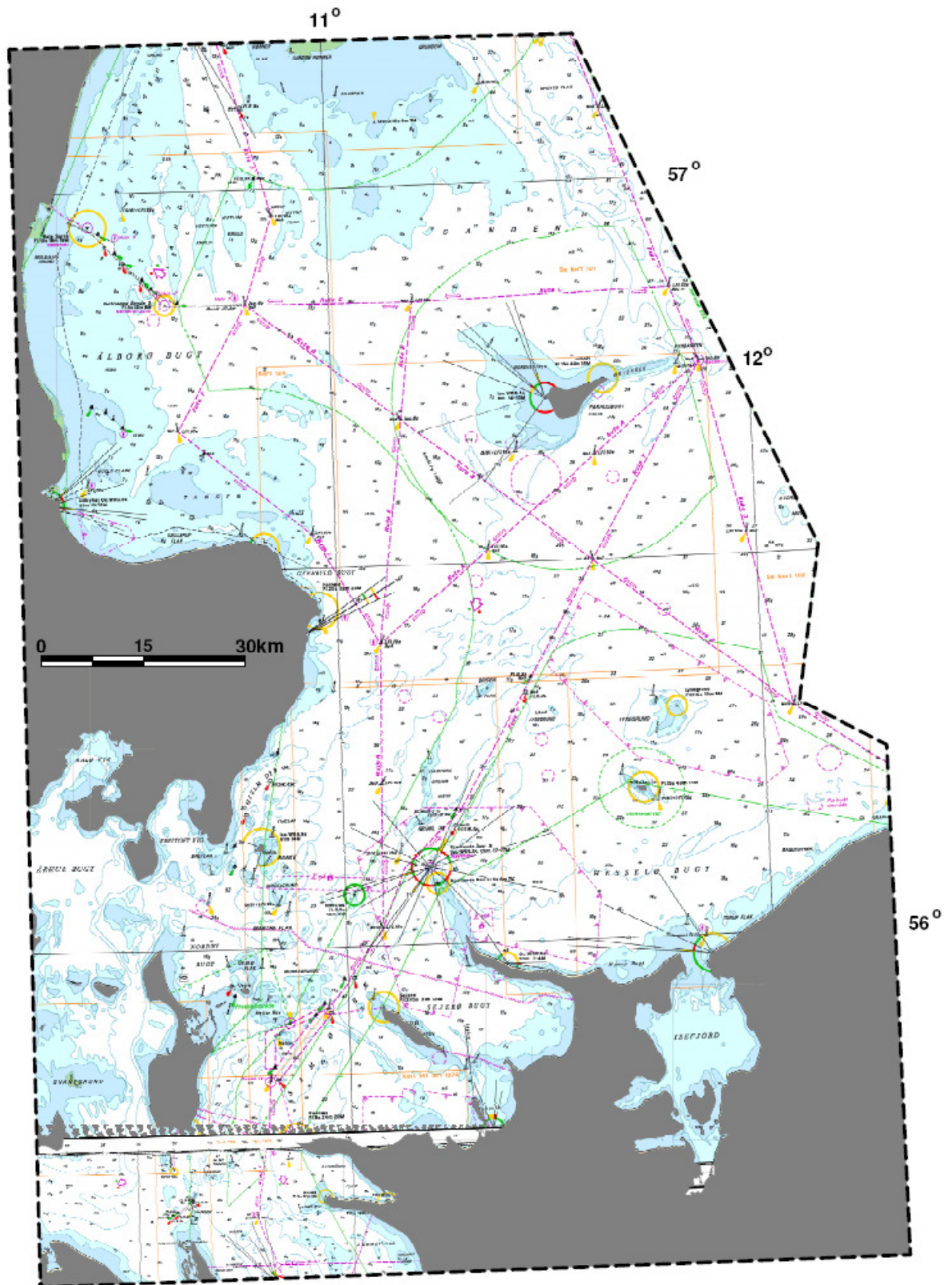
Udvalgte arkiverede seismiske data og prøvetagningsdata er gennemgået for at foretage en foreløbig verificering af den geologiske model med hensyn til dannelsesmiljøer og potentielle arealmæssige fordelinger.

Dannelsesmiljøerne er inddraget i en foreløbig vurdering af sand og grus ressourcernes potentielle kvalitet.

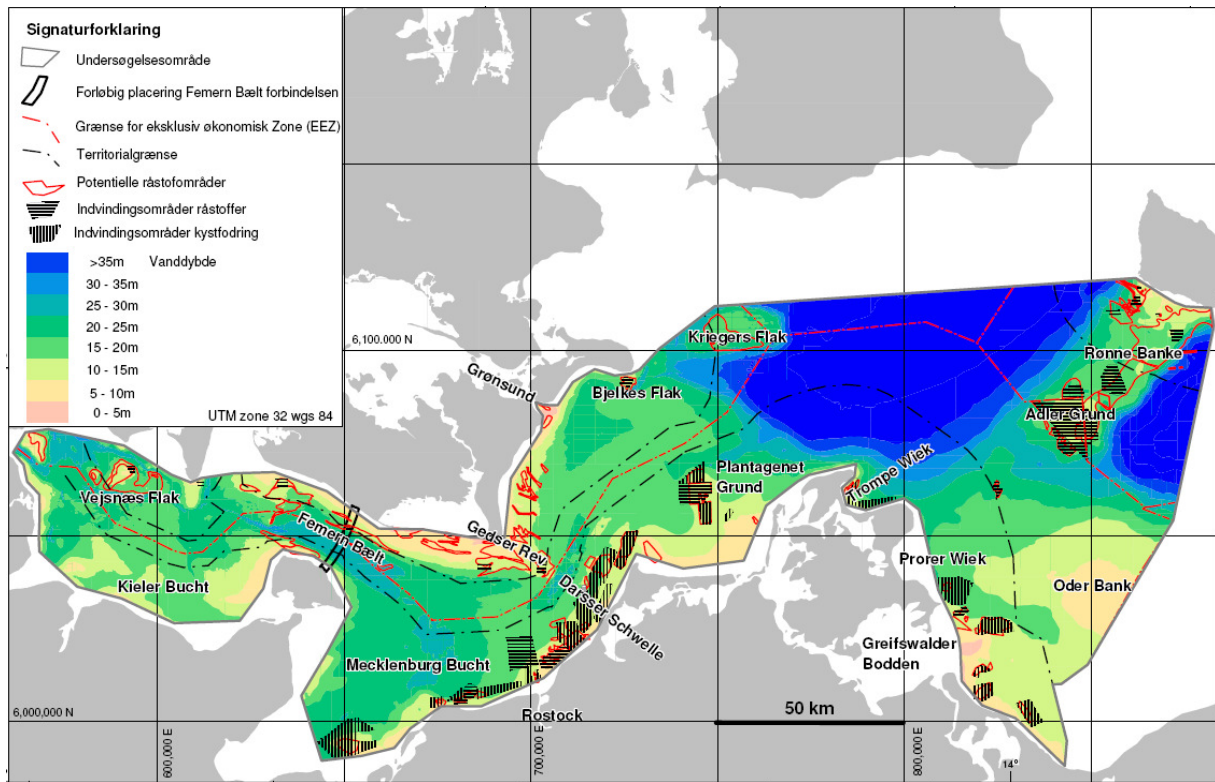
På baggrund af den geologiske model er der gennemgået et antal velkendte ressourcer, og desuden er der angivet muligheder for tilstedeværelse af nye råstofområder. Desuden er der forslag til geografisk afgrænsede områder, der kan udvælges og prioriteres af By- og Landskabsstyrelsen til brug for udbud af en marin kortlægning af potentielle sand og grus råstoffer i Kattegat området og Østersøen Vest.

Århus Bugt og området nord for Fyn indgår ikke i rapportens beskrivelser.

Med hensyn til vestlig del af Østersøen blev der i 2009 udarbejdet en detaljeret rapport til Femern Bælt A/S, som har dannet baggrund for en opsummering i denne rapport.



Figur 1. Søkort der viser Kattegat undersøgelsesområdet.



Figur 2. Bathymetri i vestlige del af Østersøen med angivelse af placeringen af potentielle råstofområder i nærheden af Femern Bælt forbindelsen (fra Jensen 2010).

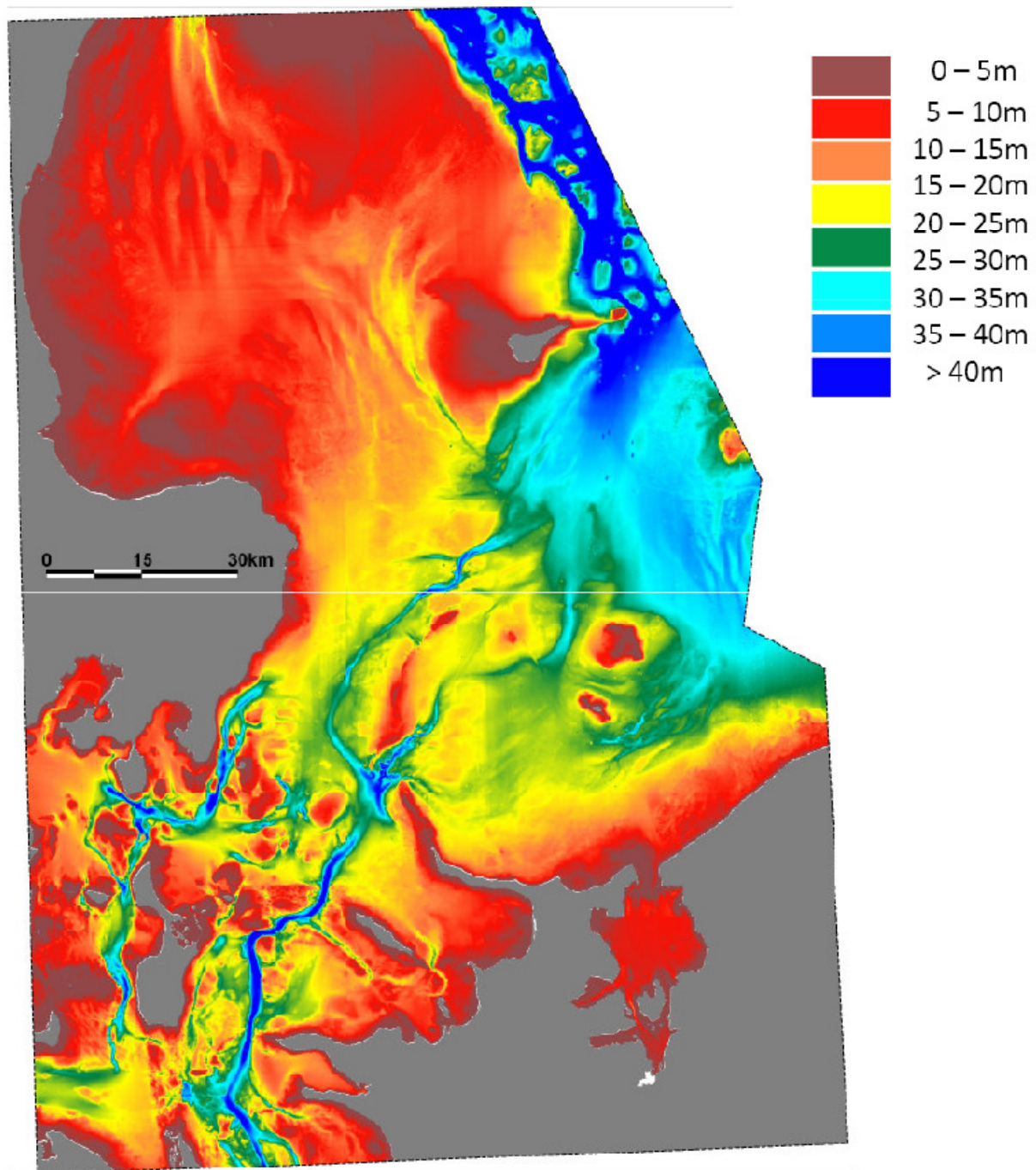
1.2 Kattegat syd området

Kattegat Syd området strækker sig fra ca. 10 km syd for Læsø til Storebælt ud for Røsnæs og fra den Jyske østkyst til EEZ grænsen til Sverige (Figur. 1). Området mellem Læsø og Anholt ligger generelt på vanddybder mellem 5 og 15 m, bortset fra de kystnære dele vest for Anholt og nord for Djursland, hvor der er større lavvandede områder med < 5 m vanddybde (Figur 3).

Mellem Anholt og Nordsjællands kyst skræner havbunden generelt mod nordøst, hvor der opnås vanddybder over 40 m ud for Anholt. Storebælt udløbet bryder dette mønster, dels ved eksistensen af dybere kanaler, men ligeledes med lavvandede rygge, hvor forlængelsen af randmorænen Sjællands Rev og Lyse Grund er de mest dominerende.

Mellem Sjællands Rev og Røsnæs udgør Storebælt kanalen det vigtigste morfologiske element, med vanddybder på op til over 40 m, medens reminiscenserne af de tværgående randmorænestrøg udgør de positive morfologiske elementer i området.

Oversigtskortene viser ligeledes Århus Bugt og området nord for Fyn, men disse to områder vil ikke indgå i rapportens beskrivelser.



Figur 3. Bathymetrisk kort der viser Kattegat Syd undersøgelsesområdet.

1.3 Østersøen vest området

Østersøen vest området dækker i det væsentlige fra Als i vest til Bornholm i øst og fra Kiel i syd og til Kriegers Flak i nord (Figur 2). Den danske del af området er generelt domineret af Lillebælt og Storebælt kanalerne, som mødes syd for Langeland med vanddybder i størrelsesordenen 20 – 30 m. Langs brinkerne af kanalområderne findes en række flakkdannelser med vanddybder på omkring 10 m, som i en række tilfælde er råstofmæssigt interessante. Kanalsystemet brydes ved Gedser Rev, hvor der er en tærskel på ca. 20 m vanddybde, og øst her for, findes et større område mellem Falster og Rügen, hvor vanddybden er i størrelsesordenen 20 m. Øst på, dykker havbunden gradvist mod Arkona Bassinet, hvor vanddybderne stiger til over 35 m. Sydvest for Bornholm ligger en stor banke (Rønne Banke – Adler Grund), der ligeledes er råstofinteressant og som udgør østranden af undersøgelsesområdet.

2. Konklusioner og anbefalinger

Resultaterne af herværende skrivebordsarbejde vedrørende lokalisering af relevante fremtidige sand og grus kortlægningsområder i henholdsvis Katttegat syd og vestlige del af Østersøen (Figur 1 og Figur 2) viser, at det ud fra eksisterende data har været muligt at opstille en generel stratigrafi for den geologiske udvikling i området (Figur 9).

Den endelige tilbagesmeltning af Weichsel gletsjeren har haft en stor betydning for de potentielle muligheder for at finde sand og grus råstoffer i Katttegat området. I den centrale del af Katttegat har udbredelsen af det senglaciale Yngre Yoldiahav betydet, at store bassinområder er udfyldt med mere end 50 m tykke glaciomarine ler og silt lag, som på ingen måde er råstofrelevante. Da tilbagesmeltningen nåede den nuværende Nordsjællands kyst, var det daværende havniveau imidlertid tæt på det nuværende, hvilket gav ophav til afsætning af sand- og grus smeltevandssletteaflejringer, dels langs nordkysten og dels lidt senere i nordlige del af Storebælt.

Kortlægningsmæssigt betyder den geologiske opbygning af smeltevandsenhederne, at det må anbefales at benytte en kombination af lavfrekvente shallow seismiske metoder (Boomer/Sparker), som vil være i stand til at penetrere eventuelle morænelag og Holocænt overjord. Disse skal kombineres med højfrekvente shallow-seismiske metoder (Chirp/Pinger), som kan benyttes til kortlægningen af tykkelsen af overjorden. Detaljerede bathymetriske data vil ligeledes være en fordel ved tolkningen af lagenes rumlige fordeling. Råstofkvaliteten af smeltevandsenhederne kan kun vurderes ved prøvetagning.

Da gletsjer tilbagesmeltningen var nået ned i den nordlige del af Storebælt var Yngre Yoldiahavets relative havniveau (i det område) faldet til 5 – 10 m under nuværende havniveau, og der er potentielt mulighed for at finde sand og grus kystaflejringer fra den periode.

Den forventede vigtigste potentielle råstofressource ligger i de fossile kystdannelser aflejret i forbindelse med den holocæne transgression af området. Det er ligeledes den bedst dokumenterede enhed, som er genstand for igangværende indvinding af grus og ral i en række fællesområder, så som Lyse Grund og Mosel Grund. De grovkornede lag er tæt knyttet til erosion af områdets morænebakker og findes både som tynde residuale gruslag og tykkere strandvolds-/oddedannelser.

Kortlægningsmæssigt er de grovkornede transgressionslag en udfordring, da det er nødvendigt at benytte lavfrekvente shallow seismiske metoder (Boomer/ Sparker) for at være i stand til at penetrere de grovkornede lag, men samtidig vil de lavfrekvente metoder, med en vertikal opløsning på i størrelsesordenen 1 m, være et problem i forbindelse med kortlægningen af de ofte tynde residuale gruslag. Løsningen på problemet må søges ved benyttelse af supplerende akustiske metoder i form af højfrekvente shallow seismiske metoder (Chirp/Pinger), der kan afsløre evt. overfladenær lagdeling og overjord, samt detaljerede studier af Side Scan sonar data, som f.eks. kan afsløre tegn på strandvolds opbygning eller blokke i en moræneoverflade.

Ud over de akustiske metoder vil det være nødvendigt at kalibrere de akustiske data med prøvetagninger evt. i form af mindst 3 m vibrationsboringer.

De sandede distale dele af de holocæne fossile druknede kystsystemer og det subrecente til recente sand, aflejret i sandbanker og sandbølger (styret af barotrophiske hændelser) består generelt af fin - mellemkornet sand, som vil kunne findes i hele undersøgelsesområdet på vanddybder mindre end omkring 30 m. Sandkvaliteten vil sandsynligvis være meget variabel på grund af sammensætningen af moræne kildeområderne og det skiftende energiniveau.

I kortlægningen af de sandede sedimenter vil det være vigtigt at vælge den højfrekvente shallow seismisk metode (Chirp/Pinger), der vil kunne penetrere adskillige meters sand og være i stand til at afsløre evt. intern højopløselig lagdeling, som kan være vigtig i tolkningen af sandlagenes dannelseshistorie og dermed give indicier om råstofkvaliteten. Supplerende strategiske prøvetagninger vil være af stor værdi for den generelle tolkning af sandkvaliteten.

Ud fra geologiske betragtninger og råstoftilgængelighed er råstofpotentialet i Kattegat syd gennemgået i afsnit 8 og udvalgte råstofområder i Østersøen vest er gennemgået i afsnit 9.

Interessante råstofområder og potentielle nye områder i Kattegat syd kan ses på Figur 40:

- Bolsaks og Grønne Revle repræsenterer typeeksempler på smeltevandsslette aflejringer, som kan have større potentiale i fremtiden. Og yderligere undersøgelser i Storebælt, samt ud for Nordsjællands kyst kan evt. afsløre nye forekomster af denne type.
- Nordøst for Samsø findes en række fungerende ressourceområder som f. eks Mosel Grund, hvor der er fundet indicier på senglaciale sand- og gruskystaflejringer, der underlejrer yngre råstofenheder. Detaljerede undersøgelser i udvalgte områder vil kunne afklare, om der er hold i denne antagelse.
- En række holocæne kystaflejrings sand og grus råstofområder, så som Store Middgrund og Lyse Grund, kunne trænge til fornyede undersøgelser, dels begrundet i ny bedre undersøgelsesmetodik og dels som monitoring af status på indvinding.
- Anholt syd og Læsø sydøst er potentielle nye holocæne flakområder, der bør undersøges.
- Sandbarer, dannet som kombination af kystransgression og efterfølgende modellering af barotrophiske strømme, findes ved Hals Barre, men er sandsynliges mulige at finde andre steder i vestlige del af Kattegat. Anholt vindmøllepark undersøgelsen viser bla., at de findes der.
- Området ud for Djursland Nord er en hvid plet på kortet, hvor tidligere undersøgelser har været ufuldstændige, og området trænger til en reevaluering baseret på nye data.

Udvalgte områder i Østersøen vest kan ses på Figur 66:

- Vejsnæs Flak området har allerede fået en del interesse, dels i det nuværende fællesområde, hvor holocæne kystsedimenter inddvindes, og dels i forbindelse med nye undersøgelser. Det er imidlertid kun en mindre del af området, som er undersøgt, og en generel kortlægning af området vil være formålstjenligt.
- I Femern Bælt området findes en del mindre ressourceområder, men de mest lovende områder er 568015 og 568016, der tilsyneladende indeholder en del sand. En detaljeret undersøgelse vil være nyttig dels med hensyn til vurdering af volumen og kvalitet, men ligeledes i en afvejning med hensyn til mulige effekter, idet området er udlagt som habitatområde.
- Krigers Flak er en gammel kending råstofmæssigt og sandsynligvis den bedste kandidat til forsyning af en kommende Femern Bælt forbindelse. Desuden er der store vindmølleinteresser i området. Krigers Flak vil i fremtiden have potentiale til at blive den helt store regionale råstofressource og samtidig Københavns mulighed for en stabil råstofressource.
Der er tidligere foretaget semidetaljerede undersøgelser på Krigers Flak, men der er behov for yderligere seismisk kortlægning, og området indbyder til opstilling af en 3- dimensional model på basis af detaljerede undersøgelser.
- Rønne Banke er ligeledes en meget stor ressource, hvor der er foretaget mange undersøgelser igennem tiden. Sandressourcerne er kortlagt generelt, medens der kunne være potentiale i kortlægning af tynde grus ressourcer, da der har været indvundet en del af denne råstofkvalitet, men det er ukendt hvor stor en forekomst der er tilbage.

3. Tidligere undersøgelser Kattegat syd

3.1 Generel datagrundlag og metodik

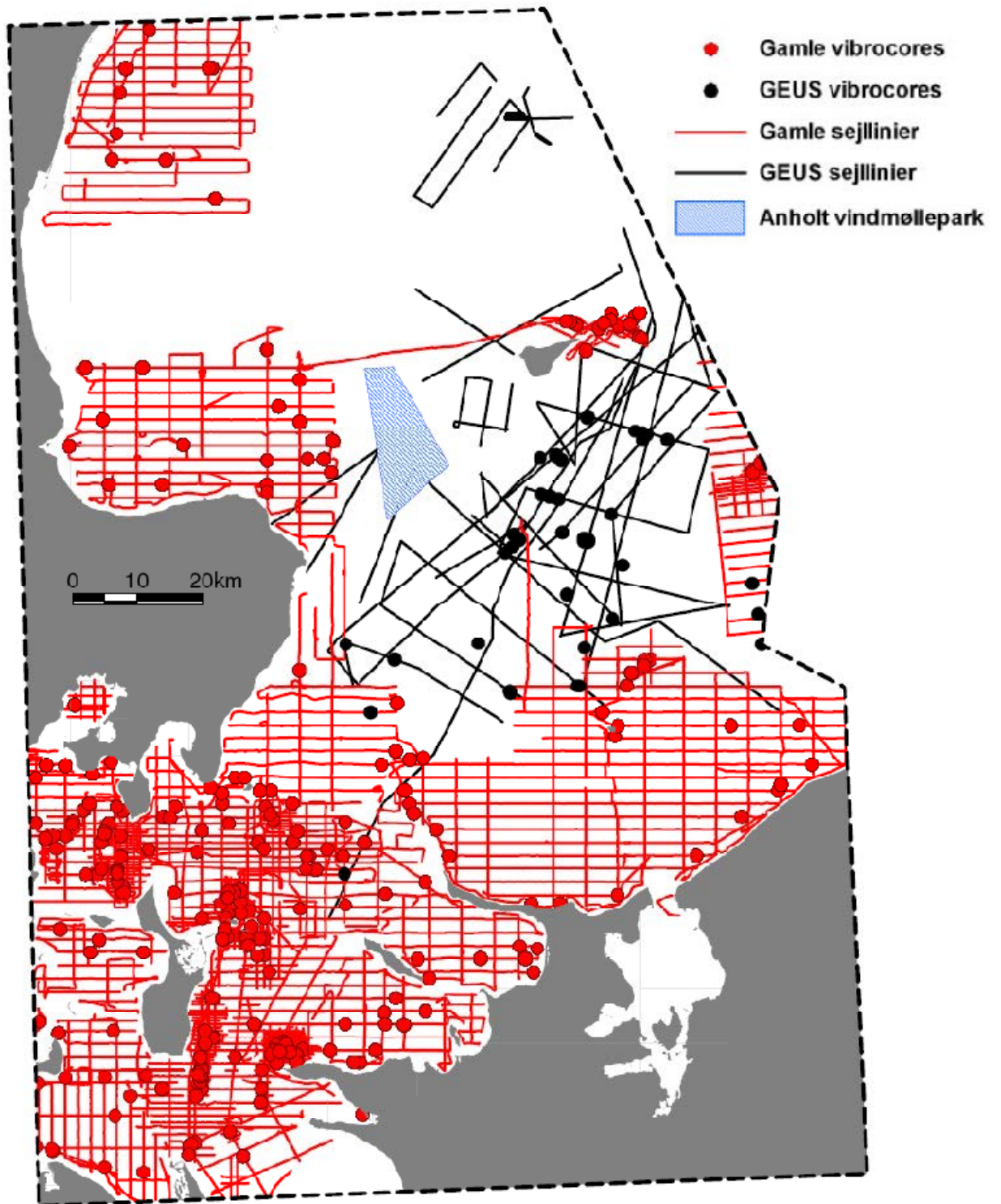
Kattegat syd er gennem tiden blevet kortlagt med et seismisk net af varierende tæthed (Figur 4). Databaggrunden kan opdeles i gamle seismiske- og vibrocore data, som er indsamlet i 1980'erne (Figur 5) og nyere data er indsamlet i perioden 1990 – 2010. I 1980'erne foregik der en systematisk råstofkortlægning af de danske farvande, hvor den generelle kortlægning blev udført i et seismisk grid med ca. 2 km øst – vest interval og omkring 5 km nord – syd interval. Der er foretaget omkring 150 boringer. Der er tale om analoge papirudskrifter af Boomer, Pinger og Side scan sonar profiler. Data er afrapporteret i kunderapporter og i "De Blå Rapporter" (referencer ses i afsnit 11 "referencer de gamle undersøgelsesområder"). Kortlægningen blev i 1980'erne koncentreret på vanddybder, der oftest var mindre end 20 m, da råstofindvindingen i praksis var begrænset til dette dybdeinterval.

De nyere data er hovedsagelig indsamlet i forbindelse med videnskabelige togter, der har haft til hensigt at belyse den geologiske udvikling af Kattegat, også i de dybere dele, så de to sæt data supplerer hinanden. Dog må man sige, at den geologiske model er blevet forfinet væsentligt siden 1980'erne, og det seismiske udstyr er ligeledes forbedret i en grad, så man i dag må kunne forvente at finde nye råstofressourcer, dels på større vanddybder end 20 m og dels grovkornede ressourcer, som ikke kunne registreres med 1980'er teknologi.

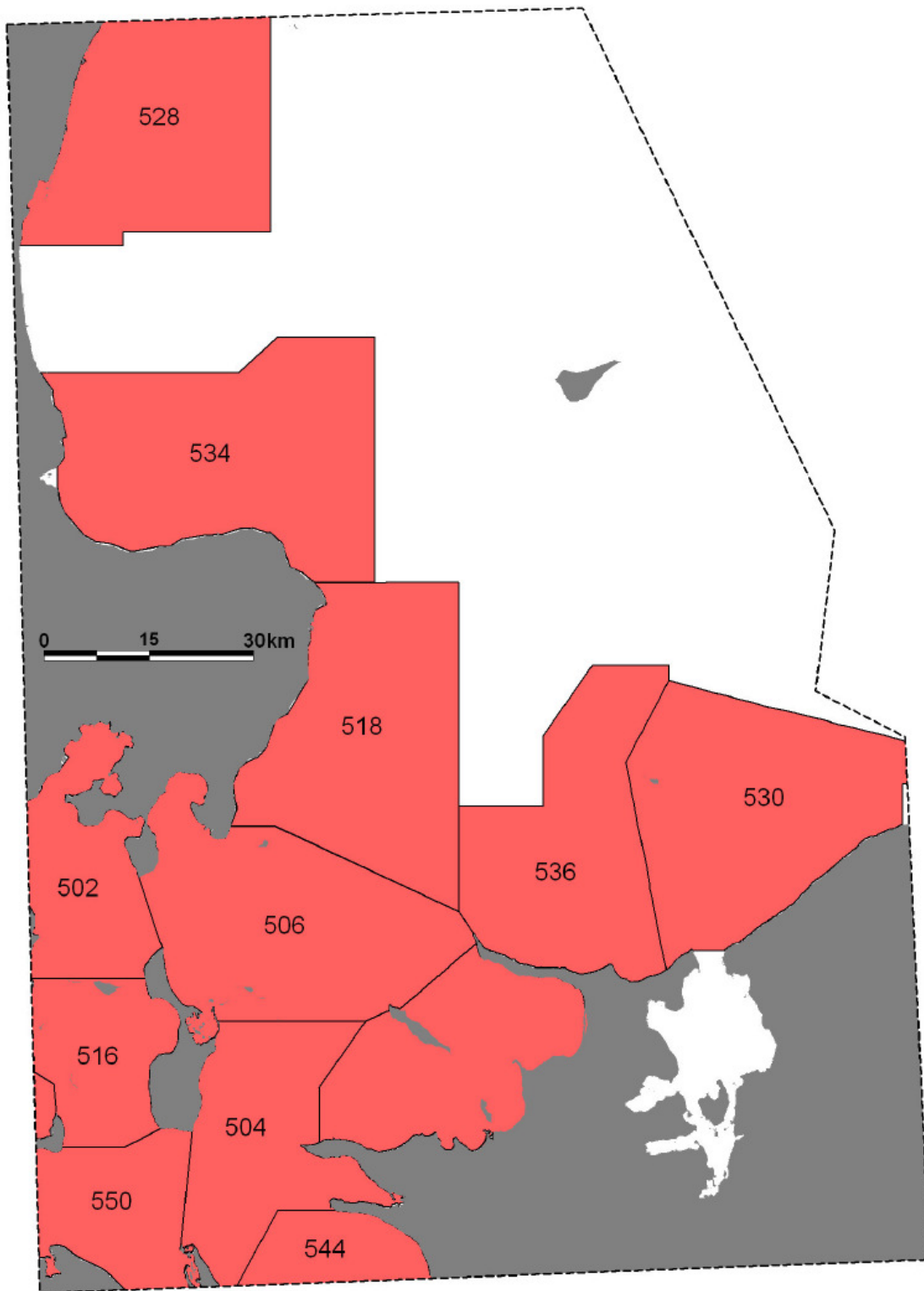
Den anvendte seismik i de nyere togter, har vekslet fra togt til togt omfattende følgende udstyr: Boomer (0,8 -16 kHz), sparker (omkring 1 kHz) Watergun (0,2-12 kHz), Penetrations-ekkolod (3,5 kHz), Datasonic chirp sonar (1-10 kHz), X-STAR Chirp og Side-Scan sonar (100/400 kHz). Desuden er der kontinuerligt foretaget dybdemålinger med opmålingsekkolod (30 kHz).

Det seismiske datamateriale er som nævnt i det foregående afsnit af varierende kvalitet på grund af udviklingen i teknologi og ofte vanskelige vejrtilbetingelser. Der har under alle togter efter 1990 været anvendt GPS som navigationsudstyr. På togterne inden 1990 anvendtes Syledis- navigation. På togterne efter 1994 blev navigationen yderligere forbedret ved benyttelse af differentiell GPS. Navigationsnøjagtigheden på de seismiske data kan antages at være bedre end 10 m. Den vertikale opløsning af de seismiske data ligger i størrelsesordenen 0,5 – 1 m. På baggrund af disse data opsummerer denne rapport den geologiske udviklingshistorie af Kattegat syd og giver et overblik over forekomsten af forskellige potentielle råstofftyper i området.

I 1999 blev den generelle råstofgeologi i Kattegat Syd beskrevet i Jensen (1999).



Figur 4. Seismisk net og prøvetagninger i Kattegat syd undersøgelsesområdet.



Figur 5. Gamle undersøgelsesområder. Referencer til råstofbeskrivelser, se afsnit 11.

3.2 Detaljerede undersøgelser og udlagte habitater

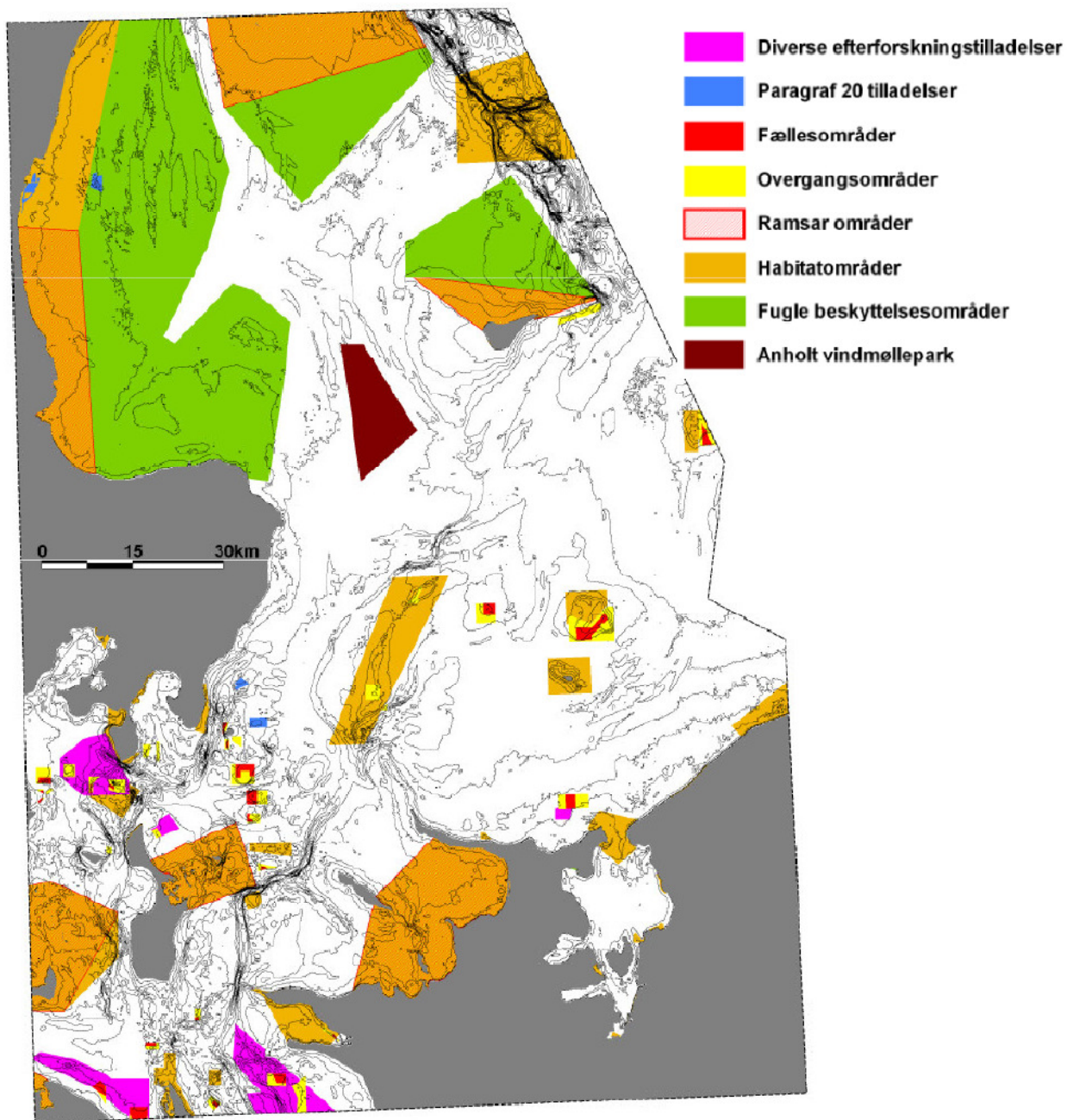
I den seneste årrække har råstofhervret gennemført detaljerede undersøgelser i en række områder i Kattegat syd området og ikke mindst den ny råstoflov fra 2009 har tilskyndet til yderligere aktiviteter. Der er således en række pågående efterforskningstilladelser specielt i Storebælt regionen (Figur 6), hvor der også er den største koncentration af aktive indvindingsområder i form af § 20 tilladelsesområder, fællesområder og overgangsområder.

I Kattegat mellem Anholt og Nordsjælland er der tale om nogle få, men vigtige ressourceområder (Lyse Grund, Grønne Revle og Store Middelgrund).

Områderne er jf. råstofloven udlagt, for at virksomheder har mulighed for at byde på retten til at efterforske eller indvinde råstoffer i et afgrænset område på havet. I flere af de kortlagte områder har de enkelte virksomheder lavet en geofysisk kortlægning og en biologisk kortlægning, hvilket vil sige, at området er dækket af et seismisk net med en tæthed på omkring 100 m.

Anholt Vindmølle park udgør et areal på ca. 10 x 20 km, som er kortlagt med en seismisk linjetæthed på omkring 50 m, og selv om arealet er reserveret til vindmøllepark, giver det en enestående mulighed for at få detaljeret indsigt i geologien nordøst for Djursland. I afsnit 5 er geologien i Anholt Vindmøllepark beskrevet, og råstofpotentialet i den del af Kattegat syd er vurderet.

De nuværende marine habitatområder i Kattegat syd omfatter naturtyper som sandbanker og stenrev, som har tilpasset sig de dynamiske bundforhold, der findes. Habitatområder udpeges for at beskytte og bevare bestemte naturtyper og arter af dyr og planter, som er truede (Figur 6).



Figur 6. Detaljerede undersøgelsesområder og habitatområder i Kattegat syd.

4. Geologisk model Kattegat syd

Den geologiske model for Kattegat Syd området er gennemgået i de følgende afsnit, men indledningsvis gennemgås den generelle stratigrafi med henblik på at skabe et overblik over den samlede geologiske udvikling i området.

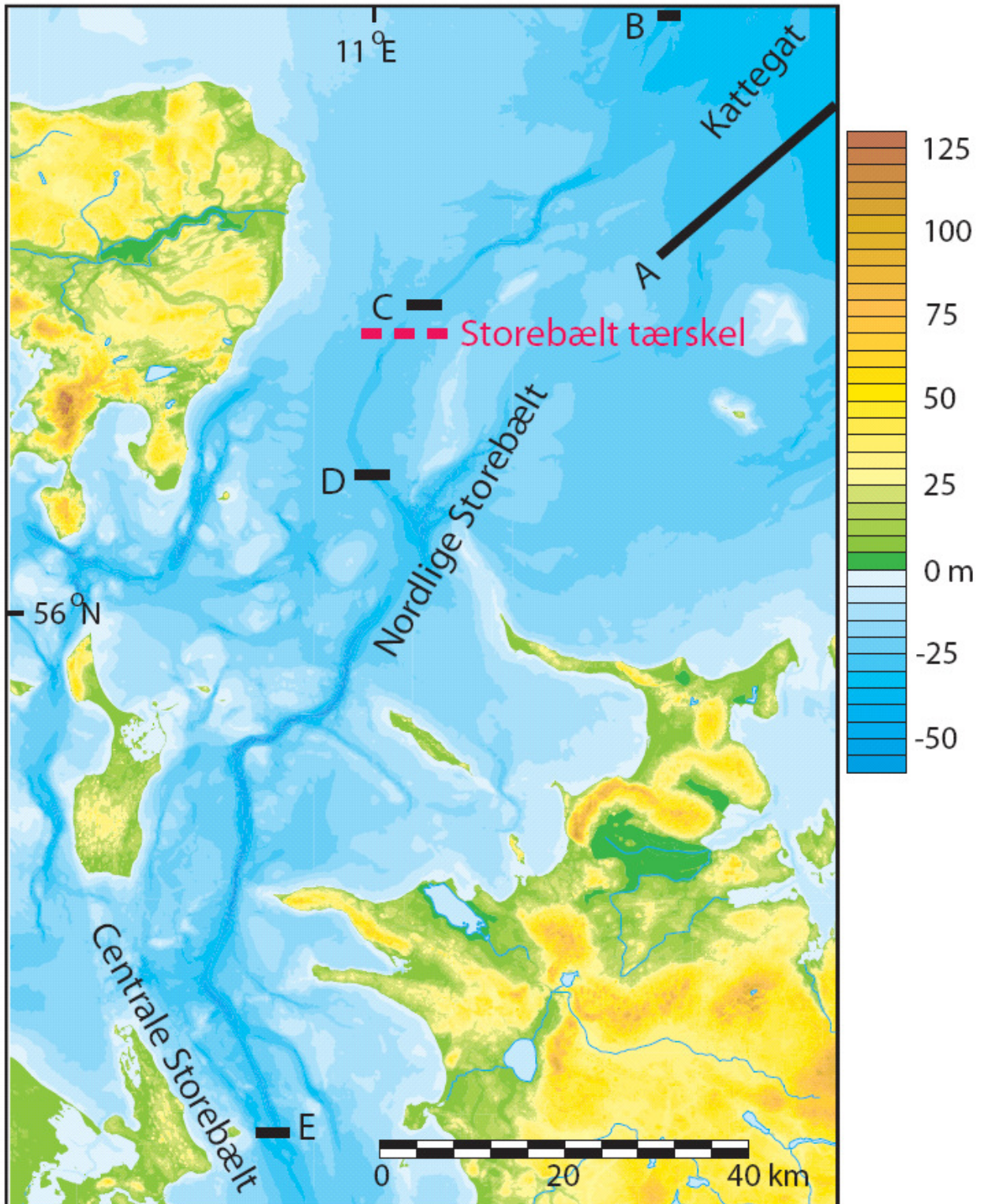
De dominerende geologiske enheder er illustreret i henholdsvis idealiserede geologiske profiler fra Sydlige Kattegat mellem Anholt og tærsklen til Storebælt (Figur 7 og Figur 8) og i Storebælt til omkring Røsnæs (Figur 7 og Figur 10). Tidsudviklingen for de geologiske lag er angivet i et stratigrafisk skema (Figur 9).

De prækvartære lag er styret af en kompleks forkastnings udviklingshistorie med stadig aktive jordskælv langs den Fennoskandiske randzone, hvilket har resulteret i et domino lignende Prækvartær overfladekort (Figur 12), med bjergarter spændende fra Jura til Eocæn i Tertiær perioden indenfor området (Figur 13). Dybden til Prækvartæret er meget svingende fra omkring 25 m til i størrelsesordenen 150 m (Figur 14).

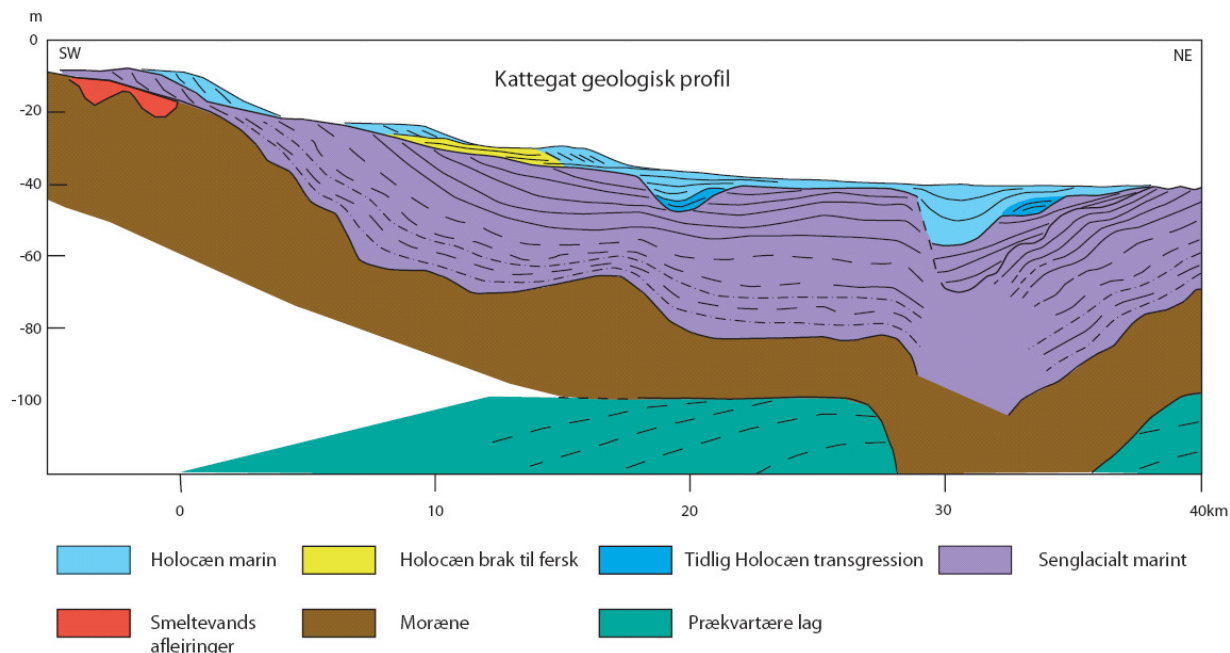
De Kvartære toplags tykkelse er i høj grad styret af de Prækvartære lags højdeforhold spændene fra få meters tykkelse til omkring 150 m i de dybere dele, i lokale tektoniske fordybninger og dale, som gør lagene 10 tals meter tykkere (Figur 23).

De ældste Kvartære lag er kun dokumenteret i få dybe borer og seismiske linjer, som dog dokumenterer tilstedeværelsen af Elster og Saale moræner, samt marine Eem interglaciale aflejringer i den nordlige del af Kattegat syd.

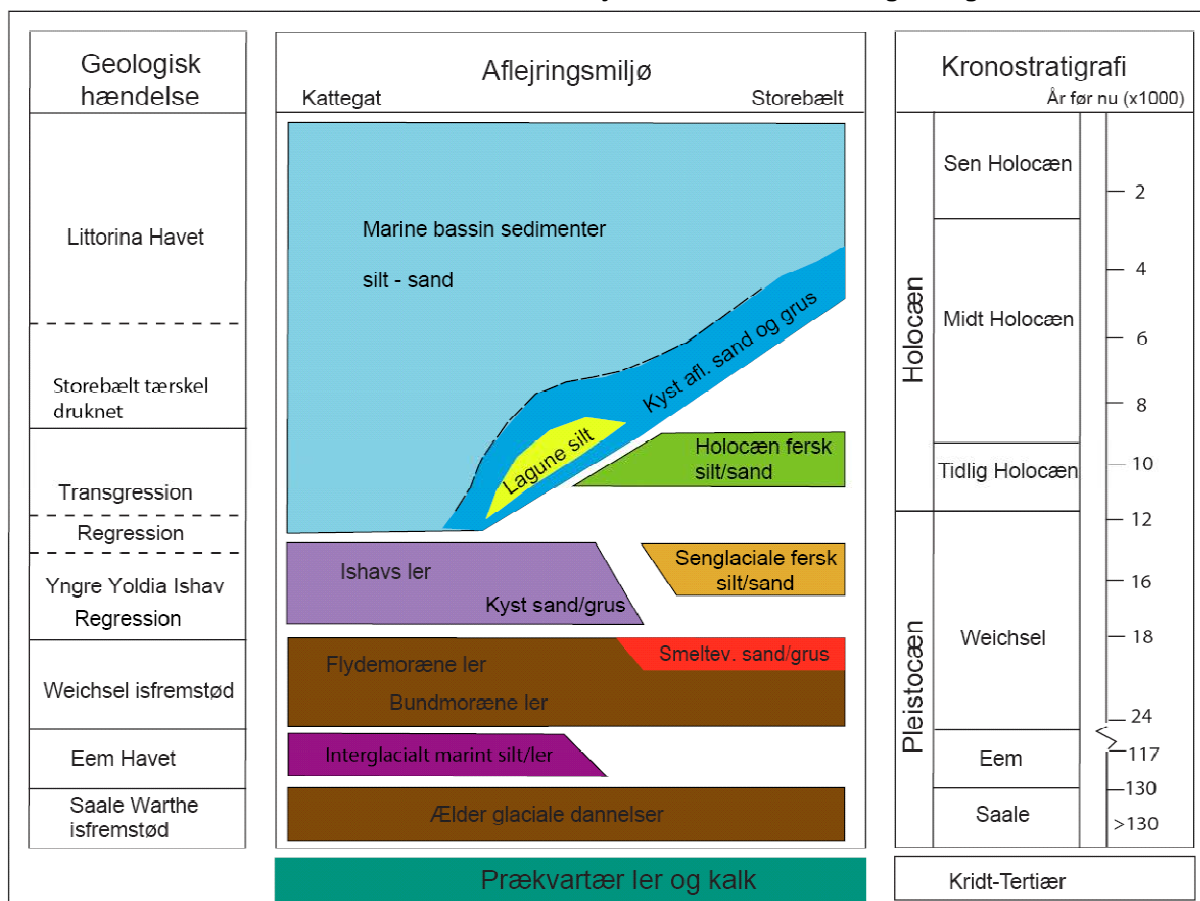
Weichsel istiden har ligeledes sat sit præg med formodede dislokationer og morænedannelser og specielt har den afsluttende deglaciation modeleret landskabet i form af randmorænestrøg skabt af recessive gletsjerfremstød, proximale smeltevandssletter afsat umiddelbart foran gletsjeren og op til 150 m tykke glaciomarine lerede sedimenter i den centrale del af Kattegat. Af disse aflejringstyper er det i særlig grad de proximale sandede og grusede smeltevandsaflejringer, der kan være af interesse for råstofindustrien.



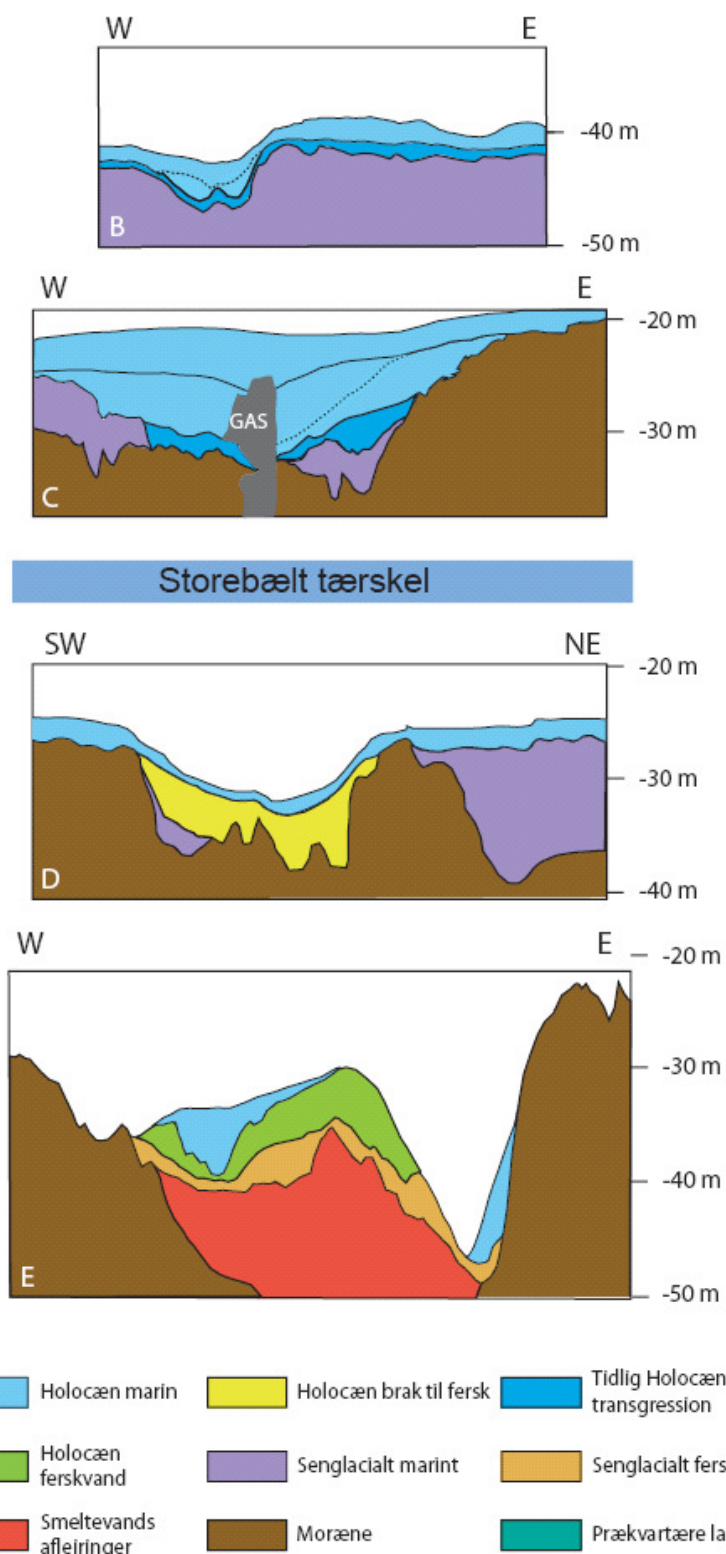
Figur 7. Morfologisk kort over sydligste del af Kattegat og nordlige Storebælt. Placeringen af idealiserede geologiske profiler A til E er angivet.



Figur 8. Idealiseret geologisk profil A fra nordøst til sydvest fra den dybe del af Kattegat ved Anholt til nord for Storebælt tærsklen ud for Djursland. For lokalisering se Figur 7.



Figur 9. Stratigrafisk tidsskema for Kattegat syd området.



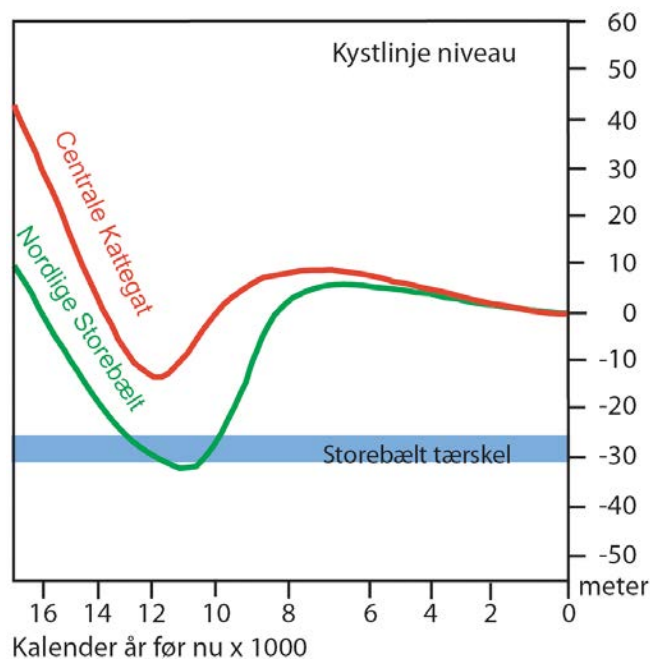
Figur 10. Idealiseret geologiske profiler B til E på tværs af Storebælt nord og syd for tærsklen. For lokalisering se Figur 7.

Ud over de glacielle kræfter har det skiftende havniveau haft stor betydning for tilstedeværelsen af potentielle råstofområder. Kombinationen af et stigende ocean-havniveau og en lokalt meget varieret hævningsstakt af jordskorpen på grund af tyngdeaflastningen fra den bortsmeltede gletsjer, har medført komplicerede resulterende relative kystlinjændringer helt frem til vore dage (Figur 11).

Da Weichsel isen smeltede endeligt bort fra det sydlige Kattegatområde for omkring 17 000 år siden, var det relative havniveau således højere end det nuværende i Kattegat, og Yoldia Ishavet havde forbindelse over det nuværende Vendsyssel til verdenshavet. I den nordlige del af Storebælt var havniveauet tæt på nutidens niveau og efterhånden som den centrale del af Storebælt smeltede frem, lå havspejlet her under det nuværende havniveau.

Gradvist faldt havniveauet i undersøgelsesområdet, store dele af det sydlige Kattegat område blev tørlagt, og Østersøen blev til en inddæmmet sø. I Storebælt blev der ligeledes aflejret lokale søsedimenter. Østersøen blev igen gradvist marint i forbindelse med Littorina Transgressionen, hvor Storebælt tærsklen ud for Grenå blev transgrederet for omkring 9500 år siden. I forbindelse med den detaljerede beskrivelse i de følgende afsnit (4.2 til 4.7) præsenteres en serie af palæogeografiske kort, der illustrerer udviklingen siden gletsjerafsmeltningen.

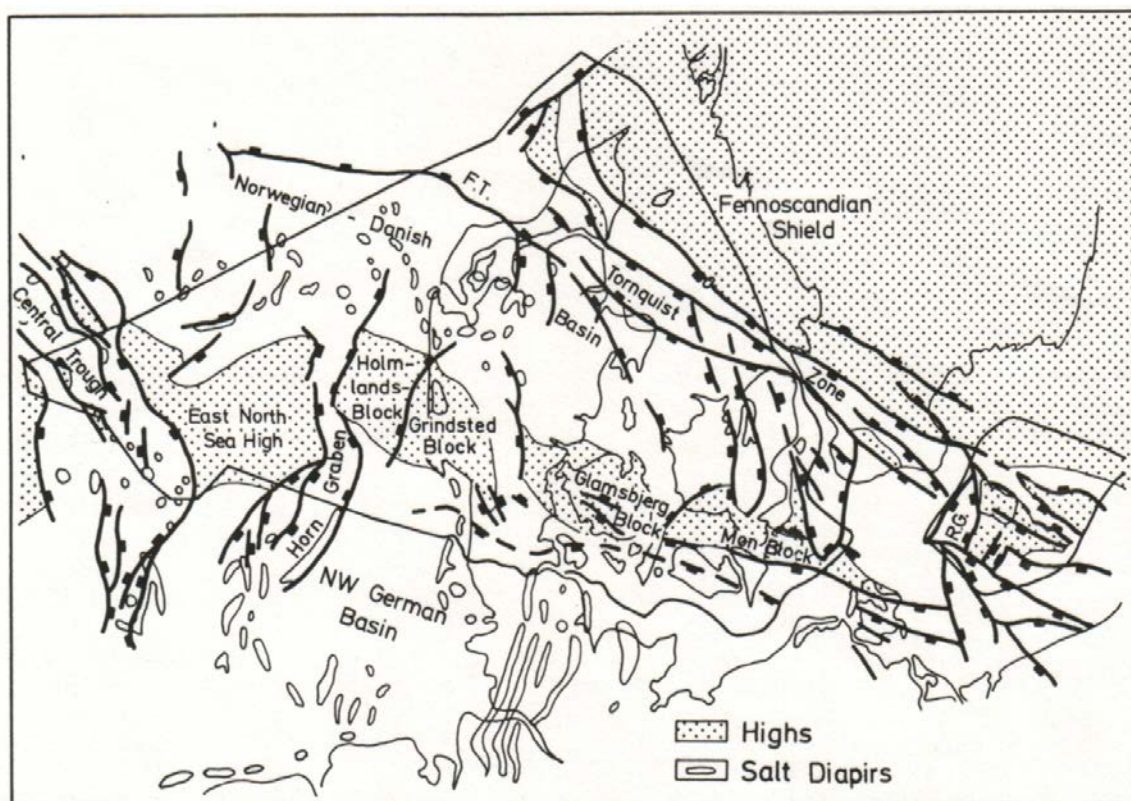
De råstofmæssige konsekvenser af den Sen- og Postglaciale udvikling er, at der kan findes proximale kystdannelser med chance for sand og grus aflejringer i hele Kattegat syd undersøgelsesområdet ned til nuværende vanddybder på op til ca. 35 m. Her må der forventes kystaflejringer, hvor der har været morfologiske elementer, så som glacielle rygge eller ved palæo Storebælts udløbet. I den nordlige del af Storebælt kan der evt. findes to generationer af kystdannelser, dels første generation tilhørende det sen-glacielle Yoldia Ishav og dels efter den tidlige Postglaciale regression den 2' generation i forbindelse med Littorina Havets transgressive kystdannelser.



Figur 11. Vertikale kystlinje forskydningskurver i centrale Kattegat og nordlige Storebælt omkring Storebælts tærsklen.

4.1 Prækvarter sedimenter og strukturer

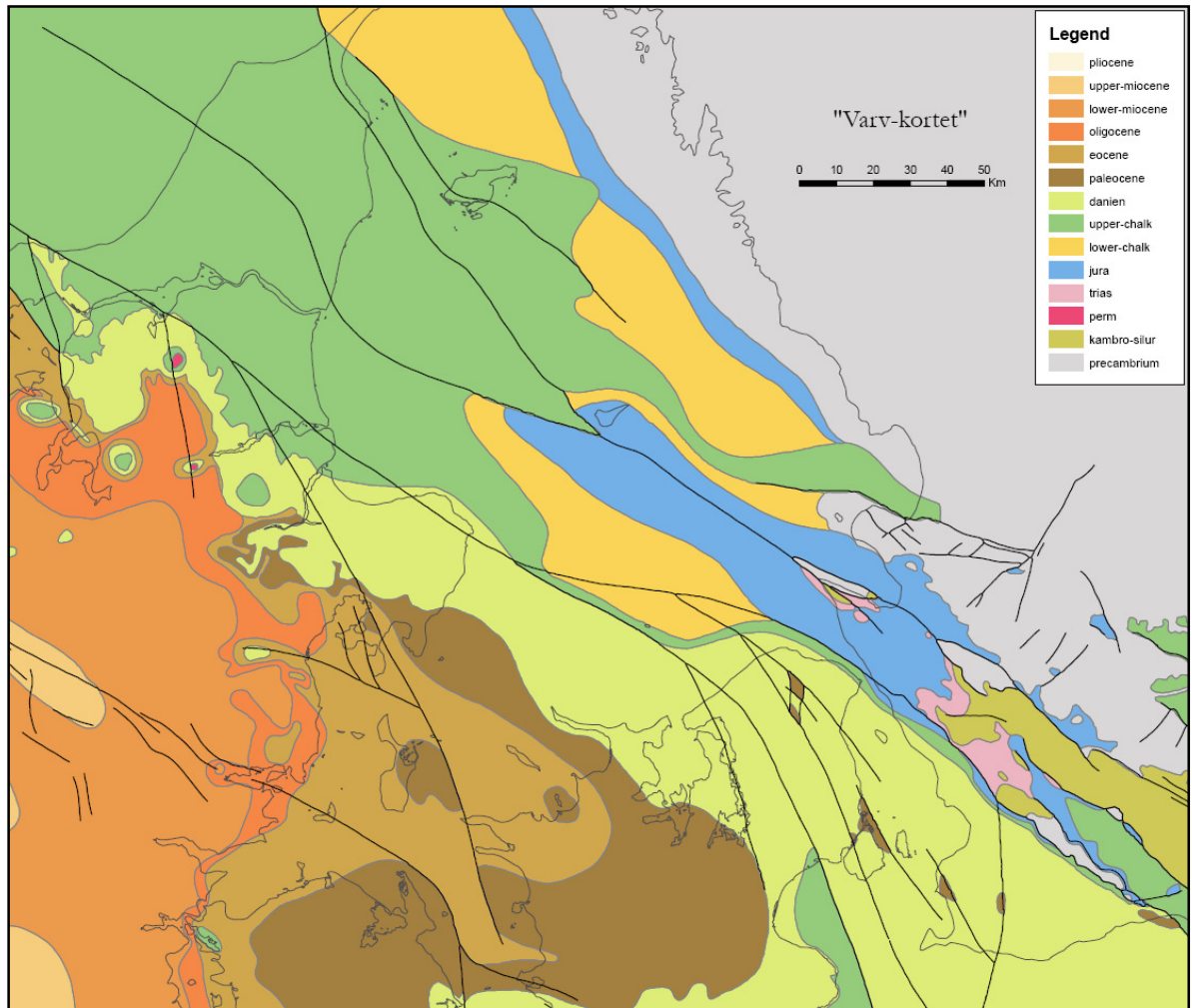
Den generelle geologiske arkitektur i den sydlige og centrale del af Kattegat er domineret af den tektonisk aktive Fennoskandiske Randzone, som i varierende grad har været tektonisk aktiv i flere hundrede mio. År (Liboriussen et al. 1987). Den sidste og vigtigste aktive periode er Sen-Kridt – Tertiær hævnningen af området i et nordvest – sydøst orienteret højdedrag, der er dannet som et resultat af sideværts forkastninger i Tornquist zonen (Figur 12) (Thomsen et al. 1987). Der registreres stadig jordskælvsaktivitet i området (Gregersen et al. 1996, Glendrup, Gregersen og Voss 2010) og, shallow seismiske undersøgelser (Jensen et al. 2002) viser tilstedeværelsen af normalforkastninger, der viser forsætninger på 10 tals meter i de senglaciale marine sedimenter.



Figur 12. Generelle strukturelle elementer i Danmark (Fra Thomsen et al. 1987).

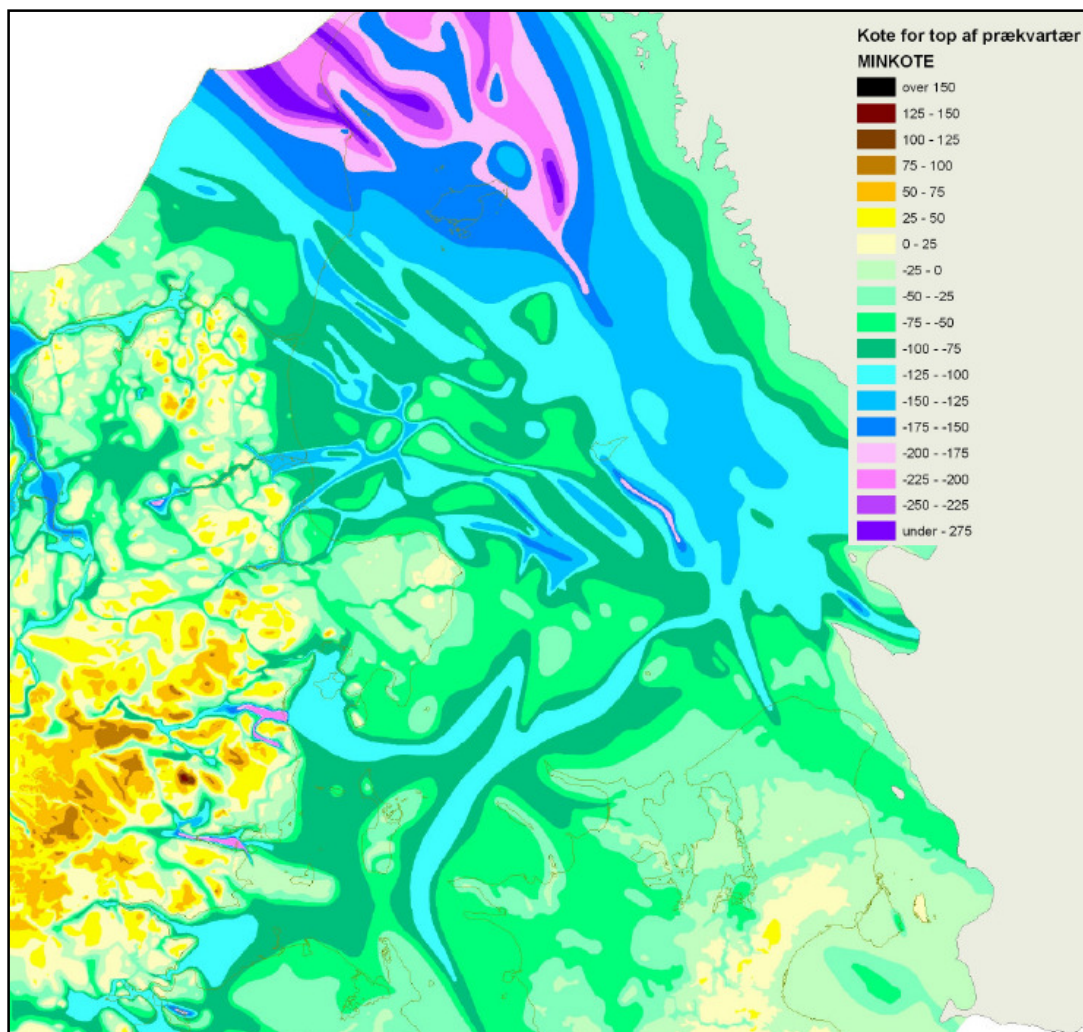
De prækvarter lag er styret af den komplekse forkastnings udviklingshistorie langs den Fennoskandiske randzone, hvilket har resulteret i et domino lignende Prækvarter overfladekort (Figur 12), med bjergarter spændende fra Jura til Eocæn i Tertiær perioden (Figur 13).

Den præ-Kvarter stratigrafi og overflademorfologien er blandt andet blevet studeret af Gyldenholm et al (1993), Lykke – Andersen et al. (1993) og Binzer & Stockmarr (1994).



Figur 13. Den prækvartære geologi i Kattegat. (Fra Haakonsson & Pedersen, 1992, Varv Prækvartær kortet).

Dybden til Prækvartæret er meget svingende fra omkring 25 m ud for Djursland til i størrelsesordenen 150 m i en forkastningsblok sydøst for Anholt (Figur 14). Ud over seismiske oplysninger findes der kun få borer, som dokumenterer de prækvartære lag og dybden til dem.



Figur 14. Udsnit af kort over kote af top Prækvartær i Kattegat (Fra Binzer & Stockmarr, 1994).

4.2 Præ-Weichsel glaciale og interglaciale aflejringer

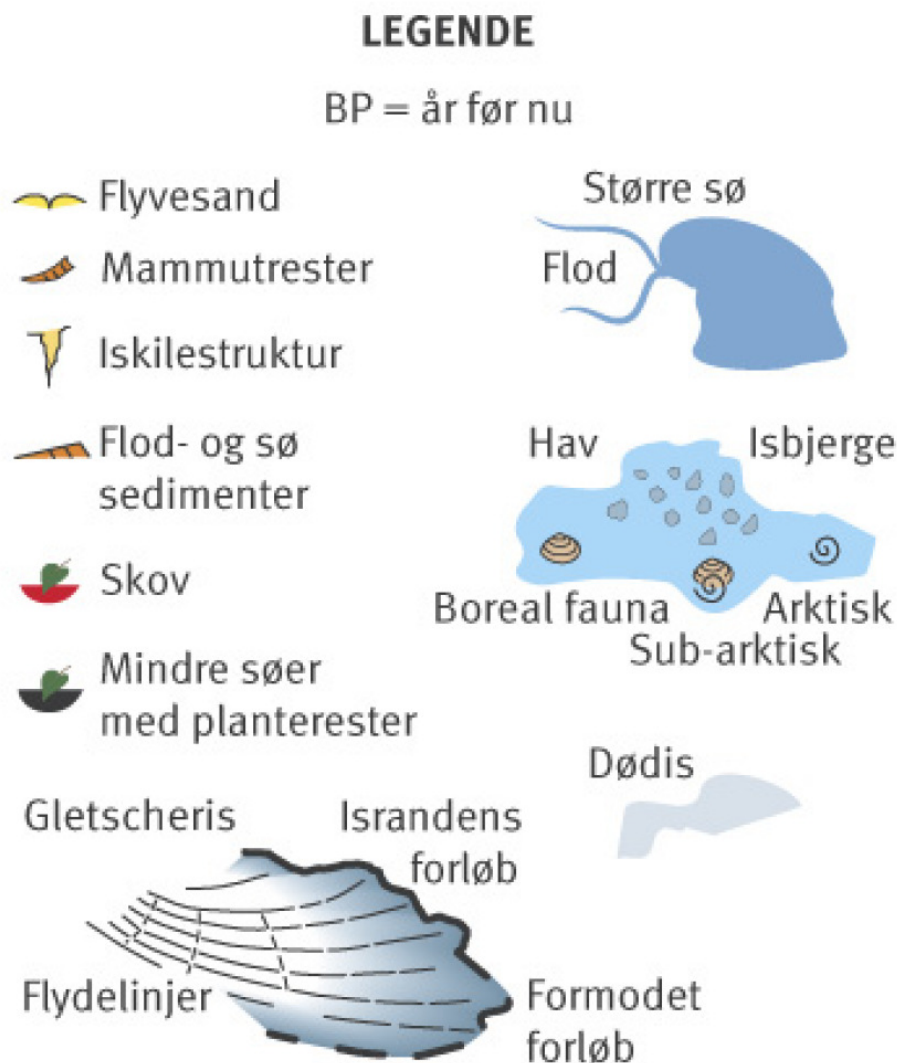
De ældste Kvartære lag er, ud over seismiske undersøgelser (Gyldenholm et al. 1993, Lykke-Andersen et al. 1993), kun dokumenteret i få dybe borer, som dog dokumenterer tilstedeværelsen af Saale moræner, samt marine Eem interglaciale aflejringer i den nordlige del af Kattegat. De vigtigste borer er Anholt boringen, Læsø boringen og Skærumhede I og II borerne ved Frederikshavn. Der er skrevet meget om den kvartære stratigrafi med udgangspunkt i disse borer, senest i tidsskriftet *Boreas* i 2009, hvor der udkom 4 artikler som i detaljen beskriver den senkvartære udvikling og opsummerer tidligere litteratur (Krohn et al. 2009, Knudsen et al. 2009, Larsen et al. 2009a, Larsen et al. 2009b). Data grundlaget er således delvist hentet nord for Kattegat syd undersøgelsesområdet, men er ligeledes dækkende her.

4.2.1 Saale moræne enhed

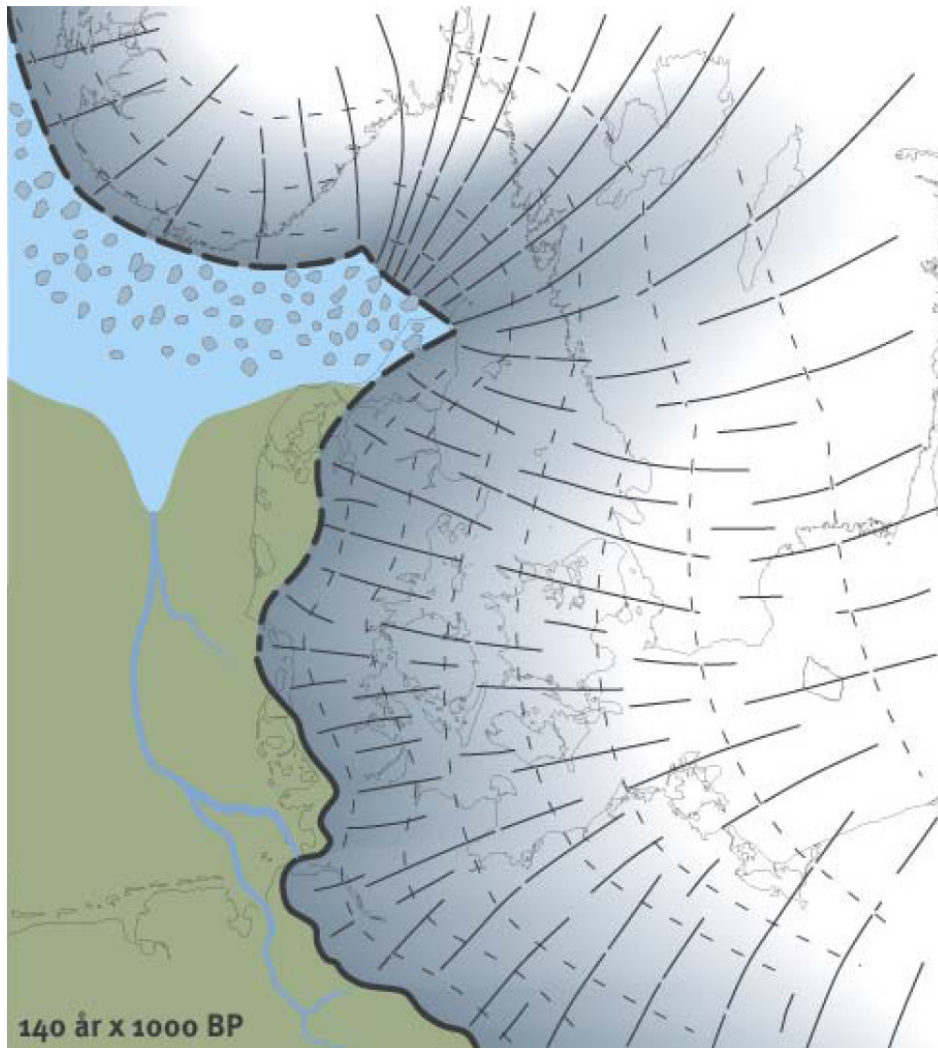
Den første dokumenterede glaciale hændelse tilskrives sen Saale Warte isfremstødet fra 160 – 140 000 år før nu, som bevægede sig i en øst-vestlig retning og nåede den vestlige del af Nordsøen.

Sandede og lerede moræneaflejringer med grus, sten og blokke fra Saale kendes således fra Horns Rev området (Larsen 2003, Larsen & Andersen 2005, Jensen et al. 2008) og videre mod nord op ad Jyllands Vestkyst, hvor forlængelsen af Saale bakkeøerne er fundet mindst 20 km mod vest ude i Vesterhavet (Leth et al., 2001; Anthony, 2001; Leth, 2003). I disse bakkeøer træffes både moræne og smeltevandsaflejringer.

I Kattegat området er Warte morænen truffet blottet i den vestlige del af skåne (Klingberg 1996), men ellers findes den kun registreret som Skærumhede moræne formationen i de dybe boreriger omtalt i afsnit 4.2.2.



Figur 15. Legende for palæogeografiske kort. Figur 16 til Figur 21. I følge Houmark-Nielsen et al., Geoviden 2005 nr. 2.



Figur 16. Udbreddelsen af Saale istidens Warthe gletsjer. I følge Houmark-Nielsen et al., Geoviden 2005 nr. 2.

4.2.2 Eem Mellemistid aflejringer

Saale istiden blev afløst af Eem mellemistiden, der begyndte for 130.000 år siden og sluttede for 117.000 år siden. I den varmeste del af Eem var klimaet lidt varmere og mere fugtigt end i dag. Eem havet, med et havniveau nogle meter over det nuværende trængte frem og oversvømmede de lavereliggende landområder, så fordelingen af land og hav minder en hel del om nutidens. Vendsyssel blev havdækket, og der opstod en række sunde, som forbandt Nordsøen og Kattegat med Østersøen. De marine Eem sedimenter er veldokumenteret i Vendsyssel området (Skærumhede boringerne) og på Anholt samt i de dybere dele af Kattegat syd omkring Anholt (Gyldenholm et al. 1993), medens der i de mere lavvandede

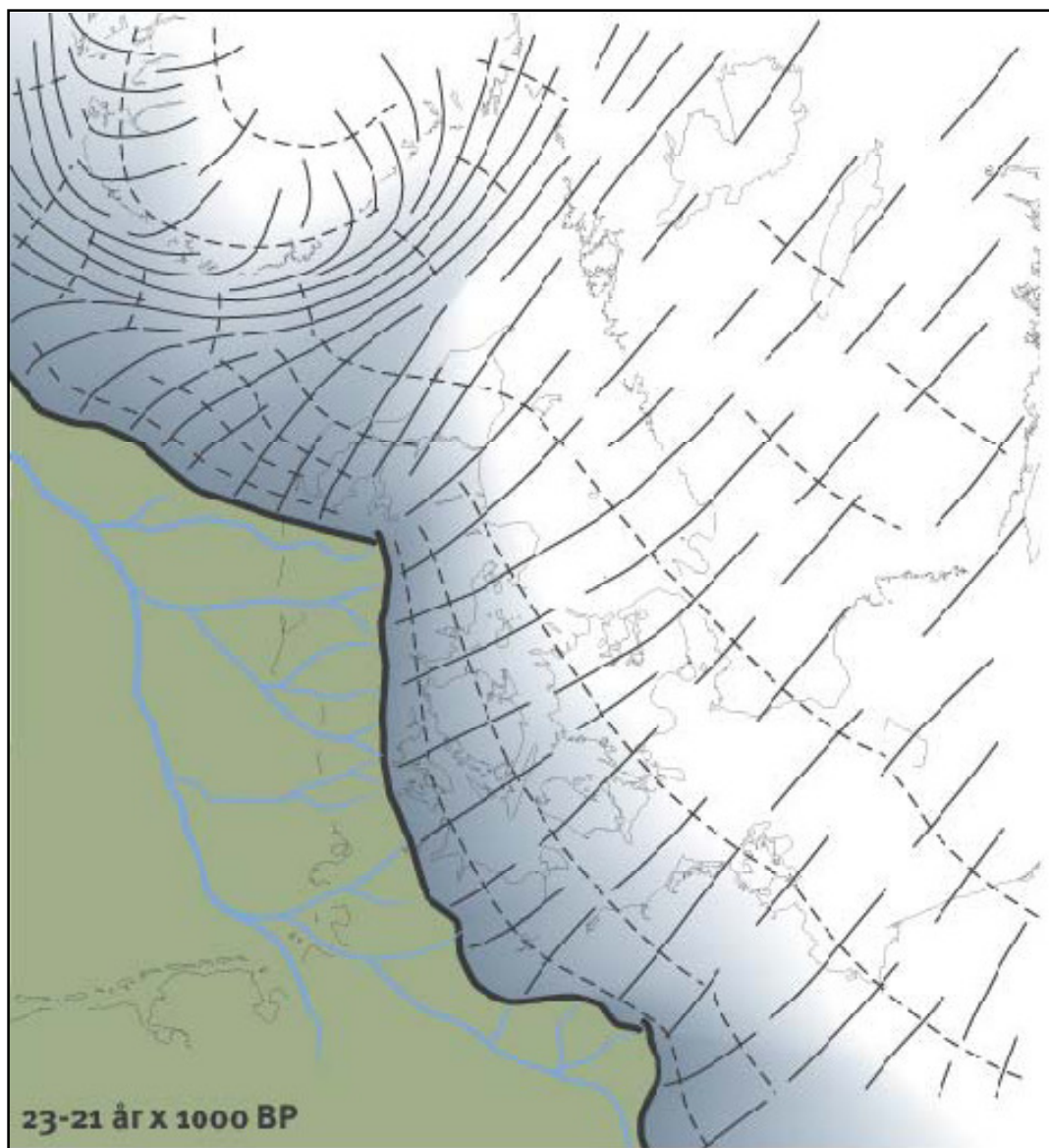
områder ved Nordsjællandskysten og på land i dette område, kun findes Eem aflejringer dislokeret med i de glaciale Weichsel aflejringer.



Figur 17. Eem havets udbredelse i det danske område I følge Houmark-Nielsen et al., Geoviden 2005 nr. 2.

4.3 Weichsel glaciale aflejringer

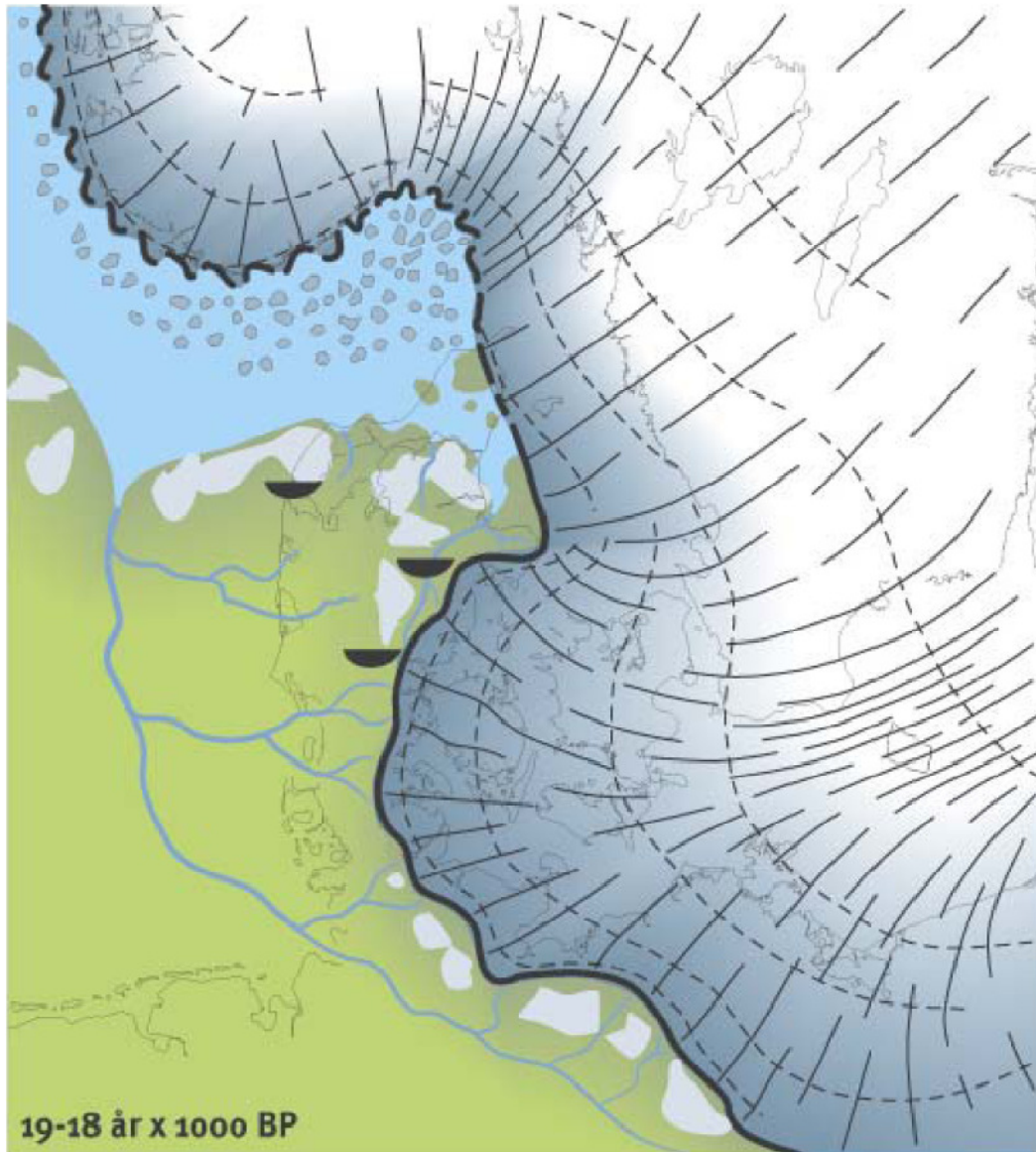
I Weichsel istiden har Kattegatområdet generelt ligget i randzonen mellem den skandinaviske iskappe og de proglaciale områder, hvilket har medført et antal gletsjer isfremstød, men også interstadiale perioder med skiftende marine og ferskvands bassinaflejringer. Igen er det de dybere borer, der har afsløret de skiftende Weichsel formationer, som generelt ikke er dokumenteret på havbunden i den sydlige del af Kattegat. Der er ingen tegn på tilstedeværelse af sand og grus råstofressourcer i Weichsel sedimenterne fra perioden inden Weichsel Hovedopholdslinje fremstødet for ca. 23 000 år siden (Geoviden 2005, 2).



Figur 18. Maksimale udbredelse af isskjoldet over sydkandinavien i Sen Weichsel for omkring 23-21 000 år siden. I følge Houmark-Nielsen et al., Geoviden 2005 nr. 2.

Weichsel Hovedopholdslinjen blev afløst af den endelige Weichsel afsmeltning, kun afbrudt af mindre recessive isfremstød (Figur 18 og Figur 19), der dog har sat markante spor i landskabet i form af randmorænestrøg og smeltevandsslette sand og grus aflejringer.

Tidligere undersøgelser har afsløret eksistensen af Sen – Weichsel smeltevandssand og grusressourcer i Kattegat syd området og i Storebælt regionen, som til dels er udpeget som råstofområder i fællesområder, så som Bolsaksen og Grønne Revle. Men den geologiske model viser, at der er mulighed for tilstedeværelse af yderligere smeltevands sand og grus aflejringer i regionen.

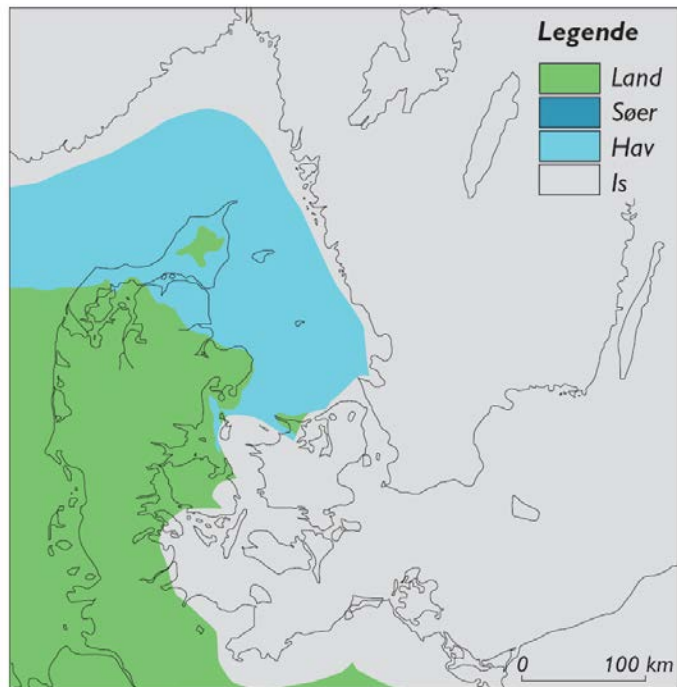


Figur 19. Recessivt isfremstød og starten på Yngre Yoldia Hav omkring 19 000 år før nu. I følge Houmark-Nielsen et al., Geoviden 2005 nr. 2.

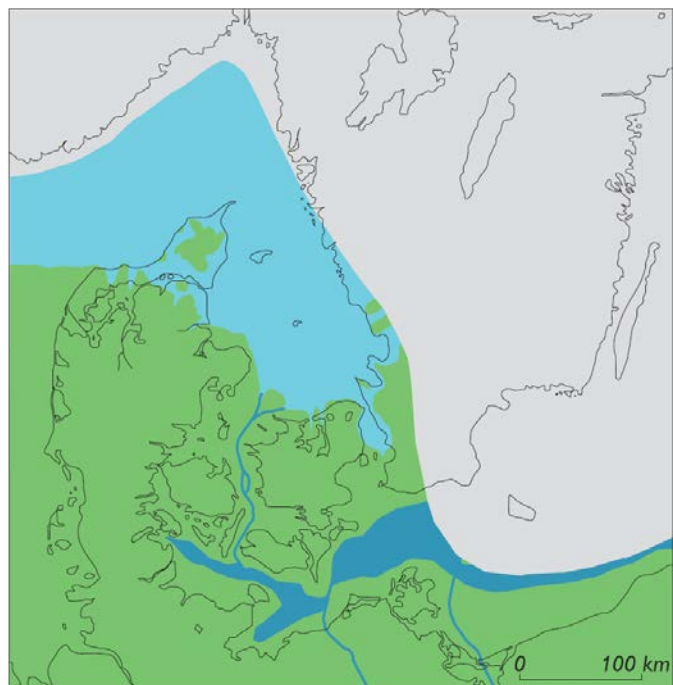
4.4 Senglaciale marine sedimenter (Yngre Yoldia Ishav)

Da isen smeltede tilbage, lå størstedelen af Danmark over havet på nær Vendsyssel og Kattegat, hvis lavere dele var dækket af Yngre Yoldia Ishavet for omkring 18 000 år siden (Figur 20).

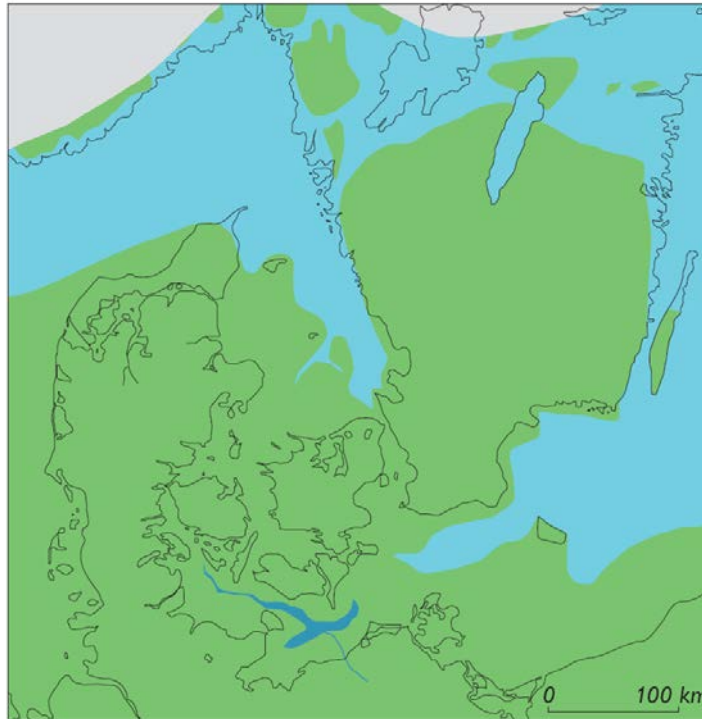
I takt med Weichsel israndens tilbagesmeltning øgedes udbredelsen af Yngre Yoldia Ishavet med aflejring af store mængder marint ler, der generelt findes som dæklag oven på de glaciale lag på vanddybder over 30 m (Figur 8). Den relative sænkning af havniveauet (Kystlinje sænkning) i perioden for 17 000 – 11 500 år siden (Figur 11) medførte en regression af kystlinjen (Figur 21), som nåede et minimum på -35 m omkring 11 500 år før nu (Figur 22).



Figur 20. Weichsel gletsjerens generelle afsmeltningfaser blev afbrudt af recessive isfremstød. Palæogeografisk kort 18 000 før nu (Fra Jensen et al., Geologi, nyt fra GEUS 2002).



Figur 21. Skitse af Weichsel isens tilbagesmeltning for 15 000 år siden i Sen Weichsel (Fra Jensen et al., Geologi, nyt fra GEUS 2002).



Figur 22. Laveste senglaciale regressions niveau i Kattegat 11 500 år før nu. (Fra Jensen et al., Geologi, nyt fra GEUS 2002).

De palæogeografiske kort fra Kattegats Yngre Yoldia Havs tidlige fase viser (Figur 21 og Figur 22), at der teoretisk set har været mulighed for at kystprocesser har eroderet de friske glaciale sedimenter og aflejret paraglaciale sand og grus kystaflejringer. Det er ikke en teori, som ind til videre er fulgt op af egentlige undersøgelser, men i flere flakdannelser i den nordlige del af Storebælt (som eksempel Mosel Grund), er der observeret en seismisk 2 deling af kystsekvenserne, som eventuelt kan skyldes at der både har været kystdannelser i den tidlige senglaciale Yngre Yoldia Ishavs periode og igen i forbindelse med Littorina Havets holocæne transgression af området.

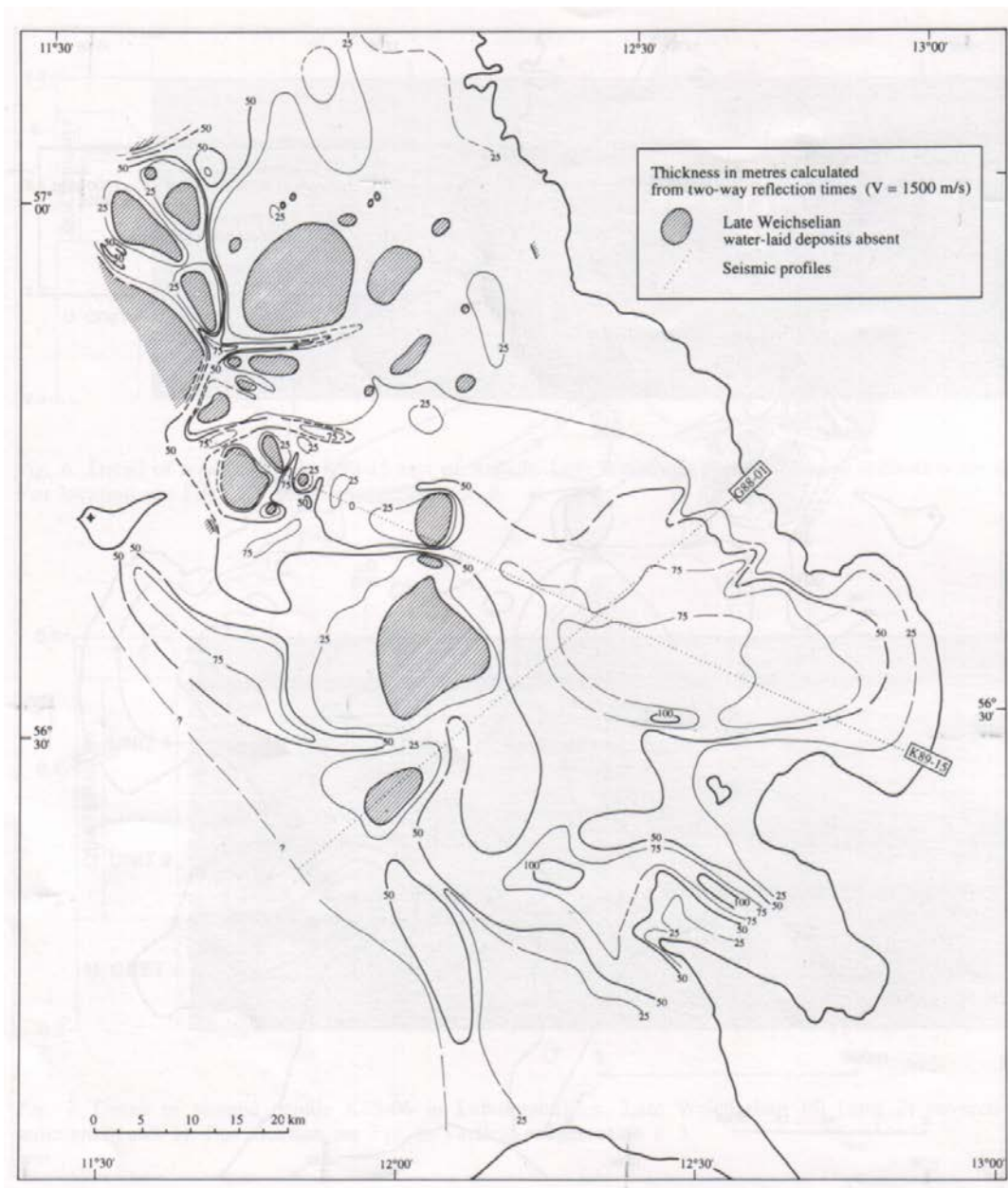
Det senglaciale Yngre Yoldia Ishav ler er primært kortlagt nord for Storebælt udløbet som udfyldninger af de dybe blokforkastninger, der har været særdeles aktive i den senglaciale periode (Jensen et al 2002). Bloksystemet fremgår tydeligt af Figur 23, der viser den sydlige del af Kattegat omkring Anholt, hvor Gyldendal et al. (1993) har kortlagt fordelingen af tykkelsen af Yngre Yoldia Ishav ler. Mod syd er aflejringerens udbredelse begrænset af det højtliggende glaciale landskab.

De senglaciale marine sedimenter i området består primært af lamineret ler med indslag af silt og fint sand. Det marine ler er karakteriseret ved at være akustisk semi-transparent med parallelle reflektorer (Figur 24), som tilnærmelsesvis følger den underliggende topografi (Jensen et al. 2002). Den øvre afgrænsning er karakteriseret med en erosions unkonformitet i niveauet 30 til 50 m under havoverfladen og kan relateres til den hurtige havniveau-augmentation i Holocæn.

Det generelle parallelle reflektionsmønster antyder en jævn aflejningsrate og lagdelte aflejringer. Det draperende udseende indikerer hurtig sedimentation fra suspension og stemmer

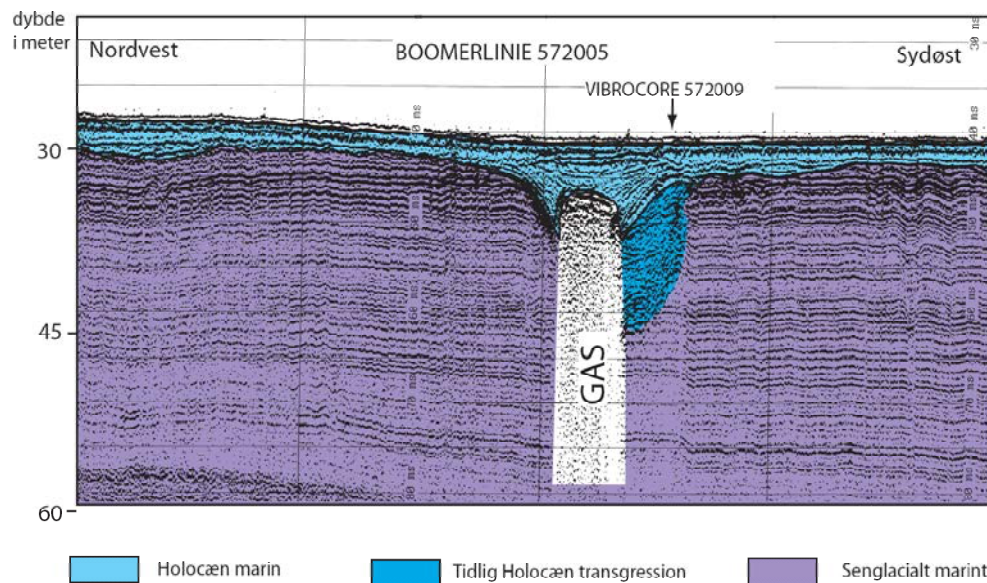
godt overens med rytmisk ændring i kornstørrelse, hvilket er typisk for de processer der hersker i et proglacialt miljø (Smith og Ashley, 1985).

I en boring i Skagerrak har Haugwitz og Wong (1993) identificeret ishavets sedimenter, som overlejrer en moræneenhed. Heraf kan det konkluderes, at den marine forbindelse mellem Skagerrak og Jyske Rev allerede blev etableret i slutningen af den glaciæle periode.

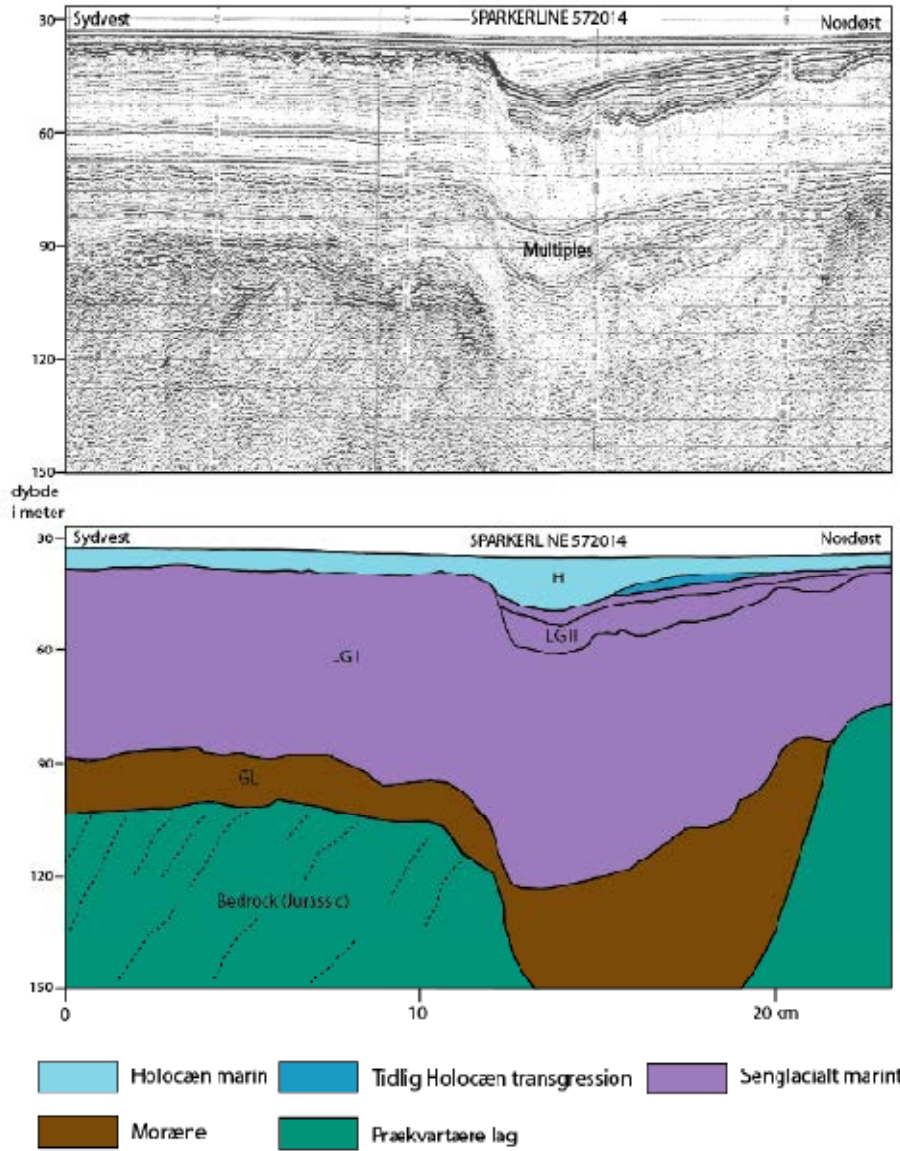


Figur 23. Tykkelsen af Yngre Yoldia Ishavets lerede sedimenter i Kattegat (fra Gyldenholm et al. 1993).

Den relative sænkning af havniveauet (kystlinje sænkning) i perioden for 17 000 – 11 500 år siden (Figur 11) medførte en regression af kystlinjen, som nåede et minimum på -35 m omkring 11 500 år før nu. På det tidspunkt var størstedelen af undersøgelsesområdet over havniveau frem til den efterfølgende holocæne transgression, og kanaler eroderedes ned i den senglaciale marine lerflade. Dette har resulteret i en hiatus, hvor der generelt kun har kunnet udvikles jordbunde og dannes tørv i fugtige lavninger, samt at et kraftigt vindregime har kunnet forårsage, at æolisk sand har kunnet aflejres. Dette kan registreres på de seismiske profiler, hvor en unkonformitet viser, at der er en erosions flade i toppen af den glaciomarine enhed (Figur 25).



Figur 24. Boomerprofil der viser Yngre Yoldia Ishav ler parallelle reflektorer med en øvre erosive unkonformitet til marine holocæne kanal og transgressive sedimenter.



Figur 25. Sparkerprofil syd for Anholt med prækvartære lag dækket af glaciale sedimenter, senglacialt Yngre Yoldia Ishav ler samt tidlig Holocæn transgressions sand, dækket af yngre finkornede marine sedimenter.

4.5 Tidlig holocæne kanaludfyldninger og initiale transgression

Den sen-glaciale regression nåede sit minimum på grænsen til den holocæne præboreale periode omkring 11 500 år før nu med et minimum på omkring -35 m under nuværende havniveau.

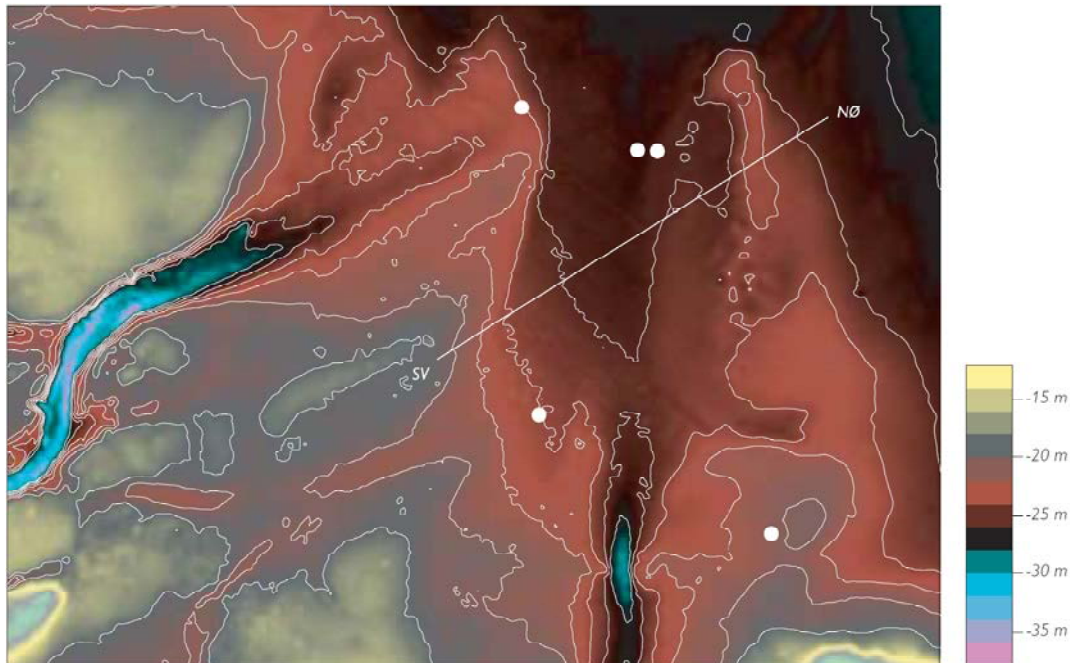
Dybe kanaler havde skåret sig ned i den sydlige del af Kattegats glaciale og sen-glaciale dannelser, og de første tegn på den efterfølgende holocæne transgression var begyndende kanaludfyldninger ofte med sandede og endda grusede sedimenter.

Eksempler på kanaludfyldningerne er fundet i området syd for Anholt og i særdeleshed i palæo Storebælt kanalerne (Figur 24 og Figur 10). Der er ingen tvivl om, at der kan være sand og grus råstofpotentiale i kanaludfyldningerne, men i reglen er disse sedimenter overlejret af finkornede sedimenter repræsenterende de mere recente aflejningsforhold.

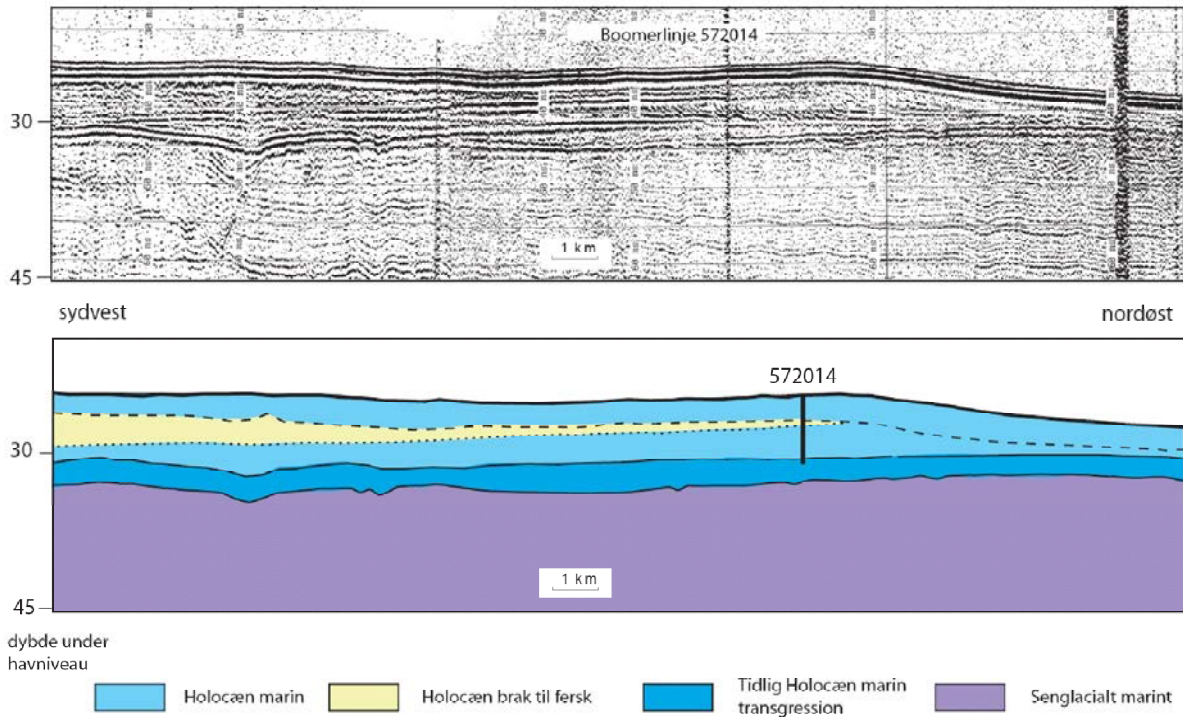
4.6 Tidlig holocæne druknede kystaflejringer som eksempelvis et estuarie – lagune system

Den sydlige del af Kattegat er et lavvandet overgangsområde ved indgangen til Storebælt. På grænsen mellem Yngre Dryas og Præboreal begyndte havniveauet at stige, fordi den eustatiske havstigningstakt begyndte at overstige den isostatiske landhævning og et estuarie – lagune system blev dannet i den indledende fase af den holocæne transgression.

De første seismiske data og borer, der blev indsamlet, pegede på eksistensen af en temmelig simpel barriere kyst med et lagune system bag ved (Figur 27).



Figur 26. Detaljeret udsnit af bathymetriske kort (Figur 3) der viser druknet estuarie - barriere lagune system ved munden af to fossile nedskårne Storebælt kanaler. Borer og tværsnit (se figur 28) er angivet.



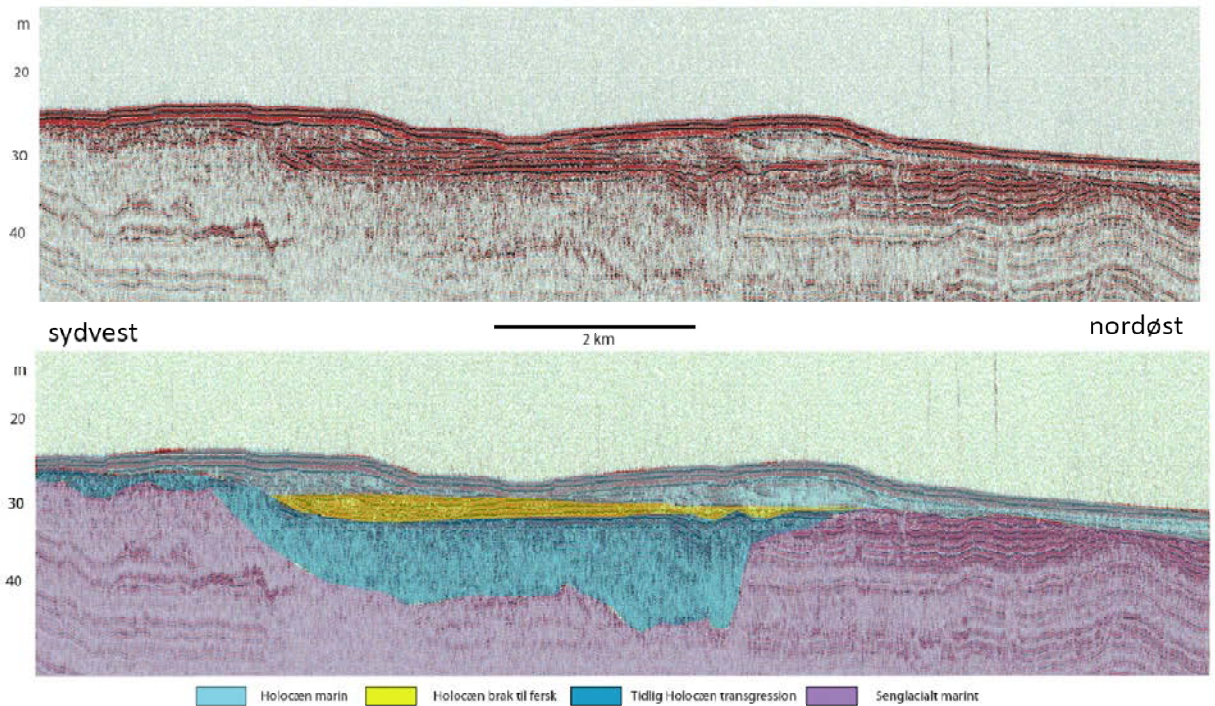
Figur 27. Boomerprofil på tværs af barriere - lagune systemet.

Dette er beskrevet i Bennike et al. (2000), men supplerende detaljerede dybde data, som blev stillet til rådighed af Farvandsvæsenet viser, at der er bevaret et druknet oddesystem ved munden af to nedskårrede palæo Storebælts kanaler (Figur 28). Disse kanaler udmundede i det daværende Kattegat (Figur 26).

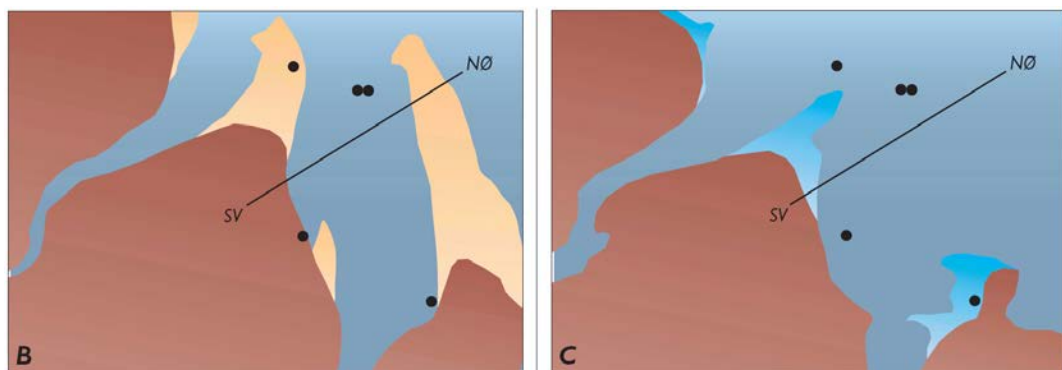
På basis af de indsamlede data er det muligt at rekonstruere den geologiske udvikling af kystsystemet. I begyndelsen dominerede sandede og grusede sedimenter det transgressive kystsystem på nuværende vanddybder af 30 til 35 m (Figur 30 profil a). Som tiden gik, udvikledes der gradvist beskyttende sandodder foran flodmundingerne og på læsiden af odderne aflejredes lamineret silt og ler (Figur 30 profil b).

Systemet var fuldt udbygget, da transgressionen havde nået et niveau på omkring 28 m under nuværende havniveau for ca. 10 500 år siden. På det tidspunkt var den nordligste odde en omkring 10 km lang barriere, som beskyttede et stort ler-silt sedimentations bassin (Figur 30 profil b og Figur 29). Den fortsatte transgression bevirkede, at barrieren gradvis steppede baglæns, og da transgressionsniveauet havde nået 24 m under nuværende havniveau, druknede hele systemet. Efter denne hændelse udvikledes der nye oddesystemer i kystzonen længere mod syd (Figur 30 Profil C og Figur 29).

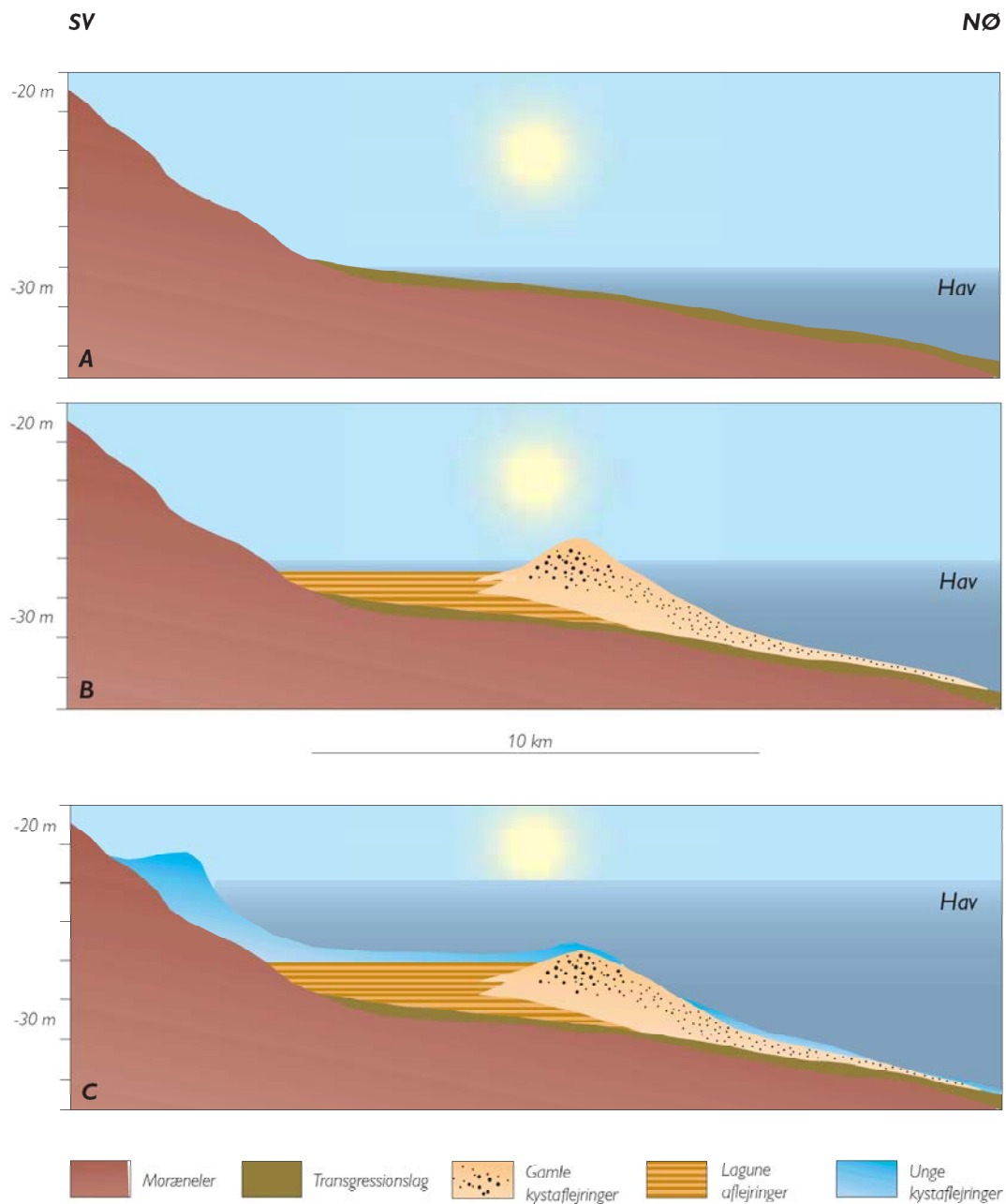
Boomer 572017



Figur 28. Boomerprofil med udfyldt kanal overlejret af lagune sedimenter og transgressive kystaflejringer.



Figur 29. Palæogeografiske kort der viser oddesystemets backstepping. B: Oddesystemet da transgressionen var på omkring 28 m under nuværende havniveau. C: Oddesystemet da transgressionen havde nået omkring 24 m under nuværende havniveau. Profil og signaturer se Figur 30.



Figur 30. Transgressive udvikling af barriere - lagune systemet.

A: Initiale transgresssion var domineret af sandede og grusede aflejringer.

B: Der udvikledes gradvist beskyttende sanddodder, og på læsiden aflejredes lamineret ler og silt. Havniveauet var 28 m under nuværende havniveau.

C: Da transgressionen havde nået 24 m under nuværende havniveau druknede systemet, og der udvikledes nye oddesystemer i kystzonen længere mod syd. Palæogeografiske kort se Figur 29.

Systemet beskrevet ovenfor udviklede sig fra en indledende estuarie fase med udstrømning direkte i Kattegat fra de 2 palæo Storebælts floder. Gradvist blev flodmundingerne mere beskyttede af det voksende oddesystem, der efterhånden udviklede sig til et barriere – lagune system. Vibrationsboringerne fra det beskyttede området bag barrieren indeholder finlamineret ler – silt, som peger på lavenergi hydrodynamiske forhold med kun en begrænset indflydelse fra floderne og uden antydninger af tidevandsbevægelser.

Studier af plante og dyre makrofossiler viser, at lagunens sedimenter indeholder en blanding af arter, der levede i forskellige miljøer: i havet, i brakvand, i søer, moser og på land. Analyser af foraminiferer indikerer et lavvands marint miljø med stor variation i temperatur og saltholdighed forårsaget af ferskvand.

Det omtalte estuarie - lagune system er et godt eksempel på aflejningsforholdene i den sydlige del af Kattegat under den tidlige holocæne transgression i intervallet fra omkring 28 – 24 m under nuværende havniveau. En nøjere gennemgang af det bathymetriske kort (Figur 3) viser at netop i dette dybdeinterval findes en del former, der kunne relateres til mulige kystdannelser i trekantsområdet mellem Anholt, palæo Storebælts munden og Lyse Grund. Det formodes, at der kan være mulighed for både at finde transgressive grus dannelser og sandede oddedannelser.

4.7 Holocæne druknede transgressive kystaflejringer

Det glacielle landskab i de lavvandede (lavere end 25 m) og kystnære områder er præget af moræneaflejringer. Disse har været kildeområde for sandede og grusede druknede kystakkumulationer. Dette palæolandskab druknede successivt under den postglacielle havspejlsstigning. I forbindelse hermed har der gennem flere faser været muligheder for kystudviklinger med aflejring af kystdannelser som strandvolde og odder (Figur 31).

Som det fremgår af sedimentkortet (Figur 39) er den arealmæssige udbredelse af moræne ganske stor. Kildeområdet for de grusede materialer er, som for sandets vedkommende, de højtliggende morænelersområder. På grundlag af det eksisterende prøvemateriale af grabprøver og boringer har det været muligt at skelne mellem grusede erosions restaflejringer og strandvolds/odde dannelser.



Figur 31. Transgressionsniveauet umiddelbart før Storebælts tærsklen blev transgrederet omkring 9500 år før nu. Bemærk de mange øer og odder med potentiel mulighed for kystaflejringer i Kattegat syd området.

4.7.1 Grus erosionsrest aflejringer

Erosionsrestsedimenterne er dannet i forbindelse med udvaskning/erosion af moræneler. Der er tale om et blandings sediment bestående af sand, grus og småsten.

Indholdet af grus (> 2 mm) er i denne sedimenttype hyppigt større end 50 %. På grund af en relativ kort transportvej og lav grad af omlejring, må sedimentet betegnes som umodent og kan indeholde porøs flint. Grustypen udgør tynde lag, som evt. kan findes over større sammenhængende områder indenfor vanddybder fra mindre end 10 m til omkring 30 m. Udbredte morænebunds arealer ud for den nordlige del af Djursland er et godt bud på den type bund.

4.7.2 Sandede- og grusede strandvolds- og oddedannelser

Den gradvise holocæne transgression af den sydlige del af Katttegatområdet har givet ophav til dannelse af sand og grus akkumulationer i forbindelse med strandvolds- og/eller oddedannelser. Disse sedimenttyper har på aflejringstidspunktet været knyttet til en glacial kyst af moræneler. Der er tale om modne sedimenter af velafrundede klaster uden eller med et meget lavt indhold af porøs flint og andre let-forvitrende mineraler. Denne sand- og grustype er dokumenteret i en række fællesområder (Figur 6) så som Lyse Grund, Store Middelgrund, Mosel Grund og Marta Flak.

Det er sandsynligt, at lignende kystdannelser kan genfindes andre steder i den sydlige del af Kattegat ud fra den eksisterende viden om kystudviklingen over området i denne periode. Ud over de kendte i fællesområderne er der fra seismiske data også tolket tilstedeværelsen af kystdannelser andre steder:

- Sydøst for Læsø på skulderen ved overgangen mellem de lavvandede kystnære dele og de dybe render på Svensk side.
- Sydvest for Anholt i et trekantsområde på kanten mod dybere Yoldia Ishavs bassiner.

Desuden er det muligt, at en fornyet detaljeret kortlægning af dele af de gamle fællesområder kan afsløre endnu uudnyttede ressourcer.

4.8 Subrecent til recent mobilt sand

Subrecent til recent mobilt sand repræsenterer den yngste aflejningsenhed afsat under påvirkning af kraftig bundstrøm og bølger i perioden fra den senere del af midt Holocæn til i dag (Figur 9). Aflejringerne består af en sandet facies relateret til mobile sandbølger og store sandbanker hovedsageligt afsat på 10 – 30 m vanddybde i området mellem Læsø og den nordlige del af Storebælt.

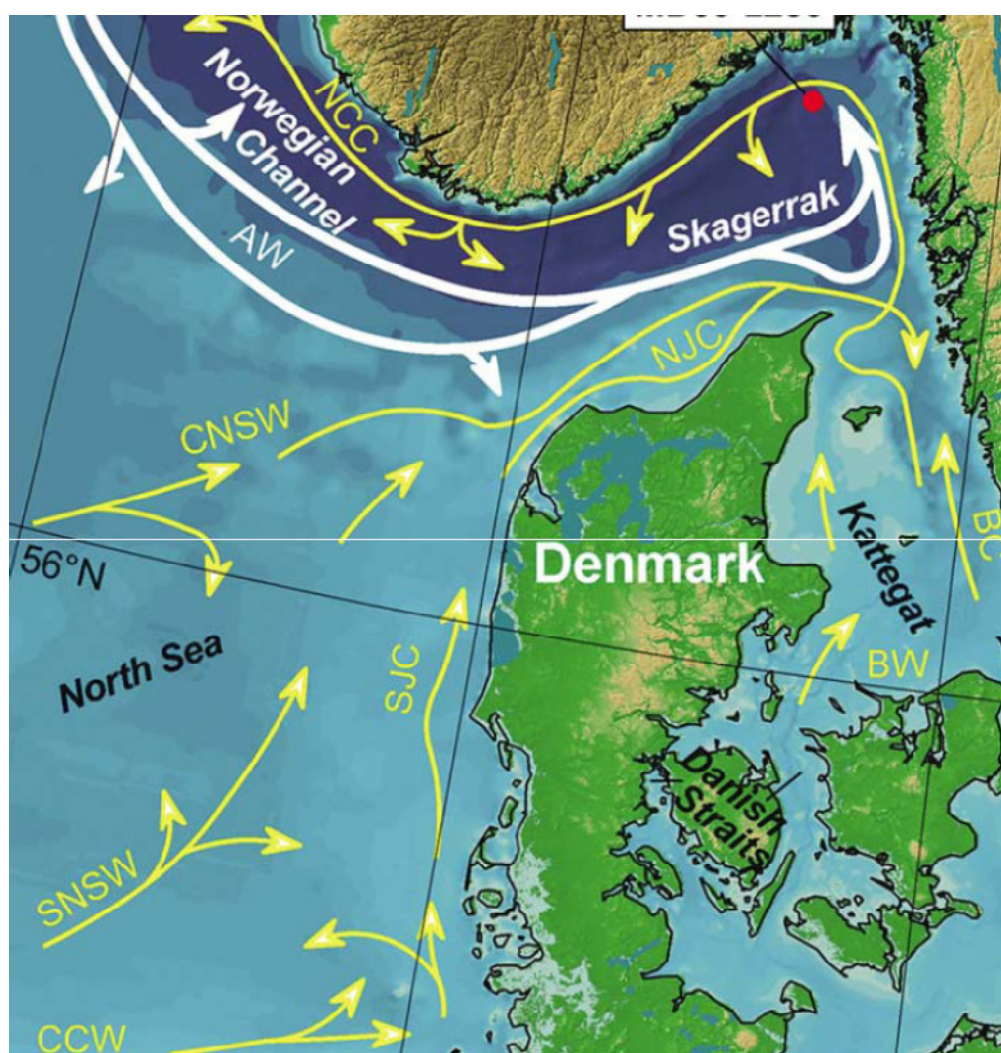
De glaciære morænerygge, der opbygger kerneområderne, blev gradvist oversvømmet i tidlig Holocæn, og med oversvømmelsen af Storebælt, samt da Østersøen blev marint for omkring 7000 år siden, blev der skabt et nyt strømmønster, hvor det er barotrophiske strømme i forbindelse med stormsituationer, der præger vandudvekslingen i Østersøen og dermed den sydlige del af Kattegat området i dag (Figur 32). En del af de sandede områder antages aflejret som kystaflejringer under et lavere havspejlsniveau for senere under det

stigende havniveau at have fortsat sin progradering. I takt med at hydrografien ændrede sig, har sandbankernes ydre form tilpasset sig de nye hydrografiske forhold.

Det delvist mobile sandede sediment findes i km store arealer med morfologisk positive sandbanke og større sandbølger med en mægtighed på flere meter.

Der er en klar relation mellem de aktivt vandrende bundformer og det nuværende hydrografiske miljø domineret af den nordgående strøm langs Jyllands Østkyst med kraftige bundstrømme og bølgepåvirkning i specielt stormvejrssituationer (Figur 32).

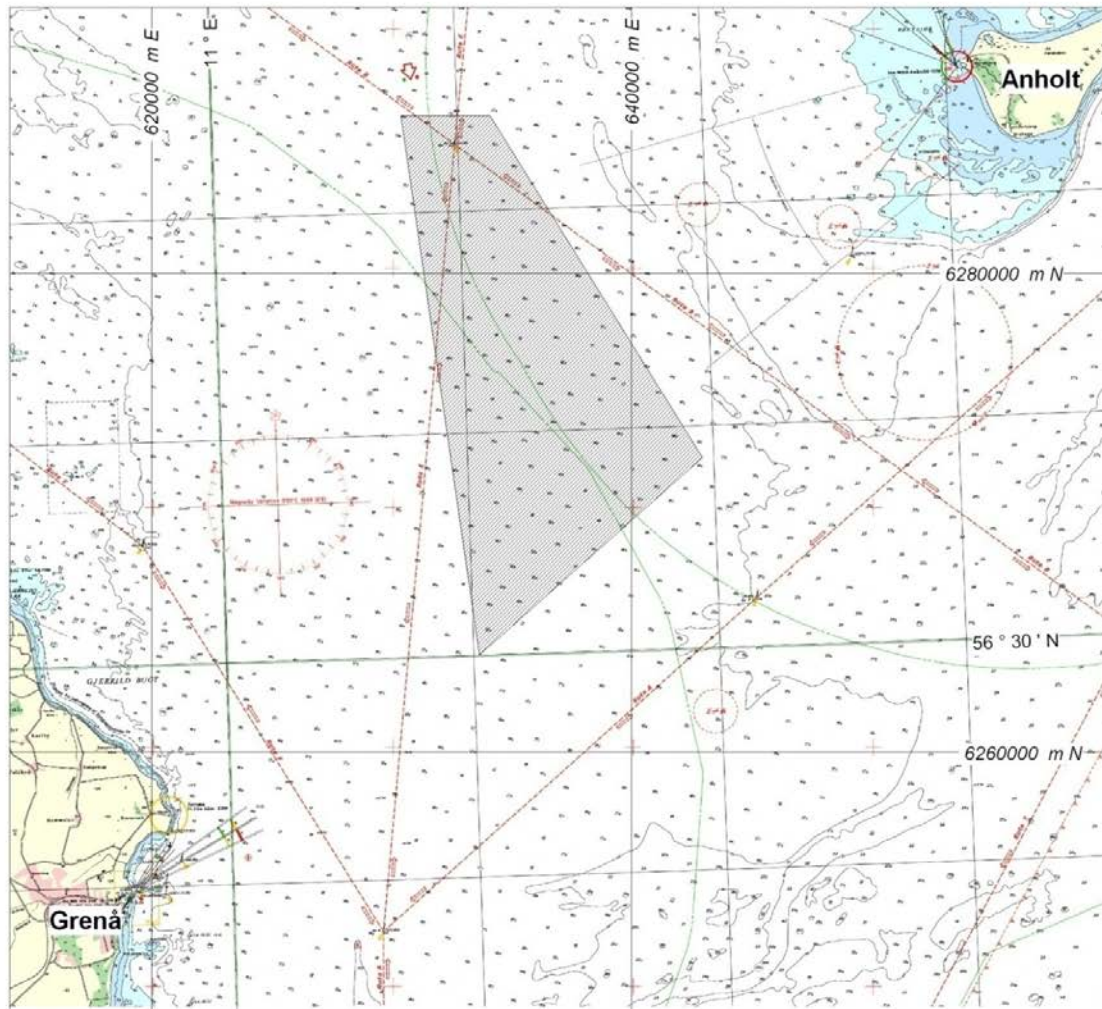
Det subrecente til recente mobile sand er dokumenteret som fin til mellemkornet sand råstofressource ved Hals Barre syd vest for Læsø. Tilsvarende ressourcer må forventes at kunne findes i den vestlige del af Kattegat nord for Djursland.



Figur 32. Nutidige strømningsmønstre i Nordsøen og i Kattegat (Gyllencreutz et al. 2006).

5. Anholt vindmøllepark et detailstudie

I 2009 blev der udført geofysiske og geotekniske undersøgelser af et område sydvest for Anholt (Figur 33) forud for etableringen af Anholt vindmøllepark. Vindmølleparken udgør et areal på 144 m². Området blev opmålt med sparker, multibeam ekkolod og sidescan sonar af GEUS med en seismisk linjetæthed på 50 m (Leth and Novak, 2009). Selv om arealet er reserveret til vindmøllepark, giver resultaterne fra kortlægningen enestående indsigt i geologien i et område af Kattegat, hvor kendskabet hidtil var begrænset.

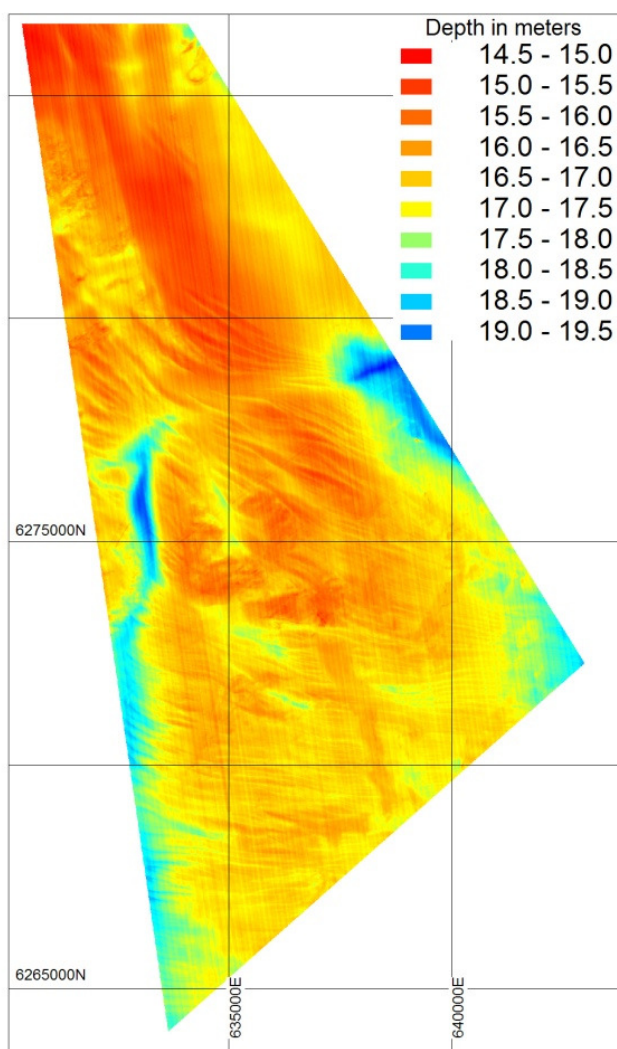


Figur 33. Anholt vindmøllepark beliggende mellem Grenå og Anholt.

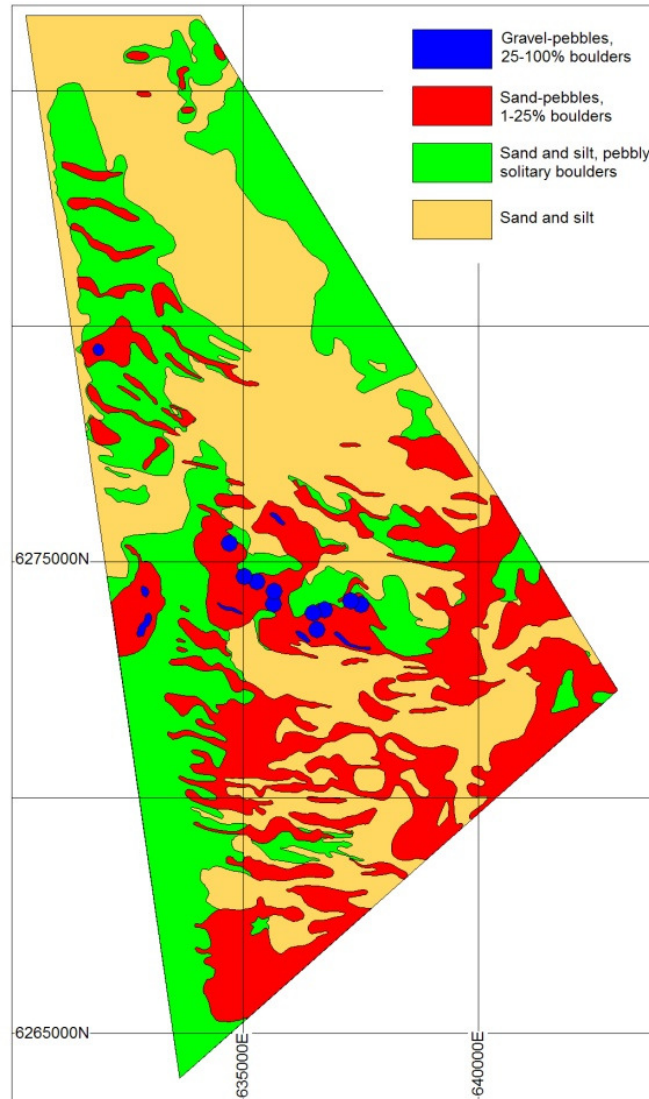
5.1 Bathymetry og havbundssedimenter

Vanddybderne ligger mellem 14 og 20 m. På baggrund af det bathymetriske plot (Figur 34) og kortet over havbundssedimenterne (Figur 35) kan havbunden opdeles i 5 hovedtyper:

- 1) Et nordligt område med en relativt flad havbund præget af sand og silt.
- 2) Et centralt område karakteriseret af op til 2 m høje, strømgenererede, sandede bundformer med en nordvestlig-sydøstlig udstrækning.
- 3) Et centralt område med relativt højtliggende rygge af sand, grus og sten. Restsedimenter efter moræneaflejringer.
- 4) En kanalformet struktur mod sydvest i dybdeintervallet 17,5 til 19,5 m præget af sand og silt. Genfindes på bathymetrien i den østlige del af området.
- 5) Et område vekslede mellem sandede bundformer og grusede aflejringer med spredte sten (restsedimenter efter moræneaflejringer).



Figur 34. Bathymetri i Anholt vindmøllepark.



Figur 35. Havbundssedimenter i Anholt vindmøllepark.

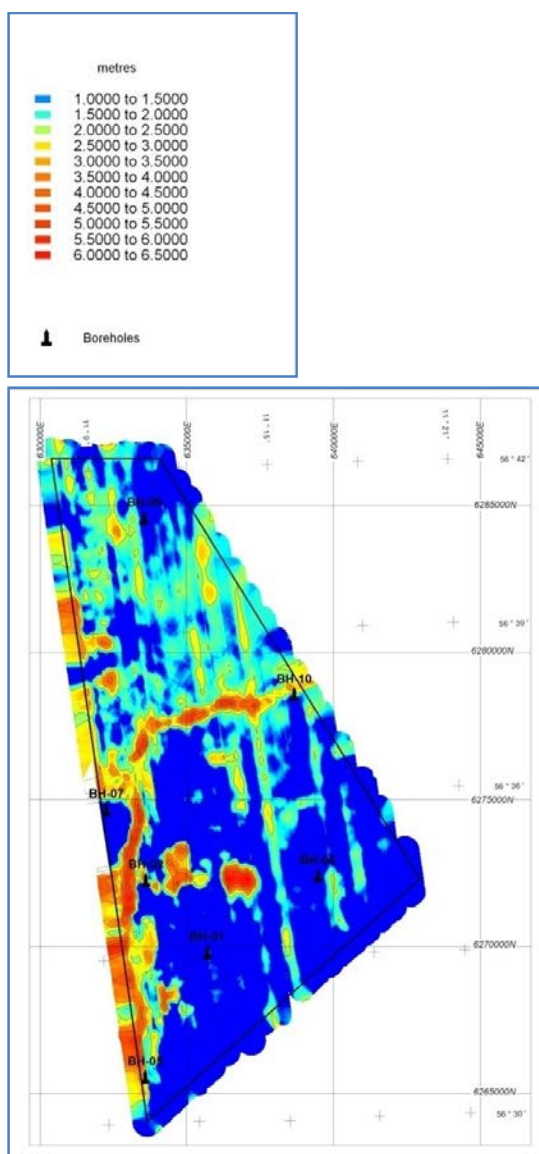
5.2 Den kvartærgeologiske udvikling

Over en relativt højtliggende flade af prækvartære (sen-Kridt) aflejringer findes glaciale aflejringer bestående af to enheder. Den ældste af disse (GL1) kan henføres til enten sen-Saale eller til mellem-Weichsel ud fra sammenligninger til andre områder af Kattegat. Den yngste af de glaciale enheder (GL2) er mest veldefineret i den sydlige del af vindmølleparken, hvor den i store områder udgør havbunden i form af stenede og grusede sedimenter. I øvrigt præges den øverste af disse enheder af dislokationer, der relateres til isfremstødet fra nordøst i den sidste periode af Weichsel, hvor deformationsstrukturer som overskydninger og foldninger repræsenterer midlertidige opholdslinjer under isens tilbagetrækning.

Som i store dele af Kattegat præges Anholt vindmøllepark også af tykke senglaciale aflejringer med lagtykkelser på mere end 40 m. Fordelingen er til dels bestemt af den underlig-

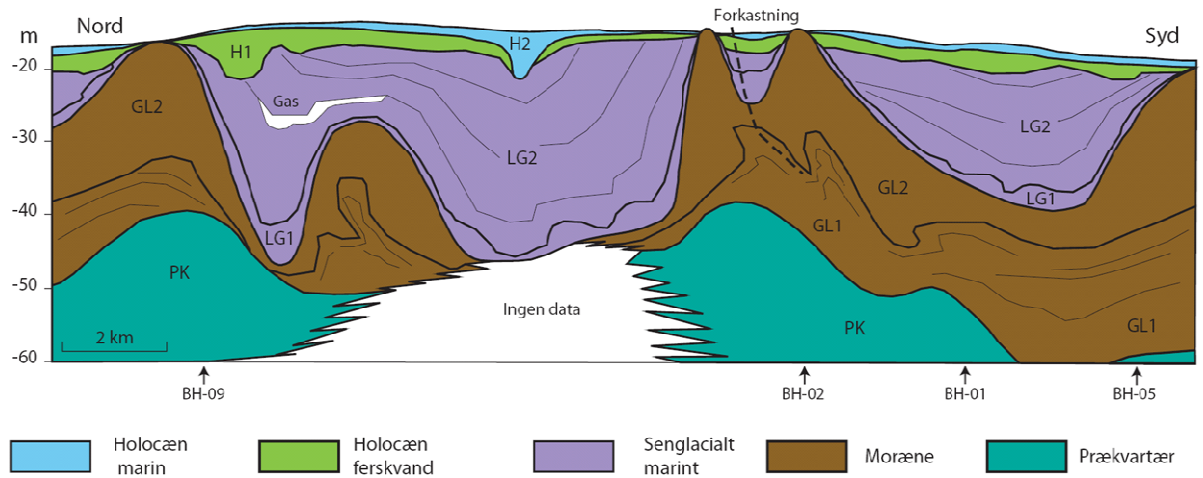
gende glaciale overflades morfologi og til dels af syn-sedimentær forkastningsaktivitet i præ-kvartæret i og omkring aflejningsbassinene. Den ældste af de sen-glaciale enheder (LG1) består af relativt grove sedimenter, mens den yngste enhed (LG2) med lerede og siltede aflejringer (LG2) hovedsagelig repræsenterer glaciomarine sedimenter. Der findes udbredte områder med gasholdige sedimenter i denne enhed.

De holocæne aflejringer opdeles i 2 enheder. En tidlig Holocæn brakvands til fersk aflejring (H1) af sand og silt, der overordnet set udfylder en kanalformet struktur, skærende gennem området fra sydvest og videre mod øst gennem den centrale del. Den yngste holocæne enhed (H2) er repræsenteret ved få meter tykke lag af finkornede til tider organiskholdige sedimenter, der bliver grovere opad – groft sand med grusede indslag. Enheden, der inkluderer dynamiske bundformer, udgør i en stor del af området havbunden.

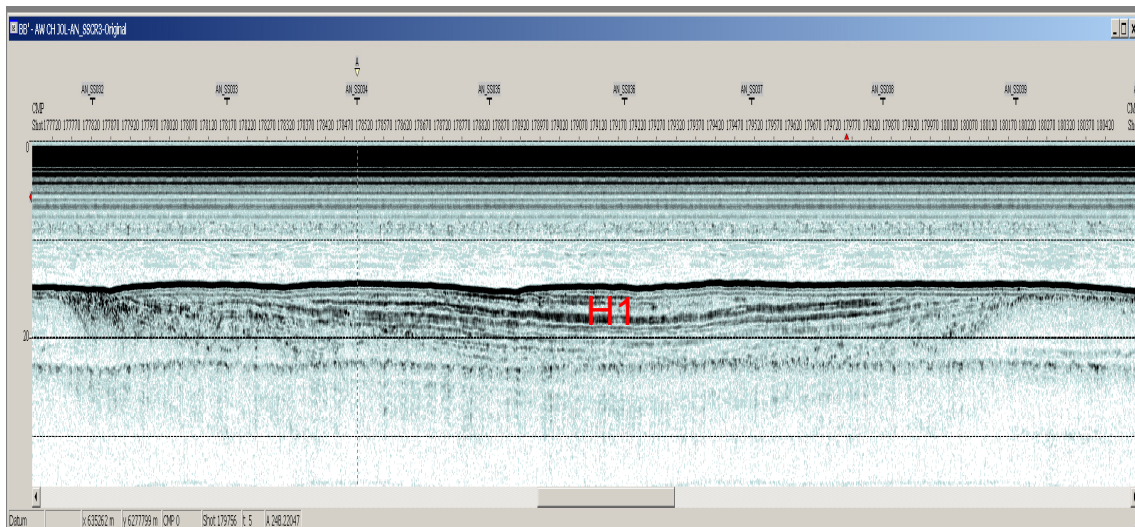
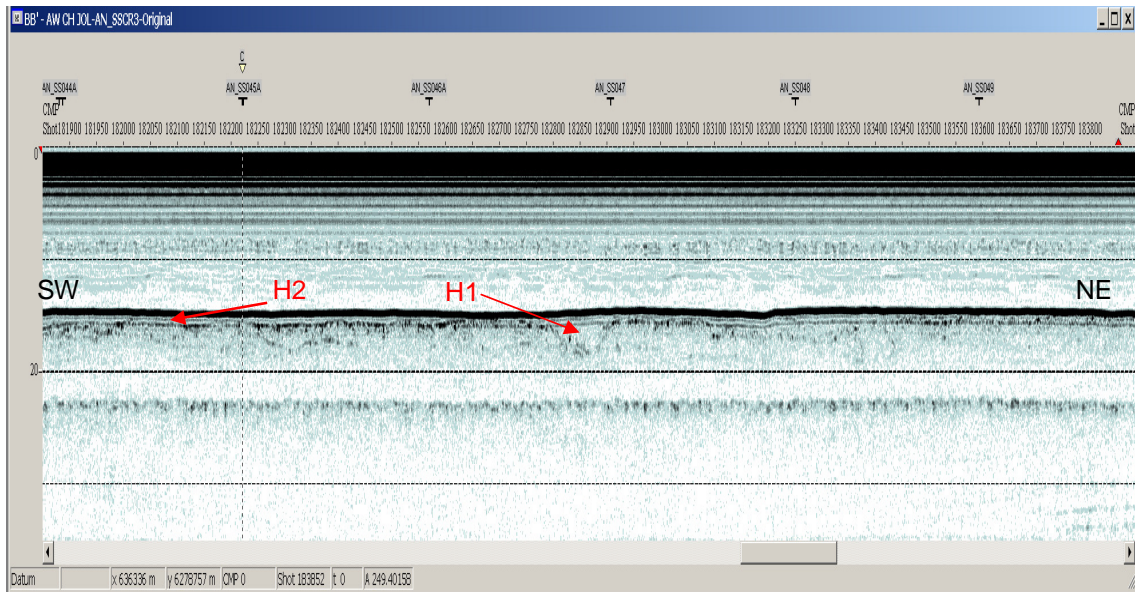
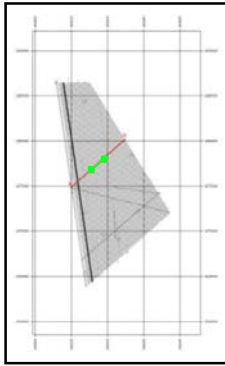


Figur 36. Tykkelseskort over de holocæne aflejringer H1 og H2. Tykkelser i meter.

De holocæne aflejrings samlede tykkelse fremgår af Figur 36. Det ses tydeligt, at de største mængtigheder findes i forbindelse med den kanalformede struktur. Det seismiske snit i Figur 38 viser udformningen af kanalstrukturen og relationen mellem enhed H1 og H2. Den sydligste halvdel af området er holocæne aflejringer, som kun er til stede i et meget tyndt lag på nær nogle lokale bassiner udfyldt af tidlig holocæne, finkornede sedimenter.



Figur 37. Idealiseret profil gennem Anholt vindmøllepark fra nord til syd langs UTM 634000E.



Figur 38. Seismiske profiler, der viser de to holocæne enheder: H1 = kanaludfyldninger med finsand, silt og grus med indhold af organisk materiale; H2 = Marint sand og silt, til tider grusholdigt. Horizontal skala ca. 700 m. Vertikal skala i millisekunder (TWT).

Den kvartærgeologiske stratigrafi indenfor Anholt vindmøllepark er opsummeret i nedenstående tabel 1 samt i det idealiserede profil i Figur 37.

Enhed	Sub-enhed	Lithofacies	Miljø	Alder
H	H2	Sand, fint – mellemkornet, grusholdigt	Marint	Holocæn
	H1	Sand, fint med indhold af silt og grus. Indh. af organisk materiale skaller	Marint / brak-/ ferskvand	Holocæn
LG	LG2	Siltet ler, leret silt med finsand og grus.	Marint /brakvand	Weichsel
	LG1	Sand med silt, grus og sten	Smeltevand /brakvand	Weichsel
GL	GL2	Sand w. clay, silt, gravel and boulder	Glacial	Weichsel
	GL1	Finsand med silt og ler. Kompakteret	Glacio marint / ferskvand	Saale/Weichsel
PQ	no	Finsand. Micro-/nannofossiler	Lavvands marint	Kridt

Tabel 1. Beskrivelse og tolkning af de seismiske enheder indenfor vindmølleområdet.

Ressource vurdering

Ressourceforholdene i Anholt vindmøllepark området er vurderet på grundlag af den geologiske kortlægning. Potentielle ressourcer i form af smeltevandssedimenter er fundet begravet under store mægtigheder af senglaciale lerede sedimenter og er derfor ikke tilgængelige.

Potentielle råstofområder relateres således udelukkende til de holocæne afleriger. Områder, hvor de holocæne aflejringer forekommer med tykkelser i størrelsesordenen 6 m, skyldes kanaludfyldninger og lavninger hovedsagelig med finkornet, siltet sand og indhold af organisk stof fra den tidlige holocæne periode. Disse områder vurderes til ikke at besidde råstofmæssig værdi. Marine aflejringer fra den yngre holocæne periode findes udbredt i den nordlige halvdel af området, men kun i begrænsede lagtykkelser. Kornstørrelsesmæssigt er der generelt tale om finkornet, siltet sand med et mindre grusindhold.

Som det fremgår af det bathymetriske kort og kortet over havbundssedimenter, findes der lokale områder med meter høje dynamiske bundformer, med dårlig sorteret fint og mellemkornet sand.

I den centrale og sydlige del af området, hvor moræneaflejringerne findes tæt på havbunden, er der fundet et område vekslende mellem sandede bundformer og grusede aflejringer med spredte sten (restsedimenter efter moræneaflejringer). Disse vurderes til ikke at have ressourcemæssig værdi, pga. relativt tynde lagtykkelser og dårligt sorterede og umodne materialer.

6. Kortlagte overfladesedimenter Kattegat syd

Med baggrund i undersøgelserne omtalt i afsnit 3 samt andet arkivmateriale fra GEUS er der blevet produceret et generelt havbunds overfladesedimentkort (Hermansen og Jensen 2000). Til brug for Kattegat syd undersøgelserne har ovennævnte kort dannet baggrund for sammenstilling af overfladesedimentkortet præsenteret i Figur 39.

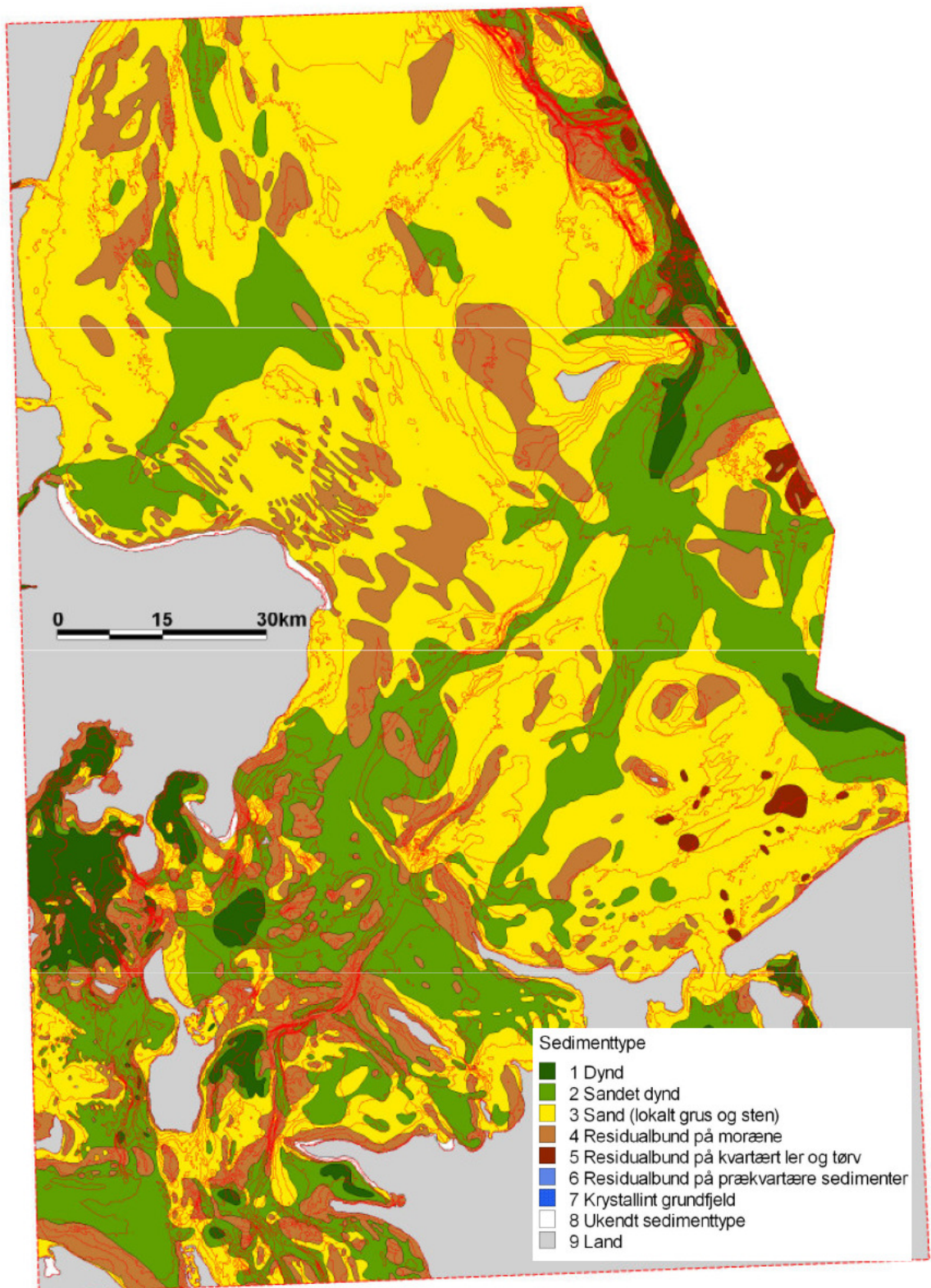
Af overfladesedimentkortet fremgår det, at der er blottet jævnt fordelte moræneaflejringer på havbunden. Der er sandsynligvis tale om Weichsel moræne. Moræneområderne er omkranset af store områder tolket som sandbund, hvilket kan dække over meget tynde lag sand på morænen eller op til flere meter tykke druknede fossile kystdannelser, som oftest ligger som lædannelser på kanten af morænebakkerne.

Moræneområderne vil ofte være eroderet i toppen og et tyndt, gruset og dårligt sorteret residualag er typisk, men smeltevands sand og grus sedimenter kan ligeledes danne havbunden i moræneområderne. Der er positive indikationer for dette i Storebælt øst for Samsø og ud for Nordsjællands kysten.

Nord for Sjælland kan man desuden observere vinduer af senglacialt Yngre Yoldia Ishavs ler, der stikker igennem de yngre sedimenter og reelt fungerer som erosions residualbund.

Storebælts regionen og kanalerne ud mod de dybere dele af Kattegat, indeholder store arealer med sandet dynd. Det er som regel ikke råstofrelevante områder, men i enkelte tilfælde kunne der findes et tyndt lagt finkornet sediment over fossile grovkornede kanaludfyldninger. Et tilsvarende område findes fra udløbet af Mariager fjord med retning mod nordøst, ligeledes repræsenterende kanaludfyldning fra den seneste del af Holocæn.

I den dybeste centrale del af Kattegat syd undersøgelsesområdet på vanddybder over 40 m er der aflejret dynd med meget begrænset indhold af finkornet sand.



Figur 39. Overfladesedimentkort dækkende Kattegat Syd - Storebælt nord regionen, dybdekurver angivet med rødt 5m interval (Fra Hermansen og Jensen. 2000).

7. Mulige sand- og grusforekomster Kattegat syd

Gennemgangen af den geologiske udviklingshistorie i Kattegat syd området og overfladesediment fordelingen viser, at der er en række geologiske enheder, som kan indeholde potentielle sand og grus råstofforekomster. Der er kommet nye informationer i de senere år dels fra nye indvindingsområder og dels har erhvervet intensiveret råstofefterforskningen i det sidste par år (efterforskningsområder Figur 6). Det vil sige, at der ud over de geologiske indici om råstofkvalitet er informationer om de mulige råstofkvaliteter i smeltevands sand og grus, fossile kystaflejringer og det mobile sand.

Morfologien af den prækvartære overflade har indirekte betydning for tilstedeværelsen af råstofforekomster, idet den Fennoskandiske Randzone er dannet som en kombination af forkastningsinversions tektonik og efterfølgende interglacial og glacial sedimentation. Den resulterende morfologi har været basis for evt. smeltevandskanal dannelser, kystdannelser og sub-recente/recente sandbanker med moræne som kildemateriale, aflejret i læ af bakkerne.

Startende med de ældste lag er der mulighed for, at der findes smeltevandssand og -grus i forbindelse med Weichsel isens tilbagesmeltning på smeltevandssletterne nord for de recessive gletsjer marginer. Det må formodes, at de gletsjermarginale områder kan indeholde proksimalt sand og grus. Der kan kun forventes overjord i form af de holocæne enheder. Kvaliteten og voluminerne af det potentielle Weichsel smeltevands sand/grus kan kun forudsiges i eksisterende indvindingsområder.

I den nordligste del af Storebælt har det senglaciale havniveau sandsynligvis været i størrelsesorden 5 – 15 m under nuværende havniveau, hvilket betyder, at der kan være mulighed for at finde sand og grus senglaciale kystdannelser. Der er indici for dette bla. ved Mosel Grund.

I forbindelse med den tidligste holocæne transgression i dybdeintervallet 35 – 28 m under nuværende havniveau er der aflejret kanalfyld og et odde lagunesystem blev dannet i munden af palæo Storebæltskanalen. Råstofmæssigt er der mulighed for at finde grusede indslag, men som hovedregel må man forvente sandede aflejringer.

Holocæne druknede kystaflejringer på lavere vand end 28 m i form af sand og grus er de vigtigste ressourcer, som må forventes at ligge i forbindelse med de glaciære højdedrag så som syd øst for Læsø, syd for Anholt, vest for Store Middelgrund og Lyse Grund.

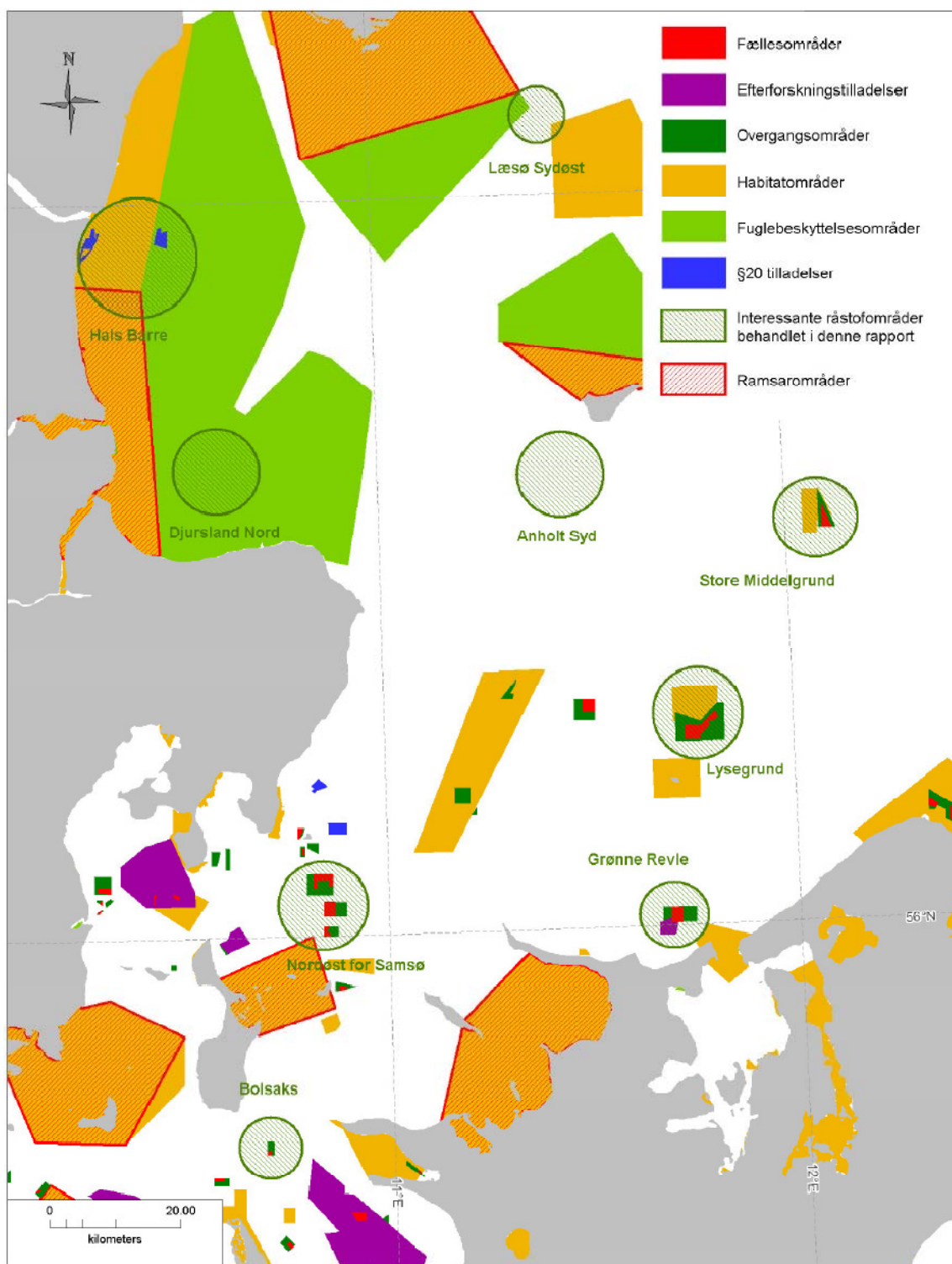
Residual grusbund må forventes over alt i forbindelse med morænebakkerne, medens strandvoldsdannelserne som hovedregel er bygget ud på læsiden af morænebakkerne.

I en videre efterforskning efter tilslagsmaterialer bør opmærksomheden ligeledes være rettet mod områder med højtliggende glaciære aflejring er i store træk svarende til morænelersområderne på sedimentkortet (Figur 39).

Gruslagenes tykkelse og udbredelse er en vigtig parameter i kortlægningen og opdeling i grus erosions rest sedimenter og egentlige strandvolds/odde dannelser. De tynde erosions aflejringer må forventes at være af dårligere kvalitet end strandvolds/odde dannelserne.

Overfladesediment kortet (Figur 39) kombineret med det bathymetriske kort (Figur 3) viser, at der er store områder af havbunden på vanddybder mindre end 30 m, som består af sand. Dette sand repræsenterer en blanding af fossile druknede sandede kystaflejringer og sub-recent til recent sand aflejret på sandbanker og sandbølger styret af recente bølger og strøm.

8. Potentielle ressourceområder Kattegat syd



Figur 40. Kort over benyttelse og beskyttelse, påført de områder som er vurderet som interessante typeområder for den fremtidige kortlægning (grønne cirkler).

Ovenstående beskrivelse af de geologiske enheder og deres råstofforekomster er baggrunden for følgende gennemgang af råstofpotentialet i Kattegat Syd undersøgelsesområdet. Til hjælp med vurdering af de potentielle råstoffers mulige fordeling i undersøgelsesområdet kan overfladesedimentkortets grove sedimentklasser (sand og moræne) (Figur 39) vurderes sammen med dybdekortet (Figur 3) og fordelingen af eksisterende benyttelse og beskyttelse sammen med interessante typeområder (Figur 40). Generelt kan det nævnes, at arealer på vanddybder over 30 m opfattes som mindre interessante, da blandt andet overfladesedimentkortet viser at fin- mellemkornede, marine, dyndede sandaflejringer dominerer på disse vanddybder. De følgende afsnit vil diskutere råstofpotentialet dels i eksisterende råstofområder og dels i interessante mulige råstofområder.

8.1 Smeltevandsaflejringer

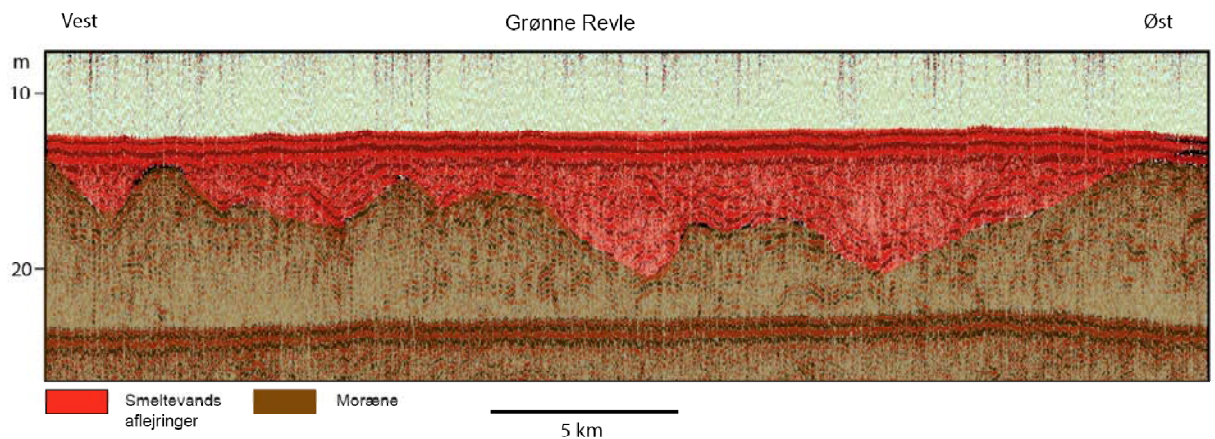
De potentielt råstofmæssigt interessante smeltevandsaflejringer er proksimale smeltevandssletter aflejret umiddelbart foran den vigende Weichsel gletsjer.

8.1.1 Grønne Revle (Fællesområde og efterforskningstilladelse)

Grønne revle ressourceområdet ligger Nord for Sjælland i nærheden af Issefjordens udløb i Kattegat (Figur 40).

Det er et kendt ressourceområde, hvor der dels findes et aktivt fællesområde, og der er givet tilladelse til yderligere efterforskning af indvindingsfirmaer.

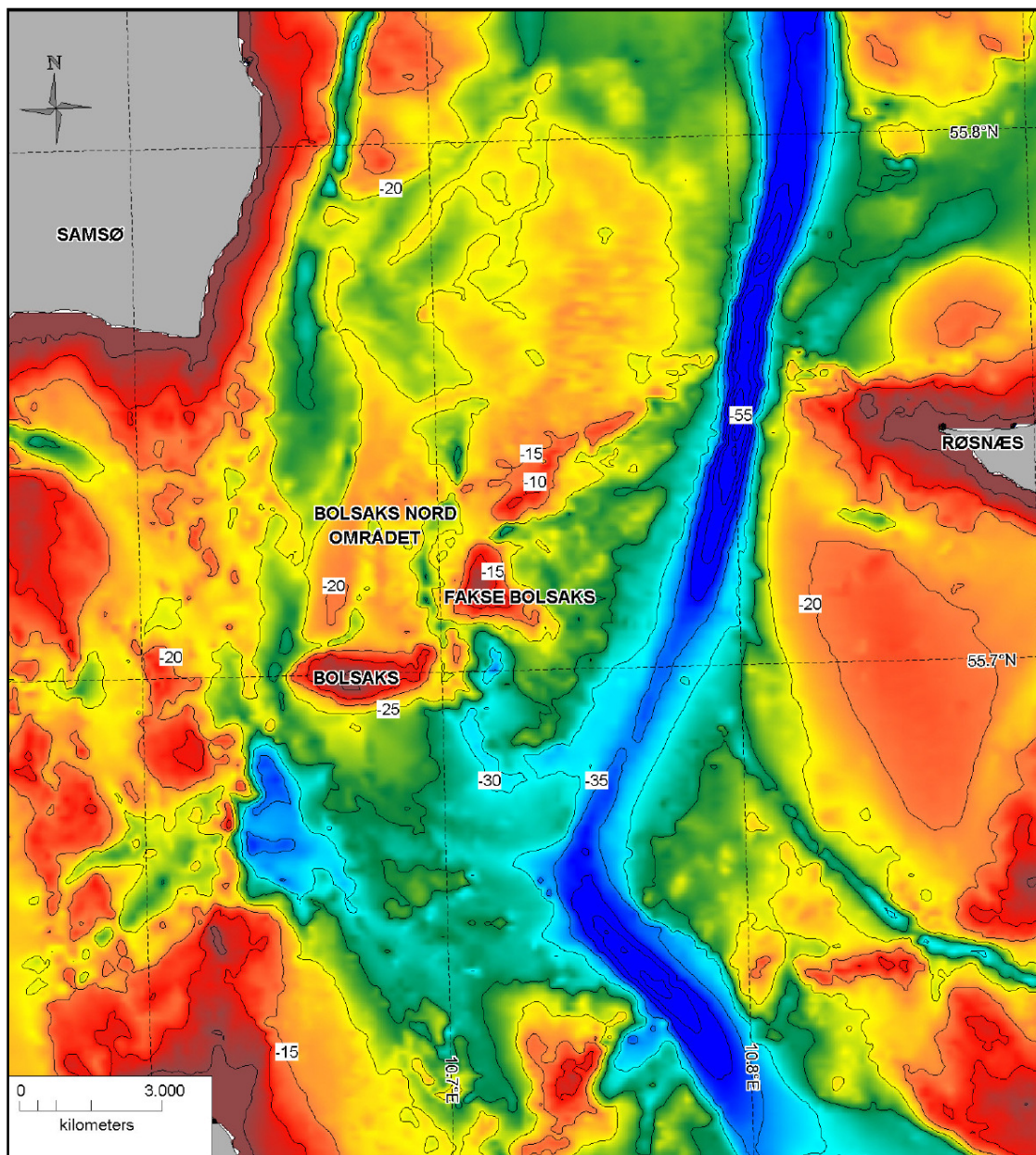
Firmaernes undersøgelser er fortrolige, men det kan siges, at der er tale om en smeltevandsforekomst, og seismiske profiler viser tilstedeværelsen af kanallignende udfyldninger. Det er en interessant ressourcestype, som muligvis kan findes andre steder langs den Nord-sjællandske kyst. Der findes ikke yderlig tilgængelig information om ressourcen (Figur 41).



Figur 41. Kanallignende udfyldning på øst – vest sparkerprofil i Grønne Revle området.

8.1.2 Bolsaks (Fællesområde)

Området Bolsaks er beliggende ca. 5 km sydøst for Samsø ved Storebælts udmunding (Figur 42). Det er et kendt ressourceområde, hvor der findes et aktivt fællesområde, men hvor der er potentiale til mere.

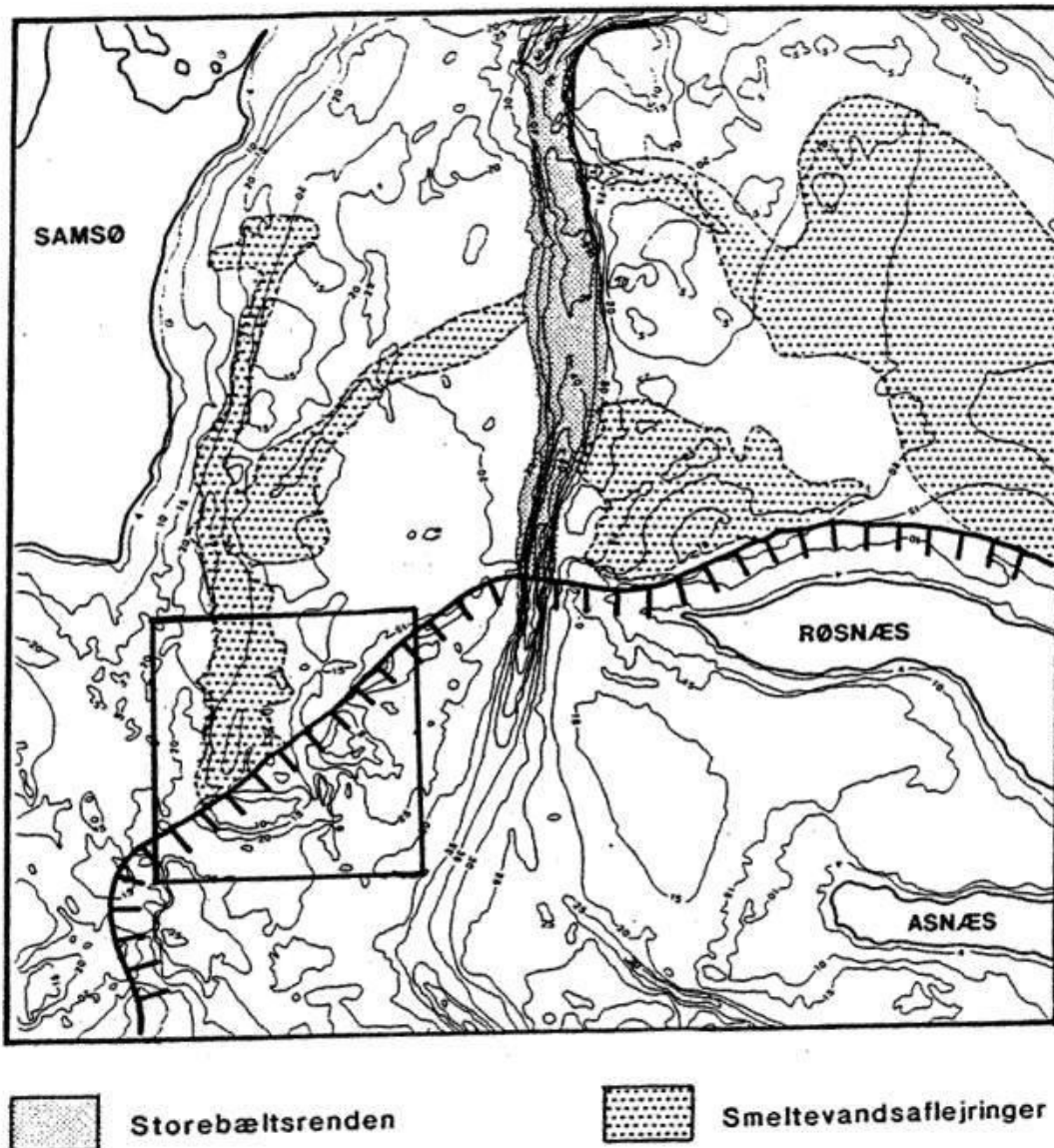


Figur 42. Dybdekort over Bolsaks området. Kortet er baseret på data fra Farvandsvæsenet og kontureret af GEUS.

Bolsaks grundene består formentlig af moræneknolde dannet ved det sidste isfremstød i dette område (det såkaldte Røsnæsfremstød). Råstofressourcen Bolsaks Nord består af en smeltevandsslette, der overvejende består af sand og grus- sten med indslag af mere fin-kornet materiale. Undersøgelser af de grove grus og stenklaster viser et indhold af op mod

20% af tertiære lerklaster, som der skal tages højde for i forbindelse med en evt. anvendelse

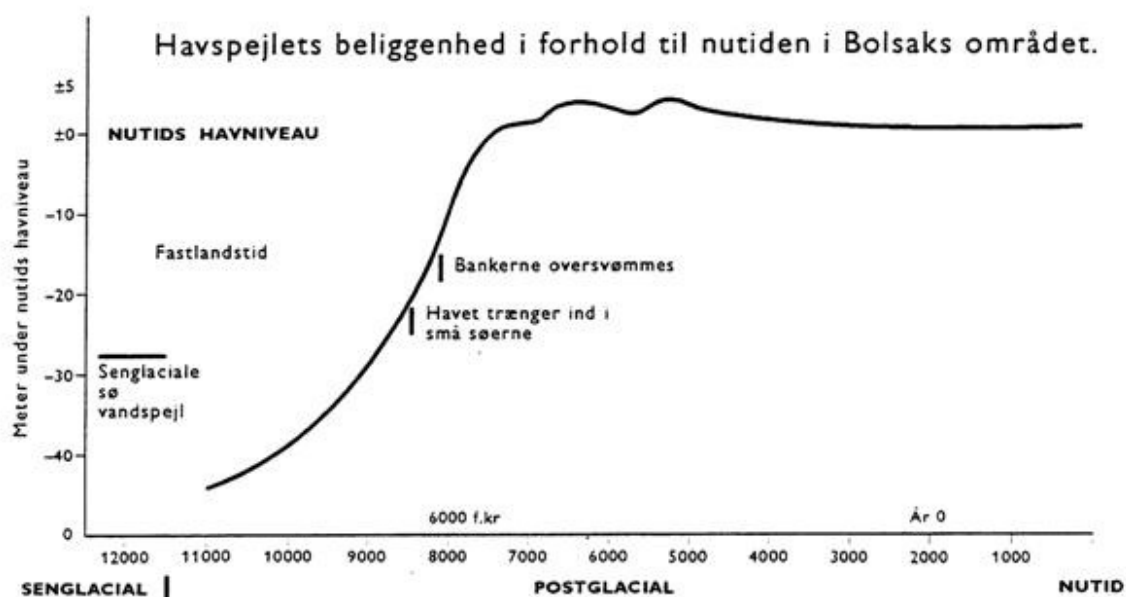
Smeltevandsaflejringerne er formentlig dannet ved aflejringer fra smeltevandsfloder, der stammede fra isranden, der var beliggende netop sydøst for Bolsaks (Larsen, 1994) (Figur 43). Bolsaks grundene ligger i dag op til 5-7 m højere end det omgivende landskab, og det må derfor formodes, at de er aflejret i dale omkranset af dødis (Larsen, 2000). Smeltevandet har formentlig eroderet en dal gennem morænelagene, inden de op til 15 m tykke smeltevandsmaterialer blev aflejret. Materiale på isoverfladen af gletsjeren har i en slutfase arbejdet sig vej ud over smeltevandsaflejringerne og dannet baggrund for det lag af udvasket moræne, der dækker dele af forekomsten nærmest isranden (Larsen, 2000).



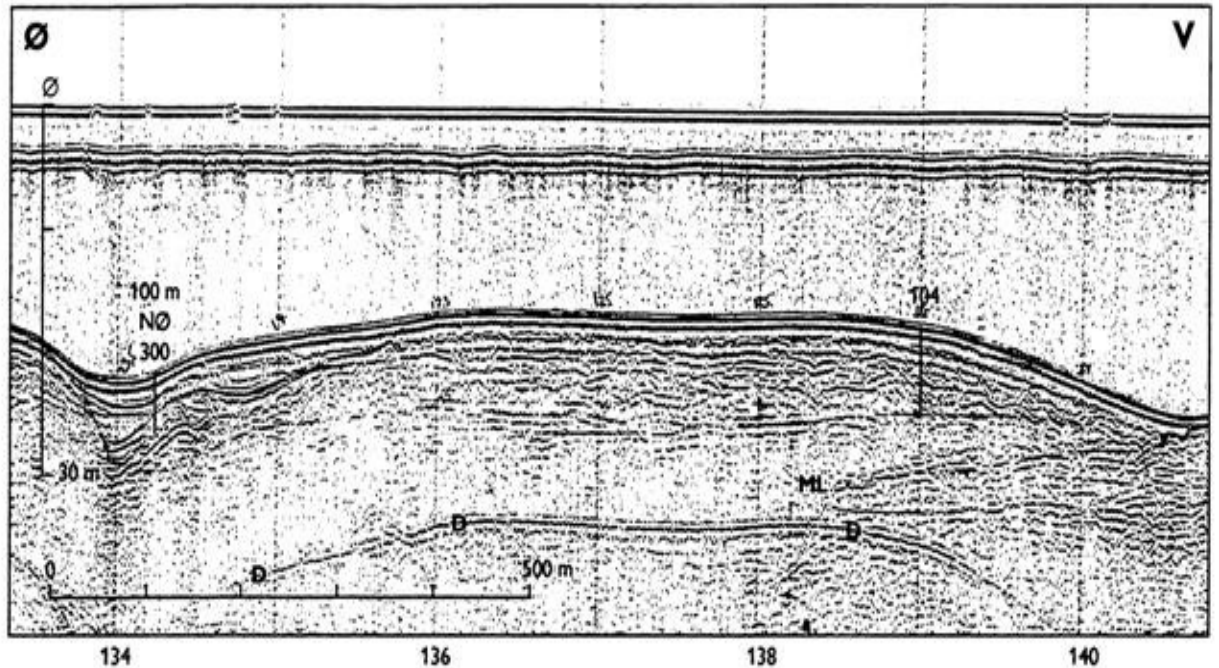
Figur 43. Oversigt over det formodede forløb af isranden ved Røsnæsfremstødet med områdets nutidige topografi som baggrund. Området Bolsaks Nord er indrammet på Figuren. Nord for isranden ses aflejringer fra smeltevandsfloder, som sandsynligvis har

været omgivet af død. Det ses at smeltevandsfloder fra øst og vest har udmundet i Storbæltrendsren, som senere hen er eroderet betydeligt dybere i terrænet (Larsen, 2000).

På Figur 43 ses at forekomsten er Y-formet, og grænsen mellem de to forgreninger ses som en 4-6 m høj skrænt i den nordlige del af Bolsaks Nord. Efter isens afsmeltning i den såkaldte fastlandstid var havniveauet lavere end ca. kote -30 m, og Bolsaks området lå som en bakke i landskabet (se Figur 44). For ca. 8.000 år siden steg havniveauet, og banken blev oversvømmet af havet. Mens bankerne fortsat lå på relativt lavt vand, er der sandsynligvis sket af omløjring og udjævning af de øvre sandlag (Larsen, 2000). Området findes i dag på vanddybder tæt under bølgebasis (Floderus, 1988), så overfladesedimentet i dag består af let dyndet finsand.



Figur 44. Graf der viser de relative fald og havniveaustigninger i Bolsaks området over tid. For ca. 8.000 år siden steg havniveauet, og Bolsaksen blev oversvømmet af havet (Larsen, 2000).



Figur 45. Seismisk boomer profil (504-055) fra den sydlige del af ressourceforekomsten. På profilet er boring 104 indtegnet, hvori der er fundet smeltevandsaflejringer. Horisonten ML er toppen af moræneaflejringerne på dalskråningen, der befinder sig under kote - 30 m. I den østlige del af profilet ses en erosionsdal, der senere er blevet fyldt med sø og tørveaflejringer fra fastlandstiden og senere marint sand (boring 300). D angiver dobbelt-ekkoet eller multiplet (Larsen, 2000).

Figur 45 viser et seismisk profil fra den sydlige del af området. De næsten horisontale reflektorer afspejler smeltevandsaflejringerne, mens horisonten ML afgrænser toppen af moræneaflejringerne.

Bolsaks grundene indgår i en række aflange grunde, der former en randmoræne ryg, som strækker sig fra Røsnæs til Fyns Hoved (Figur 43). Bolsaksen er således en type lokalitet og det er sandsynligt, at der findes smeltevandssletter aflejringer med lignende ressourcer i regionen.

8.2 Senglaciale kystaflejringer

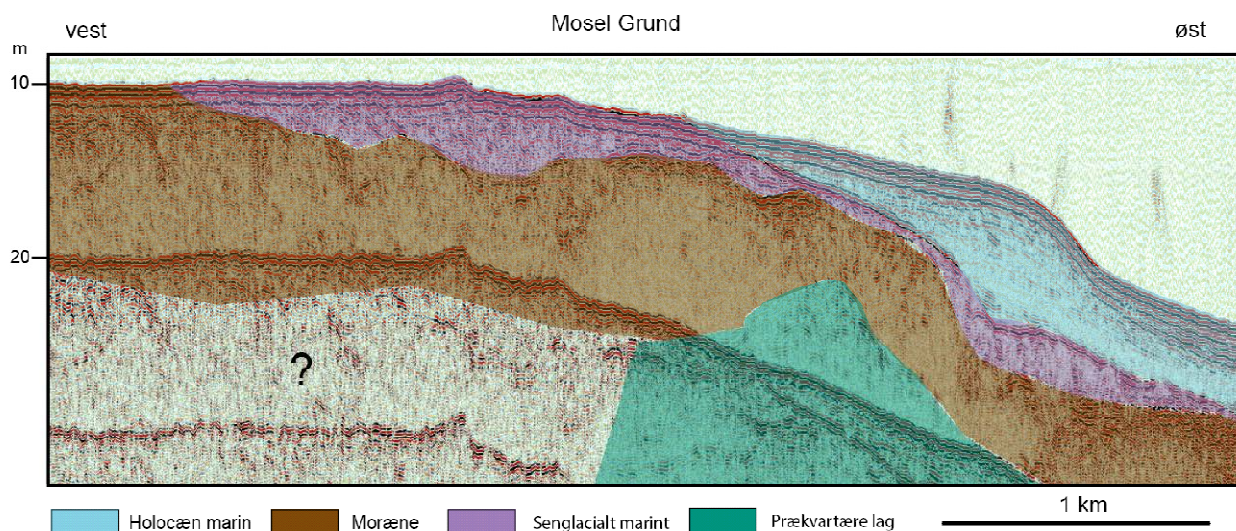
Den geologiske model viser, at der burde være mulighed for at finde senglaciale kystaflejringer i den sydlige del af Kattegat, som blev aflejret i nærheden af den tilbagesmeltende isrand. Ind til videre er det ikke dokumenteret ved prøvetagninger, men enkelte seismiske linjer antyder eksistensen af denne potentielle type sand og grus råstoffer.

8.2.1 Nordøst for Samsø

Nordøst for Samsø (se Figur 40) findes en række flakområder så som Mosel Grund og Mejl Flak. Det er eksisterende fællesområder, hvor der indvindes sand og grus fra holocæne transgressive kystaflejringer.

Flakopbygningen er imidlertid kompleks, og der kan flere steder observeres flere generationer af udbygninger adskilt af unkonformiteter. Det er muligt at de nedre dele af disse flakdannelser hidrører fra senglaciale Yngre Yoldia Hav kystudbygninger (Figur 46).

En målrettet eftersøgning af den senglaciale kysttype kan muligvis afsløre dybere uudnyttede råstofressourcer i området nord for Samsø.



Figur 46. Øst – vest sparkerprofil i nordenden af Mosel Grund med potentiel senglacial kystsekvens der underlejer de yngre holocæne transgressive kystdannelser.

8.3 Tidlig Holocæn kanaludfyldning og transgressions kyst lag

Tidlige holocæne kanaludfyldninger og transgressions kyst lag på vanddybder af over 25 m er en hidtil uudnyttet ressource med et muligt stort potentiale.

8.3.1 Storebælt palæoudløbet

Den sydlige del af Kattegat er et lavvandet overgangsområde til Storebælt. Hvor spredte seismiske linjer og få borer har afsløret, at der er bevaret et druknet oddesystem ved munden af to nedskårrede palæo- Storebælt kanaler, der udmundede i det daværende Kattegat.

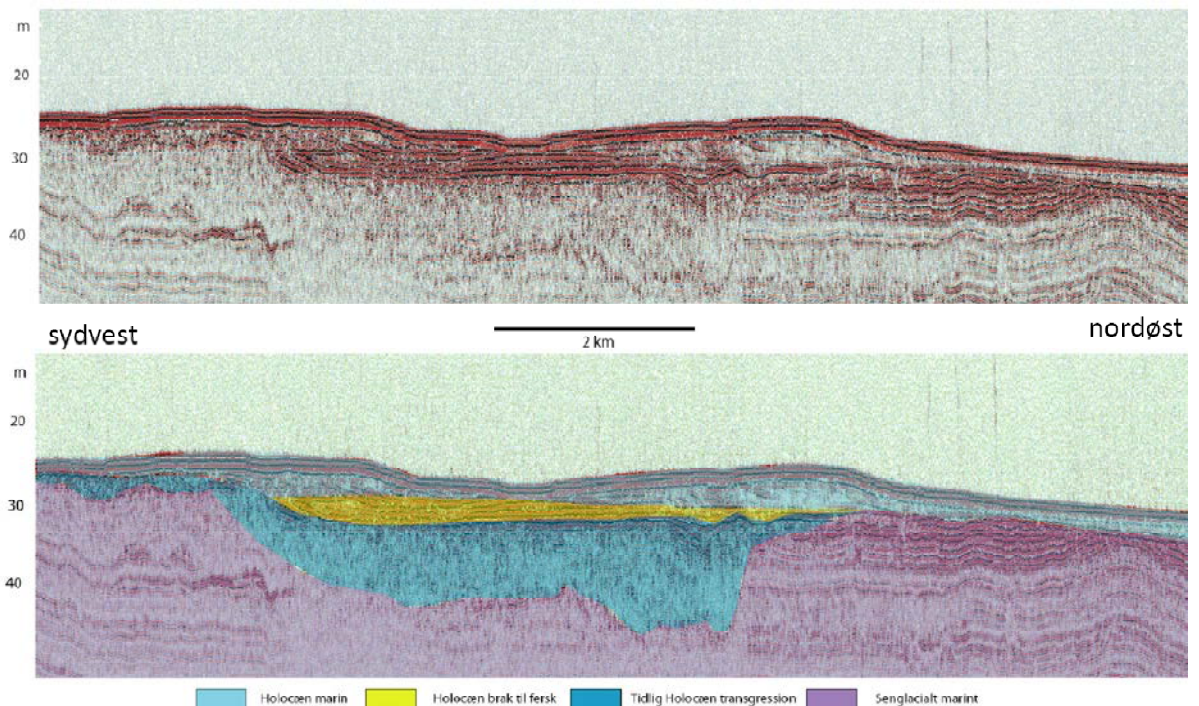
Palæo- Storebæltkanalen har nogle steder skåret sig adskillige meter ned i de glaciale og senglaciale lag, hvorefter sand og evt. grus har udfyldt kanalen i forbindelse med den initiale holocæne marine transgression.

På basis af de indsamlede data er det muligt at rekonstruere den geologiske udvikling af kystsystemet. I begyndelsen dominerede sandede og grusede sedimenter det transgressive kystsystem, på nuværende vanddybder af 30 til 35 m (Figur 30 profil a). Som tiden gik udvikledes der gradvist beskyttende sandodder foran flodmundingerne, og på læsiden af odderne aflejredes lamineret silt og ler (Figur 30 profil b).

Systemet var fuldt udbygget, da transgressionen havde nået et niveau på omkring 28 m under nuværende havniveau for ca. 10 500 år siden. På det tidspunkt var den nordligste odde en omkring 10 km lang barriere, som beskyttede et stort ler-silt sedimentations bassin (Figur 30 profil b og Fig. 26). Den fortsatte transgression bevirkede, at barrieren gradvis steppede baglæns, og da transgressionsniveauet havde nået 24 m under nuværende havniveau druknede hele systemet. Efter denne hændelse udvikledes der nye oddesystemer i kystzonen længere mod syd (Figur 30 Profil C og Figur 29).

Området omkring palæo- Storebælts udløbet (Figur 40) er, som ovenstående gennemgang viser meget komplekst og hele regionen bør kortlægges i detaljer, hvis man skal være i stand til at vurdere det råstofmæssige potentiale. Der er dog ingen tvivl om at der findes store mængder råstoffer på vanddybder mellem 25 og 30m, hvor der traditionelt ikke har været eftersøgning efter disse ressourcer (Figur 47).

Boomer 572017



Figur 47. Boomer profil med udfyldt kanal (sand og grus) delvist overlejret af finkornede lagune sedimenter og transgressive sandede kystaflejringer.

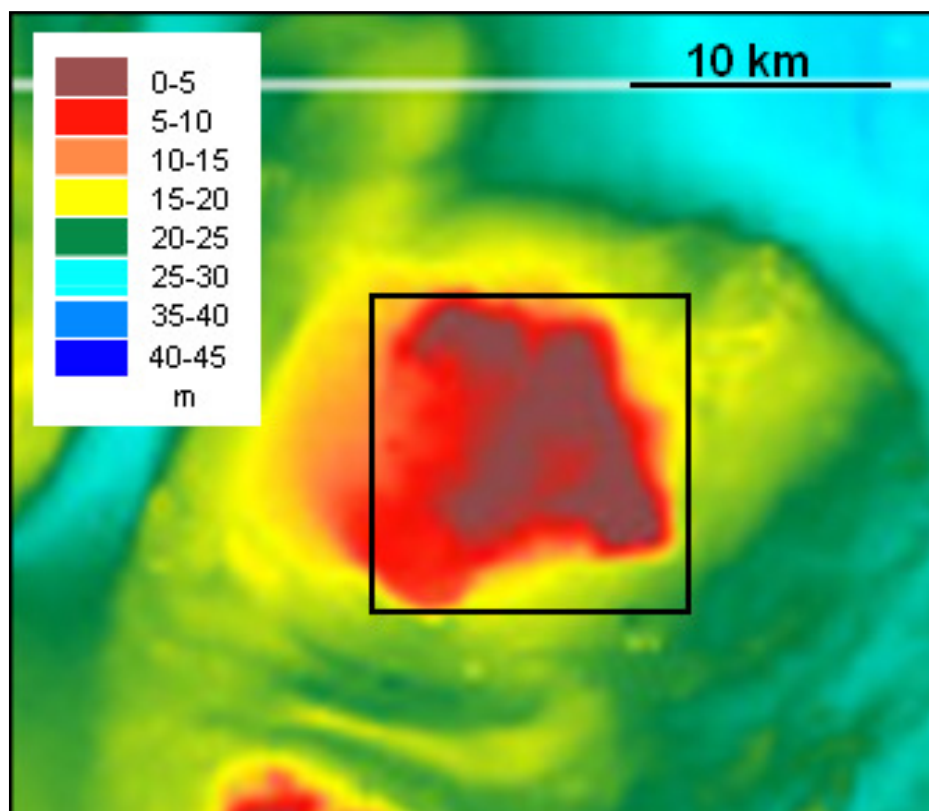
8.4 Holocæne transgressions kystaflejringer

8.4.1 Lyse Grund (Fællesområde)

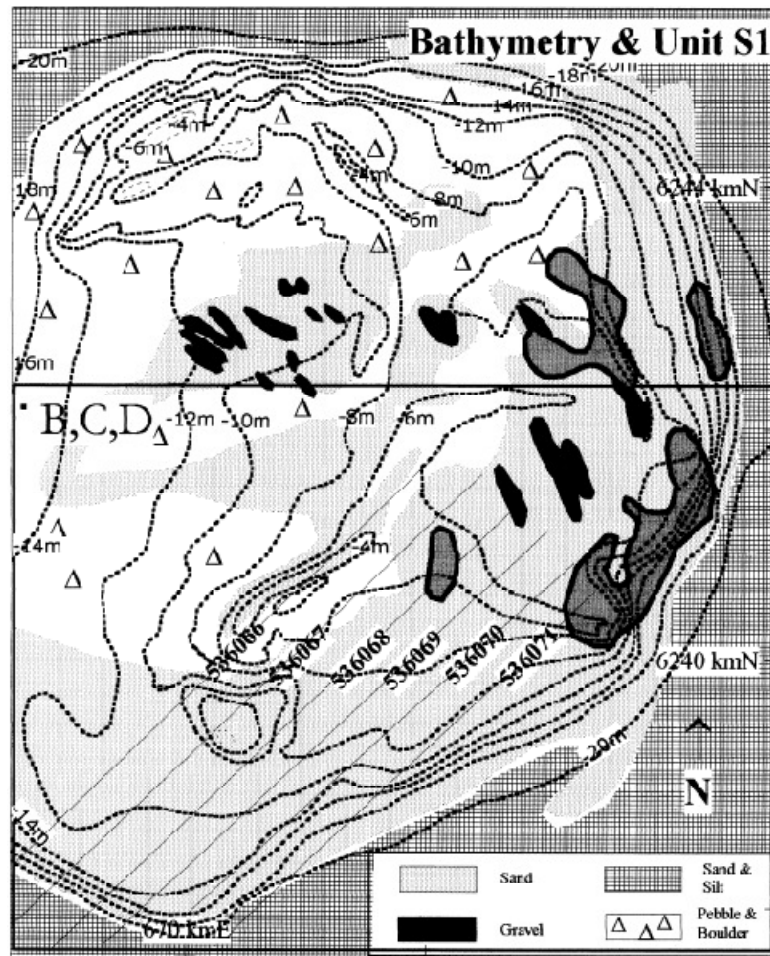
Lyse Grund er et velkendt ressourceområde, som stadig er aktivt i form af et fællesområde i den sydlige del af forekomsten (Figur 40).

Der er tale om en sandbanke med stenrev på cirka 50 km² beliggende ca. 40 km nord for Sjælland. Stenrevet på Lyse Grund er relativt stort og ligger på lavt vand omkring 5 til 10 meters vanddybde (Figur 48). Det er kun den sydlige og østlige del af området, der har råstofmæssig interesse. Hovedparten af sand og grus forekomsterne ligger på 6-14 m's dybde, og de dybeste dele af forekomsterne ligger under 22 m's dybde (Figur 49).

Lyse Grund består af en kerne af moræne og glacigene alluviale aflejringer. Langs den sydlige og østlige rand af den glaciale kerne er der dannet et akkumulationsflak, der har tykkelser på mellem 10 og 12 m. Råstofforekomsterne omkring Lyse Grund er betinget af tidlig Holocæn transgression og erosion af de relativt højtliggende glacigene alluviale aflejringer (DGU 1991; Novak, 1995; Novak og Pedersen, 2000). De sandede og grusede erosionsprodukter blev omlejret i læ mod øst og syd i form af et platform-odde kompleks.



Figur 48. Bathymetri omkring Lyse Grund.



Figur 49. Overfladesediment typer omkring Lyse Grund (fra Novak & Pedersen, 1996).

8.4.1.1 Datagrundlag og eksisterende undersøgelser

DGU foretog i 1991 en ressourcekortlægning af råstoffer ved Lyse Grund for Skov- og Naturstyrelsen (SNS). Som datagrundlag anvendtes ny seismiske og side-scan sonar data samt boringsdata. Råstofforekomsterne blev opdelt i tre områder:

Ressource 1: Sandressourceområdet, der dækker hele flakområdet. Velsorteret mellemfinkornet sand med enkelte gruskorn. Der er tale om en homogen ressource, hvis anvendelsesmuligheder dækker fyldsand og betonsand.

Ressource 2: Nordøstlige flak, ca. 3 km², ca. 7-10 mio. km³
4-5 m mægtig enhed, potentiel sten og grus overlejret af ca. 5 m sand.

Ressource 3: Sydlige flak hvor indvinding har fundet sted, 1.6 mio. km³ tilbage.
Forekomst af grus og sten med dæklag af sand i randområderne på 3-6 m.
Forekomst har været udnyttet i 1980'erne, hvor ca. 1 mio. m³ grus og sten blev indvundet.

I forbindelse med ressourceundersøgelser for Great Belt Bridge Contractors foretog DGU i 1992 undersøgelser af betonsandskvaliteten ved Lyse Grund (DGU, 1992a; 1992b). Undersøgelserne omfatter prøvepumpinger, kornstørrelsesbestemmelser og petrografiske analyser (Fase 1), samt supplerende seismiske undersøgelser (Fase 2).

8.4.1.2 Geologisk dannelse

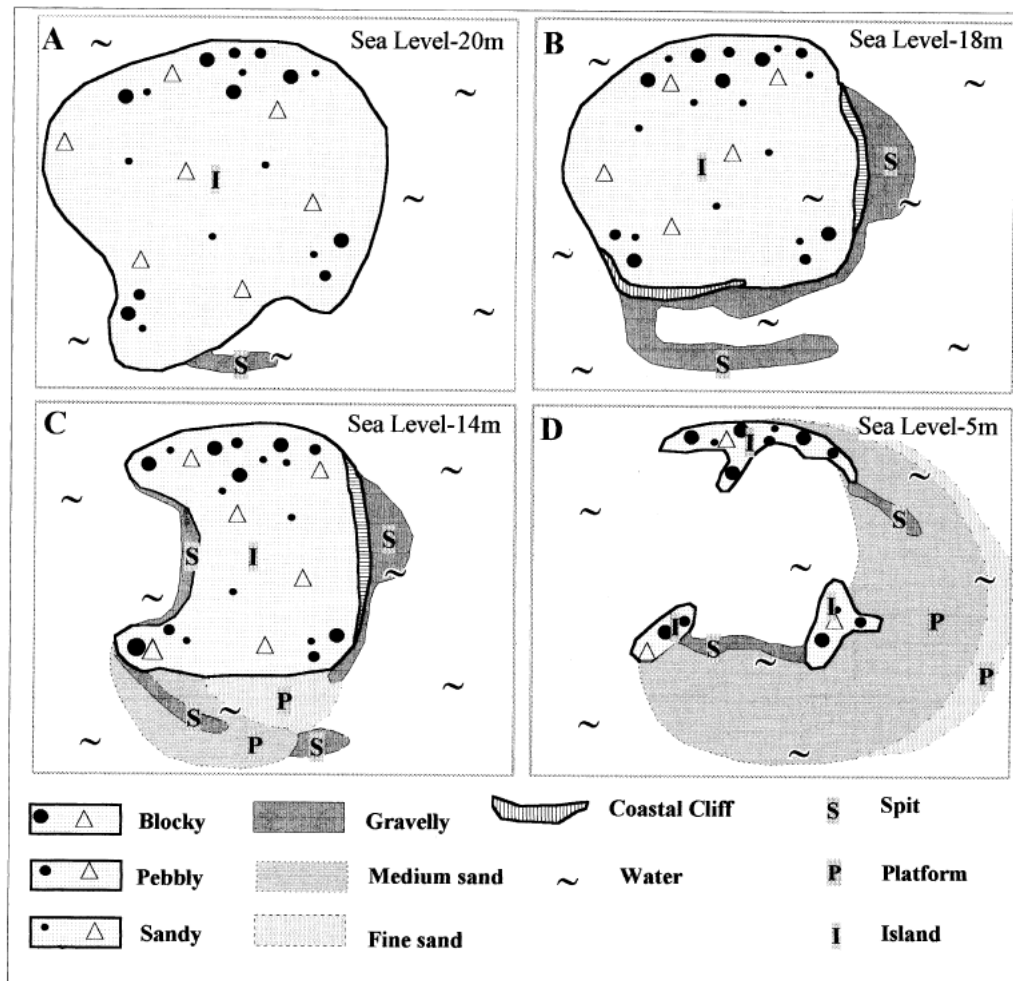
De seismiske profiler og boringer i Lyse Grund området viser flere generationer af glacigene aflejringer (Figur 50: M4-M1). Centralt på Lyse Grund, 10 til 15 meter over den omliggende havbund, findes en bænket enhed (M2) bestående af grovkornede sedimenter rig på sten og blokke. Denne enhed, der anses for at være hovedkilden til de omljrede råstofressourcer i området, blev formodentligt aflejret som alluvialkegle og som fyld i kanaler i forbindelse med NØ-isens tilbagesmeltning og midlertidige ophold over området. Desuden findes yngre glacigene aflejringer (M1) i depressioner i havbunden i den vestlige del af Lyse Grund området. Disse blev formodentligt afsat af det ungbaltiske isfremstød, der antages at have nået sin nordligste udbredelse omkring Lyse Grund.

I senglacial tid lå Lyse Grund i et fjordlignende område, som stod i forbindelse med et marint bassin langs den svenske vestkyst. Fjorden var den marine, druknede del af et flodsystem, som afvandede store dele af det sydlige Danmark. Senglaciale aflejringer lokaliseret tæt på havbunden vest for Lyse Grund kan *korreleres* med senglaciale, glaciolacustrine og glaciomarine aflejringer i Kattegat regionen (Nordberg 1989). Den endelige tilbagetrækning af isskjoldet over Skandinavien resulterede i en regional regression, som varede fra ca. 16 000 BP til ca. 11 000 BP (Figur 11).

Under den maksimale regression på overgangen til Holocæn opstod et sedimentationsstop, da området blev tørlagt. Afslutningen blev markeret af *Littorina* transgressionen, som overskyllede området og dannede en karakteristisk transgressionsflade. Mellem kote -20 og -15 meter blev der aflejret barrierer, laguner og strandvoldssystemer syd og øst for den centrale Lyse Grund (S4E). Strandvoldssystemet består af grusede og stenede aflejringer af en mægtighed op til 4-5 m. De grusede strandvoldssystemer blev aflejret som residualsediment i umiddelbar tilknytning til stejle kystskrænter. En høj transgressionsrate sammenholdt med begrænset sedimenttilførsel betød, at energipunktet sprang kystværts fra et ydre krumodde-system (kote -20 meter) til et strandvoldssystem dannet ved kystnedbrydning af de glacigene aflejringer. Kontrolleret af havniveauet udbyggedes sandede og grusede platforme først syd for Lyse Grund og derefter mod øst. De udbyggende platformheder er karakteristisk todelt i seismiske profiler, bestående af skråsæt (S2) og bundsæt (S3) adskilt ved en gennemgående reflektor (Figur 51). Skråsættene, som indeholder stormlag af grus og sten, er aflejret på et øvre strandplan, mens de finkornede bundsæt er aflejret under bølgebasis. I takt med det stigende havniveau og stor sedimenttilførsel aflejredes det prograderende kompleks i et tidsrum på <1000 år (indenfor perioden 10.5-9 ka BP), og ophørte ved oversvømmelse og stigende dybde af Lyse Grund kildeområdet.

Subrecente krumoddesystemer dannedes i læ fra stenrevne og ligger som smalle ryggen hen over de højeste dele af Lyse Grund.

og sten må tilskrives en relativ høj andel af grove materialer i opkoncentrerede alluviale (glaciale) forekomster og efterfølgende videre sortering af materialet i residuale strandvoldsdannelser (grus og sten) samt mere distale sandede strandplansdannelser (Figur 52).



Figur 52. Model for udviklingen af Lyse Grund i tidligt Holocæn ved stigende havniveau fra -20 m til -5 m (fra Novak & Pedersen, 1996) .

Konklusivt kan det siges at der er lavet meget detaljerede undersøgelser på Lyse Grund, men der kan være behov for en revurdering af området. Desuden set i lyset af nye muligheder med digital seismisk teknik og tolkningsmetoder, kan det være formålstjenligt at lave en fornyet opmåling af Lyse Grund.

8.4.2 Store Middelgrund (Fællesområde)

Store Middelgrund (omr. 546) ligger ca. 60 km nord for Sjælland og afgrænses mod øst af den svenske territorial grænse. Det er ligeledes en gammel kending ressourcemæssigt, hvor der stadig findes et aktivt fællesområde (Figur 40).

Grundens mest lavvandede del når til ca. 7 m under havniveau. Mod NV, V, og SV stiger vanddybden relativt jævnt til omkring 30-35 m. Mod øst på svensk område falder Store Middelgrund brat fra omkring -30 m til ca.-55 m i den nord-syd gående rende.

Viden om den geologiske opbygning af Store Middelgrund området er baseret på Ressourceundersøgelse for SNS (1993) foretaget af Sveriges Geologiske Undersøgelse i 1985. Undersøgelserne omfattede seismiske målinger, overfladeprøvetagninger og vibrocore borer.

8.4.2.1 Geologisk opbygning

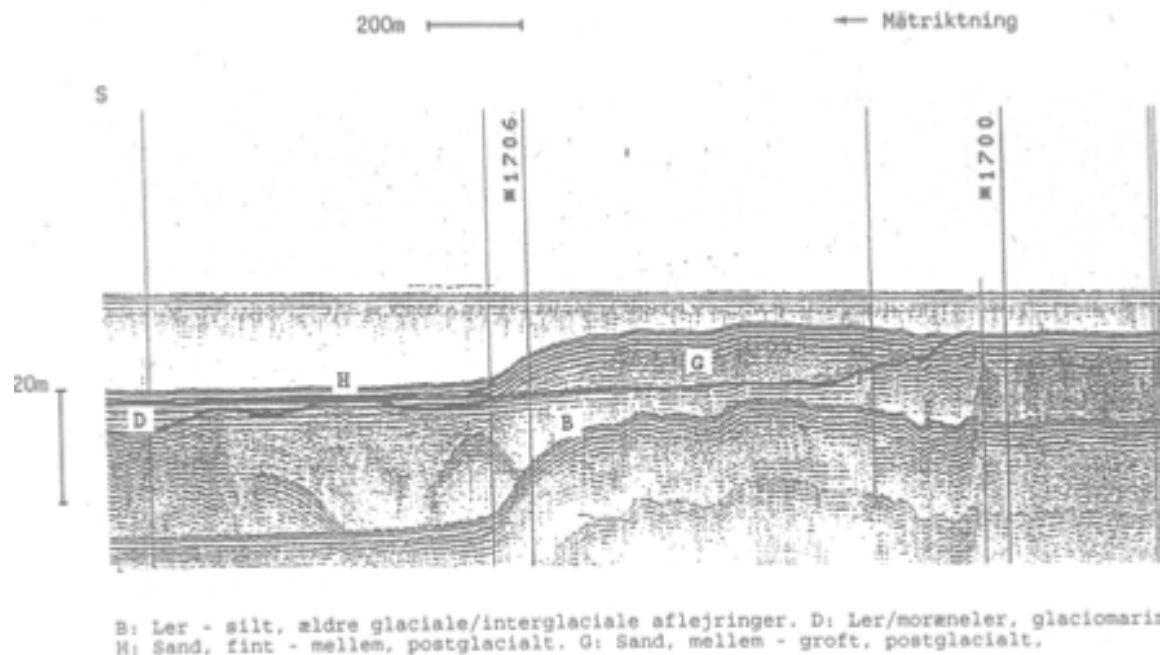
Den prækvartære overflade (Kridt aflejringer) ligger i en dybde på min. -100 m omkring Store Middelgrund. Herover findes en op til 150 m tyk formation (benævnt Middelgrundsformationen) af overvejende lerede og siltede sedimenter, som hovedsageligt opbygger Store Middelgrund. Fra den svenske del af Store Middelgrund, hvor formationen når op til havbunden, tyder pollenanalyser på en Eem til tidlig Weichsel alder (Skærumhedehavet?). Formationen er glacio-tektisk foldet og forkastet i området østlige del, og forstyrrelserne aftager mod vest. En moræneenhed med meget varierende udbredelse og tykkelse overlægger Middelgrundsformationen mod nord og de prækvartære aflejringer mod syd. Moræneformationen når op til havbunden på den vestlige del af Store Middelgrund. Over morænen ligger i store dele af området, senglaciale finkornede aflejringer. Postglaciale aflejringer består af sandede residualaflejringer, som dannes rundt om Store Middelgrund, og hvis kornstørrelse aftager ved stigende vanddybde (Figur 53 og Figur 54). Finkornede mere organisk-rige aflejringer findes fortrinsvis på vanddybder mere end 30 m i specielt området sydøstlige del.

8.4.2.2 Råstofforekomster

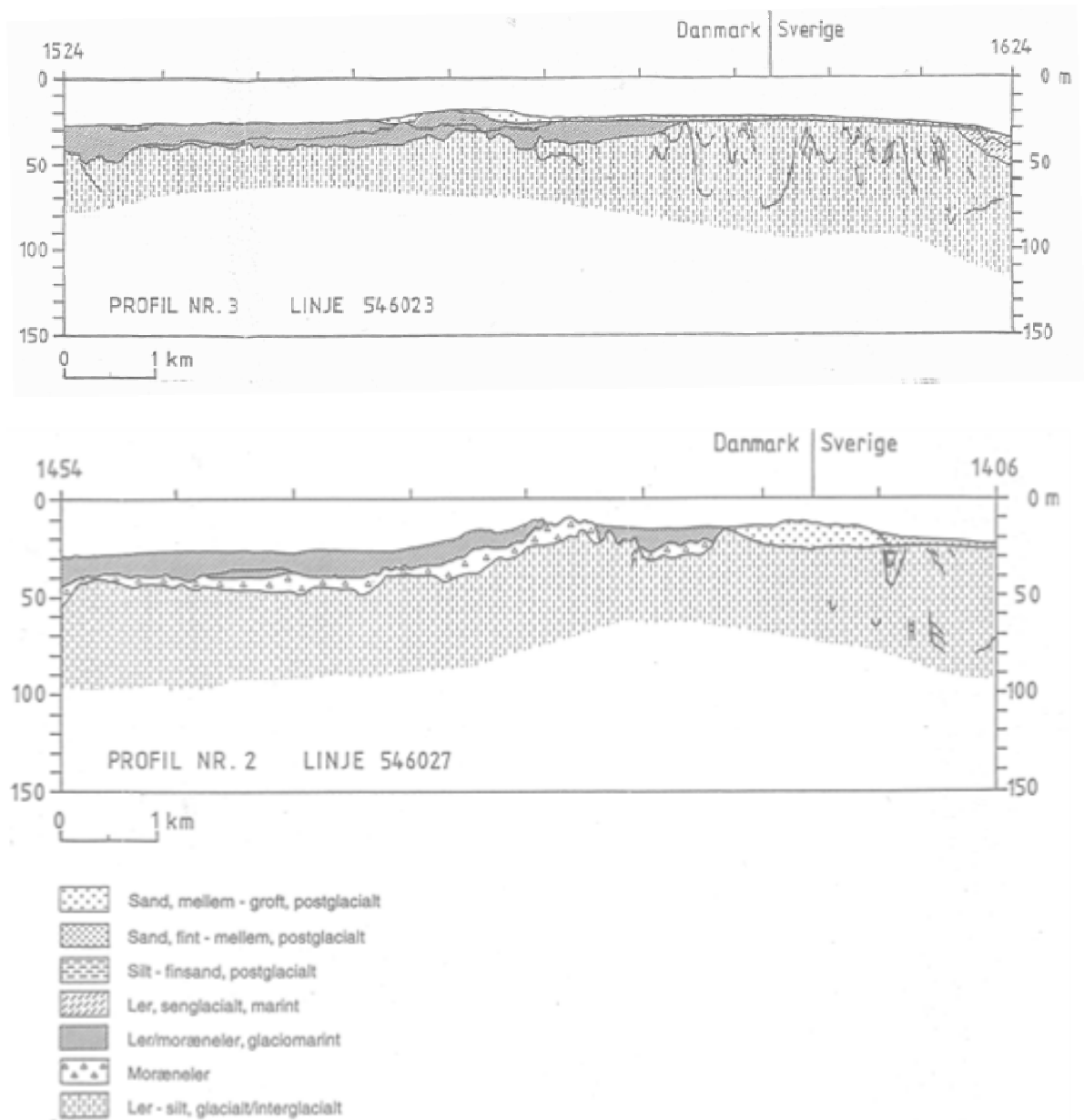
De mest grovkornede og råstofmæssigt interessante forekomster er lokaliseret på Store Middelgrunds sydøstlige ende på vanddybder mellem 10 og 30 m. Der er tale om erosionsmaterialer fra de højtliggende områder mod NV, som bl.a. består af moræneler. Forekomstens største tykkelse er omkring 10-12 m i området nordvestlige ende. Forekomstens volumen blev i 1993 estimeret til ca. 17 mio. m³. Aflejringerne fortsætter på den svenske side af territorialgrænsen. Overflade sedimentet består af mellem-groft sand i den nordøstlige højereliggende del, mens området sydlige dybereliggende del er karakteriseret ved fin-mellemkornet sand (Figur 55).

8.4.2.3 Model for Store Middelgrund råstofforekomster

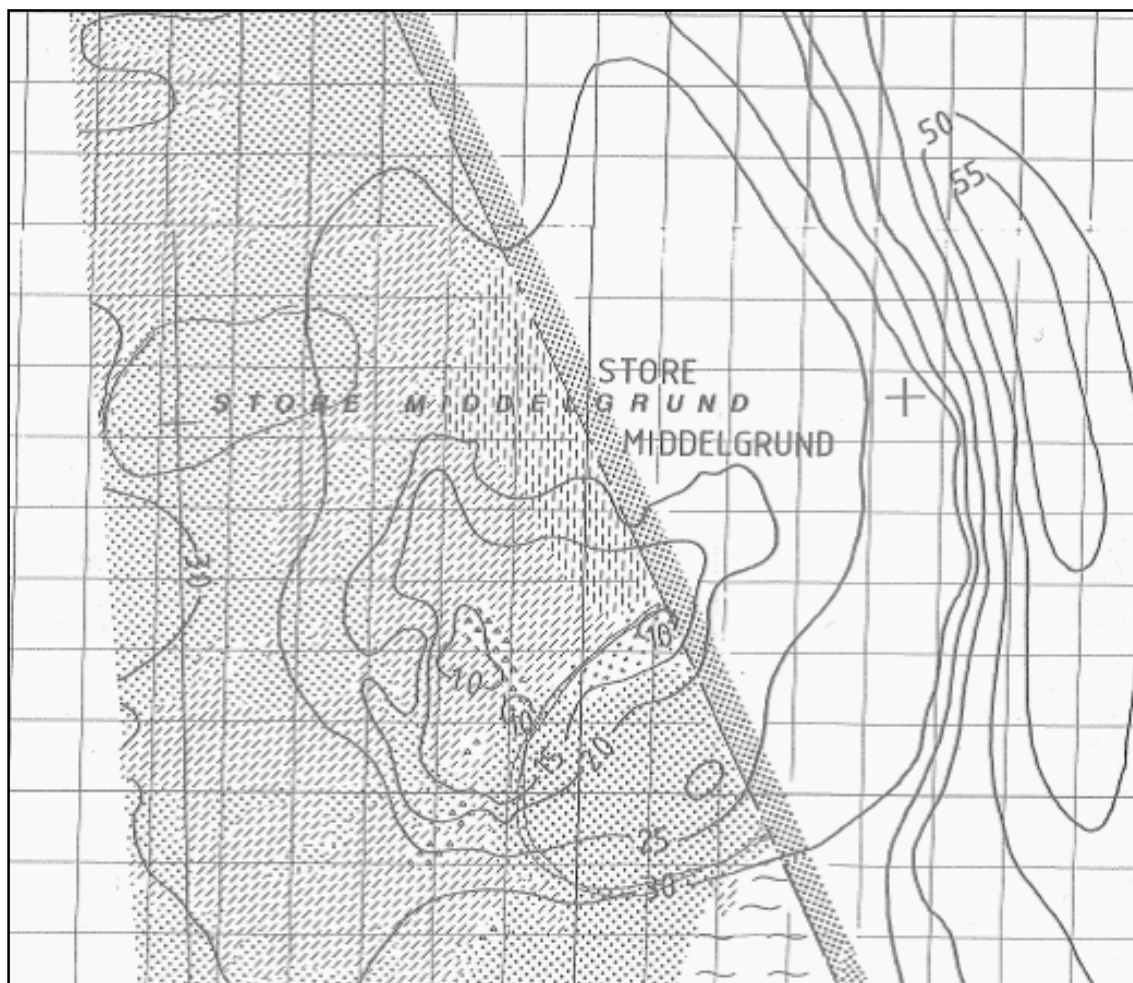
Forekomsterne anses for at være dannet meget lig råstofforekomsterne på Lyse Grund, d.v.s. dannet i forbindelse med tidlige holocæne transgression og erosion og udvaskning af Moræneler og andre glaciæle dannelser. Der mangler dog detaljerede data vedrørende timingen af de specifikke hændelser. Indirekte kan den regionale viden om havnieaustigningen og forekomsternes dybdemæssige placering dog benyttes til med nogenlunde sikkerhed at fastlægge den overordnede geologiske dannelsesmodel.



Figur 53. Boomer seismisk profil N-S gennem den centrale del af Store Middelgrund. Over karakteristisk erosionsflade (optrukket) ses 10-12 m mægtig linse af postglacialt sand (G), (fra Skov- og Naturstyrelsen, 1993).



Figur 54. Tolkede V-Ø seismiske profiler gennem Store Middelgrund. Postglaciale sande og grusede residualaflejringer er lokaliseret i læ af højtstående enheder af moræner og glaciomarine aflejringer (fra Skov- og Naturstyrelsen, 1993).



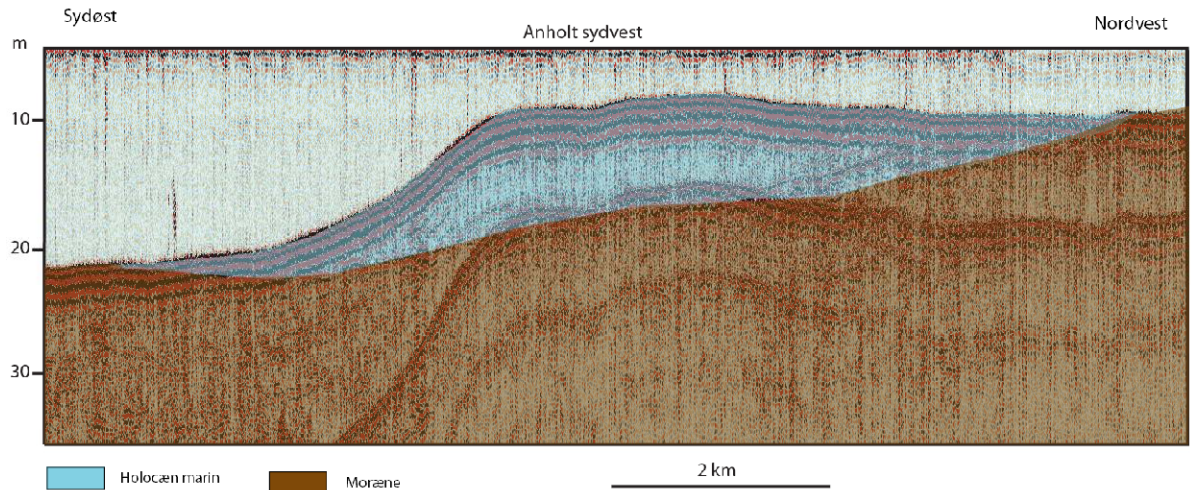
Figur 55. Overflade sedimenter ved Store Middelgrund. Moræneler er blottet på de højeste dele af grunden og sydøst herfor findes sandede residualaflejringer i dybden fra 10-30 m (fra Skov- og Naturstyrelsen, 1993).

8.4.3 Sydvest for Anholt

I et trekantsområde sydvest for Anholt (Figur 40) på vanddybder mellem 10- og 20m findes der en Holocæn transgressions flakdannelse, som kun er dokumenteret af enkelte seismi-

ske linjer (Figur 56), men som i øvrigt savner yderligere undersøgelser for at kunne vurderes som potentiel råstofressource.

Dybdeforholdene, samt placeringen i læ af Anholt gør imidlertid området interessant for yderligere undersøgelser. Der er ikke fredningsmæssige begrænsninger i området.

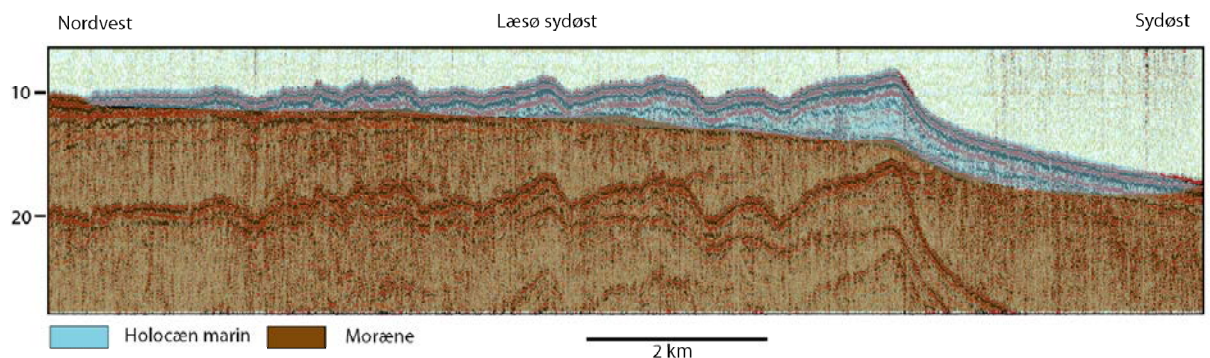


Figur 56. Boomer profil som viser tværsnit af flakdannelse sydvest for Anholt.

8.4.4 Læsø sydøst

Området sydøst for Læsø er karakteriseret af mange fredningsinteresser (Figur 40), men indeklemmt mellem to habitatområder findes der et flakområde på en skulderlignende struktur, der udgør kanten mod de øst for beliggende dybe render, som udgør størstedelen af den svenske del af Kattegat (Figur 3).

Der findes kun enkelte seismiske data, der kan dokumentere den potentielle ressource (Figur 57).



Figur 57. Boomer profil som viser tværsnit af flakdannelse sydøst for Læsø.

8.4.5 Djursland Nord

Havbunden nord for Djursland er kortlagt i forbindelse med den generelle kortlægning, som Fredningsstyrelsen gennemførte i 1984 med det formål at lokalisere og afgrænse potentielle sømaterialer. Resultaterne fra undersøgelsen er publiceret i en række geotekniske rapporter til Fredningsstyrelsen udfærdiget af Geoteknisk Institut og senere publiceret af Fredningsstyrelsen (1986). Undersøgelserne i 1984 omfatter dels refleksions-seismiske profileringer, dels prøveoptagninger med vibrations boregrej, faldprøveoptager og grab. Prøvematerialet blev beskrevet geologisk af DGU inklusiv laboratorieanalyser af udvalgte prøver.

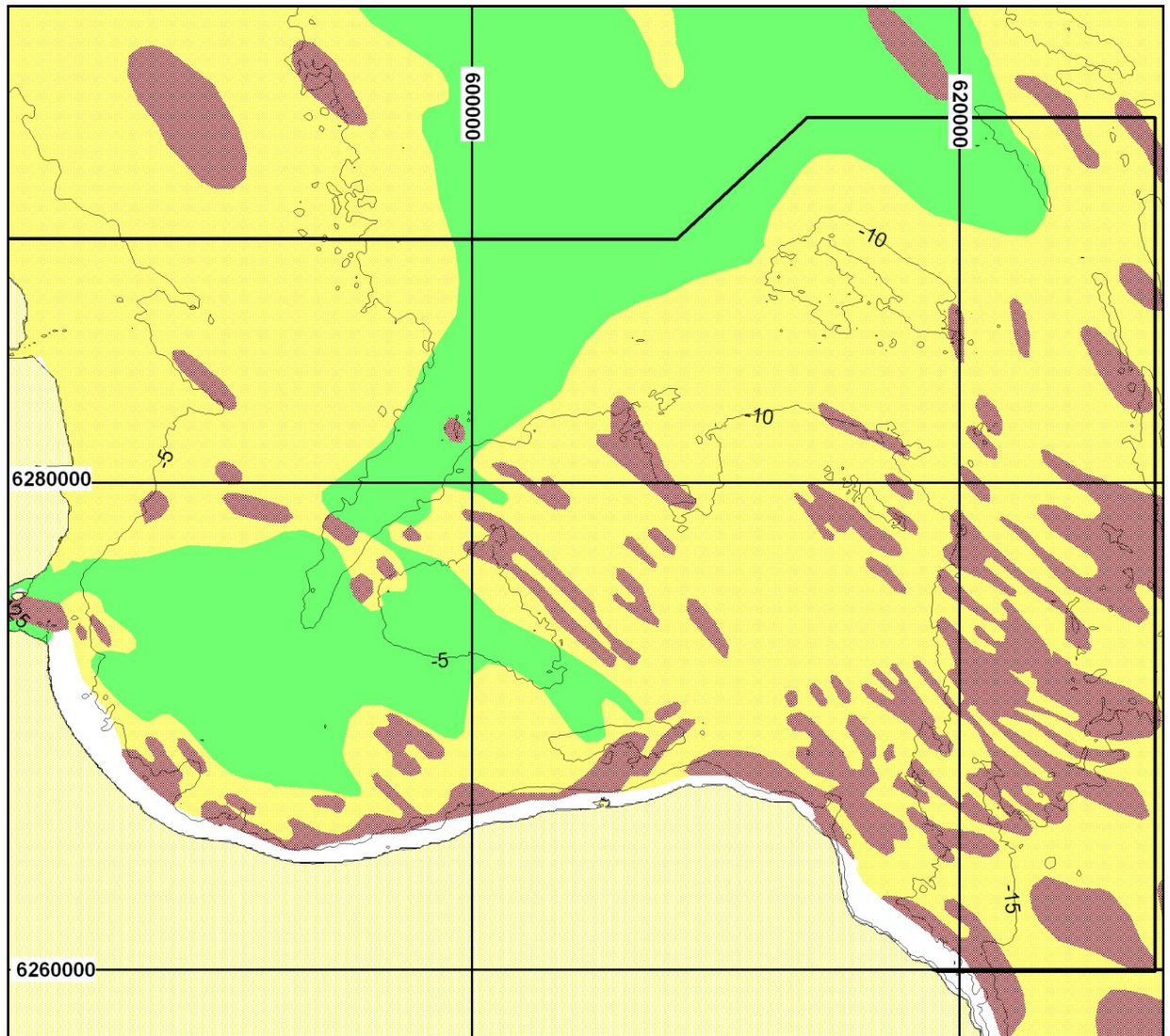
8.4.5.1 Bathymetri og overfladesedimenter

Havbundens beskaffenhed kan beskrives ud fra en kombination af sedimentfordelingen og bathymetrien (Figur 58). I den vestligste del, hvor vanddybden generelt er lavere end 10 m, består havbunden af recent – sub-recent gytjeholdigt, siltet finsand med mindre områder af stenet morænelersbund. Længere mod nordøst, hvor vanddybden stiger til 10 – 15 m, præges havbunden af marint fin-mellemkornet sand. I retning mod Djurslands nordøstkyst veksler havbunden mellem sandbund og områder med stenet og gruset bund pga. glaciallandskab og deraf følgende moræneaflejringer eroderet frem på havbunden. Denne sedimentfordeling antages at afspejle et glaciallandskab adskilt af sedimentfyldte dalsystemer.

8.4.5.2 Geologisk udvikling

Ud fra analyser af boringer foretaget i området er det fastslået, at moræneaflejringerne stammer fra Weichsel istiden. Som det fremgår af Figur 58 præges glaciallandskabet af et kraftigt relief gennemskåret af dalsystemer. Dalsystemerne relateres til Gudenå-systemet, der i den sidste del af den sen-glaciale periode drænerede smeltevand ud i Kattegat fra det bagvedliggende landområde. Dette har givet anledning til afsætning af smeltevandssedimenter på udstrakte smeltevandssletter, under den nuværende havbund. Den efterfølgende sen-glaciale transgression af Yoldiahavet har givet anledning til finkornede aflejringer i områdets vestlige og østlige del.

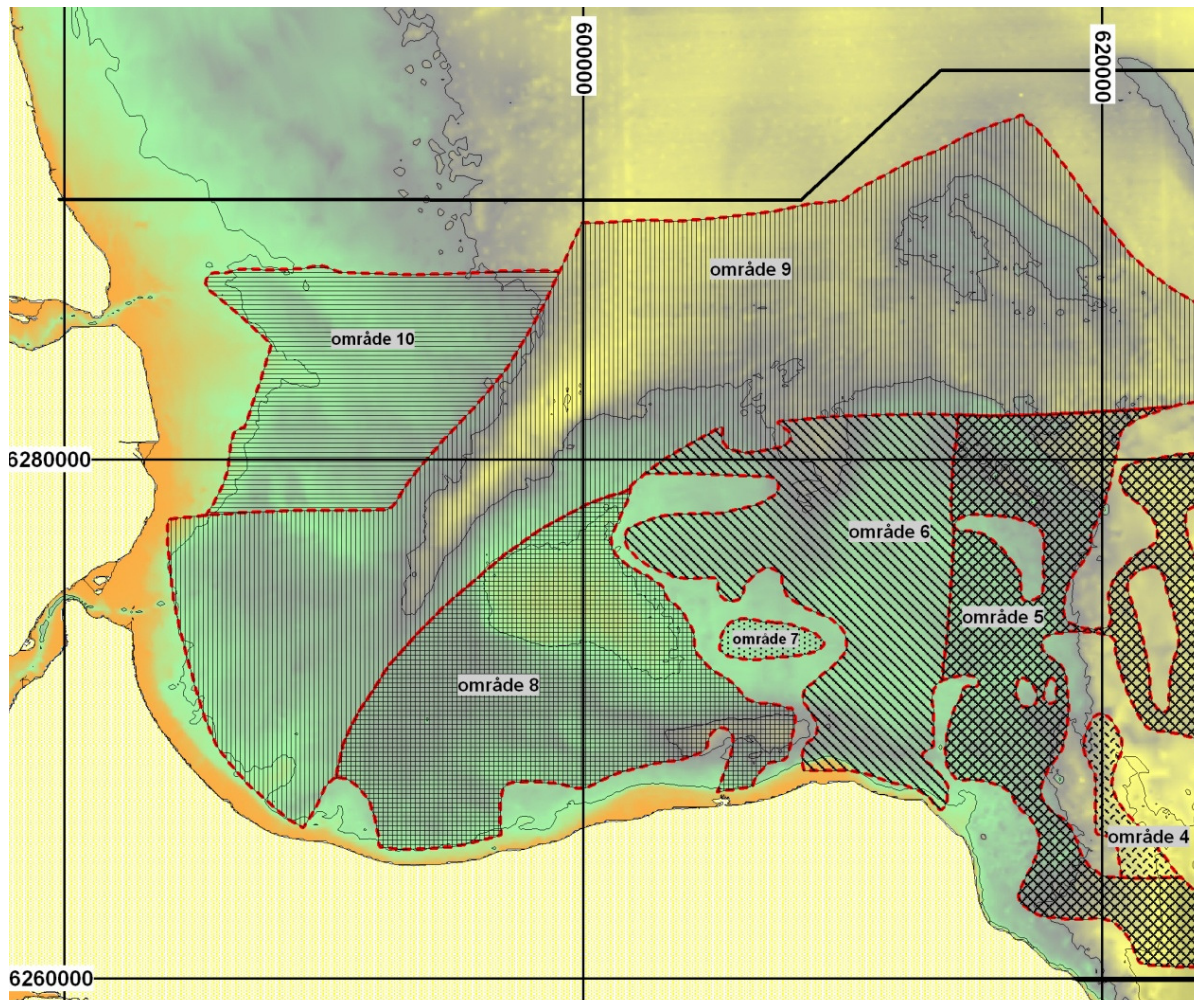
Efterhånden som landhævningen efter sidste istid begyndte at aftage og vandstandsstigning i verdenshavene blev intensiveret, blev havbunden nord for Djursland gradvist oversvømmet. Fra dette tidspunkt og frem til i dag aflejres sandede og siltede marine aflejringer.



Figur 58. Havbundssedimenter og bathymetri i området nord for Djursland. Den sorte ramme angiver afgrænsningen af undersøgelsesområdet. (Fra Hermansen og Jensen. 2000).

8.4.5.3 Ressource vurdering

På baggrund af undersøgelsesresultaterne fra 1984 er de kortlagte ressourceområder blevet gennemgået. Figur 59 viser fordelingen af de ressourceområder kortlagt i forbindelse med 1984-undersøgelsen.



Figur 59. Fordelingen af ressourceområder kortlagt i forbindelse med 1984-undersøgelsen.

Generelt er områdets vestlige del (ressourceområderne 8, 9 og 10) karakteriseret ved at indeholde postglacialt, marint sand. Tykkelserne varierer fra 1 til 5 m. Forekomsten består af finkornet sand med et varierende indhold af mellemkornet sand og silt. Udstrækningen af område 9 svarer i hovedsagen til forløbet af den underliggende begravede smeltevandsdal (Gudenå-systemet), hvorfor det antages, at oprindelsen af det marine sand er de underliggende smeltevandaflejringer. Det er derfor muligt, at de marine sandforekomster kan indeholde en del omløjet organisk materiale.

Ud for Djurslands nordøstkyst finder man ressourceområderne 4, 5 og 6, der er beskrevet som postglacialt, marint fin-mellemkornet sand. Forekomsten hviler ofte på glaciale aflejringer, hvorfor det kan antages, at kildeområdet til dels findes i det underliggende moræneler. Det kan derfor ikke udelukkes, at grovere marine aflejringer indeholdende groft sand og grus kan findes i området. Tykkelsen af disse forekomster er begrænset til mellem 1 og 3 m.

8.5 Holocæn transgression og subrecent til recent mobilt sand

I Kattegat findes der en del sandområder, som delvist er mobile subrecente til recente sandbanker. De fleste af dem har dog en kerne af sand materiale, der stammer fra kystdannelser fra en tidligere fase af den holocæne transgression. Hals Barre komplekset er et typeeksempel på den slags potentielle sandressourcer.

8.5.1 Hals barre (paragraf 20 tilladelse)

Hals Barre er et større sandbanke kompleks, hvori der er 2 paragraf 20 tilladelser. Området er en del af den generelle kortlægning af Læsø Rende (Figur 60), som Fredningsstyrelsen gennemførte i 1983, med det formål, at lokalisere og afgrænse potentielle sømaterialer. Resultaterne fra undersøgelsen er publiceret i en række geotekniske rapporter til Fredningsstyrelsen udfærdiget af Geoteknisk Institut (Fredningsstyrelsen, 1983). Undersøgelserne i 1983 omfatter dels reflektions-seismiske profileringer, dels prøveoptagninger med vibrations boregrej, faldprøveoptager og grab. Prøvematerialet blev beskrevet geologisk af DGU inklusiv laboratorieanalyser af udvalgte prøver. Resultaterne fra undersøgelsen er endvidere publiceret i en videnskabelig publikation med de almene geologiske resultater fra kortlægningen (Larsen et al., 1985).

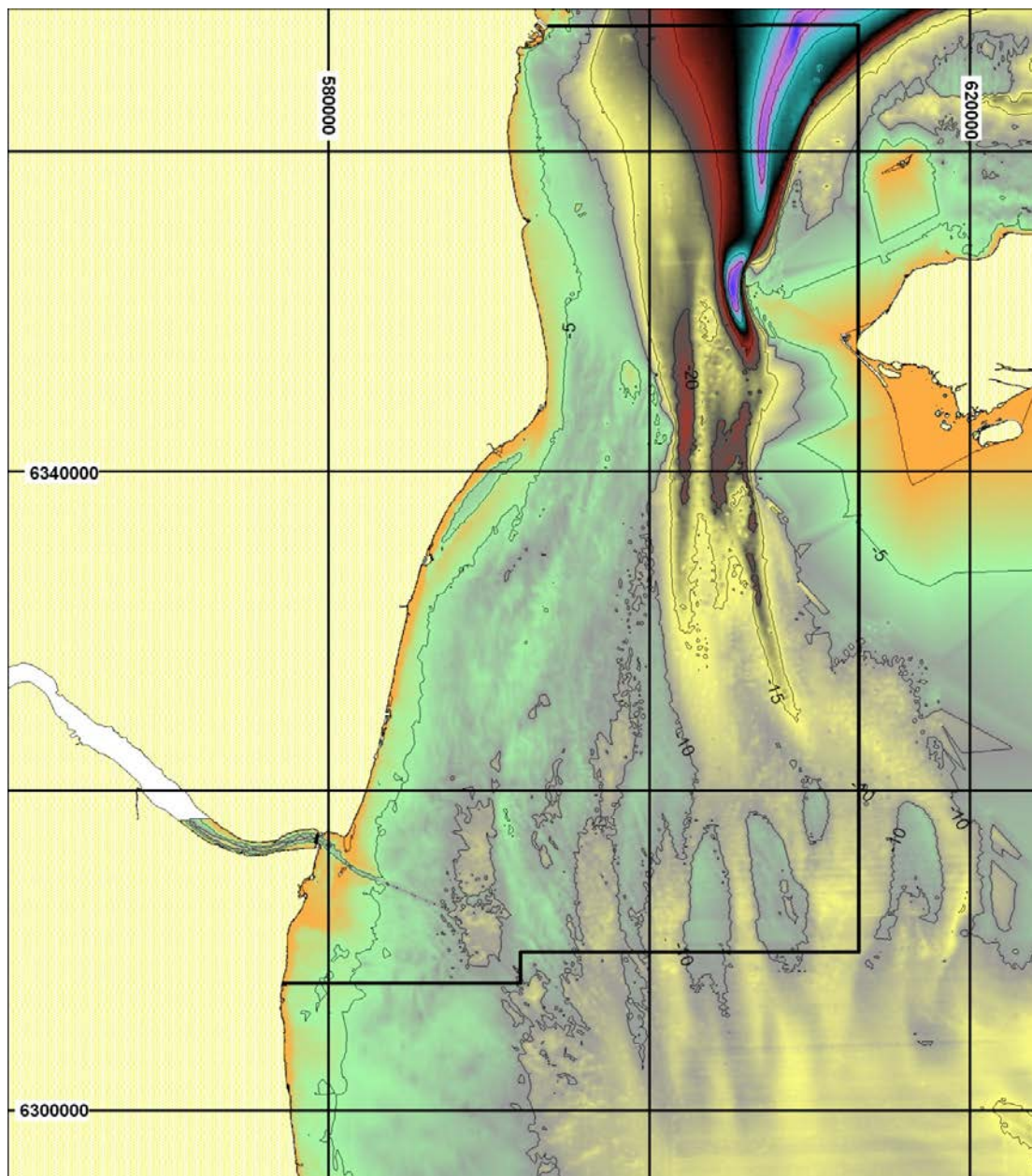
En kort gennemgang af ovenstående undersøgelser findes i (Leth, 2007)

Endvidere har følgende litteratur været inddraget i studiet: Fredericia (1987), Jensen et al. (2002), Hermansen and Jensen (2000) og Knudsen et al. (1987).

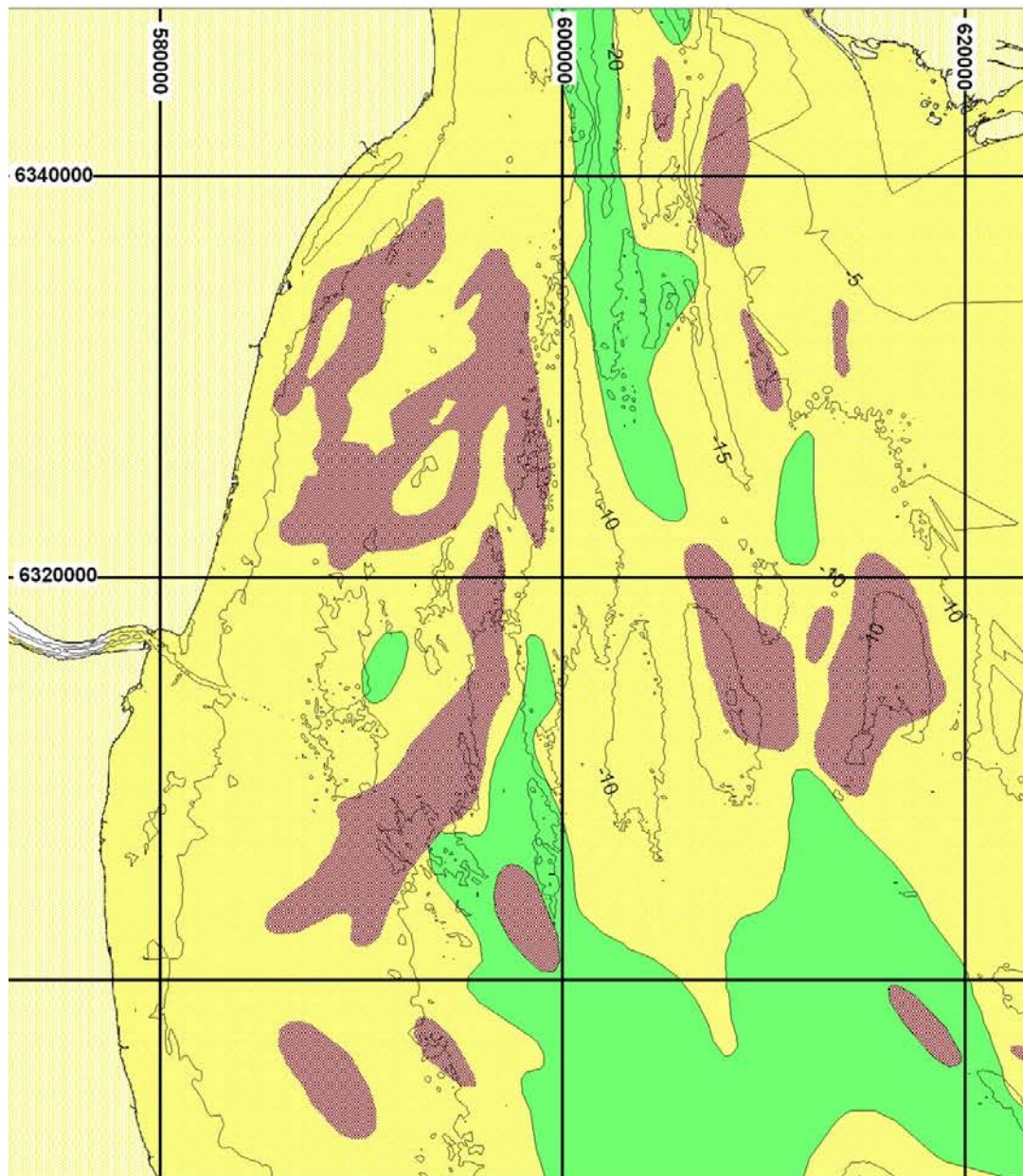
8.5.2 Bathymetri og overfladesedimenter

Farvandsvæsenets data er benyttet til at producere et griddet dybdekort (Figur 60) som er anvendt til vurderinger havbundsmorfologien i området. Bortset fra selve Læsø Rende er det et antal nord syd orienterede banker, der fanger øjet, og som også viser sig at have råstofmæssig relevans.

Den geologiske historie hænger nøje sammen med overfladesedimenternes nutidige fordeling. De glaciale og senglaciale dannelser er således i forbindelse med den holocæne transgression blevet udsat for erosion. Finstoffet (silt og ler) er mobiliseret og hovedsagelig transporteret ud på større vanddybder blandt andet til den nordlige del af området, hvor der findes sedimenter af sandet dynd (Figur 61). Sandet derimod blev aflejret tæt på kildeområdet. Sandet findes især i den sydlige del af området i karakteristiske langstrakte formationer (10-20 km) i nord-syd retningen med tykkelser på op til 5 m og en bredde på 1-2 km. Disse sandede formationer fremstår typisk som topografiske elementer på havbunden, der kan lokaliseres på det bathymetriske kort (se Figur 60). Morfologien af disse sandlegemer tolkes som delvist fossil, dvs. fra en periode med lavere havspejl og et større energiniveau, men sandsynligvis foregår der og har der foregået en ikke ringe omlejring af sandet forårsaget af subrecent og recent barotrofisk strømning i den østlige del af Kattegat.



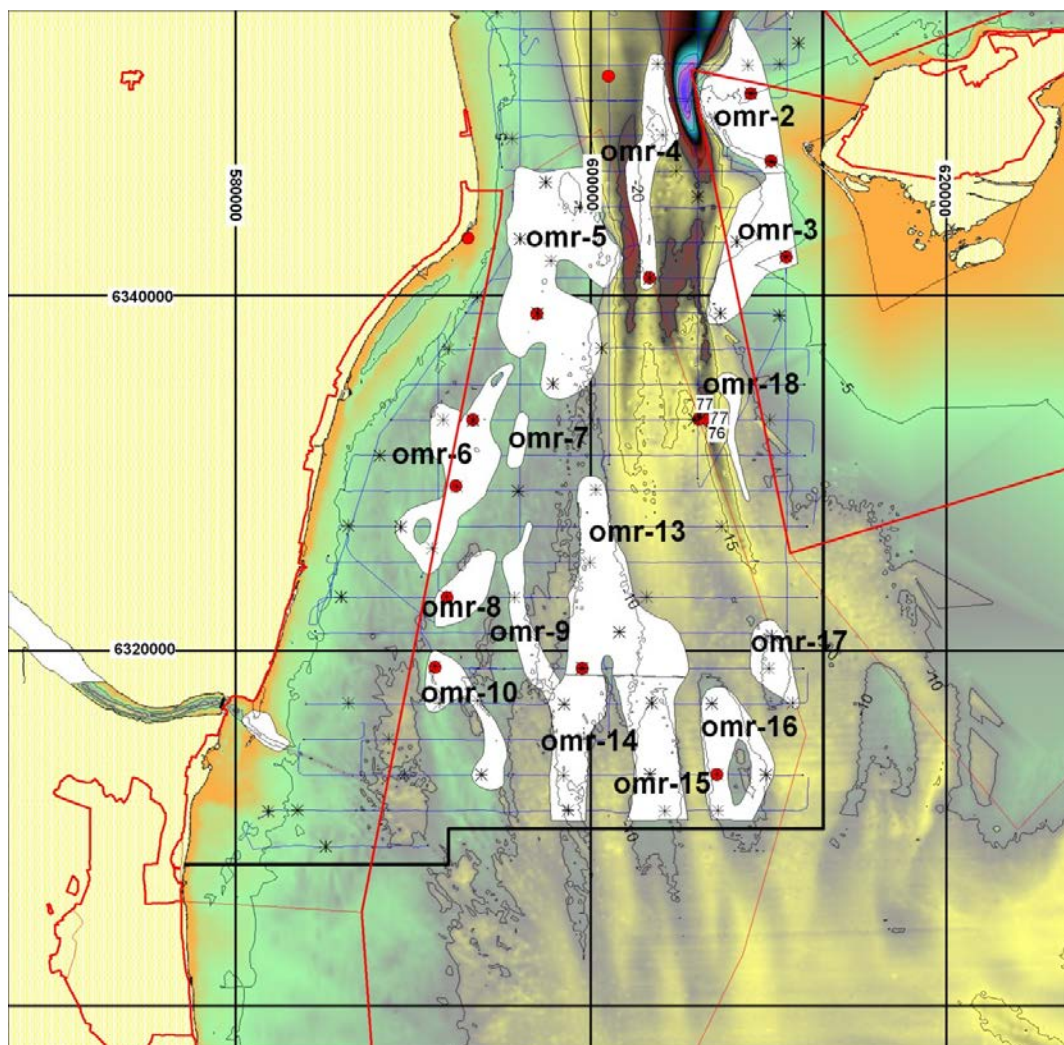
Figur 60. Bathymetri for området omkring Hals Barre og Læsø Rende. Dybderne angivet med 5 meters konturinterval. Den sorte ramme angiver afgrænsningen af undersøgelsesområdet, Læsø Rende. WGS84-projektion, UTM-zone 32.



Figur 61. Kort der viser overfladesedimenterne i Læsø Rende (gul = sand; brun = moræne/hård bund; grøn = sandet dynd). Dybdekurver med 5 m ækvidistance. Modifieret efter Hermansen og Jensen, 2000.

8.5.3 Ressource vurdering

En samlet vurdering af de tilgængelige geologiske informationer fra området viser fordelingen af de ressourceområder der er kortlagt i forbindelse med 1983-undersøgelsen (Figur 62.).



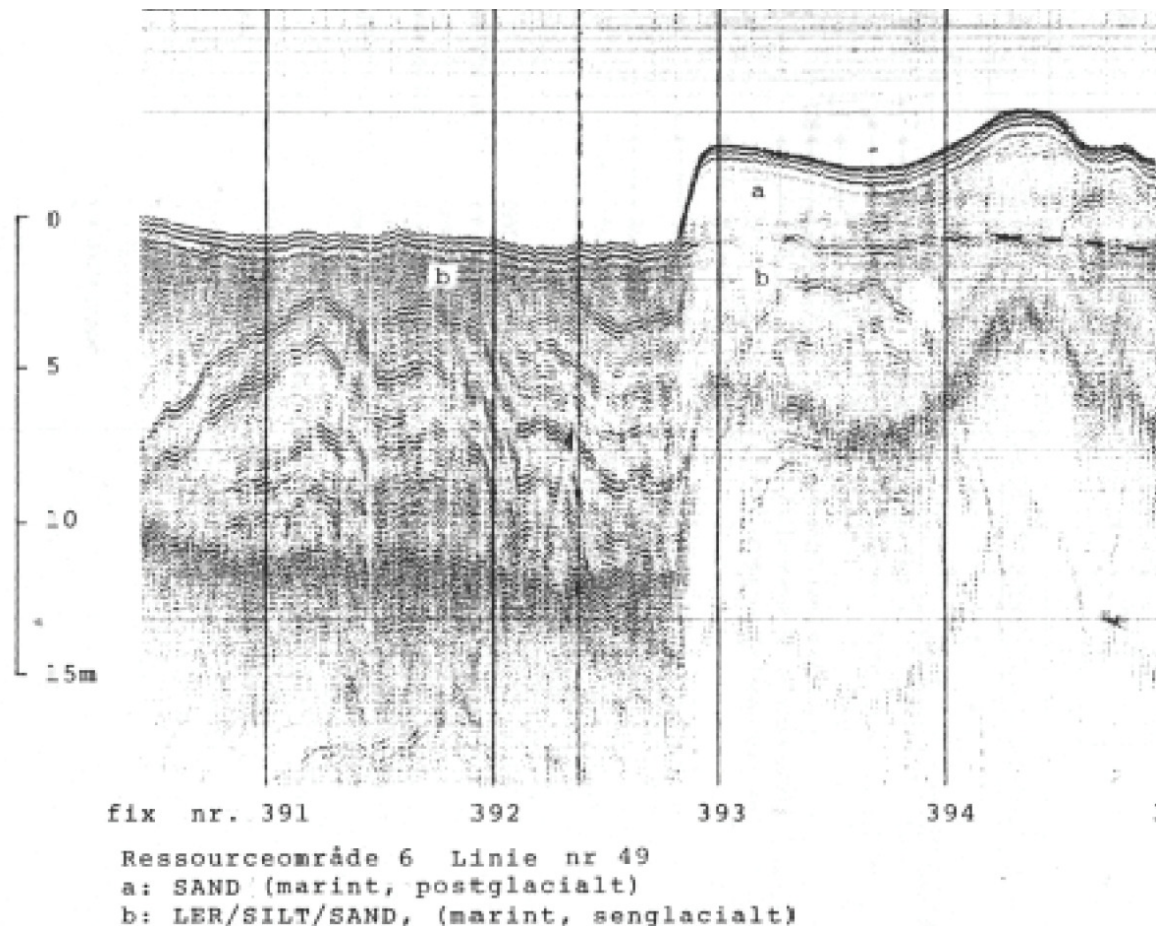
Figur 62. Resultatet af ressourceundersøgelsen i 1983, her angivet som hvide områder med de respektive ressourceområders navn. De røde prikker angiver vibrationsboringer med nummer. Sort stjerne angiver overfladeprøve.

Generelt kan det konkluderes, at de 18 afgrænsede ressourceområder alle indeholder fint og fin-mellemkornet sand af marin, postglacial oprindelse.

Som eksempler på ressourceotypen kan nævnes Ressourceområdene 6 og 15.

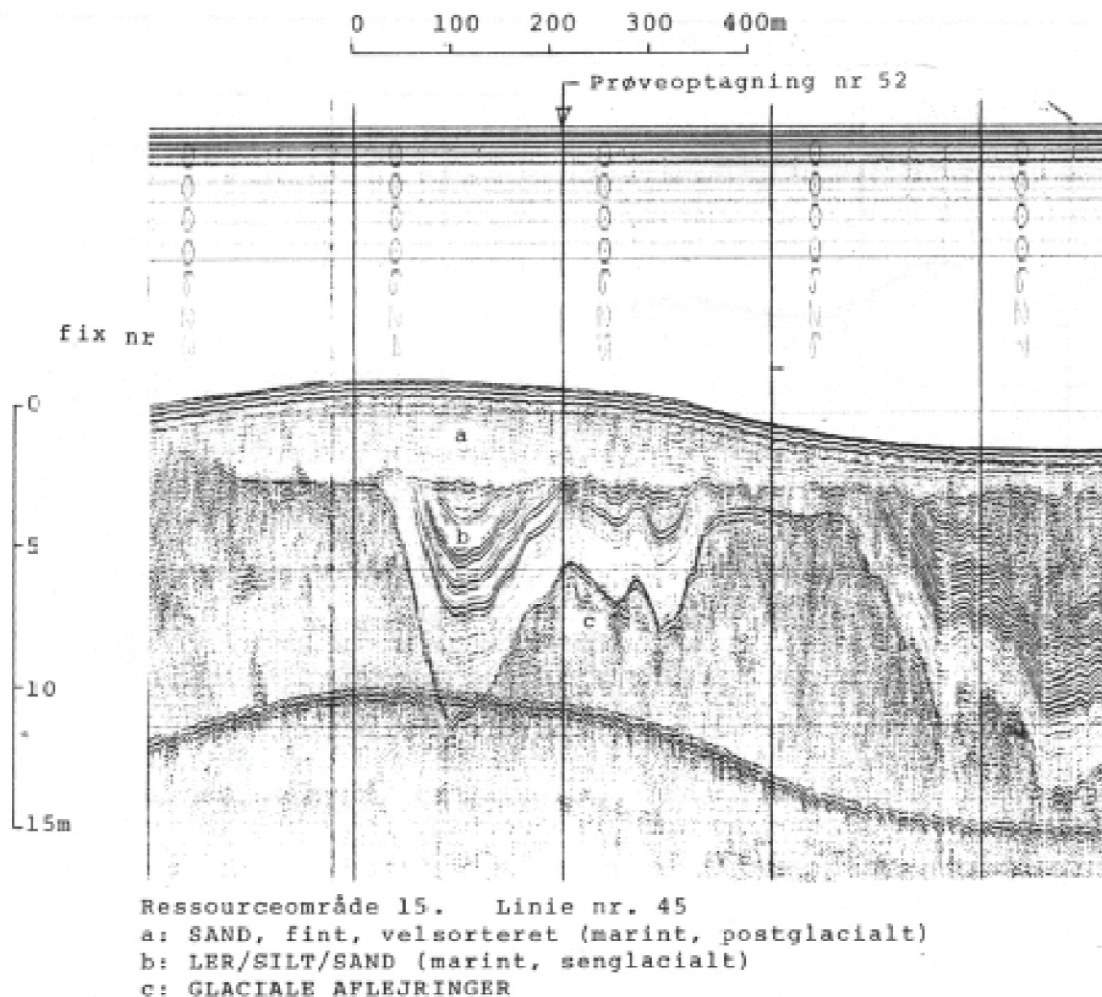
Ressourceområde 6: Omfatter en række af kystparallelle grunde med Middelgrund i nord og Svitringen Rende mod øst. Vanddybden er begrænset til 5-9 m. Tykkelsen er op til 3-4 m nedefter begrænset til glacial eller senglaciale aflejringer. Figur 63 gengiver et seismisk snit gennem området, hvoraf det antydes, at forekomsten til dels udgør en række dynami-

ske bundformer i ligevægt med den recente kystparallelle strøm. Materialet af forekomsten er i borerne beskrevet som velsorteret, fint-mellemkornet sand. En stor og interessant forekomst, dog antyder boreroplysningerne at materialerne i niveauer kan indeholde grovsand. Den vestligste del af forekomsten findes på problematiske vanddybder i forhold til at kunne give effekter på kysten i forbindelse med en indvinding. Samtidig ligger den vestlige del af forekomsten indenfor habitatområdet og hele området indenfor fuglebeskyttelseslinien. Men de dynamiske former giver gode forhåbninger om et velsorteret materiale.



Figur 63. Seismisk snit gennem Ressourceområde 6. Forekomsten er angivet med a).

Ressourceområde 15: Omfatter grundene Vestlige Knold og Østre Knold øst for Langrevle (Figur 64). Sammensætningen af materialet er kun dokumenteret i én boring, der viser vekslende lag af postglaciale, marint fint-mellemkornet sand. Vanddybderne er 8-11 m. Ligger indenfor fuglebeskyttelsesområdet. Interessant forekomst på gunstige vanddybder.



Figur 64. Seismisk snit gennem ressourceområde 15. Forekomsten er angivet med a).

På baggrund af de tilgængelige analyser og seismiske tolkninger fra undersøgelsen er der påvist flere områder med et råstofmæssigt potentiale. Der bør dog foretages yderligere kortlægning og prøvetagning for at fastslå de potentielle råstoffers kvalitet.

Da undersøgelserne for Fredningsstyrelsen har ca. 25 år på bagen, må det forventes at havbundens overflade i visse områder kan have ændret sammensætning. Derimod kan det forventes at ressourceområderne, som de er beskrevet og afgrænset, har en høj konfidens, idet det bagvedliggende dokumentationsmateriale er ganske godt dækkende. Den seismiske dækning er således 2 x 5 km sejllinje net, og tætheden af overfladeprøver er ganske tilfredsstillende til at karakterisere området. For en detaljeret ressourceundersøgelse, hvor kvalitet og volumen skal vurderes, vil det anbefales at lade gennemføre supplerende seismisk kortlægning og prøvetagninger.

9. Den vestlige del af Østersøen - et resumé af GEUS rapport 2010/105

GEUS blev i 2009 af Femern Bælt bedt om at evaluere mulige marine råstofforekomster til brug i konstruktionen af Femern Bælt forbindelsen. Rapporten "Femern Bælt Forbindelsen – Evaluering af Marine Råstoffer et skrivebordsstudie" (Jensen 2010) indeholder et geologisk datagrundlag fra GEUS' arkiver og tidligere publicerede ressourceopgørelser. På baggrund af dette skrivebordsstudie er der her sammenskrevet et resumé af udvalgte potentielt interessante ressourceområder.

På baggrund af denne rapport er følgende områder fundet råstofmæssigt interessante (Figur 66):

Vejsnæs Flak ser interessant ud, idet dele af flakket er dækket af et eksisterende konverteringsområde, hvor der indvindes grus og ral. Manglende kortlægning gør det umuligt at angive potentielle volumener, men området er bestemt interessant for yderligere undersøgelser.

Område Femern Bælt må formodes af indeholde omkring 10 mio. m³ sand. Kvaliteten forventes at være fin- til mellemkornet sand, men en egentlig dokumentation mangler.

Område 568015 og 568016 består af fossile kystaflejringer i den vestlige del af Femern Bælt. Disse aflejringer består hovedsageligt af finkornet sand, men i selve bølgefelterne kan der være tale om mellem til groft sand i mængder på op til 5 mio. m³. Derudover findes der langs den nordvestlige rand af område 568016 grovkornede kystdannelser, som består af grus og ral og udgør mængder på op til 3 mio. m³. De eksisterende undersøgelser bør suppleres med detaljeret seismik og prøvetagninger.

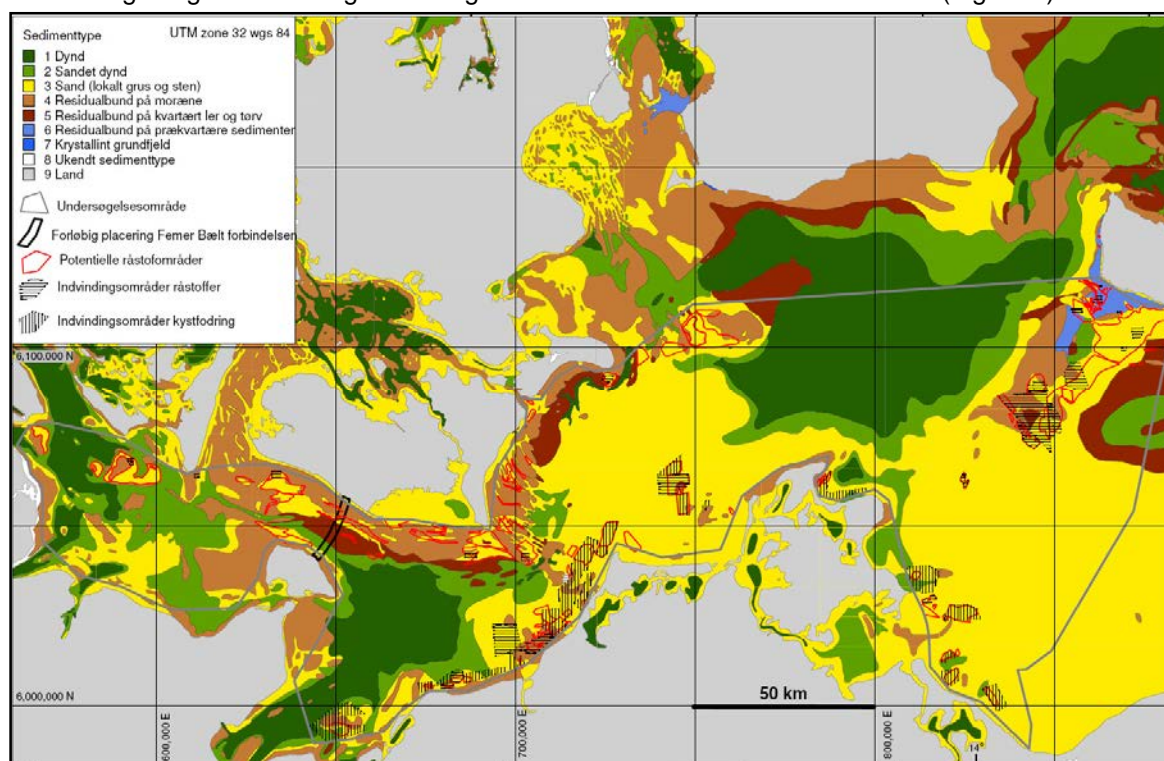
Kriegers Flak er meget interessant kvantitetsmæssigt, da der formodes at findes flere hundrede millioner kubikmeter sand og grus. I mindre områder er der i forbindelse med byggeprojekter udført semidetaljerede undersøgelser, og der er i disse mindre områder dokumenteret 30-50 mio. m³ sand. Til udpegnings af specifikke indvindingsområder, vil det være nødvendigt at foretage en gentolkning af eksisterende data. Specielt hvis der ønskes udpeget grus og ral, er det nødvendigt med en kombineret retolkning af data og supplerende detaljerede seismiske undersøgelser i området.

Rønne Banke består af postglacialt marint sand, som er afsat i kileformede enheder langs de højtliggende prækvartære aflejringer, som findes nær overfladen sydvest for Bornholm. Området formodes at indeholde over 1.000 mio. m³ sand, som, ud fra et generelt seismisk net på 2x5 km, boringer og prøvesandspumpninger, består af sand anvendeligt til beton. Det kan anbefales at gennemføre en detaljeret undersøgelse i et begrænset område for at sikre sig sandkvaliteten.

9.1 Geologisk model for området

I forbindelse med afsmeltningen af det Skandinaviske Iskjold blev der i den vestlige del af Østersøen aflejret henholdsvis moræneler og smeltevandsdannelser (evt. åsdannelser). Denne afsmeltning resulterede i søer langs isranden med aflejring af issøler til følge. Efter isens afsmeltning dannede vandstandsændringer flere afbrudte søfaser (den Baltiske Issø og Ancylus Søen), og resulterede også i afsætning af kystaflejringer på nuværende vanddybder af 10-20 m. Endelig har den marine Littorina transgression medført aflejring af marine kystaflejringer i forskellige niveauer inden Østersøen fik sin nuværende form.

Et overfladesedimentkort for Femern Bælt publiceret i 1:200.000 af Jensen et al. (1996) og suppleret af et generelt havbundssedimentkort for området (Hermansen og Jensen, 2000) viser den geologiske udvikling i fordelingen af havbundens overfladesedimenter (Figur 65).

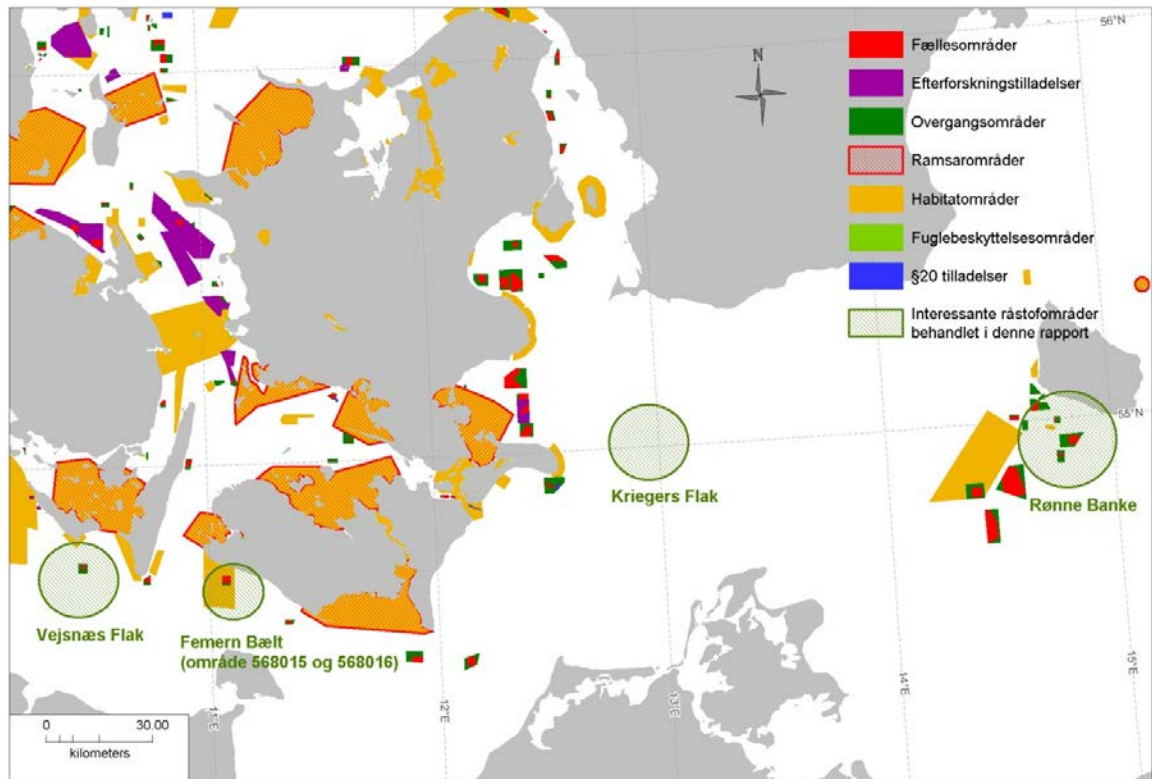


Figur 65. Overfladesedimentfordeling i den vestlige del af Østersøen. Ud fra den geologiske model har det været muligt at identificere en række råstofområder, som vil blive omtalt i det følgende.(Hermansen & Jensen, 2000).

9.2 Potentielle ressourceområder i den vestlige del af Østersøen

Ovenstående beskrivelse af den geologiske historie og de potentielle råstofforekomster er baggrunden for følgende gennemgang af de interessante ressourceområder i den vestlige del af Østersøen. Til hjælp med vurdering af de potentielle råstoffs mulige fordeling i undersøgelsesområdet kan den sandede havbund på overfladesedimentkortet (Figur 65) anvendes sammen med dybdekortet og viden om indvinding i de eksisterende fællesområder. De følgende

afsnit vil diskutere råstofpotentialet i områderne omtalt i indledningen, samt give en opfølgning på manglende viden i disse områder. Figur 66 giver en oversigt over områderne fundet råstofmæssigt interessante.



Figur 66. Kort over indvindingsområder, habitater samt områder som er vurderet som interessante typeområder for den fremtidige kortlægning (grønne cirkler).

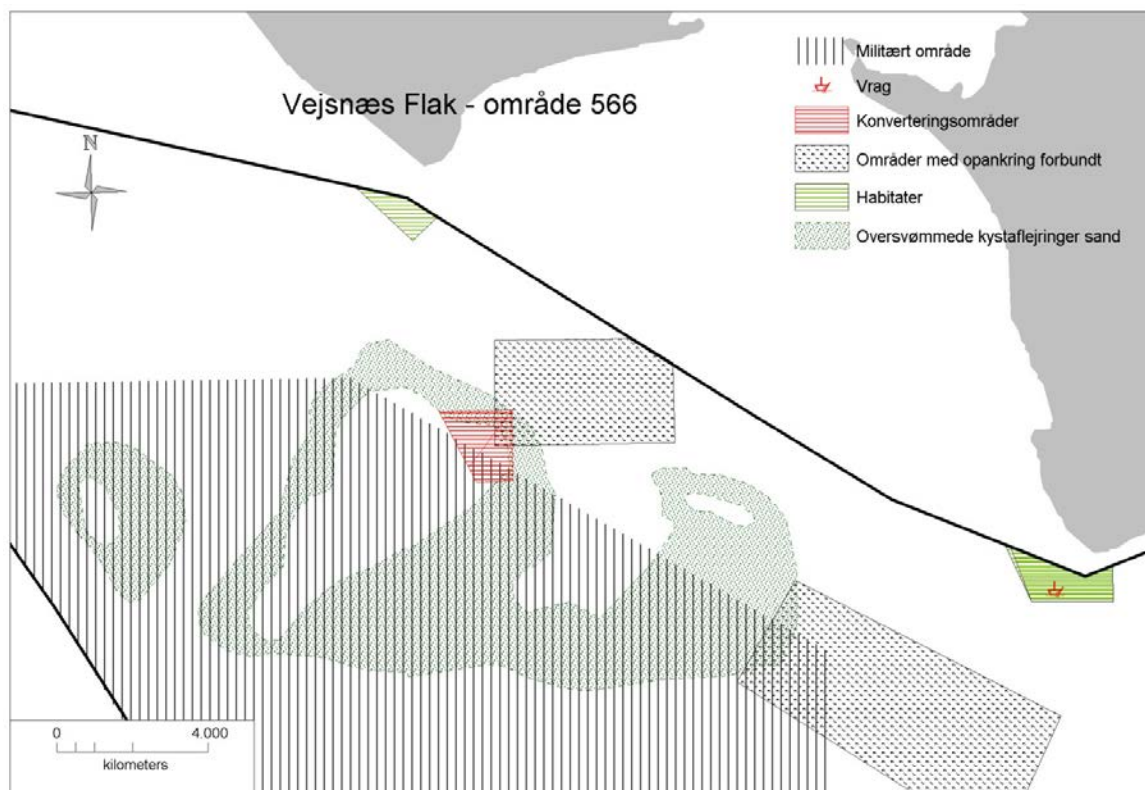
9.3 Vejsnæs Flak

I den vestlige del af Østersøen (vest for Femern Bælt) findes Vejsnæs Flak, som er et velkendt ressourceområde, hvor der også er udpeget et overgangsområde. Der er i perioden 1990 til 2008 indvundet godt 1 mio. m³ sand, grus og ral (se Tabel 2).

Overgangsområde 566-BA Vejsnæs Flak	1990 -1995	1996 - 2000	2001 -2005	2006 - 2008	I ALT
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1 SAND	33.111	328.449	1.337	20.861	383.758
2 GRUS	0	6430	4.915	0	11.345
3 RAL	0	0	237.235	1.690	395.103
4 FYLDSAND	4.336	64.116	272.015	141.082	481.549
I ALT	37.447	398.995	515.502	163.633	1.115.577

Tabel 2. Oversigt over indvundne råstoffer i overgangsområde 566-BA Vejsnæs Flak i perioden 1990-2008.

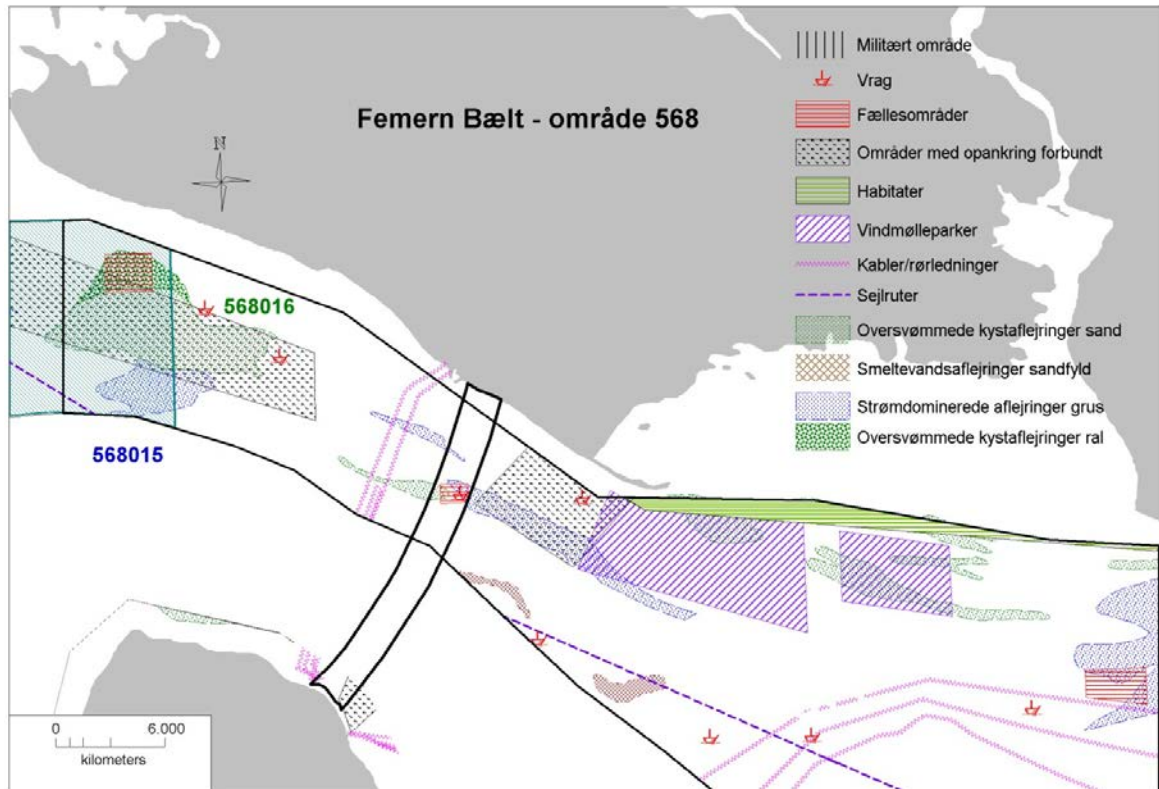
I 2009 blev der givet tilladelse til indvinding af yderligere 250.000 m³ fra område 566-BA Vejsnæs Flak, og indvindingsfirmaer har pågående undersøgelser i området. Området er geologisk set druknede kystaflejringer omkring et glacialt lavvandsområde. Den generelle geologiske opbygning er kendt fra Winn et al. (1982), men det er kun en begrænset del af flakket, der er seismisk kortlagt med råstoffer for øje. Det antages, at der er gode muligheder for, at der på flakket kan findes supplerende sand, grus og ral, dog kan der ikke angives mulige råstofmængder (Figur 67). Der er opankring forbudt i to begrænsede områder, mens et militært øvelsesområde dækker den sydlige ca. 2/3 af Vejsnæs Flak.



Figur 67. Område 566 – Vejsnæs Flak med angivelse af potentielle ressourceområder, indvindingsområder og begrænsninger. Konverteringsområde 566-BA Vejsnæs Flak er angivet, hvilket er det gamle overgangsområde.

9.4 Område Femern Bælt

Femern Bælt området er kortlagt i forbindelse med en generel råstofgeologisk kortlægning af de danske farvande (Jensen, 1992). Det dominerende aflejningsmiljø for de relevante ressourcer er fossile marine kystaflejringer, og kortlægningen er udført i en sådan detalje-grad, at det er muligt at udpege sandsynlige ressourcer (Figur 68). I nærheden af de grovkornede kildeområder er det muligt at finde grus og sten, mens resten af området er karakteriseret af velsorteret sand. En del af de fossile kystaflejringer bærer præg af recent strømningsbetinget modificering, for eksempel ses sandbølger i den vestlige del af Femern Bælt, som er domineret af indgående bundstrøm.



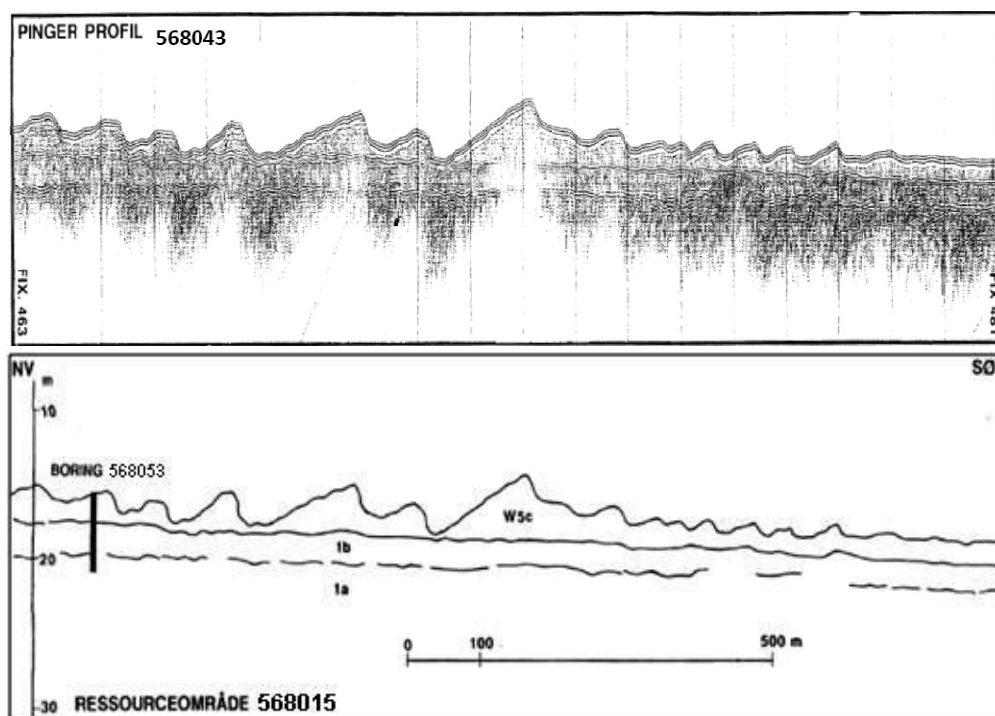
Figur 68. Femern Bælt – område 568 med angivelse af potentielle råstofressourcer, indvindingsområder og begrænsninger. Femern Bælt forbindelsens foreløbige tracé er indtegnet og områderne 568015 og 568016 er angivet (disse vil blive nævnt senere i rapporten).

I den centrale del af området er de senglaciale langstrakte volde tolket som åsdannelser, der formodes at indeholde sandede sedimenter. Der er i området udlagt tre overgangsområder, som til sammen indeholder 13 mio. m³ sand og 3 mio. m³ grus. Begrænsende faktorer i området er 6 m dybdekurven og EF-fuglebeskyttelsesområdet ved Rødsand.

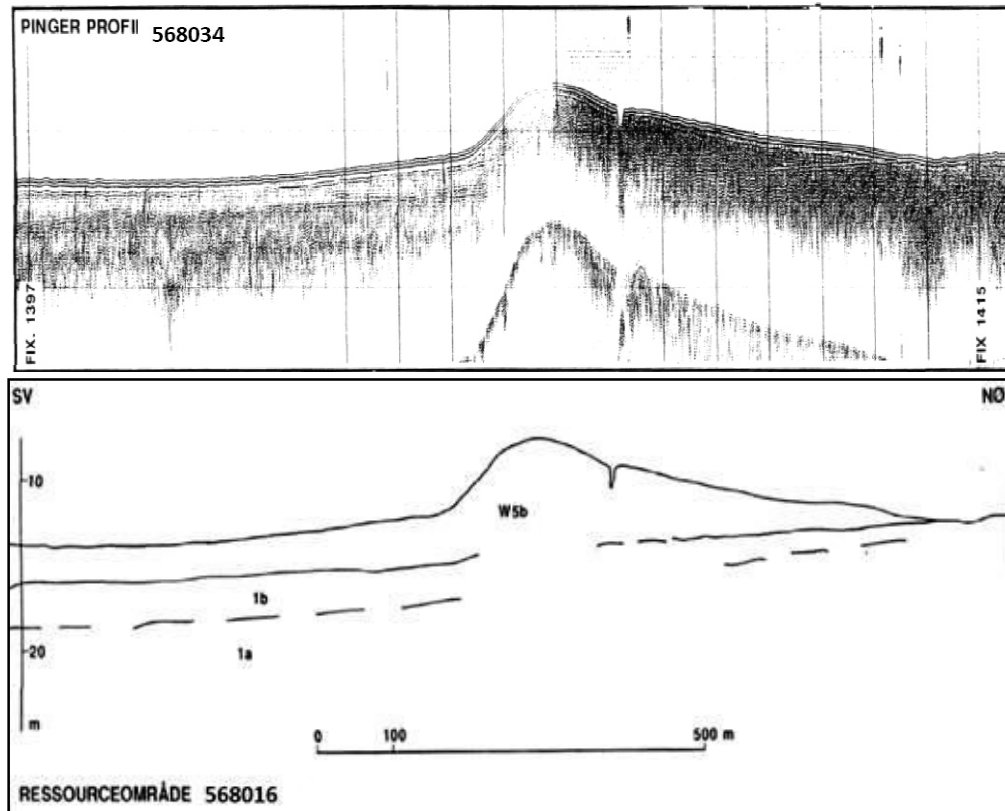
9.4.1 Område 568015 og 568016

Område 568015 dækker et areal på omkring 5×3 km umiddelbart vest for Øjet på vanddybder mellem 16 og 24 m. Område 568016 udgør et område på omkring 6×10 km nord for Øjet og på lavere vanddybder mellem 8 og 18 m. Områdernes placering og potentielle råstofressource er angivet på Figur 68. Sedimentaflejringen i indbugten kan formentlig opdeles i kystaflejringer i forbindelse med *Ancylus* søens transgression (område 568015), og kystaflejringer afsat i forbindelse med *Littorina* havets transgression (område 568016). I den vestlige del af området er begge ressourceområder præget af østligrettet strømbetinget mobilisering og genaflejring i 1 til 3 m tykke sandbølgefelter, som hovedsageligt består af mellemkornet sand. Et seismisk profil fra dette sandbølgefelt i område 568015 ses på Figur 69.

I den østlige del af områderne er der aflejret et dække af ca. 2 m tykt marint finkornet sand, som strækker sig til den nordvestlige del af område 568016, hvor der ses kystudbygninger. Et seismisk profil fra disse aflejringer i område 568016 ses på Figur 70.



Figur 69. Øverst ses pinger profil 568043, der viser et NV-SØ snit af område 568015 med tydelige sandbølger. Nederst er vist en skitse af profilet. Fra Jensen (1996).



Figur 70. Øverst ses pinger profil 568034, der viser et SV-NØ snit af område 568016 med aflejringer dannet ved kystudbygning. Nederst er vist en skitse af profilet. Fra Jensen (1996).

Der er tale om sandressourcemængder på henholdsvis 10 mio. m³ for område 568015 og 20 mio. m³ for område 568016, men der er sandsynligvis hovedsageligt tale om finkornet sand. I sandbølgefelterne er det formentlig muligt at finde mellem til groft sand i mængder på op til 5 mio. m³ (Figur 69). Desuden udgør den grovkornede kystaflejring (Figur 70) langs den nordvestlige rand af område 568016 en ressource på op til 3 mio. m³.

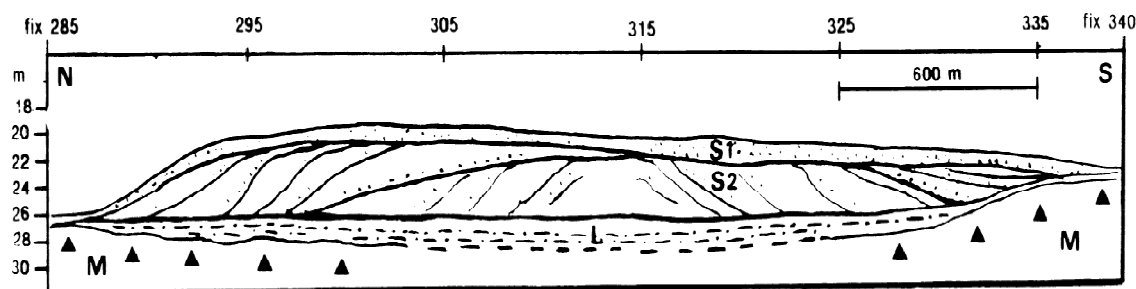
Der mangler fortsat et antal borer i området for at kunne fastlægge kornstørrelsesfordelingen med sikkerhed. Selv om ressourceområderne udgør meget store volumener, er det derfor usikkert, om områderne som helhed indeholder relevante ressourcer. Begrænsende faktorer i området er, at det er dækket af internationale beskyttelsesområder og opankringsforbud. Hvis der skal gives tilladelse til indvinding, vil det være nødvendigt at foretage detaljerede undersøgelser for at dokumentere volumener og råstofkvalitet.

9.5 Kriegers Flak

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) har i perioden 1989-1992 udført en kortlægning for Skov- og Naturstyrelsen, som del af den generelle kortlægning af marine råstoffer (Leth,

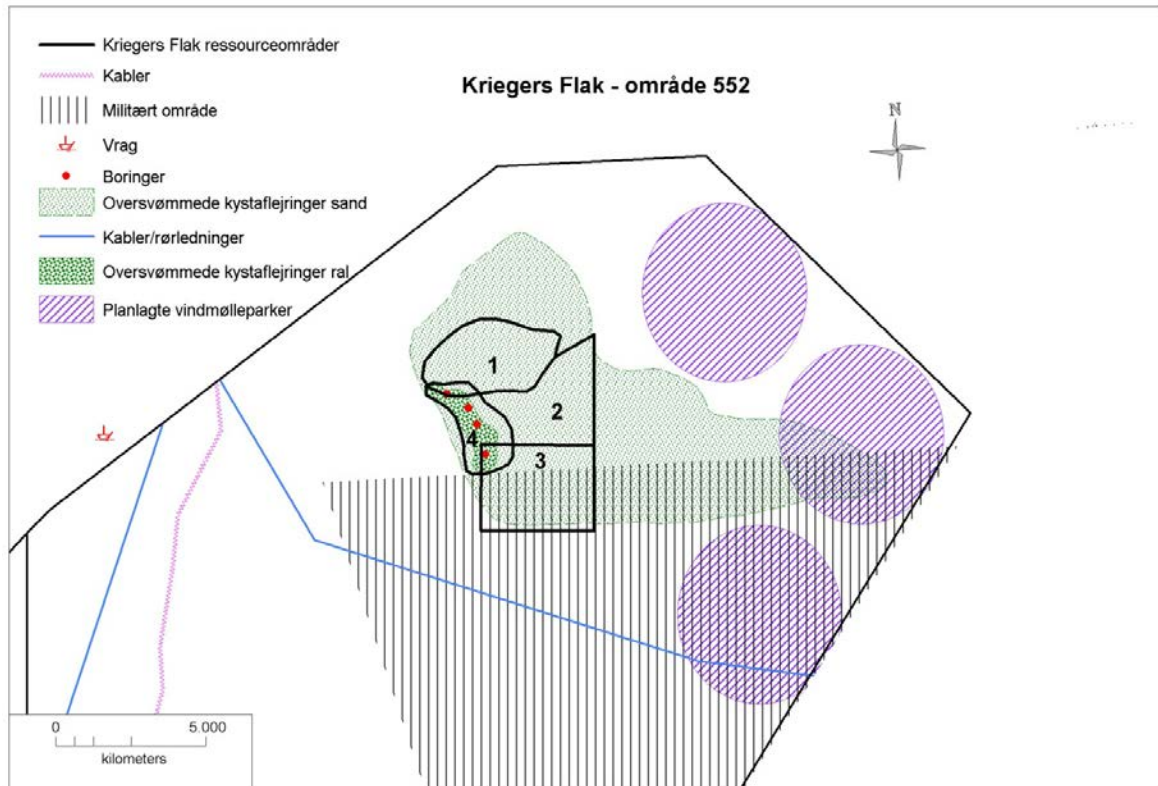
1992). I 1992 foretog DGU en supplerende undersøgelse omfattende sundpumpning for A/S Øresundsforbindelsen (Jensen og Leth, 1992). Derudover har DGU foretaget en semidetaljeret undersøgelse i et delområde af Kriegers Flak (Lomholt og Jensen, 1993), og endelig er der lavet vurderinger af anvendeligheden af sandressourcerne til Øresundsforbindelsen og til Amager Strandpark (Larsen, 2003a, b).

Geologisk set er sand- og grusressourcerne på Kriegers Flak overvejende dannet i forbindelse med Littorina havets 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 71 for et generelt tværsnit gennem Kriegers Flak, der viser flere generationer af flakudbygninger.



Figur 71. 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 moræneknold (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 semidetaljeret undersøgelse i et 0,5×0,25 km seismisk net, 23 borer, 12 prøvesandpumpninger og analyser af råstofkvaliteten. I det semidetaljerede område blev der identificeret fire ressourceområder (område 1-4 på Figur 72), mens det generelle område er mere spekulativt.



Figur 72. Oversigt over Område 552 – Kriegers Flak og de potentielle ressourcer i området. Områderne 1-4 er undersøgt semidetaljeret, og der er foretaget boringer/sandpumpninger i område 1 og 4. Figuren viser også begrænsningerne i området i form af fremtidige vindmølleparker og militært øvelsesområde.

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

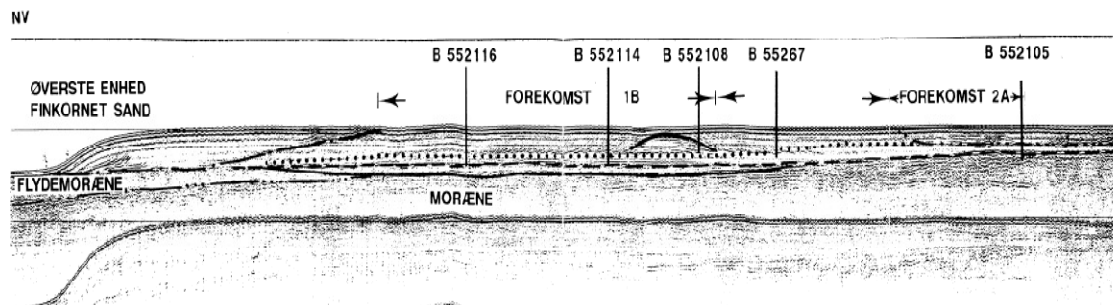
Forekomst 1 indeholder 14,8 mio. m^3 klasse A+B sand
 Forekomst 2 indeholder 33,4 mio. m^3 klasse A+B sand
 Forekomst 3 indeholder 5,4 mio. m^3 klasse A+B sand
 Forekomst 4 indeholder 10,2 mio. m^3 klasse B sand

Petrografiske analyser viser endvidere, at alle forekomsterne opfylder kravene til højkvalitets 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.

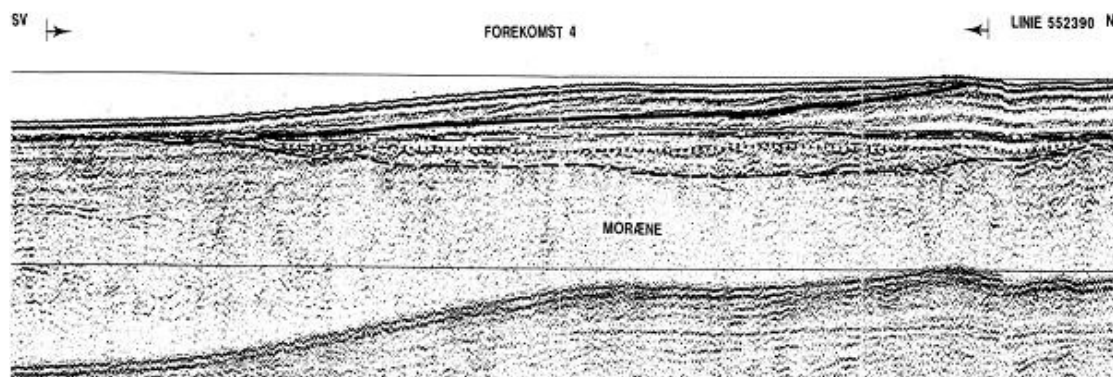
Der findes på Kriegers Flak store mængder sand, som generelt har $D_{50} \geq 0,25$, men erfaring viser, at sandet generelt har U-værdier mellem 1,6 og 2,0 og kun i begrænset omfang $U \geq 2,0$. Det største sammenhængende område, hvor dette er tilfældet, er fundet i forekomst 1.

Udover de store sandforekomster findes der stedvist iblanding af grus og sten. Disse er dokumenteret især ved borer 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 73), mens gruset, der forekommer i ressource 4, optræder i kileformede lag. (Figur 74).

LINIE 552361



Figur 73. Seismisk boomer profil, der giver et billede af oddeudbygningssystemet i forekomst 1



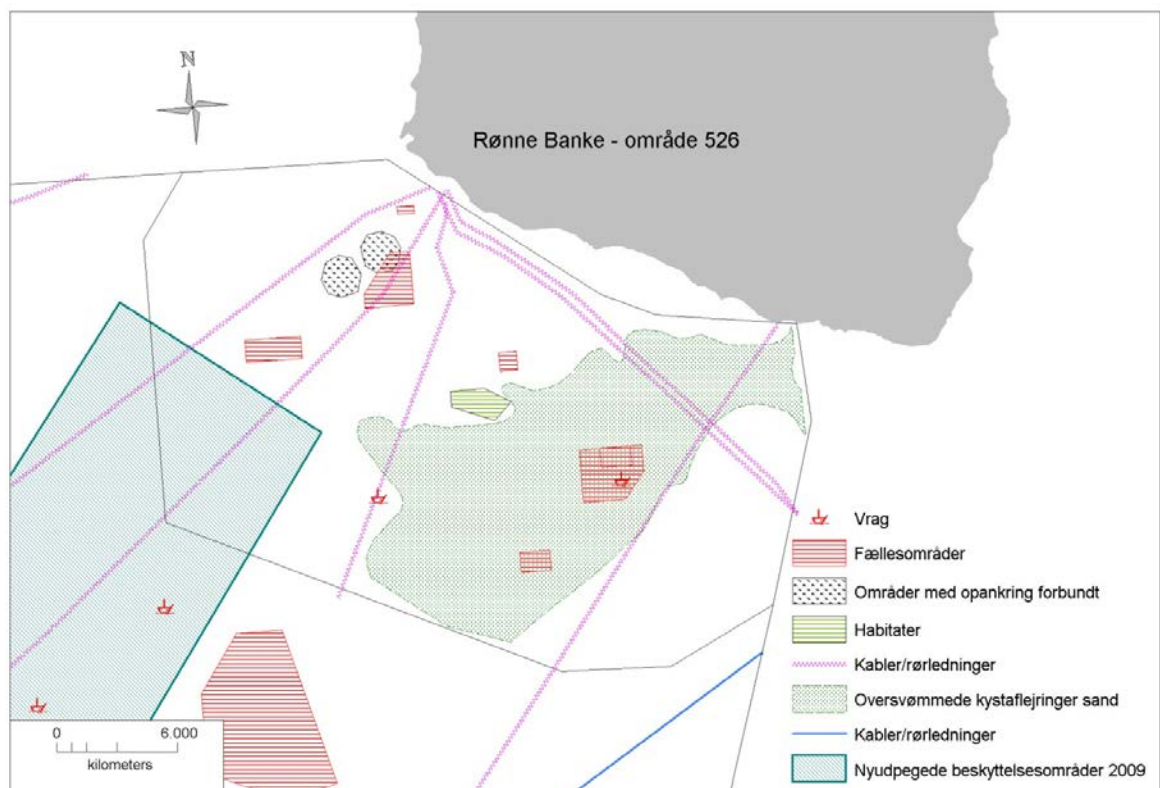
Figur 74. Seismisk boomer profil, der giver et billede af de kileformede legemer i forekomst 4.

Kortlægningen på Kriegers Flak er forholdsvis detaljeret, men må nødvendigvis udbygges med et detaljeret ca. 100x100 m seismisk grid og tilhørende prøvetagninger for at få vished om ressorens 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 muligt fremtidige vindmølleparker ligger formentlig alle udenfor sandområdet, hovedsageligt i områder med morænebund (se Figur 72).

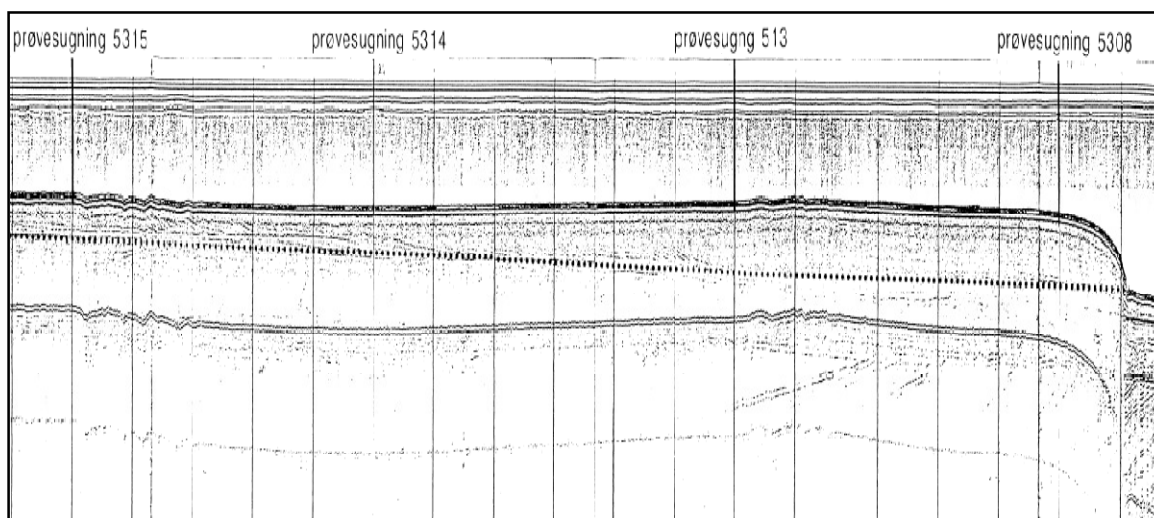
9.6 Rønne Banke

På grund af områdets store ressourcevolumen på over 1.000 m³ har der været fokus på området som ressource til både Storebælts- og Øresundsforbindelsen. Ressourcen består hovedsageligt af postglacialt marint sand, som er afsat i en kileformet enhed langs de højtliggende prækvartære aflejringer, som findes nær overfladen sydvest for Bornholm.

Figur 75 viser ressourcens udbredelse, mens Figur 76 viser et vest-øst gående profil af den kileformede enhed, som opnår tykkelser på op til 10 m. Seismikken er indsamlet i forbindelse med betonsandundersøgelser (Jensen 1992, Larsen 1992), og er sejlet i et net på 2,5x5 km. Disse undersøgelser er suppleret med en række borer og prøvesandpumpninger blandt andet i det gamle overgangsområde 526-IA Bakkegrund Syd. Resultaterne af disse viste, at sandet har en kornstørrelsessammensætning egnet til betonsand klasse A (mellem- til grovkornet sand).



Figur 75. Ressourcekort over Rønne Banke – område 526 med angivelse af konverteringsområder, habitater samt andre begrænsninger i området.



Figur 76. Boomer seismisk vest-øst gående profil med angivelse af tykkelsen af sandheden og lokalisering af prøvesugninger.

Siden 1990 er der i overgangsområde (nu fællesområde) 526-IA Bakkegrund Syd indvundet omkring 800.000 m³ hovedsageligt sand, mens der i samme periode i overgangsområde (nu fællesområde) 526-JA Rønne Banke Øst kun er indvundet 8.000 m³. Se Tabel 3 og Tabel 44 for indvindingsmængder fordelt efter materialetyper.

Overgangsområde 526-IA Bakkegrund Syd	1990 -1995	1996 - 2000	2001 -2005	2006 - 2008	I ALT
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1 SAND	164.206	159.354	168.970	281.342	773.872
2 GRUS	5.076	8.999	15.668	1.560	31.303
3 RAL	680	0	0	0	680
4 FYLDSAND	0	423	0	0	423
I ALT	169.962	168.776	184.638	282.902	806.278

Tabel 3. Oversigt over indvundne råstoffer i overgangsområde 526-IA Bakkegrund Syd i perioden 1990-2008.

Overgangsområde526-JA Rønne Banke Øst	1990 -1995	1996 - 2000	2001 -2005	2006 - 2008	I ALT
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1 SAND	2.538	1.692	856	0	5.086
2 GRUS	0	2.102	0	0	2.102
3 RAL	0	0	0	0	0
4 FYLDSAND	0	0	0	0	0
I ALT	2.538	3.794	856	0	7.188

Tabel 4. Oversigt over indvundne råstoffer i overgangsområde 526-JA Rønne Banke Øst i perioden 1990-2008

Ressourcen er generelt ikke påvirket af begrænsende faktorer, da naturbeskyttelsesområderne ligger uden for ressourcen, og der eksisterer kun få kabeltracéer, der går gennem området.

10. Referencer

- Anthony, D., 2001: Seabed geology, Holocene development and sediment dynamics in the Danish coastal zone of the North Sea. Ph.D. thesis. Danm og Grøn. Geol. Unders. Rap. 2001-121.
- Binderup, M., Lomholt, S 1995: Betonsand lokaliserings på Rønne Banke. Rapport til Øresundskonsortiet. Sandpumpninger og kortlægning. DGU Kunderapport nr. 19. 1995.
- Binzer, K. & Stockmarr, J., 1994: Geological map of Denmark. Pre-Quaternary surface topography of Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie 44, 10 sider + 2 kort.
- DGU 1991: Ressourcekortlægning af sømaterialer, Lyse Grund, Kunderapport nr. 8, 1991
- DGU 1992a: Lokalisering af betonsand Lyse Grund - Fase 1, Kunderapport nr. 24, 1992
- DGU 1992b: Lokalisering af betonsand Lyse Grund - Fase 2, Kunderapport nr. 28, 1992
- Evaluerings af sand og grus ressourcer på det danske havområde. Sydvestlige Kattegat et pilotprojekt. GEUS rapport 1995/17.
- Floderus, S., 1988: On the spacial distribution of wave impact at Kattegat seabed. Geografiska Annaler 70 A, pp. 269-272.
- Fredericia, J. 1987. Geologisk kort over Danmark 1:50.000 Kortblad 1417 Læsø..DGU, Kortserie nr.3, København.
- Fredningsstyrelsen 1983-1: Læsø Rende Ressourceundersøgelse Fase 1. Geoteknisk Rapport nr. 5.
- Fredningsstyrelsen, 1986. Råstoffer og fredningsinteresser. Djursland Nord. Oversigt.
- Glendrup, Gregersen og Voss 2010 GeologiskNyt 6/04
- Gyldenholm, K. G., Lykke-Andersen, H. & Lind, G. 1993: Seismic stratigraphy of the Quaternary and its substratum in southeastern Kattegat, Scandinavia. *Boreas* 22, 319–327.
- Gregersen, S., Leth, J., Lind, G. & Lykke-Andersen, H. 1996: Earthquake activity and its relationship with geologically recent motion in Denmark. Tectonophysics 257, 265-273.*
- Haugwitz, W.R. og Wong, H.K. 1993: Multiple Pleistocene ice advances into Skagerrak: A detailed seismic stratigraphy from high resolution seismic profiles. *Marine Geology*, 111, 189-207.

- Haakonsson, E. & Pedersen, S.A.S., 1992): Geologisk kort over den Danske Undergrund. 1:500.000, Varv.
- Hermansen, B. & Jensen, J.B., 2000: Digitalt kort over havbundssedimenterne omkring Danmark 1:500.000. Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rap. 2000-68. + CD.
- Houmark-Nielsen, M., 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, Vol. 36, 1-189.
- Houmark-Nielsen, M., 2007: Extent and age of Middle and Late Pleistocene glaciations and periglacial episodes in southern Jylland, Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark vol. 55, side 9-35.
- Houmark-Nielsen, M., Krüger J. og Kjær, K.H. 2005: De seneste 150.000 år i Danmark – Istidslandskabet og naturens udvikling. Geoviden, Geologi og geografi nr. 2, 2005.
- Houmark-Nielsen, M., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N., 2006: 13. Istider og mellemistider. I: Naturen i Danmark. Geologien, side 255-302.
- Jensen, J. B. 1992: Lokalisering af betonsand. Rønne Banke. Fase 1. DGU Kunderapport nr. 23. 1992.
- Jensen, J.B. 1992: Råstofundersøgelser I Østersøen Femern Bælt, område 564: Sejlladsrapport seismisk dataindsamling 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., Kuijpers, A. & Lemke, W. 1996: Geological map of Denmark 1: 200 000. Mapsheet Femern Bælt - Arkona Bassin. Late Quaternary Sediments. DGU map series no. 52.
- Jensen, J.B. 1996: Råstofgeologiske og Geologiske undersøgelser i Østersøen: Femern Bælt område 564. GEUS- kunderapport nr. 121, 1996.
- Jensen, J.B. 1999: Råstofgeologiske undersøgelser i Kattegat. Status for BALKAT-projektet 1996 – 98. DGU Rapport 199/2.
- Jensen, J.B., Kuipers, A., Bennike, O. og Lemke, W. 2002. BALKAT. Østersøen uden grænser. Geologi. Nyt fra GEUS. Nr. 4, december 2002.
- Jensen, J.B., Gravesen, P. & Lomholt, S., 2008: Geology of outer Horns Rev, Danish North Sea. Bull. Geol. Surv. of Denmark and Greenland, 15, side 41-44.
- Jensen, J.B. 2010: Evaluering af Marine Råstoffer et skrivebordsstudie. Femern Bælt Forbindelsen, GEUS rapport 2010/105.

- Jensen, J.B., Leth, J.O. Borre, S. & Nørgaard-Pedersen, N. 2010: Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande. GEUS Rapport 2010/23.
- Klingberg, F. 1996: The Late Weichselian–Early Holocene Lindhov clay sequence in the Varberg area, southwestern Sweden. *Norges Geologiske Undersøgelse, Bulletin 430*, 17–24.
- 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.
- Knudsen, K.L. and Nordberg, K. 1987. Late Weichselian and Holocene biostratigraphy in borings southeast of Frederikshavn. Denmark DGF, Bulletin of the geol. Soc. Of Denmark, vol 36, 289 – 303.
- Knudsen, K. L., Kristensen, P. & Larsen, N. K. 2009: Marine glacial and interglacial stratigraphy in Vendsyssel, northern Denmark: Foraminifera and stable isotopes. *Boreas*, *Boreas*, vol. 38, pp 787 – 810.
- Krohn, C. F., Larsen, N. K., Kronborg, C., Nielsen, O. B. & Knudsen, K. L. 2009: Litho- and chronostratigraphy of the Late Weichselian in Vendsyssel, northern Denmark with special emphasis on tunnel-valley infill in relation to a receding ice margin. *Boreas*, vol. 38, pp 811 – 833.
- Larsen B. 1992: Lokalisering af Betonsand. Rønne Banke. Fase 2. DGU Kunderapport nr. 27. 1992.
- Larsen, B., 1994: Material sammensætningen i submarine råstofforekomster. Et metodestudium. DGU kunderapport nr. 91, 1994. Udført for Skov- og Naturstyrelsen
- Larsen, B., 2000: Bolsaksen Nord. Vurdering af råstofforekomster. SNS Ressourceområde 504003-C. Datasammenstilling og vurdering. GEUS rapport 2000/48.
- Larsen B. 2003a: Sand til Amager Strandpark fra Kriegers Flak. En ressourcevurdering. GEUS rapport 2003/60.
- Larsen B. 2003b: Sand til Amager Strandpark fra Kriegers Flak. En ressourcevurdering, supplerende undersøgelser. GEUS rapport 2003/67.
- Larsen, B., 2003: TEMANUMMER. Blåvands Huk - Horns Rev området – et nyt Skagen ? *Geologi, Nyt fra GEUS*, nr. 4 december 2003, side 2-10.
- 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.
- Larsen, G, Baumann, J. & Bjørn O.: Kvartærgeologiske forhold under havbunden i Læsø Rende. *Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1985*, p. 39-46.

- Larsen, N. K., Knudsen, K. L., Krohn, C. F., Kronborg, C., Murray, A. S. & Nielsen, O. B. 2009a: Late Quaternary ice sheet, lake and sea history of southwest Scandinavia – a synthesis. *Boreas* vol. 38, pp 732 – 761.
- Larsen, N. K., Krohn, C. F., Kronborg, C., Nielsen, O. B. & Knudsen, K. L. 2009b: Lithostratigraphy of the Late Saalian to Middle Weichselian Skærumhede Group in Vendsyssel, northern Denmark. *Boreas*. *Boreas* vol. 38, pp 762 – 786.
- Leth, J. 1992. Råstofgeologiske undersøgelser i Østersøen. Kriegers Flak. Område 552. DGU Kunderapport 20, 1992.
- Leth, J.O., Anthony, D., Larsen, B., 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 Kystdirektoratet 1998-2001. Danm. og Grønland. Geol. Unders. Rap. 2001-111, 26 sider + bilag.
- Leth, J.O., 2003: TEMANUMMER. Nordsøen efter istiden – udforskningen af Jyske Rev. *Geologi, Nyt fra GEUS*, nr. 3 december 2003, side 2-12.
- Leth, J. O. 2007: Afgrænsning af potentielle sandressourcer i området Læsø Rende/Ålborg Bugt. *GEUS rapport 2007/51*.
- Leth, J.O. and Novak, B. 2009: Late Quaternary geology of a potential wind-farm area in the Kattegat, southern Scandinavia. *Geological survey of Denmark and Greenland Bulletin*, vol.20, pp 31 – 34.
- Liboriussen, J., Ashton, P. & Tygesen, T. 1987: The tectonic evolution of the Fennoscandian Border Zone in Denmark. *Tectonophysics* 137, 21–29.
- Lomholt, S. & Jensen, J.B. 1993: Ressourcekortlægning på Kriegers Flak. Område 1. Rapport til A/S Øresundskonsortiet. DGU - Kunderapport nr. 60, 1993.
- Lykke-Andersen, H., Seidenkrantz, M.-S. & Knudsen, K. L. 1993: Quaternary sequences and their relations to the pre-Quaternary in the vicinity of Anholt, Kattegat, Scandinavia. *Boreas* 22, 291–298.
- Nielsen, T., Mathiesen, A. & Bryde-Auken, M., 2008: Base Quaternary in the Danish parts of the North Sea and Skagerrak. *Bull. Geol. Surv. of Denmark and Greenland*, 15, side 37-40.
- Nordberg, K. 1989: Sea-floor deposits, paleoecology and paleoceanography in the Kattegat during the later part of the Holocene. University of Göteborg, Geologiska Institutionen, Publ. A 65.

- Novak, B. 1995: En maringeologisk undersøgelse af kvartære lag på Lyse Grund, sydlige Kattegat, Danmark. Specialeopgave i forbindelse med afsluttende eksamen, - cand scient geologi. 110 pp. + bilag. 10 kort.
- Novak, B. and Pedersen, G. K. 2000: Sedimentology, seismic facies and stratigraphy of a Holocene spit-platform complex interpreted from high-resolution shallow seismics, Lyse Grund, southern Kattegat, Denmark. *Marine Geology* 162(2000)317-335
- Skov- og Naturstyrelsen, 1993. Ressourceundersøgelse – Store Middelgrund, Område 546.
- Smith, N.D. og Ashley, G.M. 1985: Proglacial lacustrine environment. In: G.M. Ashley, J. Shaw and N.D. Smith (eds.), *Glacial sedimentary environments*, Soc. Econ. Paleont. Miner. Short Course 16, 135-207.
- 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.
- Thomsen, E., Damtoft, K. and Andersen, C. (1987) Hydrocarbon plays in Denmark outside the Central Trough. In: *Petroleum Geology of North West Europe* (Eds J. Brooks and K. Glennie), Graham and Trotman, London, pp. 375-388
- Winn, K., Averdieck, F. R. und Werner, F. 1982: Spät- und postglazial Entwicklung des Vejsnaes-Gebietes (Westliche Ostsee). *Meyniana* 34, 1-28.

11. Referencer til de gamle undersøgelsesområder

11.1 Område 502 Århus Bugt

Resultater af laboratorie-undersøgelser af 98 jordprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1981.

Århus Bugt. Ressourceundersøgelser. Prøvesandpumpninger.
Geoteknisk rapport nr. 2.
Geoteknisk Institut, DGI 1981.

Århus Bugt. Sandsugninger. Supplerende laboratorieforsøg.
Geoteknisk rapport nr. 3
Geoteknisk Institut, DGI 1982.

Råstoffer på Havbunden. Århus Bugt.
Undersøgelsesområde 502 + supplement 1984.
Fredningsstyrelsen 1983.

Ressourcebeskrivelse, sand, grus og sten. Århus Bugt.
Undersøgelsesområde 502, Råstofområde nr. 16.
Fredningsstyrelsen 1983.

11.2 Område 504 Samsø SØ

Ressourceundersøgelser. Delprojekt 26. Prøvesandpumpninger.
Rapport nr. 1.
Geoteknisk Institut, DGI 1980.

Resultater af laboratorieundersøgelser af 55 jordprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1980.

Gennemgang af borekerneprøver fra område 504. Samsø Øst.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1985.

Densitetssorteringsforsøg på sten fra havbundsforekomster ved Samsø.
Teknologisk Institut, 1986.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Samsø Sydøst. Oversigt.
Skov- og Naturstyrelsen 1991.

11.3 Område 506 Samsø Nordøst.

Laboratorieundersøgelser af Havbundsprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1984.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Samsø Nordøst. Oversigt.
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Samsø Nordøst. Oversigt. Suppleringsbind
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

11.4 Område 516 Samsø vest

Resultater af laboratorieundersøgelser af 98 jordprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1981.

Råstofområder i 516. Vest for Samsø.
Fredningsstyrelsen 1983.

Tolkning af seismisk mønster. Område 516. Samsø Vest.
Geoscandic A/S 1987.

11.5 Område 518 Grenå

Resultater af Laboratorieundersøgelser af 37 jordprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1982.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Grenå. Oversigt
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

11.6 Område 522 Sejerø Bugt

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Sejerø Bugt. Oversigt.
Skov- og Natutstyrelsen 1989.

11.7 Område 528 Læsø Rende

Læsø Rende. Ressourceundersøgelse. Fase 1.

Geoteknisk rapport nr. 5.
Geoteknisk Institut, DGI 1983.

Resultater af laboratorieundersøgelser.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1983.

11.8 Område 530 Nordsjælland

Resultater af Laboratorieundersøgelser
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1983.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Nordsjælland. Oversigt.
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

11.9 Område 534 Djursland nord

Laboratorieundersøgelser af havbundsprøver.
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1984.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Djursland Nord. Oversigt.
Fredningsstyrelsen 1986.

11.10 Område 536 Sjællands Rev

Laboratorieundersøgelser af havbundsprøver
Danmarks Geologiske Undersøgelse, DGU 1984.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Sjællands Rev. Oversigt.
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

Ressourcekortlægning af sømaterialer
Lyse Grund
DGU Kunderapport nr. 8. 1991.

11.11 Område 540 Anholt

Anholt. Område 540. Seismisk undersøgelse.
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

11.12 Område 544 Storebælt

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Storebælt. Oversigt.
Skov- og Naturstyrelsen 1988.

Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser.
Storebælt. Bilag. Seismik og bundprøver.
Skov- og Naturstyrelsen 1988.

Havbundsundersøgelser. Musholm. Monitoring af indvindingsområder. August 1989.
Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen 1989a.

Havbundsundersøgelser. Romsø. Monitoring af indvindingsområder. August 1989.
Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen 1989b.

Havbundsundersøgelser. Slettings Grund. Monitoring af indvindingsområder.
August 1989.
Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen 1989c.

Lokalisering af ballastsand i Storebælt.
Miljøministeriet, Danmarks Geologiske Undersøgelse 1991.

11.13 Område 546 Store Middelgrund

Store Middelgrund. Område 546.
Ressourceundersøgelse. August 1993.
Skov- og Naturstyrelsen 1993.

11.14 Område 550 Fyn nord

Sejladsrapport. Fyn nord. Område 550.
Skov- og Naturstyrelsen 1987.

Den kænozoiske udvikling i området nord for Fyn.
En seismisk stratigrafisk undersøgelse.
Lise Lotte Rasmussen. Københavns Universitet 1990.

12. Supplerende litteratur

Fitch, Simon, Thomson, Ken & Gaffney, Vince, 2005: Late Pleistocene and Holocene depositional systems and the palaeogeography of the Dogger Bank, North Sea. *Quaternary research*, 64 (2005), page 185-196.

Jensen, J.B., 1998: Evaluering af sand, grus og stenressourcer på det danske havområde. Del IV sammenfattende rapport. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 1998-129. 41 sider + bilag.

Jensen, J.B., 2000: Kortlægning af marine naturtyper i Danmark i forbindelse med EF-Habitatsdirektivet. Udført for Skov-og Naturstyrelsen. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2000-106, 31 sider + kortbilag + CD.

Mörner, Niels-Axel, 1970. Eustatic changes during the last 20,000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplift area, *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 9 (1971), 153-181.