

Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande

Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke

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



Model for potentielle sand- og grusforekomster for de danske farvande

Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke

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

Indhold

1.	Indledning	4
1.1	Opgaven.....	4
1.2	Området.....	5
2.	Konklusioner og anbefalinger	7
3.	Tidligere undersøgelser	9
3.1	Generelle datagrundlag og metodik.....	9
3.2	Detaljerede undersøgelser og udlagte habitater.....	10
4.	Geologisk model	12
4.1	Seismiske enheder W1 – W5.....	14
4.2	Prækvarterære sedimenter og strukturer.....	15
4.3	Bakkeø dannelser	20
4.3.1	Elster Moræne og Smeltevands sand, grus, sten og ler.....	20
4.3.2	Sen Elster - Holstein enhed.....	20
4.3.3	Saale Smeltevands enhed: sand, grus, sten og ler	20
4.3.4	Saale moræne enhed.....	20
4.4	Weichsel glaciale aflejringer (W5a, W5b og W5c enheder)	24
4.5	Senglaciale marine sedimenter (Yngre Yoldia Ler, enhed W4)	27
4.6	Tidlig holocæne marine og lagune aflejringer (Agger Leret, enhed W3).....	31
4.7	Holocæne druknede kystaflejringer (enhed W2)	35
4.7.1	Grus erosions restaflejringer	36
4.7.2	Grusede strandvolds/odde dannelser	36
4.8	Subrecent til recent mobilt sand (Jyske Rev Sand, enhed W1)	37
5.	Kortlagte overfladesedimenter	41
6.	Mulige sand og grus forekomster	43
7.	Potentielle ressourceområder	45
7.1	Jyske Rev	45
7.2	Syd for Jyske Rev	46
7.3	Lille Fisker Banke	46
7.4	Syd for Lille Fisker Banke	46
8.	Referencer	47
9.	Supplerende litteratur	50
10.	Bilag 1 - 7	503

1. Indledning

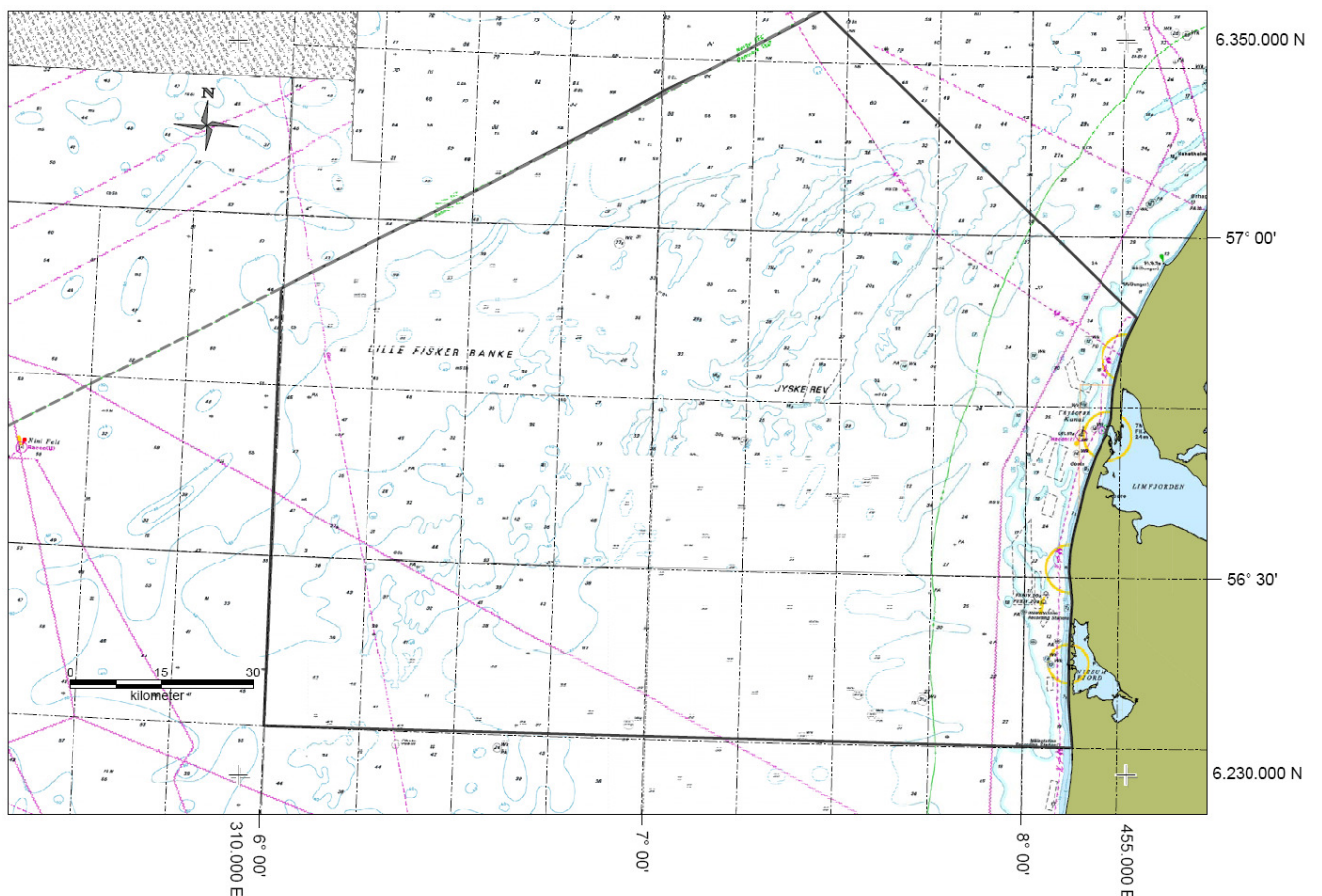
1.1 Opgaven

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.

Opgaven udføres som et delprojekt under EU-projektet: Marin råstoftkortlægning i Nordsøen.

Formålet med opgaven er på baggrund af en analyse af eksisterende viden at få opbygget en model, der redegør for områder med potentielle sand- og grus ressourcer i Nordsøen (Jyske Rev - Lille Fisker Banke området (Fig. 1)).

Området strækker sig fra ca. 6° i vest til 8° i øst og fra ca. 56° 15' i syd til 57° 15' i nord (se Figur 1 og Bilag 1)



Figur 1. Søkort, der viser Jyske Rev - Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet (EEZ grænsen til Norge er indtegnet). Undersøgelsesområdet er angivet som polygon med sort kant. Kort i høj opløselighed se Bilag 1.

Modellen skal benyttes af By- og Landskabsstyrelsen til at udpege og prioritere de kortlægningsområder, der skal kortlægges i Nordsøen i 2010.

Modellen vedlægges udbudsmaterialet for de marine kortlægninger som baggrundsmateriale.

Med udgangspunkt i eksisterende viden er der opstillet en geologisk model for tilstedeværelsen af potentielle sand og grus råstofressourcer i Jyske Rev - Lille Fisker Banke området.

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

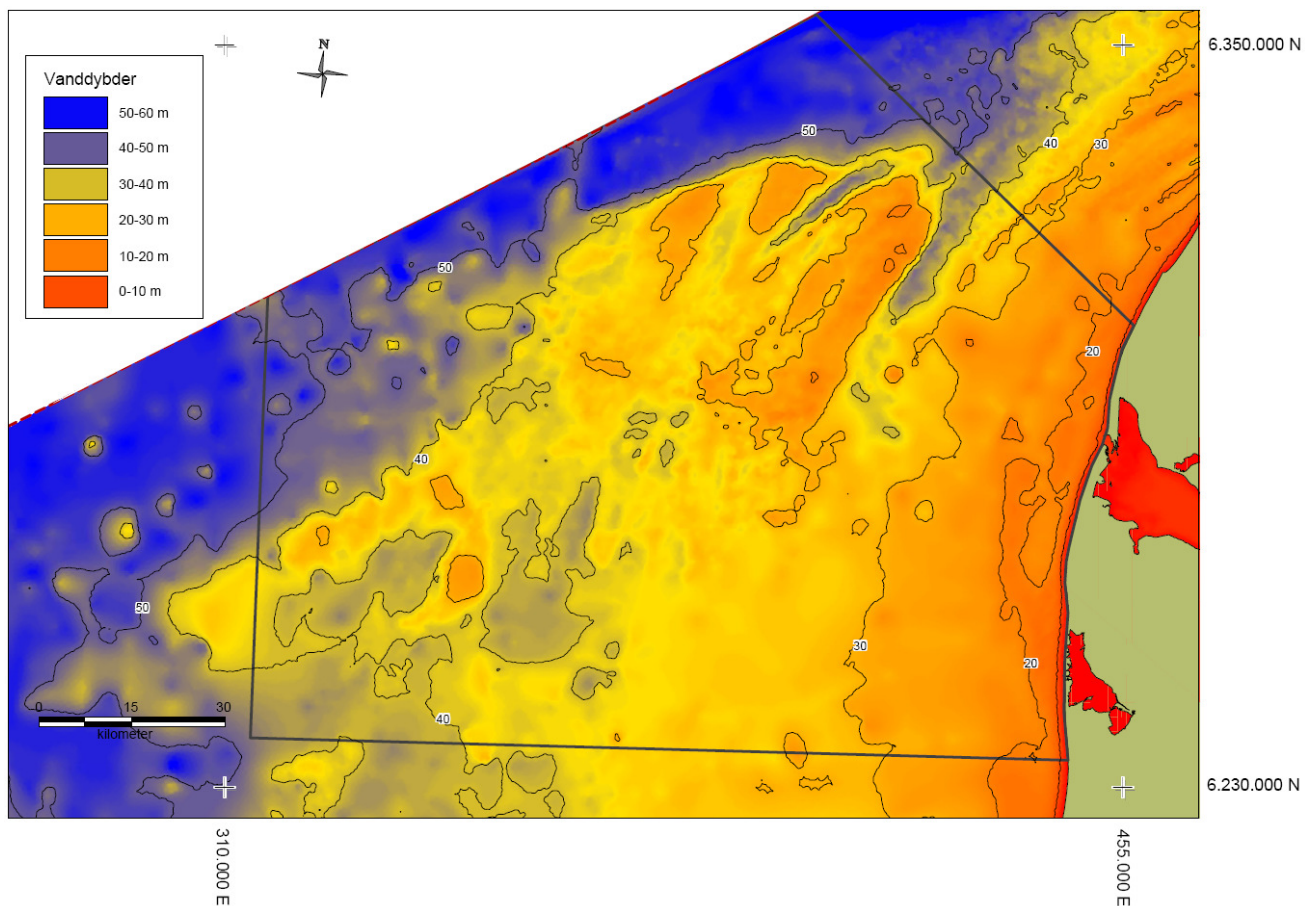
Udvalgte arkiverede seismiske data og prøvetagningsdata er gennemgået, med henblik på en foreløbig verificering af den geologiske model med hensyn til dannelsesmiljøer og potentielle arealmæssige fordelinger.

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

På baggrund af den geologiske model er der vist muligheder for tilstedeværelse af nye råstofområder og 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 Jyske Rev - Lille Fisker Banke området.

1.2 Området

Jyske Rev – Lille Fisker Banke området strækker sig fra ca. 30km nordvest for Thyborøn indsejlingen til Limfjorden og mere end 100km mod nordvest, hvor havbunden begynder at skråne mod den dybere del af Nordsøen. Områdets nordøst – sydvestlige udstrækning er i samme størrelsesorden (Fig. 2 og Bilag 2). Jyske Rev ligger nærmest den jyske vestkyst med gennemsnitsdybder på 20 – 30m (lokalt op til 40m) og mindre områder på 10 – 20m, medens Lille Fisker Banke ligger på lidt dybere vand typisk 25 – 45m, med mindre områder på 20 – 30m. Omkring 30km syd for Lille Fisker Banke findes der ligeledes et forholdsvis lavvandet område (25 – 35m), som inddrages i udredningsarbejdet.



Figur 2. Bathymetrisk kort der viser Jyske Rev - Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet (EEZ grænsen til Norge er indtegnet). Undersøgelsesområdet er angivet som polygon med sort kant. Høj opløseligt kort se Bilag 2.

2. Konklusioner og anbefalinger

Resultaterne af herværende skrivebordsarbejde vedrørende lokalisering af relevante fremtidige sand og grus kortlægningsområder Jyske Rev - Lille Fisker Banke området (Fig. 1), viser at det ud fra eksisterende data har været muligt at opstille en generel stratigrafi for den geologiske udvikling i området (Fig. 6 Bilag 6).

Undersøgelsesområdet ligger med den formodede maksimale Weichsel Hovedopholdslinje definerende øst – vest forløbet af Jyske Rev - Lille Fisker Banke. I dette randområde er der mulighed for sand og grus smeltevandsaflejringer, både i de ældre Bakkeø dannelser og i forbindelse med Weichselisens rand. Fælles for disse potentielle råstofressourcer er, at de kun er observeret glimtvis i de hidtidige undersøgelser. Smeltevandsaflejringerne har mulighed for at optræde i glacialtektoniske lag, i kanaler i det glacielle landskab, eller som smeltevandsslette aflejringer foran den daværende isrand. Overjord i form af holocæne lagune sedimenter (Agger Leret), kystaflejringer og mobilt sand (Jyske Rev Sand), må forventes.

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, kombineret 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.

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 på Jyske Rev. 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 1m, være et problem i forbindelse med kortlægningen af de ofte tynde residuale gruslag, der kan være potentielle store grus og ral ressourcer. 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 moræne overflade. Ud over de akustiske metoder, vil det være nødvendigt at kalibrerer de akustiske data med prøvetagninger evt. i form af 3m vibrations borer.

De sandede distale dele af de holocæne fossile druknede kystaflejringer og subrecente til recente sand, aflejret i sandbanker og sandbølger (styret af Jyllands Strømmen (Jyske Rev Sand)), består af mellemkornet og grovkornet sand, som vil kunne findes i hele undersø-

gelsesområdet på vanddybder mindre end omkring 30m. Sandkvaliteten vil sandsynligvis være høj på grund af sammensætningen af moræne kildeområderne og Nordsøens høje energiniveau.

I kortlægningen af de sandede sedimenter vil det være vigtigt at vælge en højfrekvente shallow seismisk metode (Chirp/Pinger), som 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 råstofpotentialer gennemgået i afsnit 7 for at tydeliggøre de potentielle råstoffers fordeling i Jyske Rev – Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet. Undersøgelsesområdet er beskrevet i 4 delområder (Fig. 33 og Bilag 7):

- Jyske Rev, som vurderes at være det område hvor der kan kortlægges flest sand- og grus råstoffer i forhold til den kortlægningsmæssige indsats
- Syd for Jyske Rev, hvor der specielt forventes at der er mobile sandbanker
- Lille Fisker Banke, anses som analog til Jyske Rev, men på dybere vand
- Syd for Lille Fisker Banke, er dårligst kortlagt og placering syd for Weichsel hovedopholdslinien skaber usikkerhed med hensyn til råstofpotentialer..

3. Tidligere undersøgelser

3.1 Generelle datagrundlag og metodik

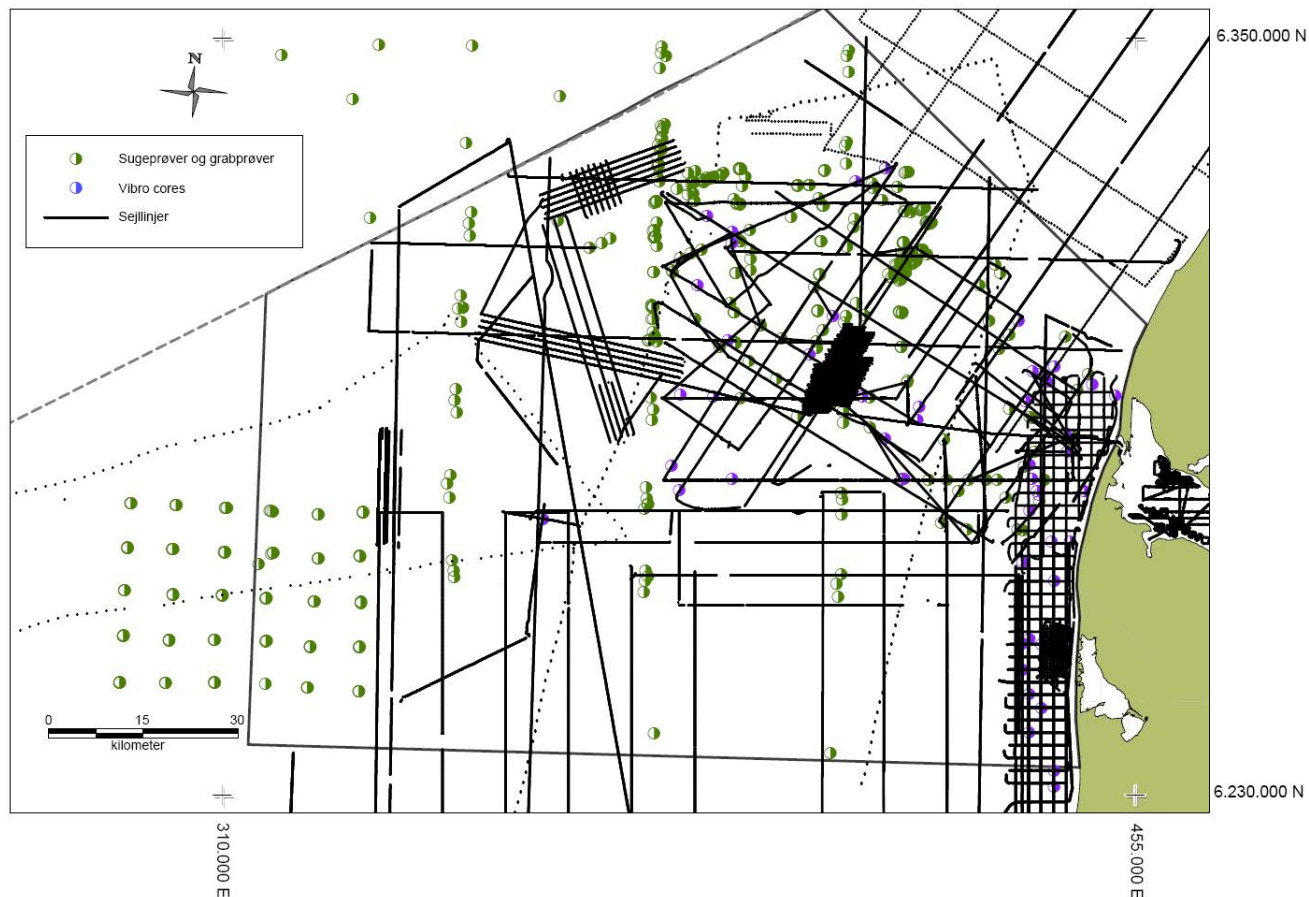
Jyske Rev er gennem tiden blevet kortlagt med et seismisk net af varierende tæthed (Fig. 3), hvor der til sammen er indsamlet omkring 2000 km seismiske data. Udover dette er der indsamlet 42 vibrationsboringer i længder på op til 6 m og i alt 120 overflade sedimentprøver. Flere af disse data er indsamlet af De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) i flere forskellige projekter. Det anvendte seismiske måleudstyr har vekslet fra togt til togt omfattende følgende udstyr: Boomer (0,8 -16 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). Andre institutioner har bidraget med data fra Jyske Rev, blandt andre Danmarks Fiskeri Undersøgelser (DFU), som har indsamlet grabprøver, og Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) der har indsamlet seismiske data og prøvetagninger.

Følgende giver en oversigt over de undersøgelser, der gennem tiden er foretaget på Jyske Rev: I 1987 foretog BSH seismiske undersøgelser fra skibet Gauss. I 1991 anvendte DGU skibet Gunnar Seidenfaden til seismiske undersøgelser, boringer og grabprøver. Året efter var DGU igen på Jyske Rev med skibet Professor Stockman, hvor der blev boret og indsamlet grabprøver. Samme år og året efter foretog Kystdirektoratet prøvesugninger. I 1994 var DGU på Jyske Rev med skibet Gunnar Seidenfaden for at indsamle seismik og boringer, med det formål at undersøge de øvre sedimentære enheder. I 1996 blev to togter gennemført. Det ene var med DFU ombord på skibet Dana, hvor der blev indsamlet grabprøver. Det andet togt gennemførte GEUS ombord på Esvagt Dana, og her blev indsamlet boreprøver. Et samarbejde mellem det danske søværn og GEUS medførte regelmæssige togter ombord på Flyvefisken og Gribben i perioden 1997 – 2001, med indsamling af seismiske data. I 1999 blev der indsamlet seismik og boringer fra Esvagt Dana. De seneste seismiske data fra Jyske Rev blev indsamlet af GEUS fra skibet Honte, for Skov- og Naturstyrelsen, i år 2000.

Det seismiske datamateriale er af varierende kvalitet på grund af ofte vanskelige vejrforhold. Der har under alle togter efter 1991 været anvendt GPS som navigationsudstyr. På togtet i 1991 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 - 1m. På baggrund af disse data opsummerer denne rapport den geologiske udviklingshistorie af Jyske Rev – Lille Fisker Banke og giver et overblik over forekomsten af forskellige potentielle råstoff typer i området.

Som det fremgår af Figur 3. er datagrundlaget meget uens med mest information i Jyske Rev området og kun få seismiske linjer går gennem Lille Fisker Banke, samt området syd for denne.

I 2009 blev den generelle geologi i Nordsøen beskrevet i Gravesen et al. (2009), som desuden bragte en oversigt over tilgængelige data fra den danske del af Nordsøen. Rapporten er benyttet som udgangspunkt for herværende rapport.

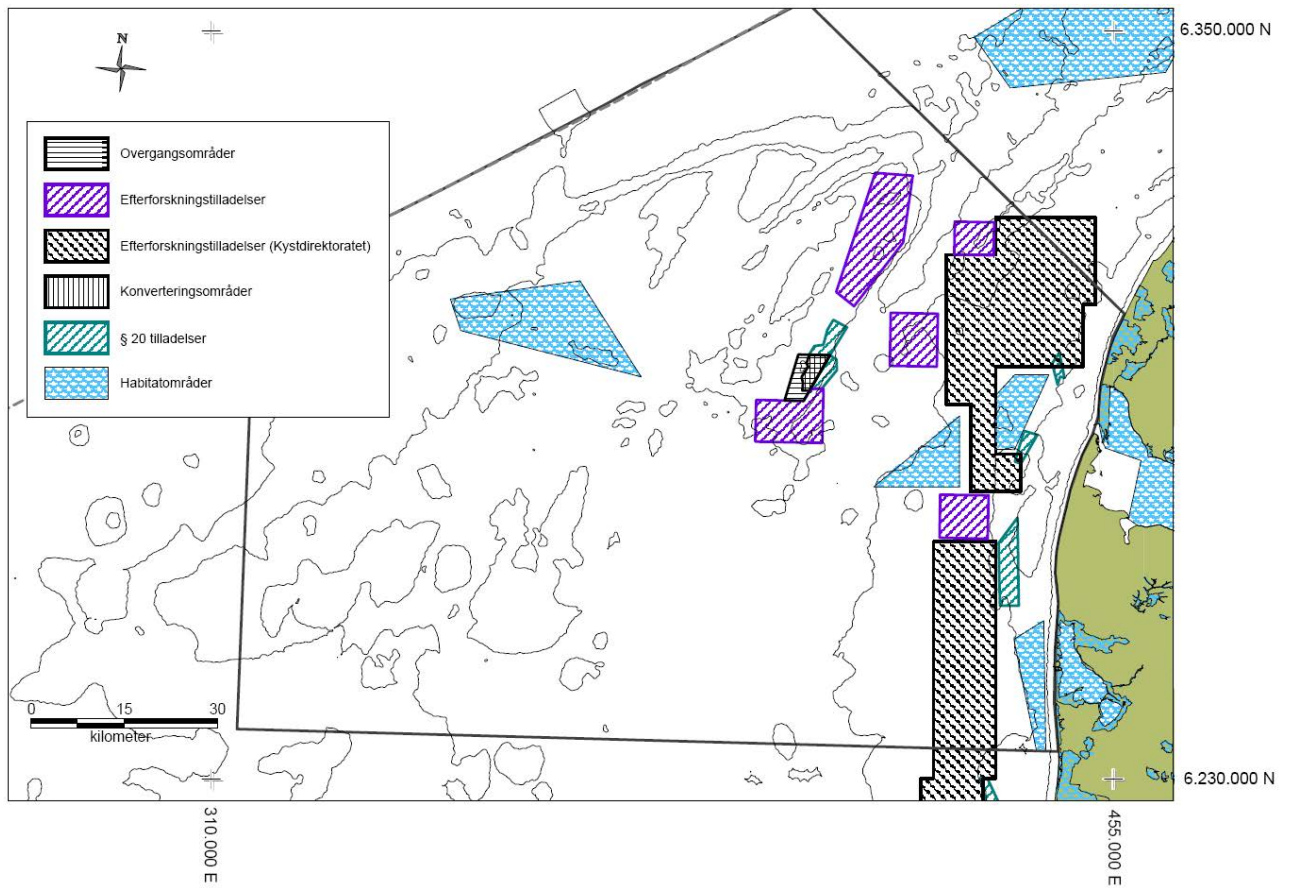


Figur 3. Seismisk net og prøvetagninger i Jyske Rev - Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet (EEZ grænsen til Norge er indtegnet). Høj opløseligt kort se Bilag 3.

3.2 Detaljerede undersøgelser og udlagte habitater

En række områder er undersøgt i Jyske Rev området. Dette inkluderer 5 efterforskningsområder, 4 § 20 områder, 1 overgangsområde, og 1 fællesområde i området omkring Jyske Rev (Fig. 4). Der er imidlertid kun 1 fællesområde og 2 § 20 områder på selve Jyske Rev som er miljøvurderet og som dermed officielt er udpeget af By- og Landskabsstyrelsen som miljømæssigt forsvarligt at indvinde råstoffer fra. Disse områder 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 disse 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 100m.

De nuværende marine habitatområder på Jyske Rev omfatter naturtyper som sandbanker og stenrev, som har tilpasset sig de dynamiske bundforhold, der findes på revet. Habitatområder udpeges for at beskytte og bevare bestemte naturtyper og arter af dyr og planter, som er truede (Fig. 4).



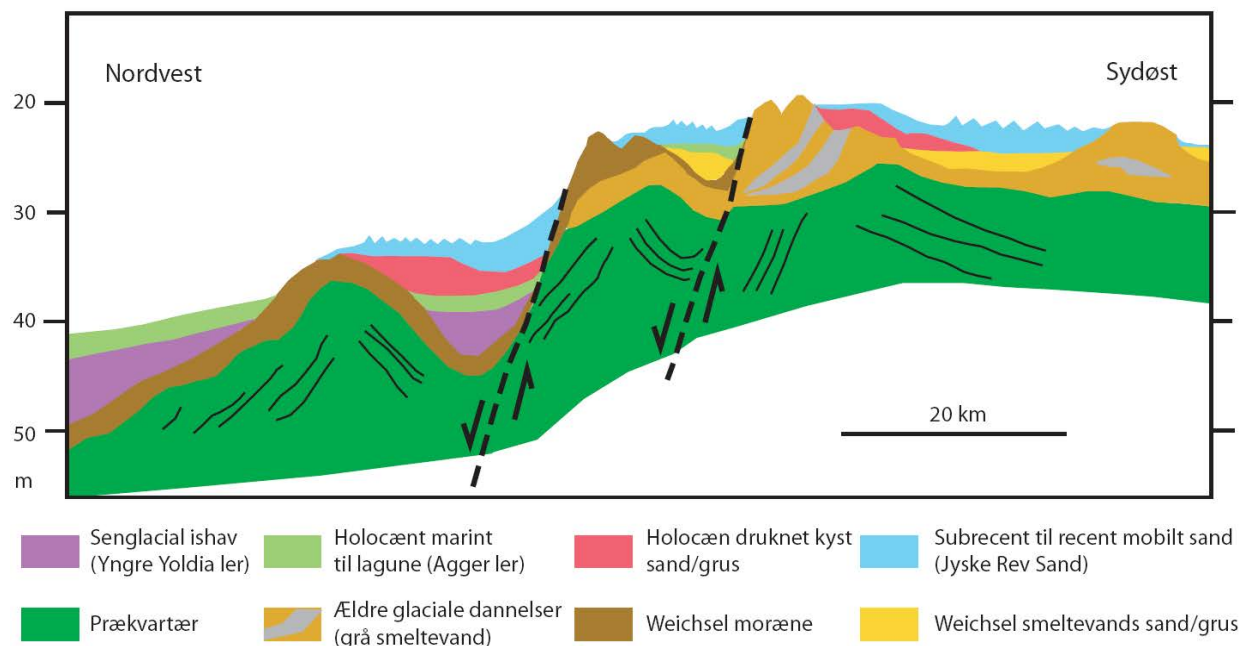
Figur 4. Detaljerede undersøgelsesområder og habitatområder i Jyske Rev - Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet (EEZ grænsen til Norge er indtegnet). Undersøgelsesområdet er angivet som polygon med sort kant. Høj opløseligt kort se Bilag 4.

4. Geologisk model

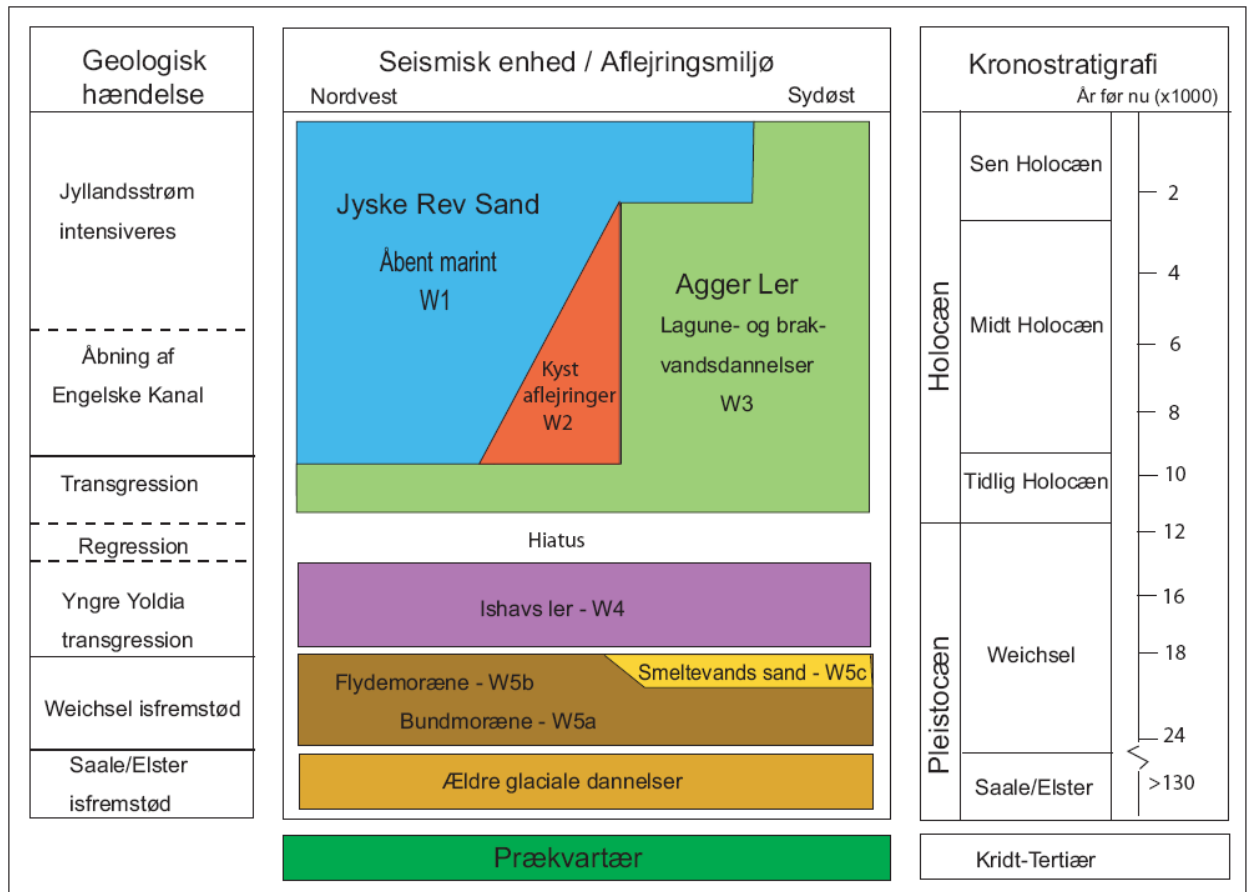
Den geologiske model for Jyske Rev – Lille Fisker Banke området er gennemgået i de følgende afsnit, men indledningsvis gennemgås den generelle stratigrafi, med henblik på at skabe et overblik over den samlede geologiske udvikling i Jyske Rev – Lille Fisker Banke området. De dominerende geologiske enheder er illustreret i et idealiseret geologisk profil (Fig. 5) og tidsudviklingen for de geologiske lag er angivet i et stratigrafisk skema (Fig. 6 og Bilag 6). De prækvartære lag er tæt på havbunden i undersøgelsesområdet og den prækvartære overflade består generelt af Miocænt sand/ler og Danien Kalk, men i forbindelse med salt dome bevægelser er kalk fra Kridttiden blevet løftet op nær havbunden. De kvartære toplag er i undersøgelsesområdet ret tynde, i størrelsesordenen 10 – 20 meters mægtighed, dog med lokale fordybninger og dale, som gør lagene 10 tals meter tykkere.

De ældste kvartære lag er dårligt dokumenteret i området. Syd for Weichselisens hovedopholdslinje ud for Bovbjerg og den vestlige fortsættelse af denne må man dog forvente at finde Elster og Saale moræne aflejringer i Bakkeøddannelser. Der er også mulighed for at finde dislocerede Elster smeltevandsaflejringer og Saale smeltevands slette aflejringer omkring de glaciale morfologiske grunde.

Weichselisens hovedopholdslinje skærer øst-vest igennem undersøgelsesområdet ved syd randen af Jyske Rev og må formodes at fortsætte syd for Lille Fisker Banke. Weichselisens påvirkning er dels repræsenteret ved glacialtektoniske forstyrrelser ved gletscher randen, samt ved morænedannelser afsat under gletscheren og i forbindelse med afsmeltningen af denne. Smeltevandssand og grus må forventes i de glaciale lavninger i Weichsel landskabet og som proksimale – distale smeltevandssletteaflejringer, der overlejrer de ældre glaciale dannelser syd for hovedopholdslinjen.



Figur 5. Idealiseret geologisk profil fra nordvest til sydøst på tværs af Lille Fisker Banke og Jyske Rev og ind i det ældre glaciale landskab syd her for.



Figur 6. Stratigrafisk tidsskema for Lille Fisker Banke – Jyske Rev området. De geologiske enheder W5 – W1 benyttes i profileksempel omtalt i de følgende afsnit. Høj opløseligt skema se Bilag 6.

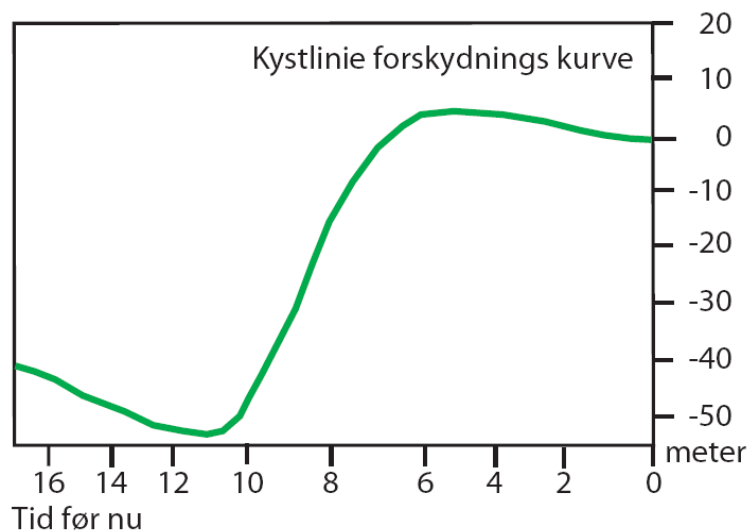
I takt med Weichsel israndens tilbagesmeltning spredte udbredelsen af Yngre Yoldia Ishavet sig og ishavs ler findes generelt som dæklag oven på de glaciale lag på vanddybder over 40m.

Den relative sænkning af havniveauet (Kystlinje sænkning) i perioden for 17.000 – 11.000 år siden (Fig. 7) medfører en regression af kystlinjen, som når et minimum på -50m omkring 11.000 år før nu. På det tidspunkt var størstedelen af undersøgelsesområdet over havniveau og frem til den efterfølgende holocæne transgression, må man forvente at der har været en hiatus, hvor der generelt kun har kunnet udvikles jordbunde og tørv i fugtige lavninger, samt at et kraftigt vindregime har kunnet forårsage at æolisk sand har kunnet aflejres.

Fra 11.000 før nu og frem til ca. for ca. 6000 år siden har der været en kontinuerlig havstigning i området. Dette har resulteret i afsætning af marine finkornede sedimenter på dybere vand, som har været forbundet med åbne fjorde (Agger Leret), der smøg sig omkring højdedrag der er dannet som en kombination af glacial tektonik og salt diapir bevægelser.

Den fortsatte transgression betød at de glacielle rygge/salt domer blev omdannet til øer i det åbne hav og kysterosions processer dannede kyst-aflejringer i form af strandvolde og oddedannelser på læsiden. Hele området blev dækket af havet for ca. 7000 år siden og gradvist udvikledes Nordsøens tidevands strøm system. De nu druknede kystaflejringer blev udsat for varierende grad af erosion eller blev dækket af dynamisk strømeflejret sand (Jyske Rev Sand). For omkring 6000 år siden nåede kystlinjen sit maksimale niveau, som varierer i området mellem ca. 1 og 3m over nuværende havniveau.

Jyske Rev Sandet repræsenterer således aflejringer fra de sidste omkring 7000 år og kan opnå adskillige meters tykkelse, hvoraf de mest recente aflejringer kan være aflejret i dynamiske sand bundformer, som ofte er sandbølger, der kan blive op til flere meter høje og med bølgelængder på over 100m.



Figur. 7 Vertikale kystlinje forskydnings kurve for Jyske Rev – Lille Fisker Banke området.

4.1 Seismiske enheder W1 – W5

Den geologiske model er for en stor dels vedkommende dokumenteret i de eksisterende seismiske data, som tolkede enheder, der er angivet på det stratigrafiske tidsskema (Fig. 6 og Bilag 6).

Prækvarteret og de ældre glacielle enheder er kun sporadisk dokumenterede og har derfor ikke fået nogen seismisk enhedsbetegnelse.

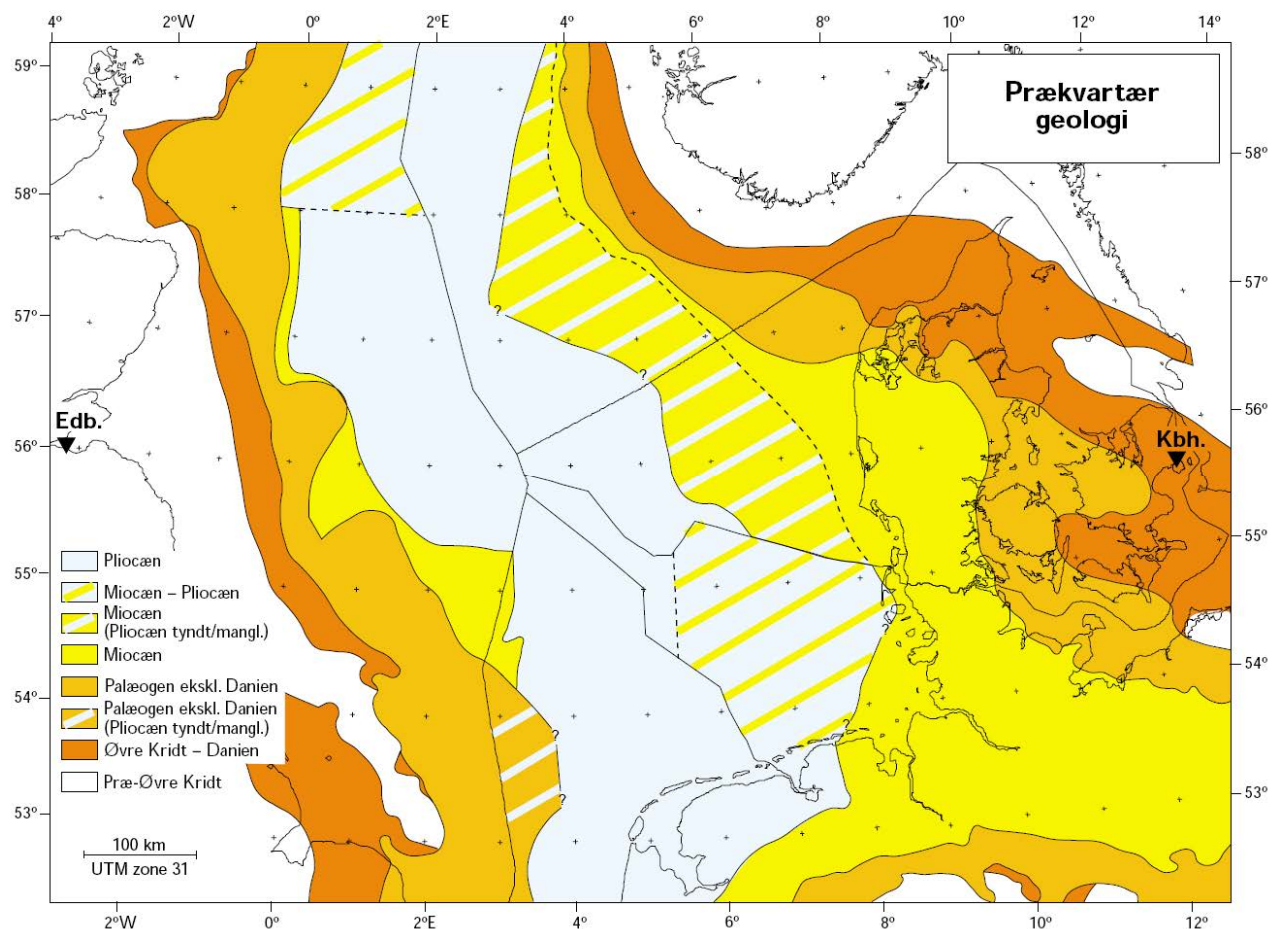
Enhederne W5 – W1 repræsenterer perioden fra Weichsel isens Hovedopholdslinje til nutiden, med følgende inddeling:

- Enhed W5: Er underinddelt i henholdsvis hovedopholdslinjens- bundmoræne, W5a, flydemoræne W5b og smelttevands sand og grus W5c.
- Enhed W4: Senglacielle marine sedimenter (Yngre Yoldia Ler)

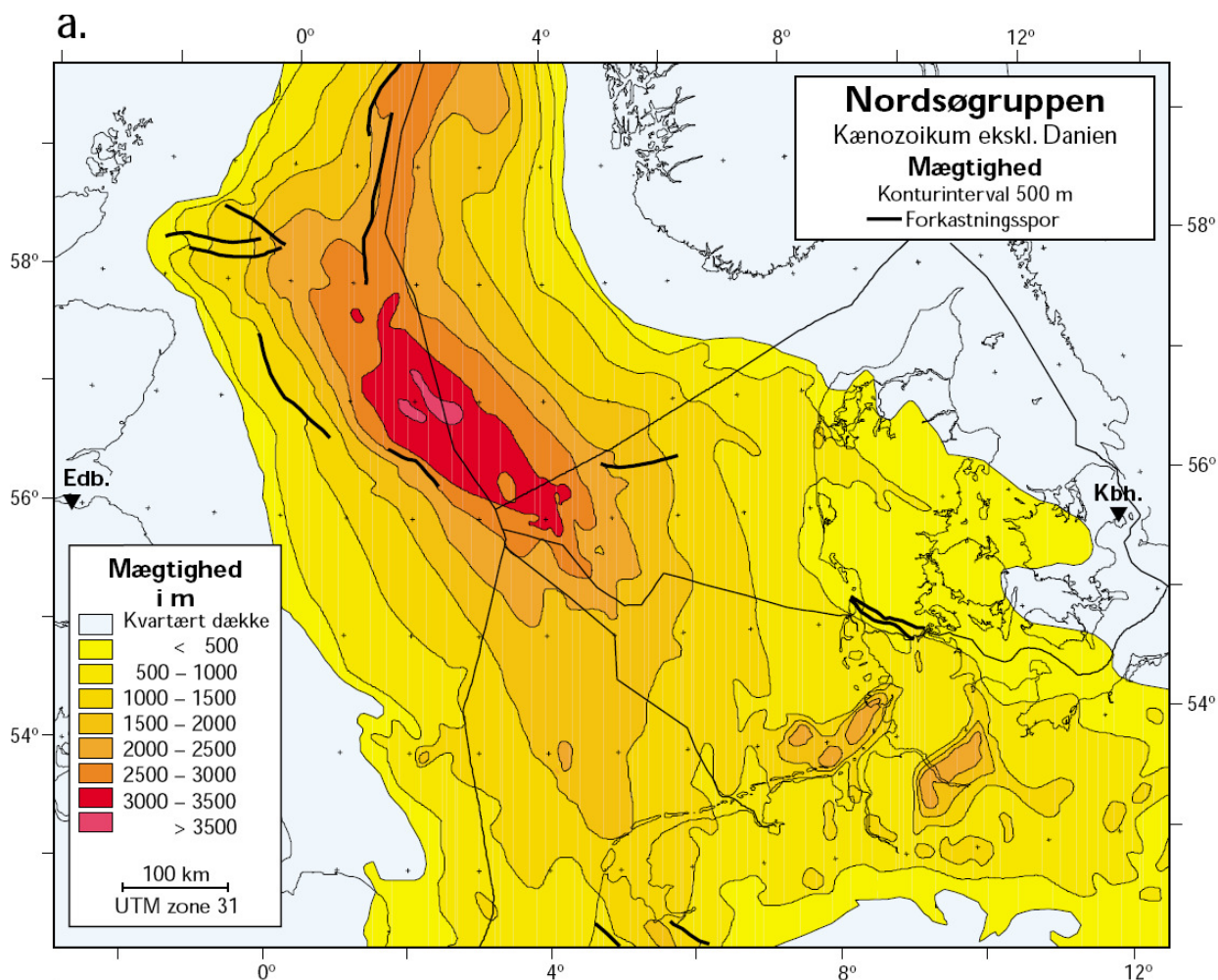
- Enhed W3: Tidlig holocæne marine og lagune aflejringer (Agger Leret)
- Enhed W2: Holocæne druknede kystaflejringer
- Enhed W1: Subrecente til recente mobilt sand (Jyske Rev Sand)

4.2 Prækvartære sedimenter og strukturer

I Nordsøen varierer prækvartær overfladen fra Øvre Kridt-Danien kalksten i nordøst til Palæogene og Neogene sedimentære lag i den centrale del (Fig. 8). Den generelle hældning mod vest-syd-vest på basis af Kvartæret, er en effekt af bassin indsynkning i den centrale del og hævnning i den marginale østlige del. I perioden fra Oligocæn til tidlig Pleistocæn blev Nordsøen indfyldt med sediment fra deltaer, der byggede ud fra det skandinaviske skjold. Således blev der aflejret mere end 2000m prækvartære sedimenter oven på kridttidens aflejringer og omkring 1000m Kvartære sedimenter (Fig. 9).

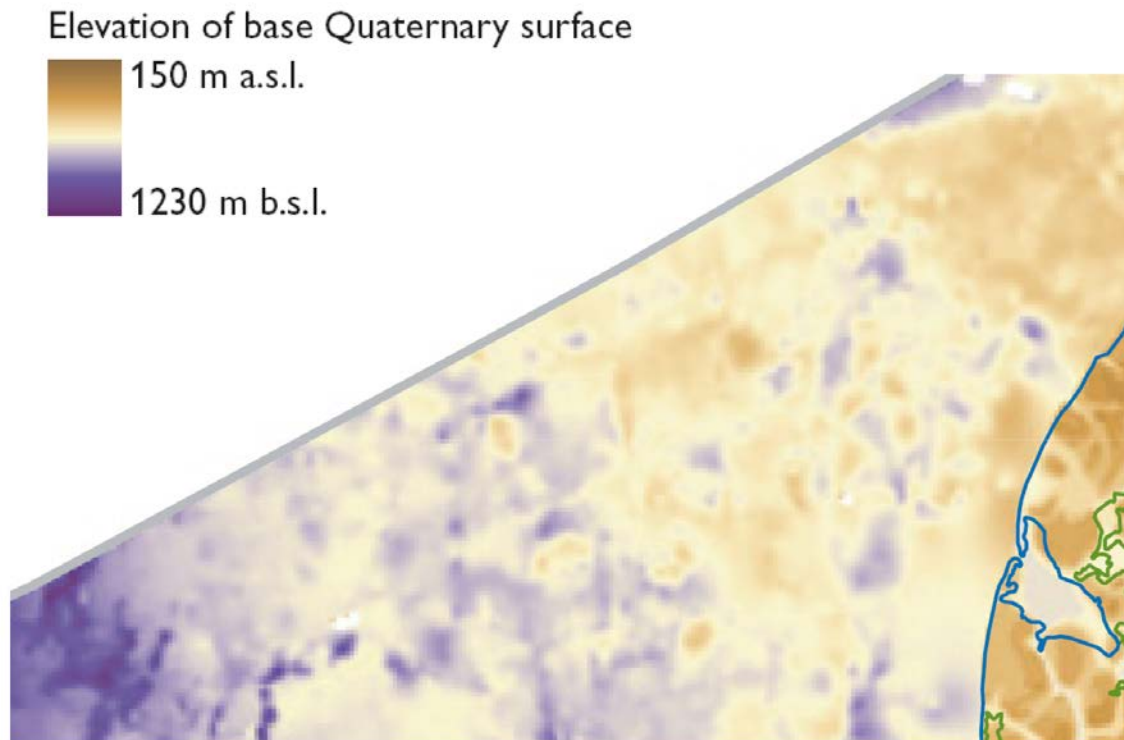


Figur 8. Den prækvartære geologi i Nordsøbassinet (Japsen 2000).



Figur 9. Tykkelsen af de prækvartære lag som dækker kridttidens aflejringer i Nordsøen (Japsen 2000).

Overgangen mellem de kvartære aflejringer og de ældre lag (Basis Kvartær) er kortlagt på grundlag af dybdeseismik (Nielsen et al. 2008). Denne overgang befinder sig få meter under havbunden ved Vestkysten, men tykkelsen af de kvartære lag tiltager mod vest og i den centrale del af Nordsøen ligger bunden af de kvartære lag mere end 1200m under havbunden. Kortudsnittet vist i figur 10 er sammensat af resultaterne af kortlægningen og et eksisterende kort publiceret af Binzer og Stockmarr (1994). På kortet ses i Jyske Rev undersøgelsesområdet N-S orienterede begravede dale, som efter Huuse & Lykke-Andersen (2000) er af Elster eller Saale alder. Også i den vestlige del af Nordsøen findes der dale i prækvartæret, her orienteret NV-SØ (Salomonsen & Jensen 1994). Her er dalenes alder Saale, Weichsel og Holocæn. Alle de omtalte dale er fyldt med kvartære sedimenter. I Jyske Rev undersøgelsesområdet er dalene skåret ned i Øvre Kridt aflejringer, længere mod syd i tertiære lag medens ældre kvartære lag er skåret i den centrale del af Nordsøen.

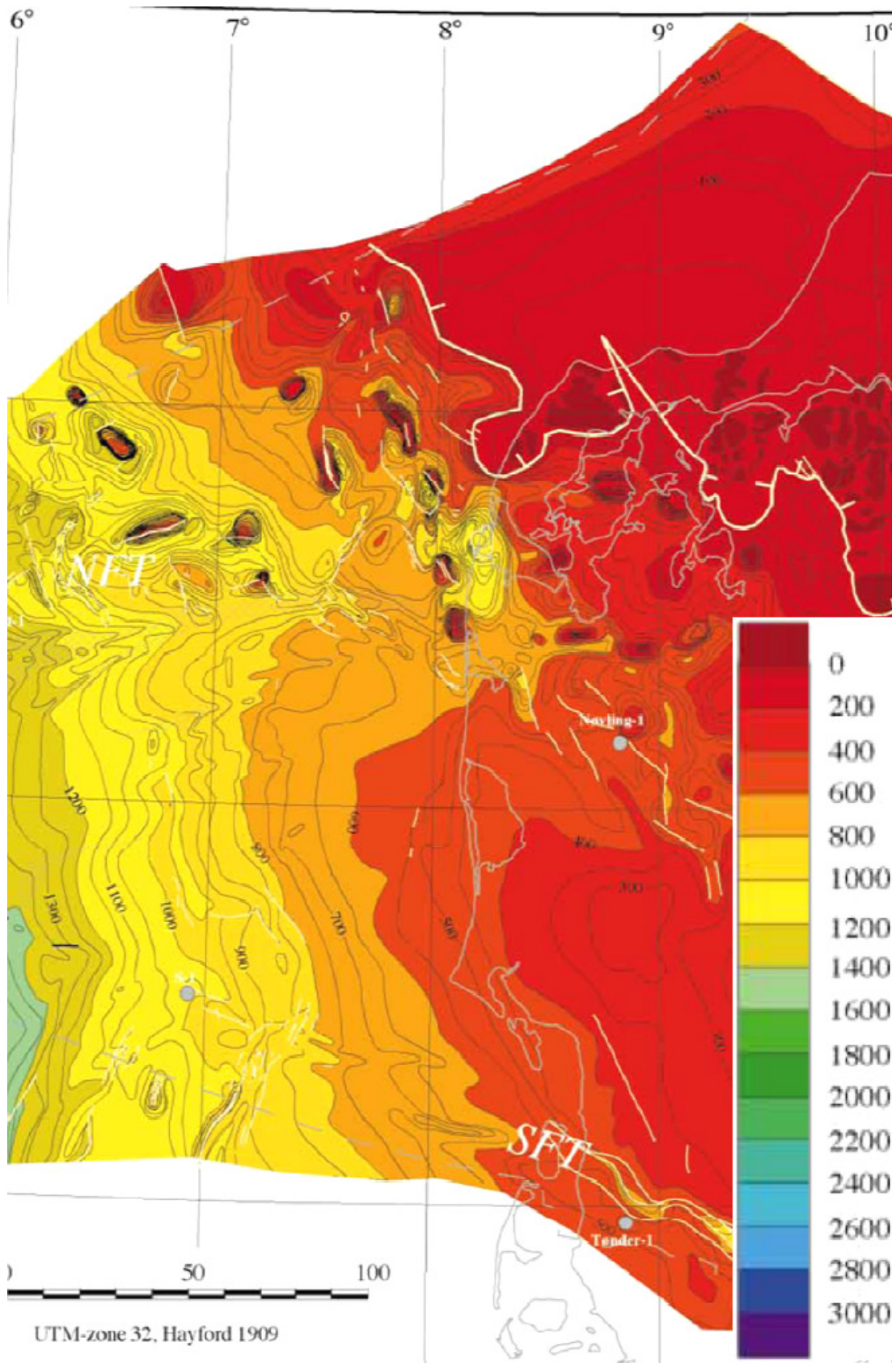


Figur 10. Udsnit af kort over basis af de Kvartære lag i Nordsøen (Fra Nielsen et al., 2008).
(a.s.l. above sea level og b.s.l. below sea level).

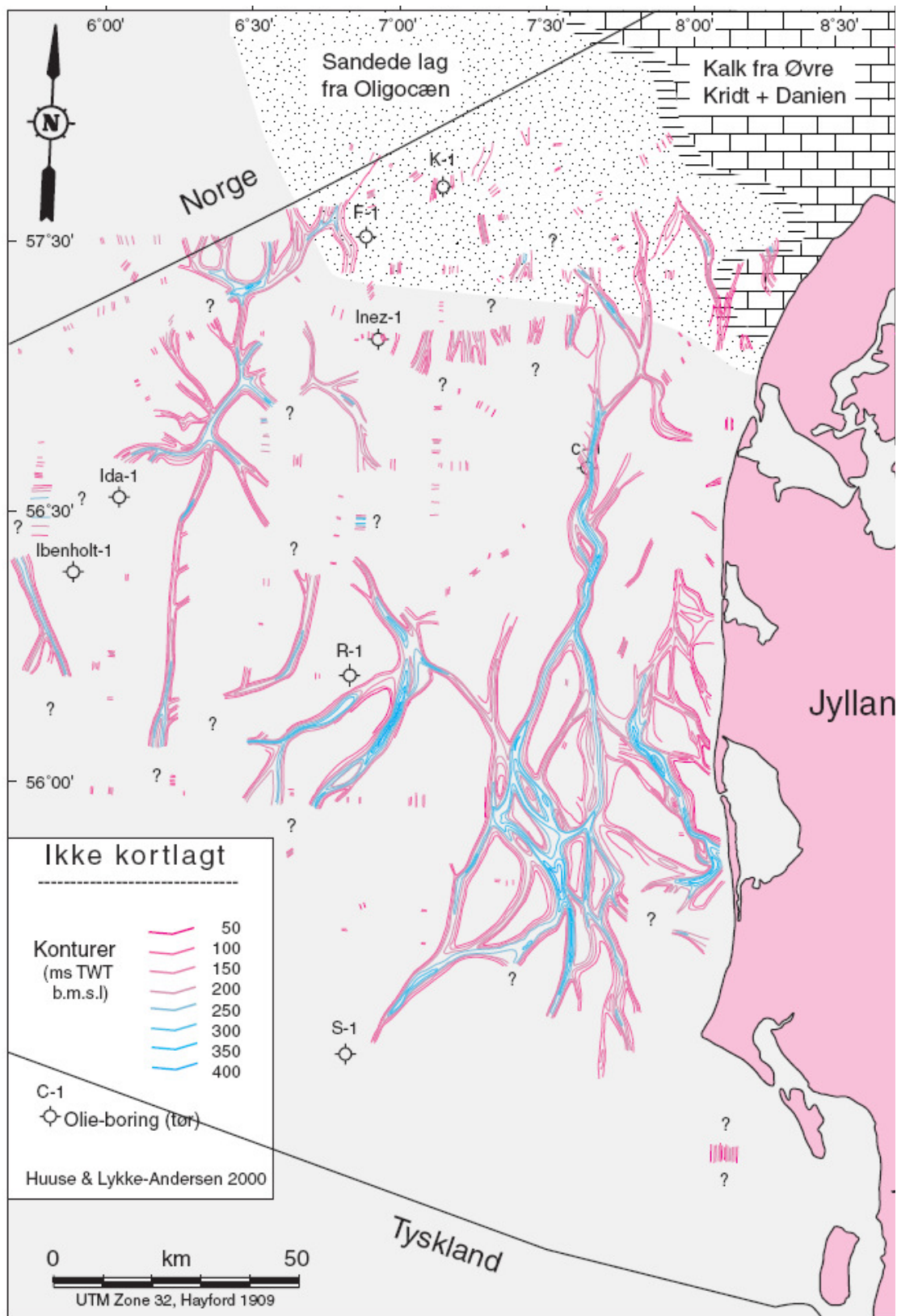
Studier af top Kridt overfladen (Clausen og Huuse 1999) viser, at der har været betydelig tektonisk opløftning af de nordøstlige marginale dele af Nordsøen siden Kridttiden og tektoniske nærstudier af Jyske Rev området (Fig. 11) viser tilstedeværelsen af mange salt diapir strukturer og deres tilhørende forkastninger, rand synklinaler og lignende. Selv om salt diapirerne er spredt ud over området, viser de sammen med forkastningerne en overordnet NNV – SSØ orientering.

Som det fremgår af ovenstående gennemgang af de prækvartære sedimenter, er der kun et forholdsvis tyndt kvartært dæklag i Jyske Rev området og det må forventes at de prækvartære strukturer, har haft en stor indflydelse på den kvartære sedimentations historie. At det også er tilfældet, kan man forvise sig om ved at studere forløbet af kvartære dale, som det fremgår af figur 12, hvor Huse og Andersen (2000) ud fra dybseismiske data har kortlagt fordelingen af dybe kvartære dale i Nordsøen.

Når man sammenholder figurerne 10, 11 og 12 fremgår det tydeligt at de prækvartære strukturer præger også den kvartære udvikling og endda den nuværende havbund (Fig. 2) bærer præg af forløbet af de begravede prækvartære dale, der snor sig mellem salt diapir genererede forhøjningerne, der delvist udgør Jyske Rev og Lille Fisker Banke.



Figur 11. Top Kridt strukturelt kort i ms TWT. Konturintervallet er 50ms. (Clausen and Huuse 1999).



Figur 12. Begravede kvartære dale i den østlige del af Nordsøen (Huuse & Lykke-Andersen 2000).

4.3 Bakkeø dannelser

4.3.1 Elster moræne og smeltevands sand, grus, sten og ler

Under Elster istiden, nåede de store gletschere fra øst helt ud og dækkede den danske del af Nordsøen og stedvis kendes til aflejringer herfra i Nordsøen. I forbindelse med svaghedszoner i de prækvartære lag dannedes dale og i Elster istiden blev disse uddybet. Dalene er med til at præge landskabet i Nordsøen (Huuse & Lykke-Andersen, 2000) og stedvist er der truffet grus i dalene.

Elster moræne aflejringer kendes desuden fra Horns Rev området (Jensen et al., 2008).

I Sen Elster, hvor isen smeltede dannedes talrige sø bassiner, hvor der blev aflejret tykke lag af issøler.

4.3.2 Sen Elster - Holstein Enhed

Sen- Elster - Holstein marine aflejringer er truffet ved Horns Rev i op til 11m tykke lag (Jensen et al., 2008). Lagene er mørkegrå og har et indhold af marine skaller og sort organisk materiale. Der er tale om siltet sand, leret og sandet silt og meget siltet, sandet til fedt ler.

Den danske kystzone var i Sen Elster- Holstein stærkt indskåret med forbindelser til Østersøen (Houmark-Nielsen et al., 2006). Forholdene i den øvrige del af Nordsøen er i øvrigt dårligt belyst, og Holstein er ikke påvist andre steder (Knudsen, 1985; Pedersen, 1995 a og b).

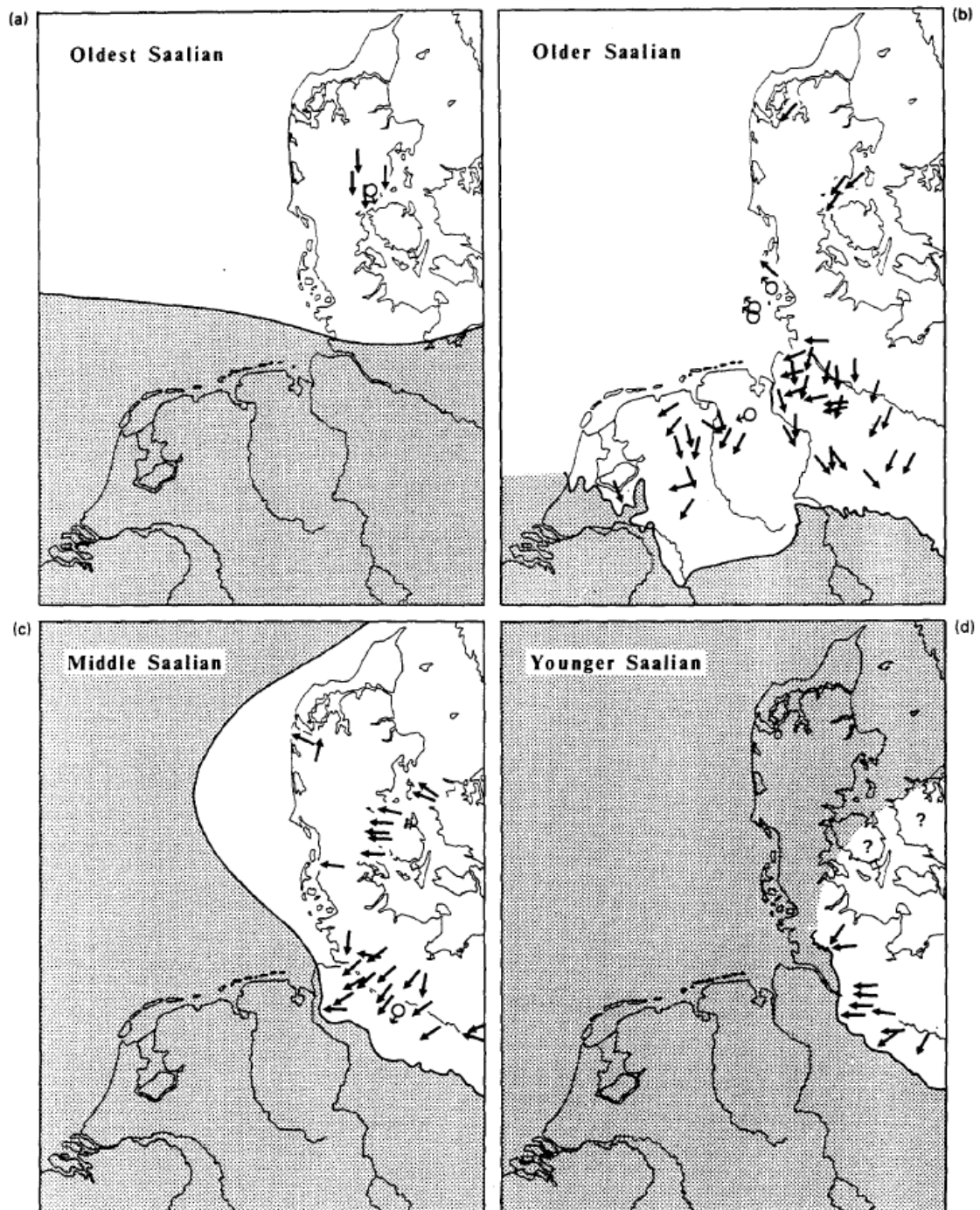
4.3.3 Saale smeltevands enhed: sand, grus, sten og ler

Smeltevandsaflejringer fra Saale findes ofte i kanaler og dale skåret ned i Saale moræne lag. De består af mellem til grovkornet sand og grus, samt undertiden af finkornet og siltet sand og siltlag. Disse kan indeholde glimmer og plantefragmenter ligesom på bakkeøerne i Vestjylland (Jensen et al. 2008). Langs vestkysten træffes også sand, grus og ler fra Saale (Leth et al., 2001, Anthony, 2001).

4.3.4 Saale moræne enhed

Ifølge (Ehlers, 1990) var hele Danmark og Nordsøen dækket af gletschere gennem store dele af Saale istiden blandt andet fra det Baltiske område. Det er Saale gletscherne, der har glacialtektonisk deformeret Kvartære og Miocæne aflejringer i mindst to komplekser: I Fanø Bugt (Andersen, 2004) og i Ydre Horns Rev (Jensen et al., 2008). Hvis forstyrrelserne ved Horn Rev kan tilskrives det sidste Saale fremstød, Warthe fremstødet, vil israndslinjen ligge længere ude i Nordsøen end foreslået af Houmark- Nielsen (2007) og måske passe bedre til udbredelsen foreslået af Ehlers (1990) (Fig. 13). Sandede og lerede moræneaf-

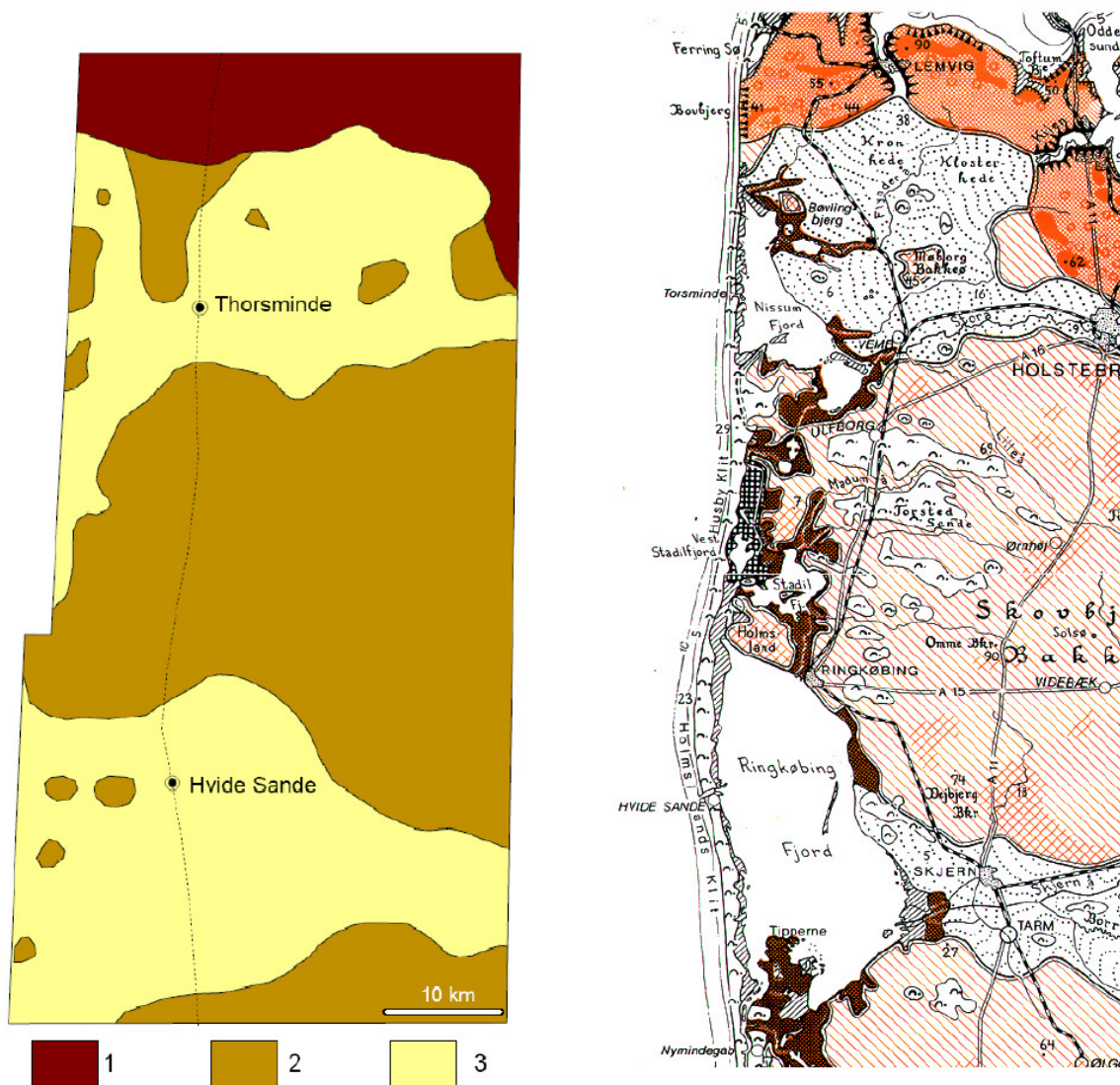
lejringer med grus, sten og blokke fra Saale kendes således fra Horns Rev området (Larsen, 2003; Larsen & Andersen, 2006; Jensen et al., 2008) og videre mod nord op ad Jyllands Vestkyst, hvor forlængelsen af Saale bakkeøerne er fundet mindst 20km mod vest, ude i Vesterhavet (Leth et al., 2001; Anthony, 2001; Leth, 2003). I disse bakkeøer træffes både moræne og smeltevandsaflejringer.



Figur 13. Udbredelsen af Saale istidens gletschere ifølge Ehlers (1990).

Den nordlige begrænsning af bakkeølandskabet er observeret i Bovbjerg kystprofil, som skærer Weichsel isens maksimale udbredelse (Pedersen et al., 1988), men på grund af erosion og oparbejdning af sedimenterne er der ingen skarpe morfologiske indikationer på den maksimale Weichsel is udbredelse på havbunden ud for kysten.

Til søs er der imidlertid observeret glaciale deformationer i proksimale glaciale sedimenter tæt på placeringen af den maksimale Weichsel is udbredelse og Weichsel smeltevands aflejringer er kortlagt mellem bakkeø dannelserne (Fig. 14).



Figur 14. Kystområdet mellem Thyborøn i nord og Ringkøbing Fjord i syd. Til højre Per Smed's geomorfologiske kort og til venstre geologisk jordartskort, som desuden dækker omkring 20km ud i Nordsøen (Anthony, 2001).

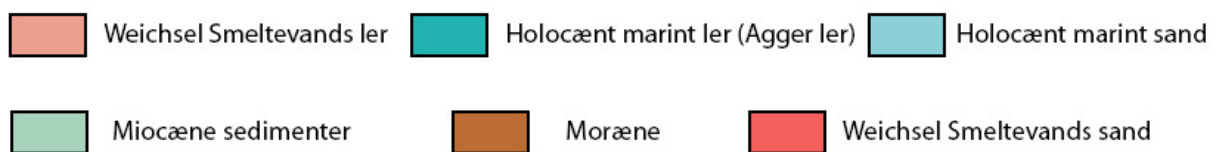
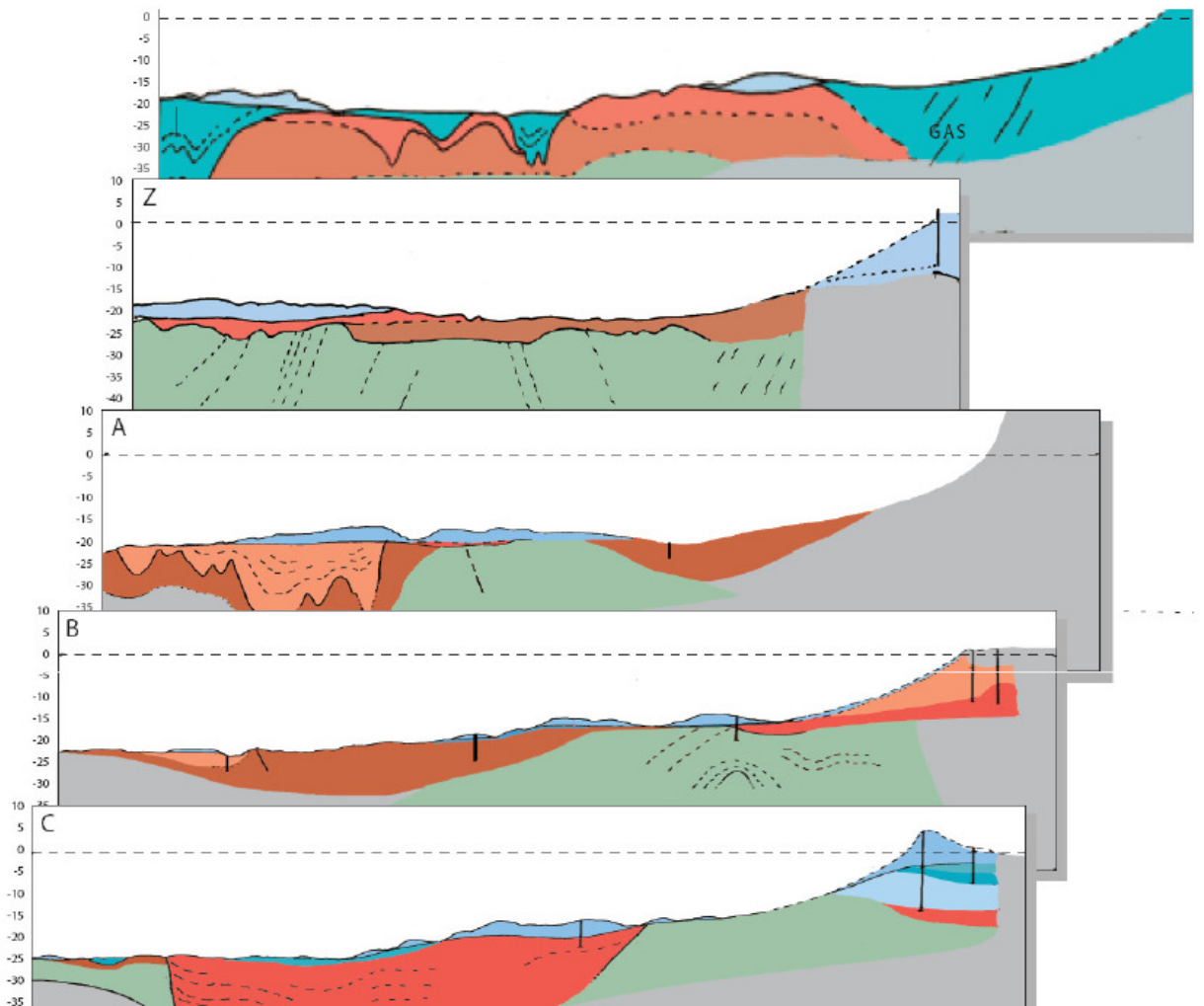
Legende: 1. Weichsel hovedopholdslinje moræne, 2. Saale moræne og smeltevands aflejringer og 3. Weichsel smeltevandsslette.

Profilerne i et 20 km bælte ud for Torsminde og Hvide Sande (Fig. 15), viser at der i nord er en glacial depression syd for hovedopholdslinjen, som også inkluderer Nissum Bredning.

Sandsynligvis er denne depression dannet da morænekomplekset blev dannet ved Bovbjerg.

Syd herfor findes der en begravet moræneoverflade, som sandsynligvis er af Saale alder. Depressionerne i dette begravede landskab, er i reglen udfyldt med Weichsel smeltevandsaflejringer.

Man må forvente, at Weichsel isens hovedopholdslinje fortsætter mod vest, syd for Lille Fisker Banke og at glacialtektoniske forstyrrelser kan have blotlagt Saale dislocerede smeltevands sand og grusaflejringer ved gletscher randen.



Figur 15 Havbundsprofiler i et 20 km bælte ud for Thyborøn i nord og Ringkøbing Fjord I syd (lokalisering på kysten se figur 14). Efter Anthony (2001).

4.4 Weichsel glaciale aflejringer (W5a, W5b og W5c enheder)

Grundlaget for dannelsen af Jyske Rev blev anlagt under det maksimale isfremstød fra NØ i slutningen af Weichsel for ca. 23.000-21.000 år siden (Leth, 1998; Geoviden, 2005). Jyske Rev og Lille Fisker Banke området var dækket af en eller flere gletschertunger. Isfronten fortsatte mod øst til Bovbjerg og området omkring Viborg. Herfra fortsatte isfronten mod syd og udgjorde samtidig en del af den såkaldte hovedopholdslinje ned gennem Jylland (Houmark-Nielsen, 1987). Aflejringer fra israndsområdet i den sydlige del af Jyske Rev fremstår som relativt højtliggende moræneaflejringer med glacialtektoniske forstyrrelser. I området syd for Weichsel israndslinjen findes smeltevands sand og grus i de glaciale lavninger i Weichsel landskabet og som proximale – distale smeltevandsslette aflejringer, der overlejrer de ældre glaciale dannelser (Saale/Elster) syd for hovedopholdslinjen (Fig. 5).

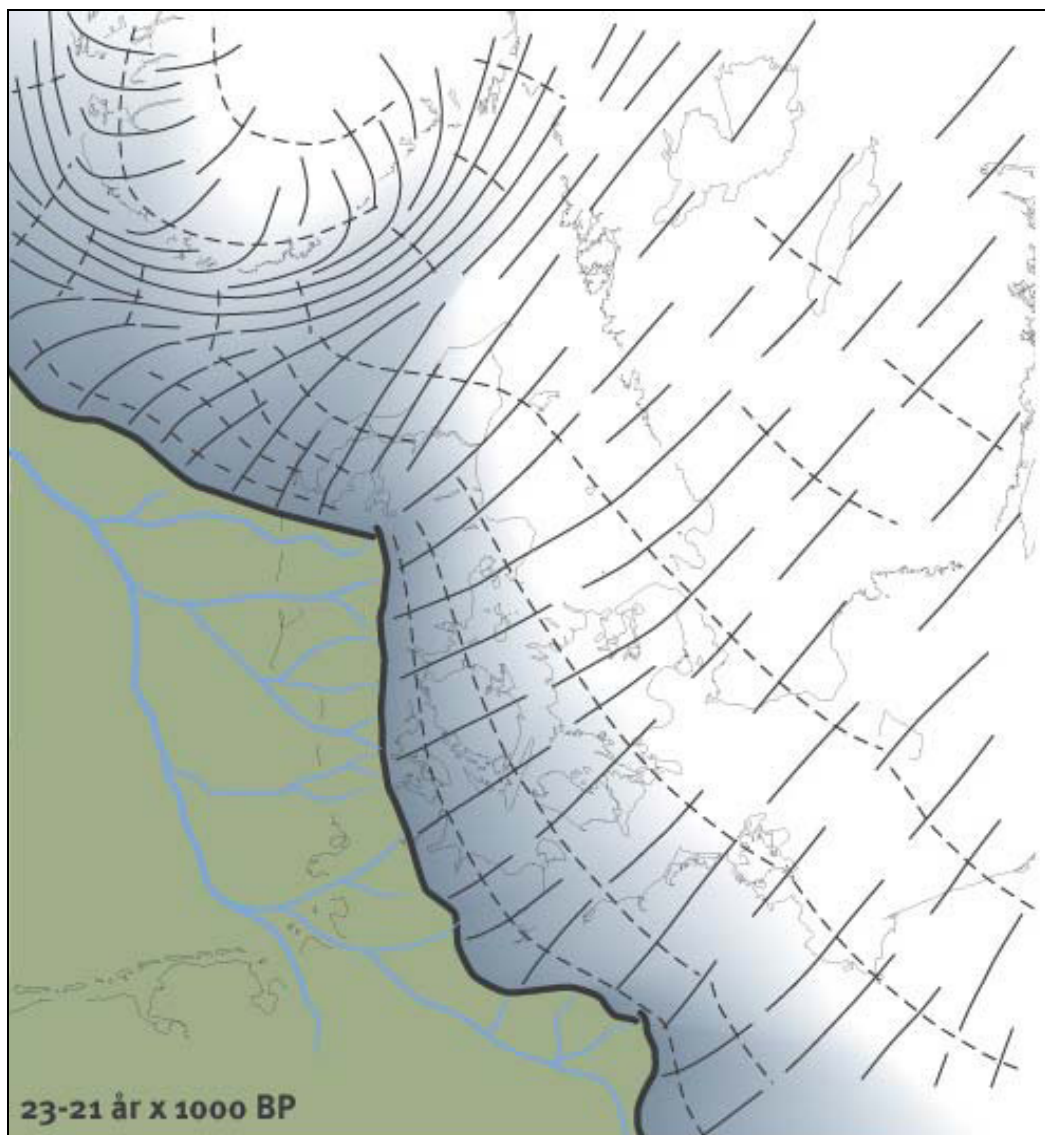
Weichsel moræne aflejringerne nord for israndslinjen udgør et få meter tykt lag over de prækvartære ryg- og dal strukturer (Fig. 5). Omkring israndslinjen i den sydlige del af Jyske Rev overlejres Weichsel moræner ofte af et få meter tykt dække af Weichsel smeltevandssand og grus, der blev aflejret i forbindelse med tilbagesmeltningen af Weichsel hovedisfremstødet i området. Syd for israndslinjen findes Weichsel smeltevandssand og – grus i lavninger mellem ældre glaciale dannelser (Elster/Saale). De prækvartære ryg-dal strukturer (Fig. 12) og salt diapirtektonik har tydeligtvis præget sedimentationshistorien og den overfladenære fordeling af Weichsel aflejringerne. Weichsel aflejringerne og stenede residuersedimenter over disse udgør hovedparten af havbunden i den sydlige del af Jyske Rev og Lille Fisker Banke. På kortet over havbundsoverflade sedimentfordelingen (Fig. 32) ses at områderne karakteriseret som moræner (lokalt med residualgrus samt sten og blokke) danner et let buet forløb fra kystområdet ud for Limfjorden over den sydlige del af Jyske Rev og videre mod ØNØ omkring den dansk-norske EEZ-grænse. Dette kan muligvis tilskrives et buet (lobat) forløb af de seneste og mest vidtstrakte Weichsel isfremstød i området.

Glaciale Weichsel aflejringer (Enhed W5, Fig. 6 og Bilag 6) ses hyppigt at trunkere Prækvartæret, og den øvre begrænsning af sekvensen er altid erosiv. På baggrund af tolkningen af seismiske profiler samt fordelingen af overfladesedimenter kan aflejringerne inddeles i tre genetiske faciestyper: Bundmoræne (W5a), flydemoræne (W5b), samt smeltevandssand og -grus (W5c), der repræsenterer glaciofluviale sedimenter (Leth, 1998). Bundmoræne er dannet under bunden af isen ved at sedimentkorn smøres ned i underlaget ved en kombination af afsmeltning, gletscherbevægelse og -tryk. Det lavere vandindhold og høje tryk fra den overliggende is fører til en generel høj konsolideringsgrad. Flydemoræne (også kaldet topmoræne) derimod, er dannet ved afsmeltning fra overfladen af isen, og har typisk et højt vandindhold, der har ført til flydning mod lavere liggende områder i afsmeltningssfasen. Flydemoræne har typisk en lav konsolideringsgrad. Moræneenhederne W5a og W5b tolkes begge til at repræsentere Sen Weichsel isfremstødet fra NØ. Den stedvise todeling af Weichsel moræne i bundmoræne og overliggende flydemoræne er markeret seismisk af en diffus højere-amplitude zone, der adskiller semitransparente moræneenheder. Den stedvise forekomst af interne sub-parallele og hældende seismiske reflektorer i W5a tyder på forekomst af overskydningsplaner og foldning af morænematerialet i et israndsområde. Den irregulære overflade af Weichsel glacial-landskabet er delvist bevaret i form af asymmetriske glaciale rygge, der formodentligt skyldes overskydning og

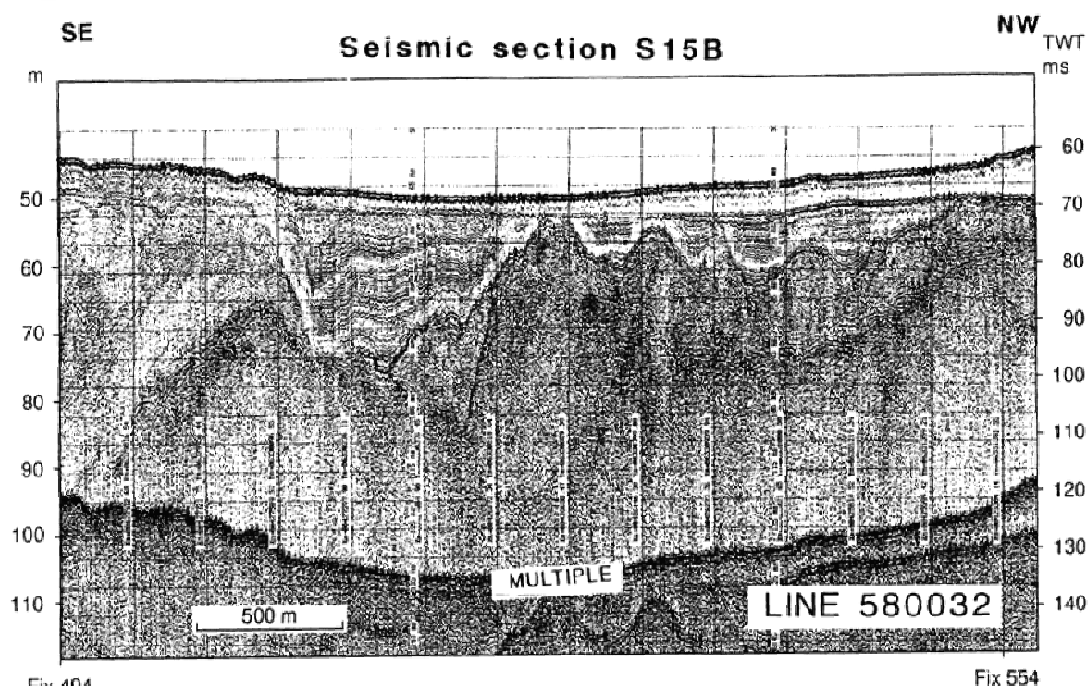
skråstilling af glaciale sekvenser (Fig. 17). Ældre dale og mindre depressioner mellem morænehøjene er erosivt skåret af smeltevandsaflejringer (W5c), der repræsenterer senglaciale dræningssystemer, som har præget området under isens tilbagesmeltning til det blev oversvømmet af det Yngre Yoldia Hav (Enhed W4).

Det har ikke været muligt at penetrere moræneaflejringerne med længere kerneudstyr, men grab prøver fra områder på Jyske Rev med moræneaflejringer ved havbundsoverfladen viser en klast-sammensætning med bl.a. norske ledeblokke, der underbygger at morænematerialet stammer fra NØ-fremstødet i sen Weichsel.

I området nord for Jyske Rev findes der i det begravede landskab under havbunden tegn på flere fornyede isfremstød. Istidslagene kan ud fra de seismiske målinger underinddeles, hvilket tyder på flere sæt moræneaflejringer enten fra Sen Weichsel i forbindelse med isens bortsmeltning mod Skagerrak og Norge, eller fra Midt Weichsel (Sundsøre fremstød (65.000-60.000 år siden, Larsen et al. (2009)), eller endnu ældre istider (Saale eller Elster).

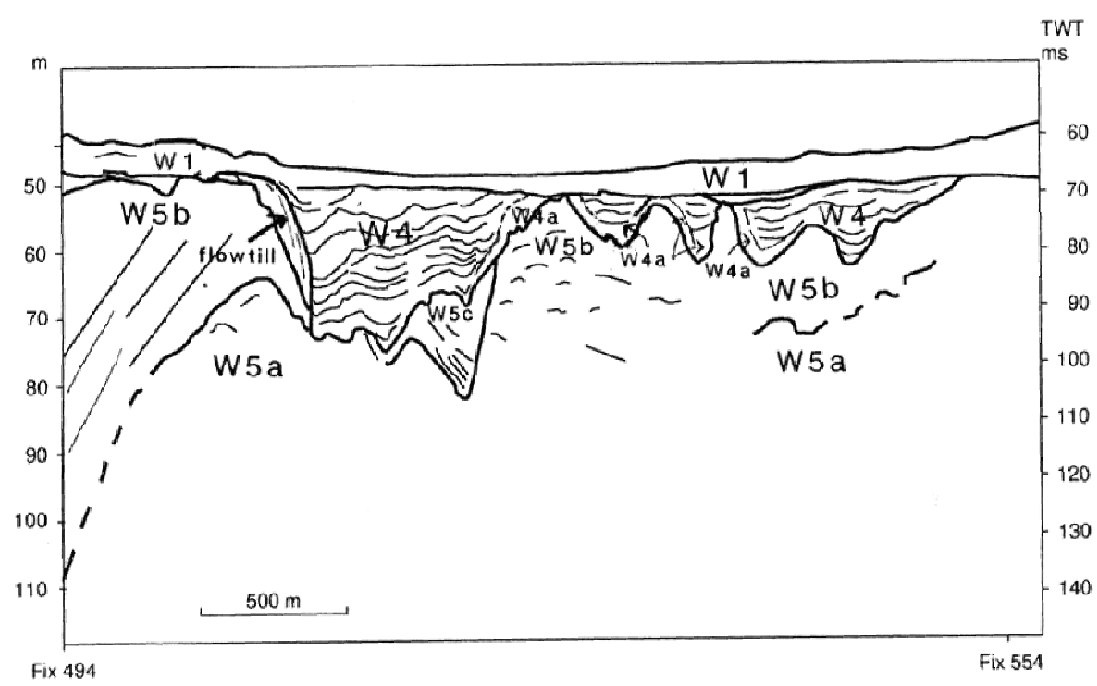


Figur 16. Udbredelse af isskjoldet over Sydsandinavien i Sen Weichsel for omkring 23-21 tusind år siden - også kaldet NØ fremstødet (fra Houmark-Nielsen et al., 2005).



Fix 494

Fix 554



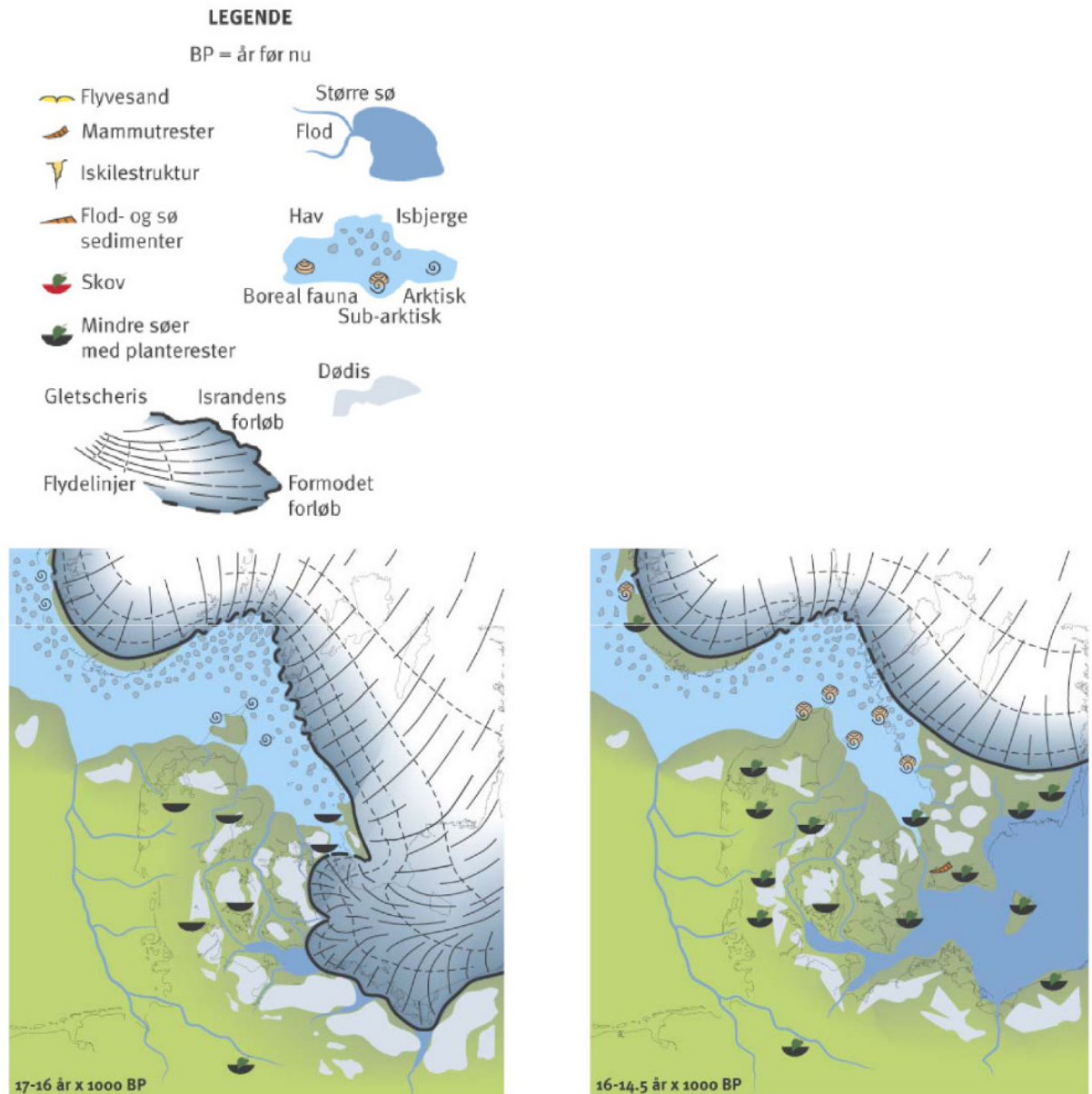
Fix 494

Fix 554

Figur 17. Seismisk profil og tolkning fra Jyske Rev (Leth, 1998). Den glaciare Weichsel enhed W5 er tolket som bundmoræne (W5a), flydemoræne (W5b), og smeltevandsaflejringer (W5c). Det oprindelige glaciallandskab (top W5b) kan ses at bestå af rygge og lavninger der formodes at repræsentere skråtstillede opskudte flager.

4.5 Senglaciale marine sedimenter (Yngre Yoldia Ler, enhed W4)

Som beskrevet i de forgående afsnit er Weichsel isens hovedopholdslinje lokaliseret syd for Jyske Rev og har formentlig dækket området længere mod vest, samt området syd for Lille Fisker Banke (Geoviden, 2005). Da isen smeltede tilbage, lå størstedelen af Danmark over havet på nær Vendsyssel, hvis lavere dele blev overskyldet af ishavet (Yoldiahavet) for omkring 16.000-15.000 år siden (Figur 18).



Figur 18. Skitse af Weichsel isens tilbagesmeltning for 17.000-14.500 år siden i Sen Weichsel. Her er smeltevandssletten foran gletscheren samt tunneldale og ishavet illustreret, hvor Yngre Yoldia Leret (W4) er aflejret. Øverst ses en legende, (Geoviden, 2005).

Tre årtusinder senere indledtes den landhævning, som trængte ishavet bort og var begyndelsen på fastlandstiden. Under Weichsel-istidens sidste del, kaldet *Senglaciale tiden*, var landet isfrit bortset fra isolerede dødisforekomster.

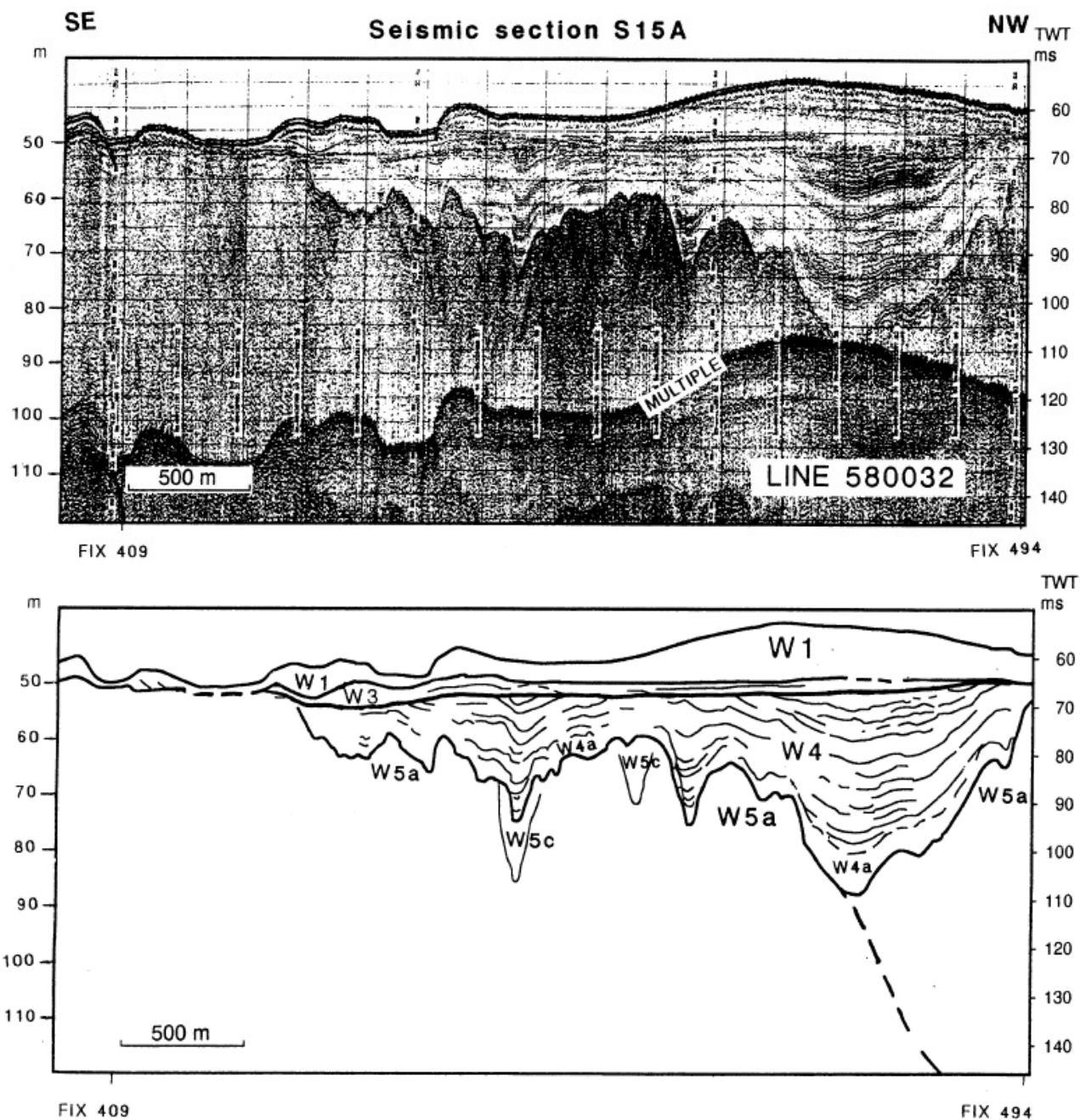
I forbindelse med isens tilbagesmeltning blev der dannet tunneldale under isen, hvor smeltvand blev i disse transporteret til udmundingen ved hovedopholdslinjen og en smeltvandslette dannedes foran isen.

I takt med Weichsel israndens tilbagesmeltning øges udbredelsen af Yngre Yoldia Ishavet og nedskårne dalsystemer i området mellem Jyske Rev og det sydlige Skagerak (Leth, 2000), blev delvist udfyldt af store mængder marint ler (enhed W4, Fig. 6), det såkaldte Yngre Yoldia Ler (Anthony, 2001), som generelt findes som dæklag oven på de glacielle lag på vanddybder over 40m. Den relative sænkning af havniveauet (Kystlinje sænkning) i perioden for 17.000 – 11.000 år siden (Fig. 7) medførte en regression af kystlinjen, som nåede et minimum på -50 m omkring 11.000 år før nu.

Det senglaciale Yngre Yoldia Ler er primært kortlagt nordøst for Jyske Rev i dale op mod 15km brede og mere end 40m dybe og nedskåret i det glacielle landskab i en nordvest-sydøstlig retning. Denne retning er generelt sammenfaldende med forkastningssystemernes retning i den øvre kalkgruppe. Dette indikerer, at der findes en sammenhæng med de præ-kvartære forkastningssystemer og udbredelsen af enhed W4 i dale, som er begrænset af moræne (Fig. 19). Mod syd er aflejringerens udbredelse begrænset af det højtliggende glacielle landskab.

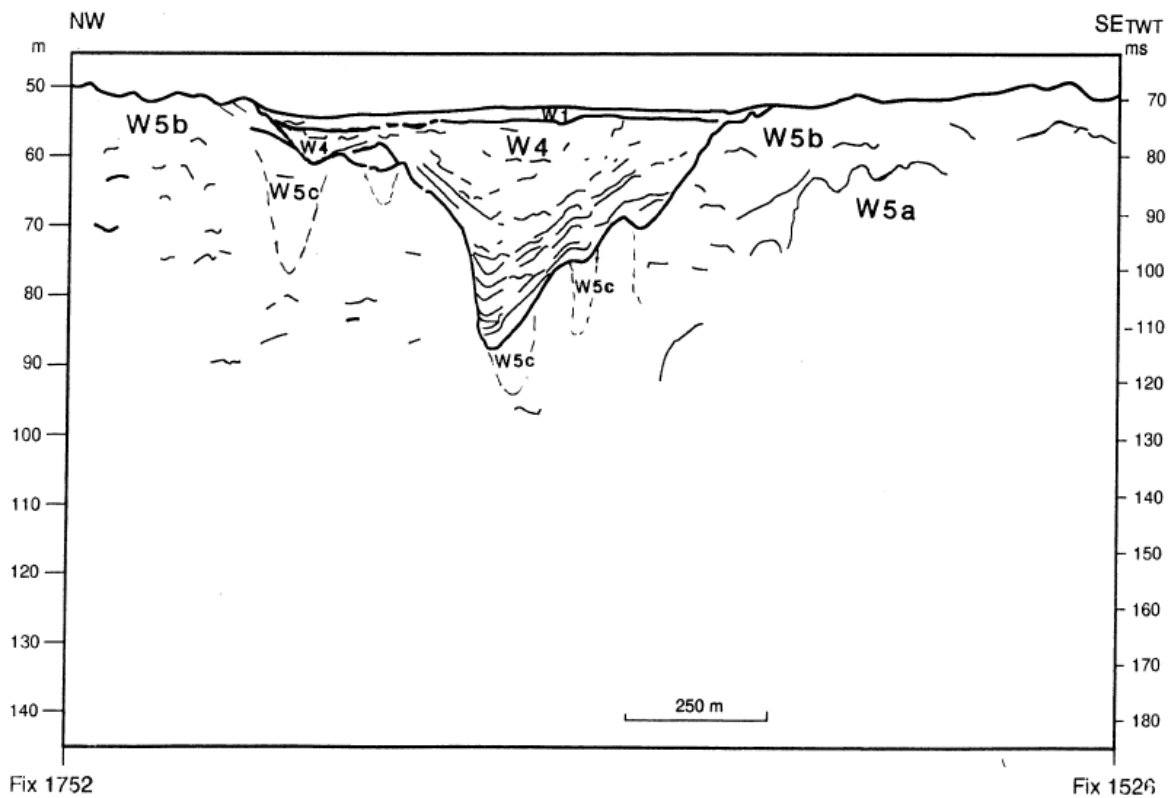
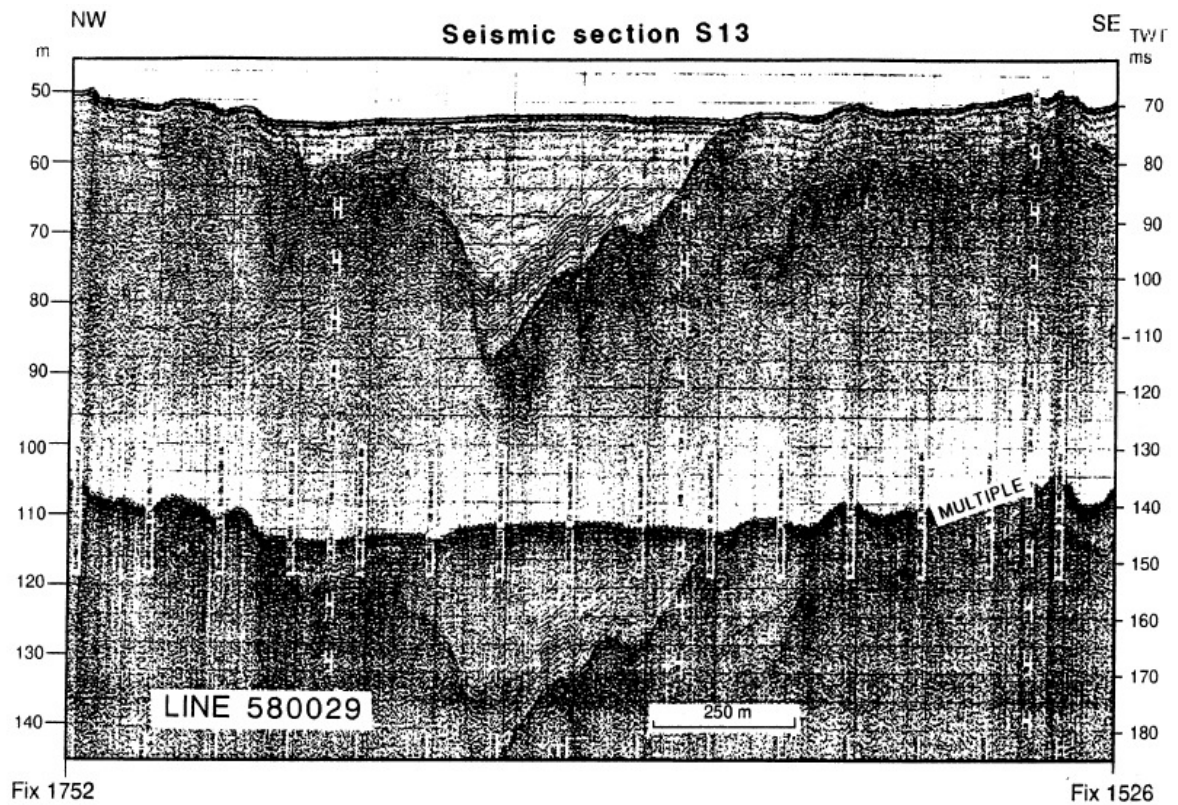


Figur 19. Udbredelsen af enhed W4 (Fig. 6) er skitseret med grå (Leth, 1998).



Figur 20. Seismisk profil S15A med tilhørende tolkning skitseret forned. W4 udfylder pålæodalene, hvis topografi er forårsaget af erosive processer, som fandt sted før aflejringen af enhed W4. Den kaotiske enhed W4a indikerer en hurtig og energifuld aflejring. Den øvre grænse relateres til den hurtige havniveau stigning i Holocæn (Leth, 1998).

Enhed W4 ses på den seismiske sektion S15A på figur 20. Her ses det, at dalene er dybt nedskårne i det glaciare landskab og overlejret af enhed W1 og W3 (Fig. 6). Dalene findes dybest nedskåret i landskabet i den sydøstlige del af området, og på den nordlige flak af Jyske Rev, findes disse dale ned til et niveau mere end 80m under havoverfladen (Fig. 20). De sen-glaciare marine sedimenter i området består primært af lamineret ler med indslag af



Figur 21. Seismisk profil S13 med tilhørende tolkning skitseret fornedet. Et eksempel på en relativt smal dal fyldt med ishavs aflejringer. Bemærk en betydelig recent lavning i havbunden netop over dalen.

silt og fint sand. Det marine ler er karakteriseret ved at være akustisk semi-transparent med parallelle reflektorer, som tilnærmelsesvis følger den underliggende topografi (Anthony, 2001). W4 adskiller sig fra den ældre glaciale enhed ved en erosions flade (Leth, 2000; Knudsen, 1985). Udover det parallelle reflektionsmønster ses et mere kaotisk mønster med lav reflektivitet i de dybeste dele af dalene, som er betegnet W4a. Den øvre afgrænsning er også karakteriseret med en erosions unkonformitet i niveauet 35 til 50 m under havoverfladen og kan relateres til den hurtige havniveaustigning i Holocæn (Leth, 1998).

Det seismiske profil S13 på Figur 21 viser en relativt smal dal i den nordlige del af Jyske Rev. Denne skitse viser tydeligelige tegn på sætning i de glaciomarine aflejringer, hvilket har gjort, at havbunden har formet en depression på omkring 5m i forhold til den omkringliggende havbund. Dette skyldes formentlig delvist en naturlig komprimering af det finkornede materiale, men også strukturelle bevægelser i undergrunden kan være årsag til dette.

Det generelle parallelle reflektionsmønster antyder en jævn aflejringsrate 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 proglaciale miljø (Smith og Ashley, 1985). Det laminerede reflektions mønster kan ud over ændringer i kornstørrelser skyldes ændringer i vandindhold eller eventuelt i indholdet af marine skalfragmenter (Leth, 1998).

I en boring i Skagerrak har Haugwitz og Wong (1993) identificeret ishavs 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 glaciale periode. Toppen af W4 er registreret i omkring -35m.

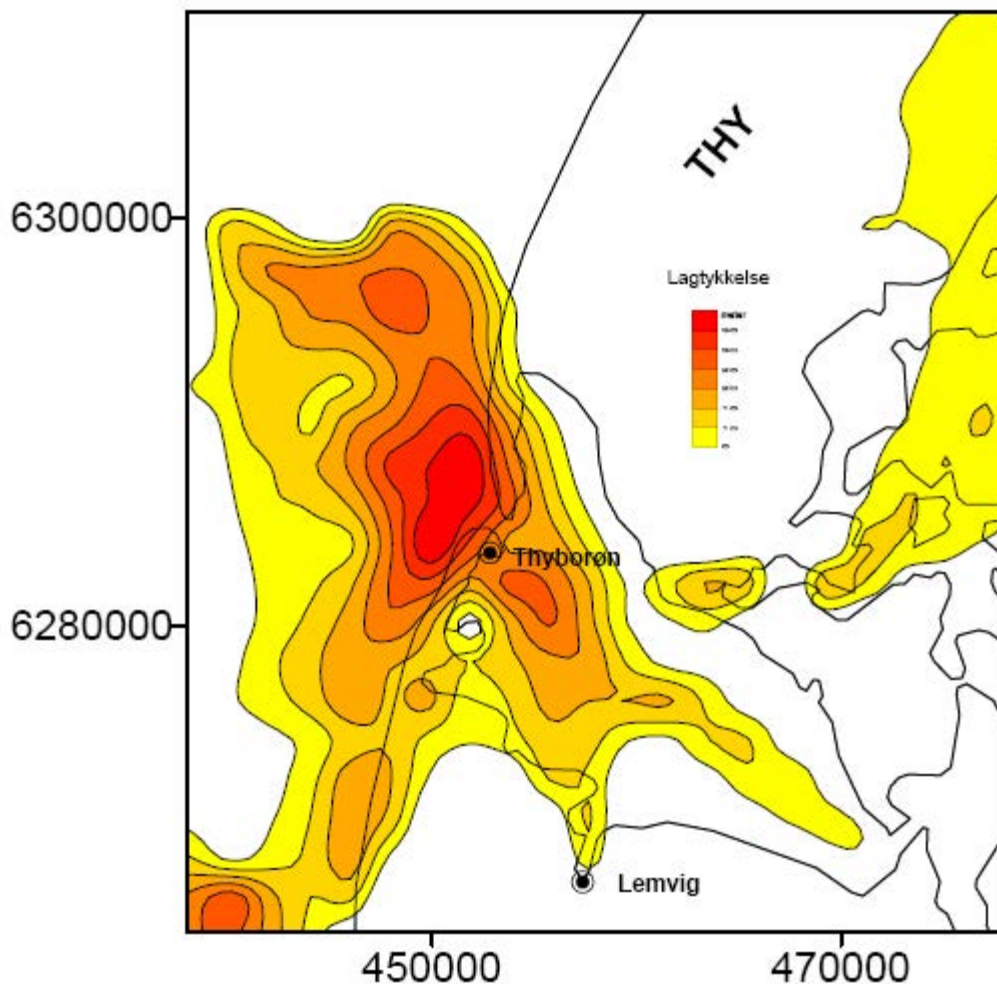
Den relative sænkning af havniveauet (kystlinje sænkning) i perioden for 17.000 – 11.000 år siden (Fig. 7) medførte en regression af kystlinjen, som nåede et minimum på -50m omkring 11.000 år før nu. På det tidspunkt var størstedelen af undersøgelsesområdet over havniveau og frem til den efterfølgende holocæne transgression. Dette har resulteret i en hiatus, hvor der generelt kun har kunnet udvikles jordbunde, 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 W4 (Leth, 1998).

4.6 Tidlig holocæne marine og lagune aflejringer (Agger Leret, enhed W3)

Seismisk set er enheden W3 (Fig. 6) kendt fra hele Jyske Rev området, hvor de ældste lag overlapper den glaciale enhed W5 i omkring kote -40m og markerer dermed den holocæne transgressionen af området. Borekerner og dateringer indikerer at enheden repræsenterer overgangen fra ikke-marine forhold til fuldmarine forhold, med en forøget cirkulation og stigende salinitet i tidlig Holocæn. Dateringerne viser endvidere at enheden er aflejret samtidig med lagune sedimenter, der findes længere mod øst kaldet Agger Leret, som daterer helt tilbage til 9650 år før nu. Den marine del er tolket som den distale del af Agger Leret og hele det seismiske kompleks falder under enhed W3. Af udbredelseskortet figur 24 og profil

S2 figur 25 ses, at det marine onlap niveau i øst omkring kote -40m kan følges i hele enheden W3 til den vestlige lagune facies kaldet Agger Leret.

Agger Leret, der kan følges ind i Limfjordsområdet under Agger Tange ind i Nissum Bredning, repræsenterer en kontinuerlig aflejningsperiode på ca. 6000 år startende i Præboreal 9650 år før nu til Subboreal 3650 år før nu eller senere (Leth, 1998). I forbindelse med havspejlsstigningen i Tidlig Holocæn blev lavningerne i det glaciale landskab successivt overskyldet af atlantiske vand, der relativt hurtigt skabte varme forhold i Præboreal. De meget finkornede og velsorterede sedimenter i Agger Leret tolkes afsat i op til 40m dybe lagunale bassiner og fjorde beskyttet mod den åbne marine kyst mod vest af en række glaciale øer (Fig. 22). Man kan sammenligne Agger Lers bassinet med den vestlige del af Limfjorden. Havet omkring Jyske Rev var i denne periode præget af tidevand, hvilket gav anledning til at tidevandskanaler og laguner kunne udvikles på bagsiden af det glaciale landskab.

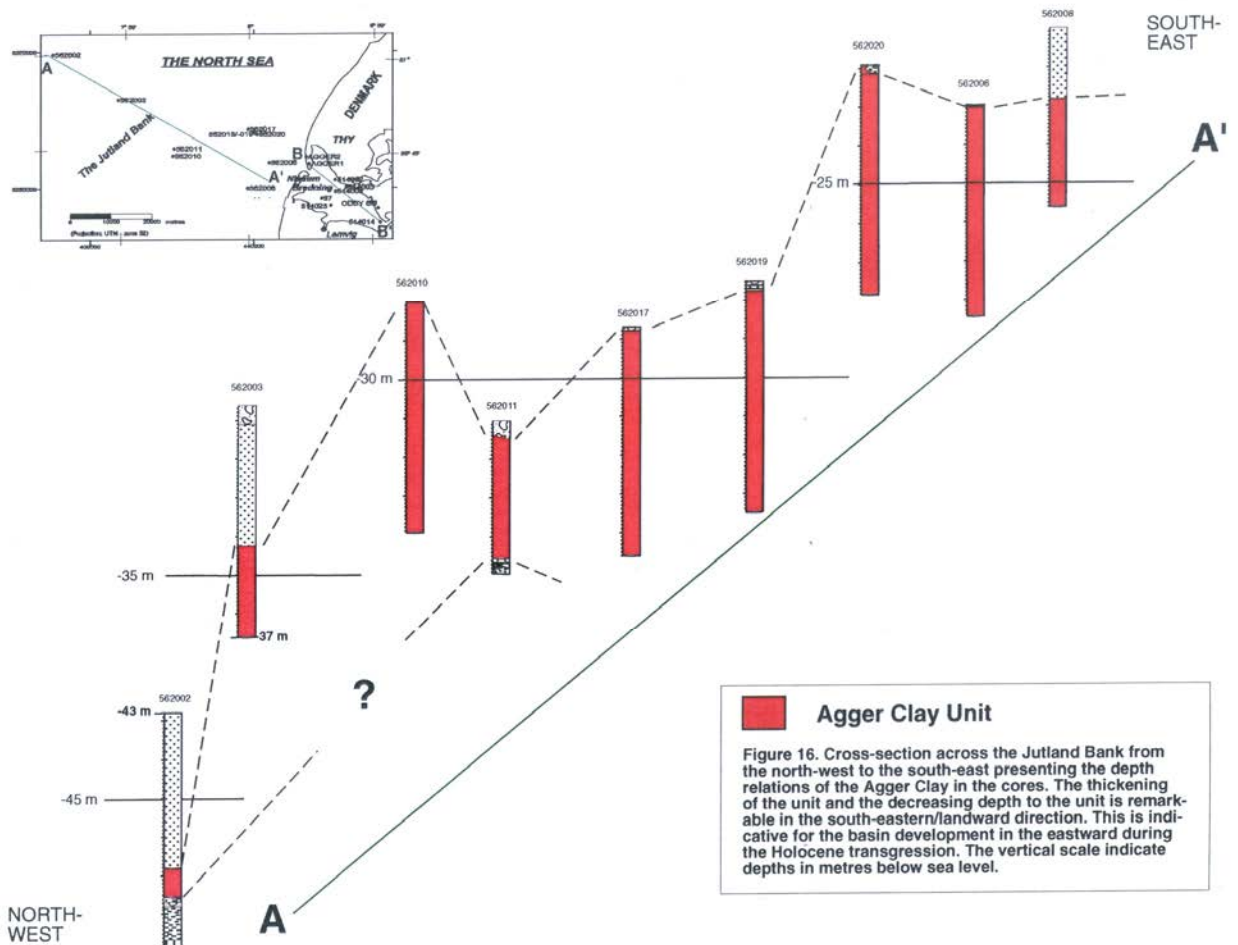


Figur 22. Tykkelseskort over enhed W3 lagune facies (Agger Leret) i den østlige del af Jyske Rev og den vestlige Limfjord.

Aflejringsmiljøet for Agger Leret udviklede sig i denne periode fra brakvandsforhold til gradvis mere marine forhold, hvilket afspejlede ændringerne i strømningsmønstret, såvel som den generelle stigning i havniveauet gennem perioden. Da de sidste glaciale øer på Jyske

Rev blev transgrederet for omkring 7000 siden, overskylledes de bagvedliggende laguner og tidevandsforholdene var ikke længere dominerende. Der etableredes åbne marine forhold over hele området, og i forbindelse med denne transgression eroderedes Agger Leret, hvorved der blev dannet en skarp, erosiv overgang til det overliggende Jyske Rev Sand. I den østligste del af Jyske Rev, hvor Jyske Rev Sandet er tyndt eller ikke til stede pga. erosion, står Agger Leret frem på havbunden.

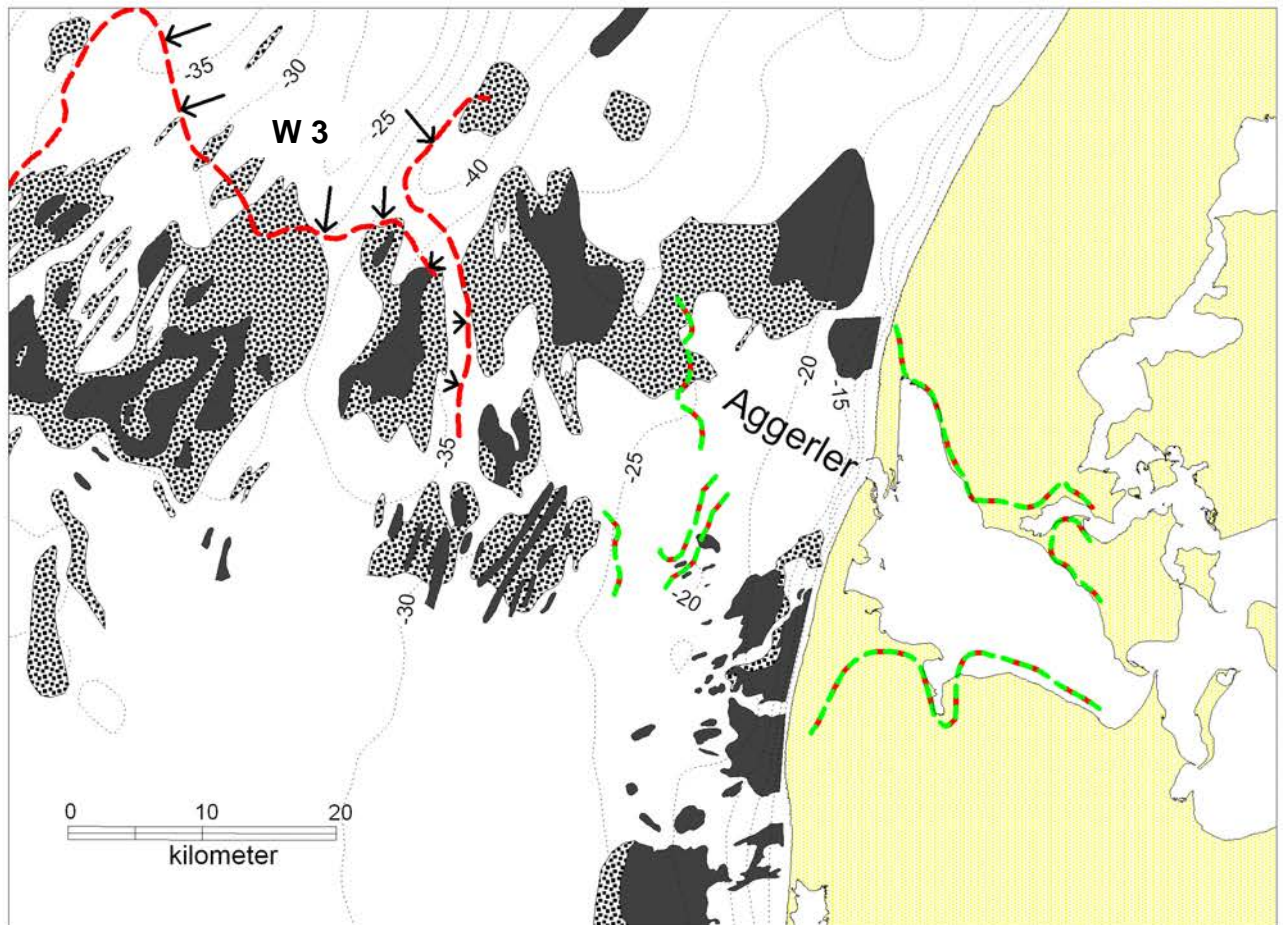
Agger Lerets aflejningsmiljø har givet anledning til en meget høj sedimentationsrate på mere end 50cm/100 år gennem alle 6000 år, hvilket sandsynligvis skyldes at bassinet er omgivet af et umodent glacialt landskab og en deraf følgende stor sedimenttilførsel fra land.



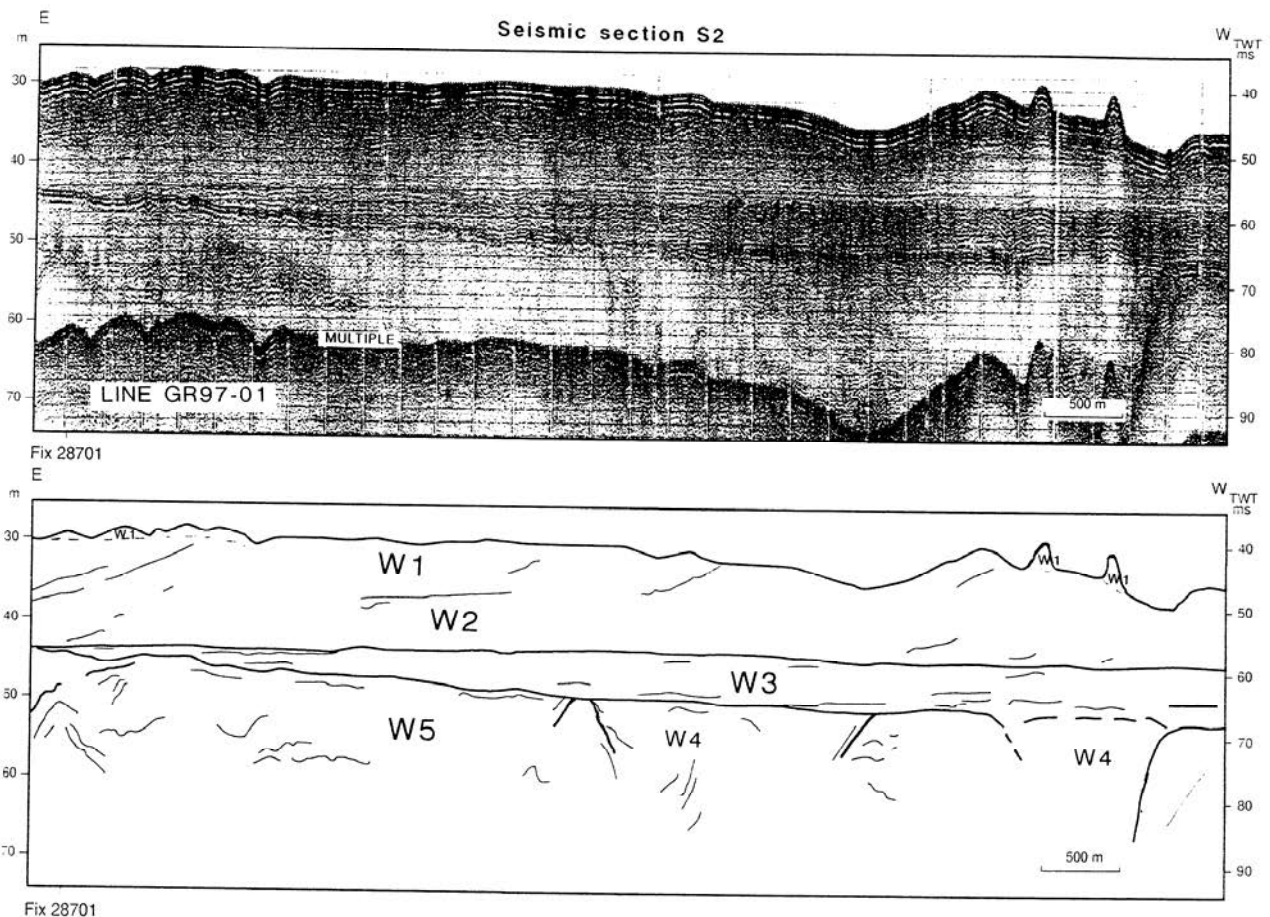
Figur 23. Tværsnit gennem borer i Jyske Rev området, hvoraf udbredelsen og dybden til enhed W3 (Agger Leret) fremgår. Dybden til Agger Leret stiger generelt fra øst mod vest.

Den uens fordeling af Agger Leret skyldes til dels aflejningsbassinets relief dvs. glaciallandskabets morfologi. Men tilstedeværelsen af saltdiapirer i området har også haft en betydning, idet der ses tynde aflejringer på toppen af diapirerne og maksimale tykkelser i randområderne til saltdiapirerne, især omkring Rønland saltstrukturen ved Thyborøn (se figur 23). Det er dokumenteret, at der har foregået hævnninger af diapirerne i området gennem

den postglaciale periode, hvilket giver indsynkninger og dybere bassiner i diapireernes randområder (Hansen & Håkansson, 1979; Leth, 1998).



Figur 24. Udbredelsen af enhed W3 indikeret med rød stiptet linje. Pilene angiver, hvor W3 overlapper på de glacial aflejringer i ca. kote -40m (moræne = sort; moræne dækket med grus = prikket). Mod øst ses udbredelsen af enhed W3's lagune facies (Agger Leret) angivet med rød/grøn stipling.



Figur 25. Seismisk profil S2 med tilhørende tolkning skitseret fornedet. Enhed W3 onlapper den glaciæle enhed W5 og markerer dermed transgressionen af området fra nordvest.

4.7 Holocæne druknede kystaflejringer (enhed W2)

Det glaciæle landskab omtalt i de tidligere afsnit er præget af moræneaflejringer. Disse har været kildeområde for de sandede og grusede druknede kyst akkumulationer af enhed W2. Dette palæolandskab druknede successivt under den postglaciæle havspejlsstigning. I forbindelse hermed, har der gennem flere faser været muligheder for kystudviklinger med aflejring af kystdannelser som strandvolde og odde.

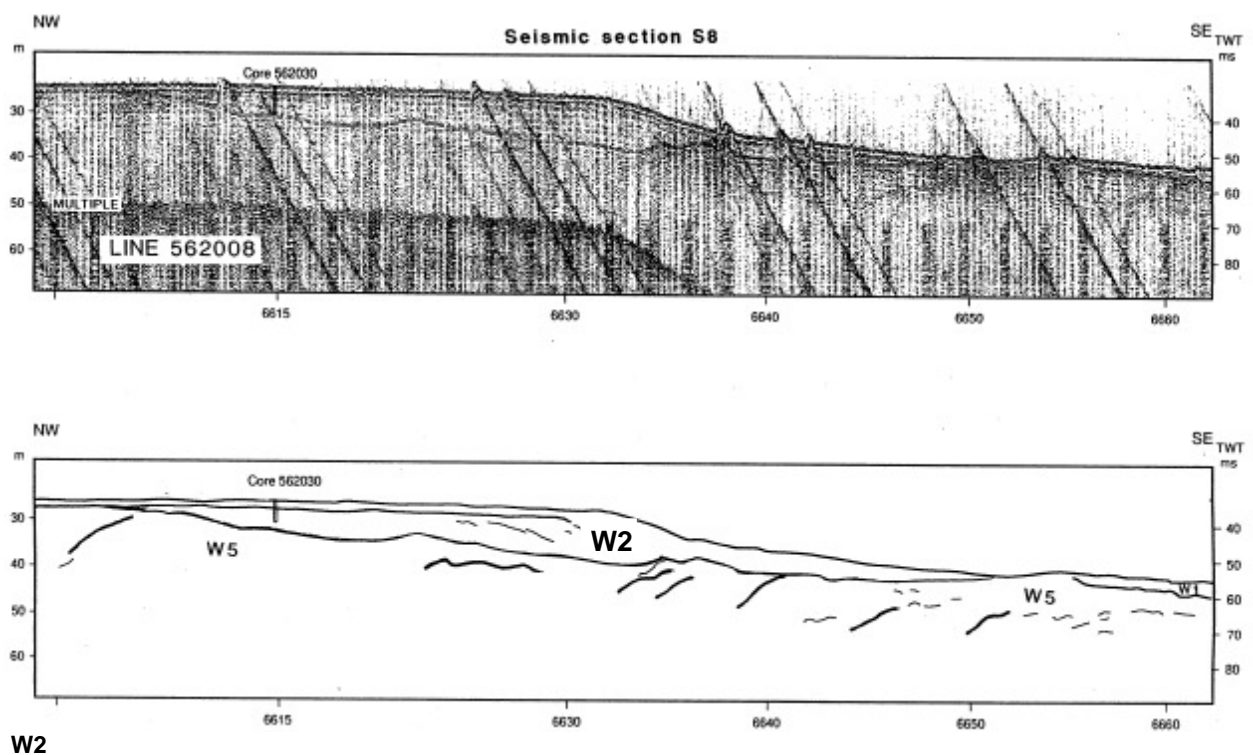
Som det fremgår af sedimentkortet (Fig. 32) er den arealmæssige udbredelse af grus på Jyske Rev ganske stor. Kildeområdet for de grusede materialer er som for sandets vedkommende de højtliggende morænelersområder. På grundlag af det eksisterende prøvemateriale af grabprøver og borer har det været muligt at skelne mellem grusede erosions restaflejringer og strandvolds/odde dannelser.

4.7.1 Grus erosionsrest aflejringer

Erosions restsedimenterne 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 (> 2mm) er i dette sediment 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 over større sammenhængende områder indenfor vanddybder fra mindre end 20 m til omkring 40 m.

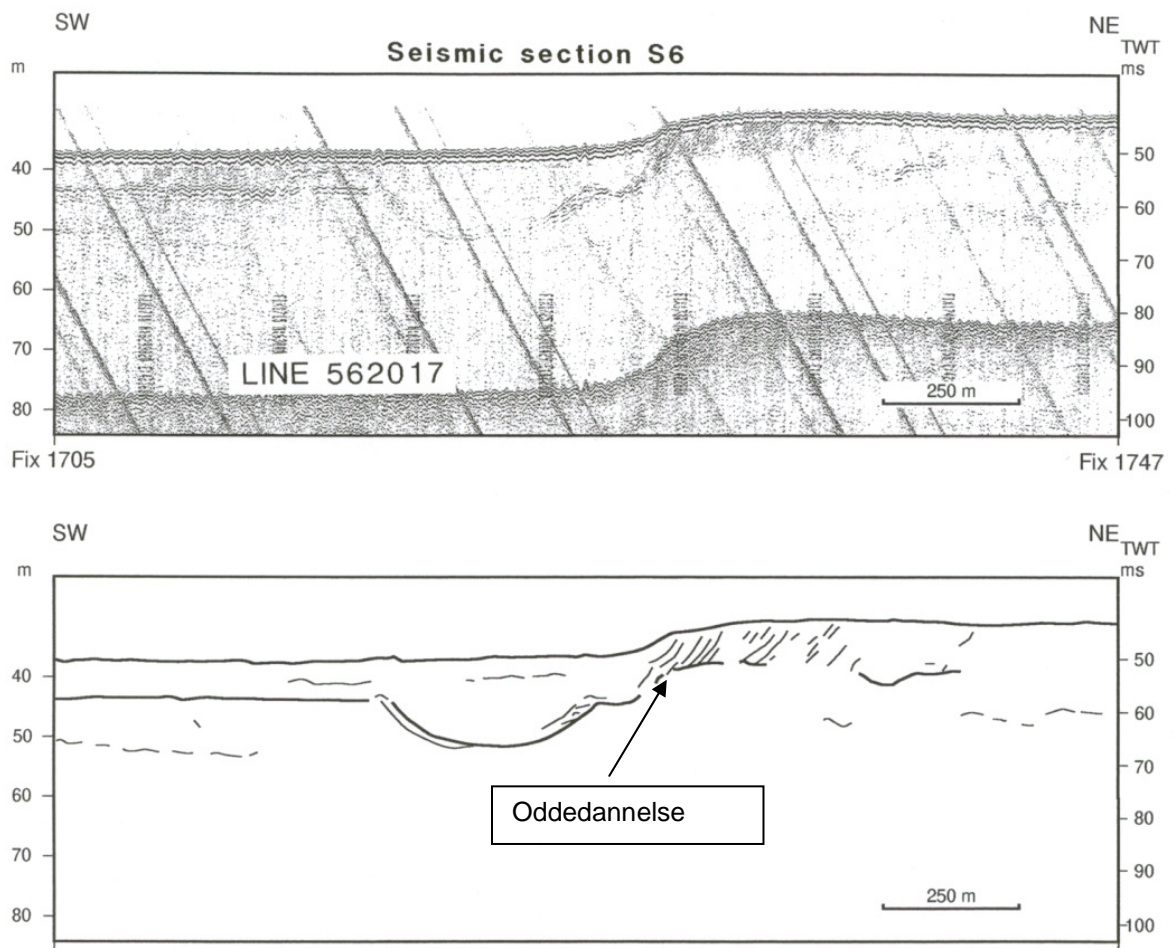
4.7.2 Grusede strandvolds og oddedannelser

Den gradvise holocæne transgression af Jyske Rev området har givet ophav til dannelse af grus akkumulationer i forbindelse med strandvolds- og/eller oddedannelser. Disse sedimenttyper har på aflejringstidspunktet været knyttet til den glaciale kyst af moræneler. Der er tale om modne sedimenter af vel-afrundede klaster uden eller med et meget lavt indhold af porøs flint og andre let-forvitrende mineraler. Denne grustype er dokumenteret i borer og seismiske profiler (Fig. 26). Grustypen er fundet i niveauer omkring 25-30m. Dette bekræftes desuden af den aktuelle indvinding af kvalitetsmaterialer fra den centrale del af Jyske Rev. Grus typen kan være dækket af yngre sandaflejringer (enhed W1).



Figur 26. Seismisk snit gennem enhed W2 i det eksisterende overgangsområde på Jyske Rev.

Det er sandsynligt, at lignende kystdannelser kan genfindes andre steder på Jyske Rev, ud fra den eksisterende viden om kystudviklingen over området i denne periode. Ud over det kendte niveau 25-28m i overgangsområdet er der fra de seismiske data også tolket tilstedeværelsen af en ældre oddedannelse i niveauet omkring -40m i den centrale del af Jyske Rev (Fig. 27). Aflejringens sammensætning er ikke verificeret fra borer, men udelukkende tolket ud fra det seismiske refleksionsmønster.



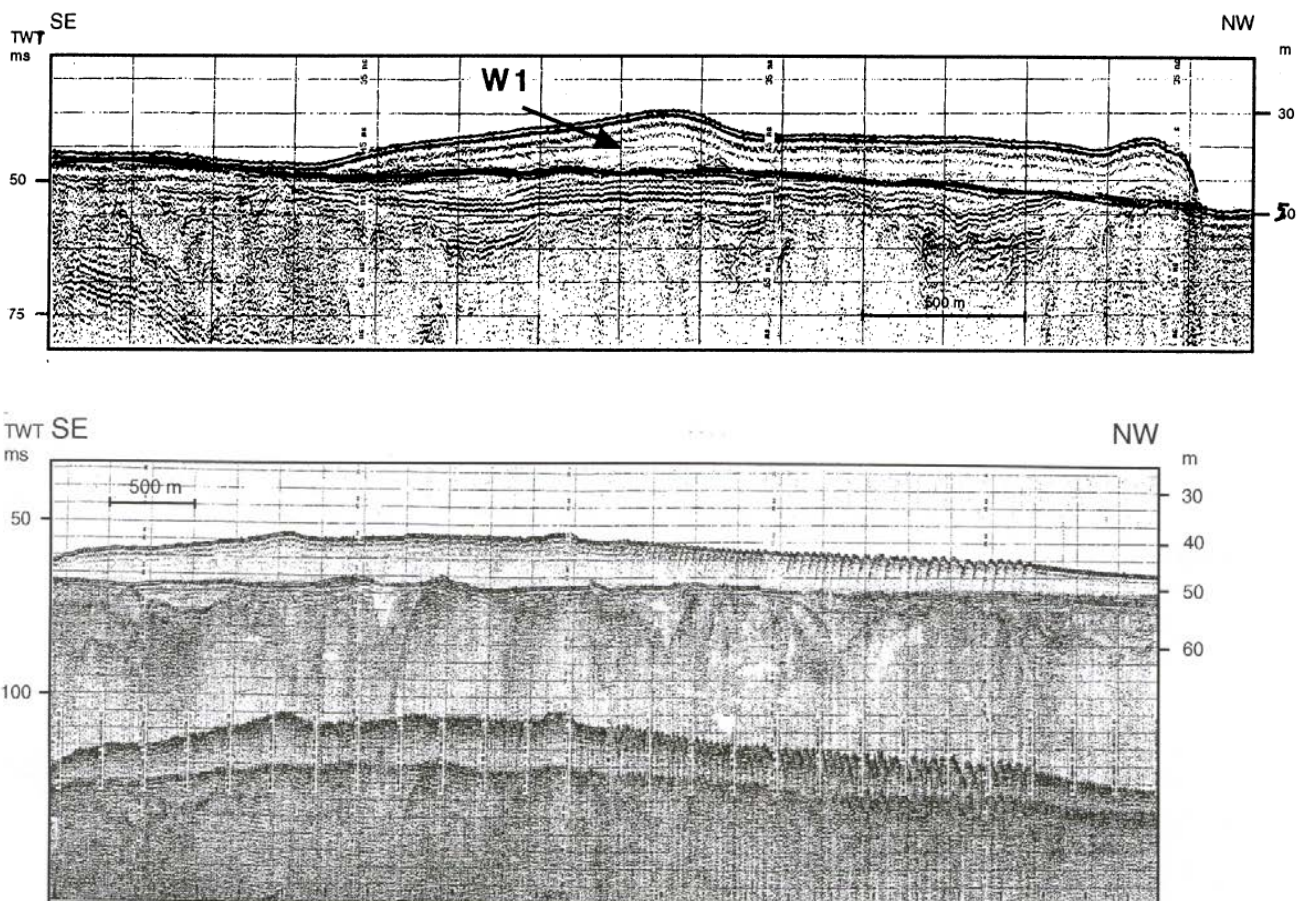
Figur 27 Eksempel på en oddedannelse fra den centrale del af Jyske Rev på dybder omkring -40m.

4.8 Subrecent til recent mobilt sand (Jyske Rev Sand, enhed W1)

Jyske Rev Sand (W1) repræsenterer den yngste aflejringensenhed afsat i det åbne hav, under påvirkning af kraftig bundstrøm og bølger i perioden fra den senere del af midt Holocæn til i dag (Fig. 6). Aflejringerne består af en sandet facies relateret til mobile sandbølger og store sandbanker nord for Jyske Rev og Lille Fisker Banke.

De glaciale morænerygge der opbygger kernen af Jyske Rev og Lille Fisker Banke blev gradvist oversvømmet i tidlig Holocæn, og med åbningen af den Engelske Kanal og oversvømmelse af de sidste glaciale øer i Nordsøen for omkring 7000 år siden, blev der skabt et nyt tidevandsregime i Nordsøen og mulighed for etablering af den kystparallelle Jyllandsstrøm, der præger området i dag (Leth, 1998). Moræneryggen har været udsat for en stadig erosion af bølger og strøm gennem Holocæn, og det omlejrte materiale anses for at være den væsentligste kilde til de store mængder grus og sandforekomster, der er lokaliseret i området. En del af de sandede områder på nordsiden af Jyske Rev skyldes større sandbanker, der antages aflejret som tidevandbanker under et lavere havspejlsniveau, for senere under det stigende havniveau at have fortsat sin progradering hovedsageligt mod nordnordøst. I takt med at hydrografien ændrede sig i den østlige del af Nordsøen, har sandbankernes ydre form tilpasset sig de nye hydrografiske forhold.

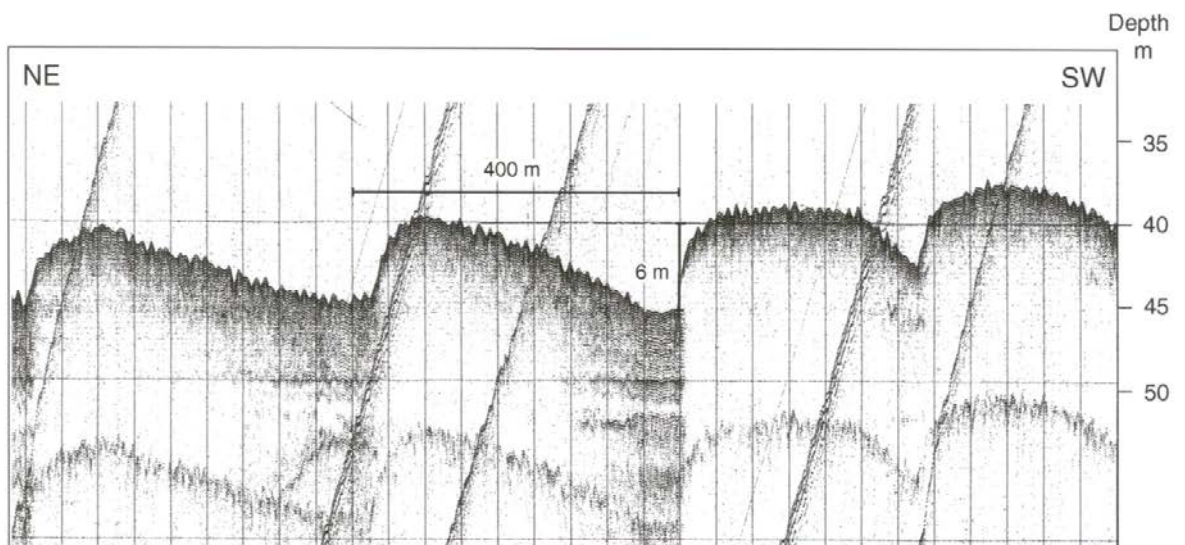
Det delvist mobile sandede sediment findes i km store arealer med morfologisk positive sandbanke og større sandbølger med en mægtighed på 5-20m (Fig. 29).



Figur 29. Et eksempel på en postglacial sandbanke fra den nordlige flanke af Jyske Rev. Disse udgør det største sandvolumen i området. Aflejringen er tolket som en residual tidevands sandbanke. Formen opretholdes gennem det aktuelle strømsystem, hvilket fremgår af tilstedeværelsen af aktive sandbølger på dens overflade (Leth, 2005).

De tykkere sandforekomster udgør de mere nordlige dele (30-50 m vanddybde) af Jyske Rev og Lille Fisker Banke. De store aflange sandbanker er orienteret SV-NØ, de er 2-20 km lange, mindre end 5km brede, og op til 25m tykke. Mellem de enkelte sandlegemer

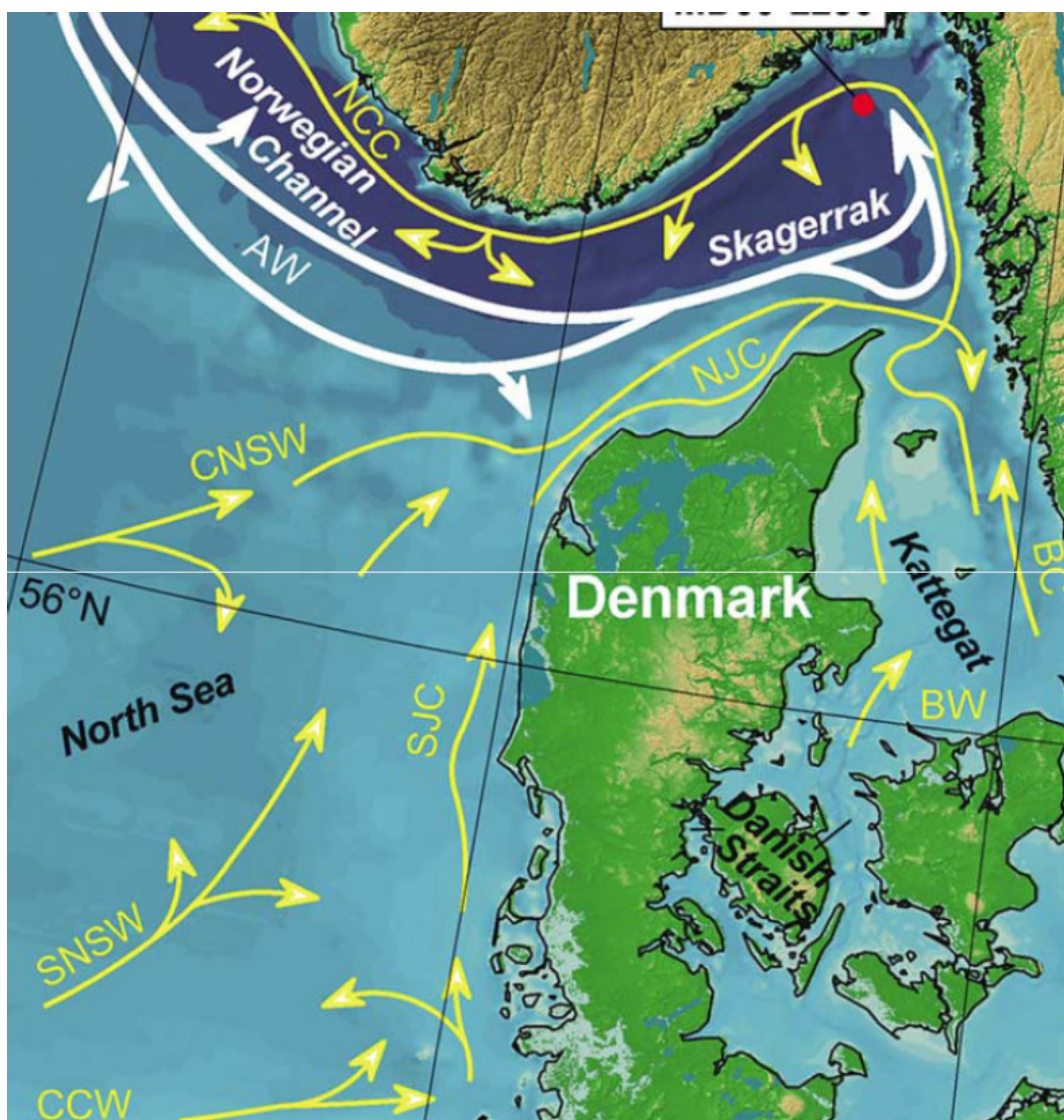
findes større flader af grusede residual- sedimenter. Sandlegemerne er ofte pålejret af asymmetriske sandbølger med en bølgelængde i størrelsesordenen 100-500m og en højde på 2-5m (Fig. 30)). Denne type sandakkumulationer findes spredt dels i den kystnære del af Jyske Rev på vanddybder under 25m, dels i området nordøst for Jyske Rev på vanddybder mellem 30 og 80m. I området sydøst for Jyske Rev ud for Torsminde er det dokumenteret at mobile bundformer i kystzonen (dvs. på vanddybder under 20 m) vandrer ca. 20-50m pr. år netto i nordlig retning (kilde: Kystdirektoratet). Kornstørrelsen varierer fra groft sand i trugene af sandbølgerne til fint sand på kammene. Side scan sonar profiler viser desuden, at overfladen af storskala bundformerne ofte er dækket af bølgeribber med en bølgelængde på 1 - 2m.



Figur 30. Eksempel på aktive mobile sandbølger fra den nordlige flanke af Jyske Rev. Der ses en tydelig udviklet sydvestlig stødside, hvilket indikerer en netto-transport mod nordøst parallelt med den nuværende kystlinje (Leth, 2005).

Der er en klar relation mellem de aktivt vandrende bundformer som sandbølger og megaribber og det nuværende hydrografiske miljø domineret af den NNØ-gående Jyllandstrøm med kraftig bundstrømme og bølgepåvirkning i specielt stormvejsituationer (Fig. 31).

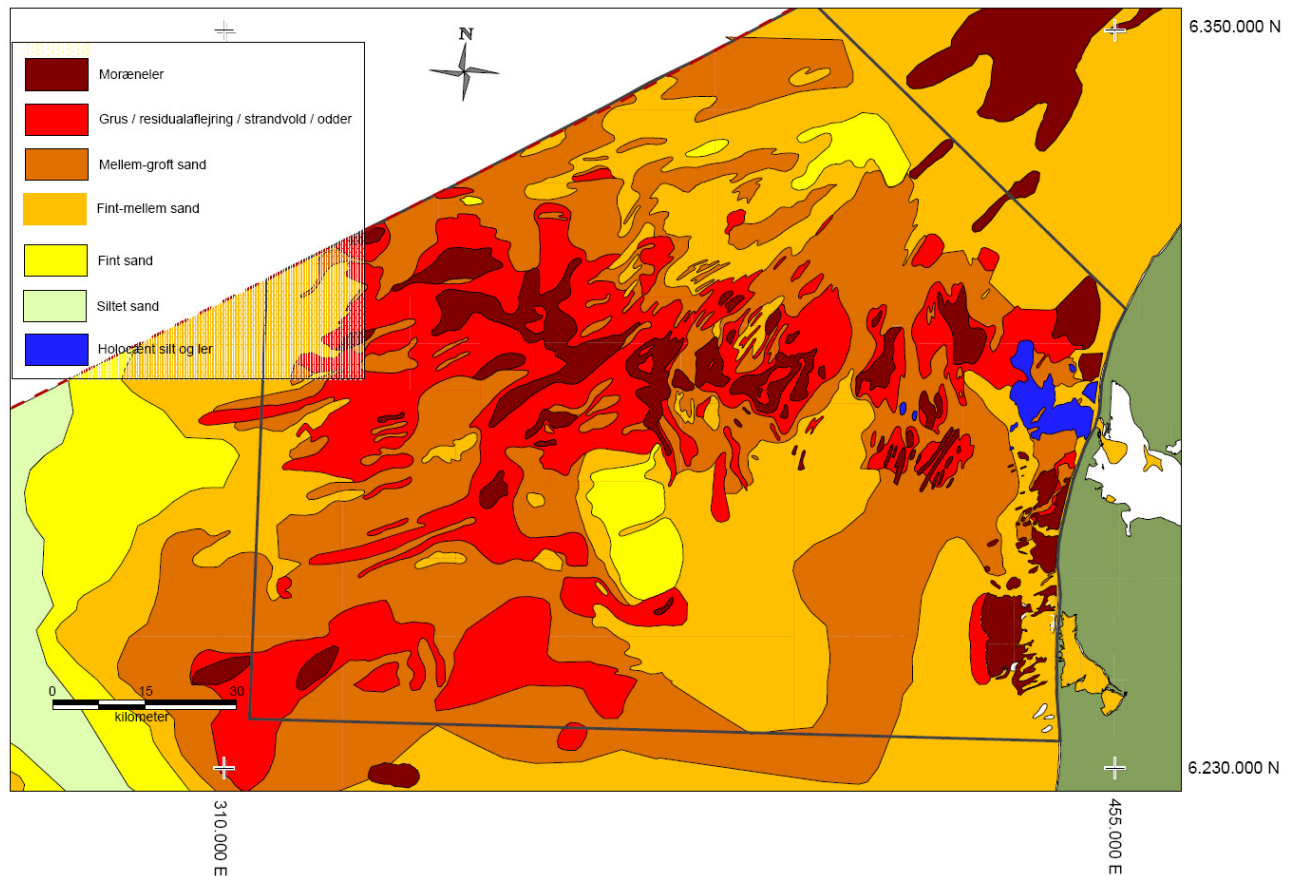
De registrerede sandede bundformer i området dokumenterer maksimal bundstrømshastigheder i størrelsesordenen 100 -150cm/s. Det er dokumenteret fra de indre danske farvande og fra et område udfør Hanstholm, at sådanne bundstrømme kan forekomme kortvarigt i ekstreme vejsituationer. Ifølge Leth (1998) kan initieringen og lokaliseringen af de store sandbanker sandsynligvis henføres til tidlig Holocæn, hvor tidevandsstrømme med en væsentligt større amplitude end i dag var fremherskende i området. Interne seismiske reflektorer i sandlegemerne tyder på en progradation i nordlig retning. Med tiltagende styrke af Jyllandsstrømmen senere i Holocæn og en stadig sandtilførsel fra den sydlige del af Jyske Rev, antages det at oprindelige store tidevands-sandbanker er blevet modificeret og på tiltagende vandybder udbygget via vandring af sandbølger. På grund af det meget dynamiske miljø med kraftig bølge- og strømpåvirkning, foregår der til stadighed både transport og akkumulation af sand i området.



Figur 31. Nutidige strømningmønstre fra Nordsøen og ind i Kattegat. SJC er Jyllandsstrømmen (Gyllencreutz et al. 2006).

5. Kortlagte overfladesedimenter

Med baggrund i de omtalte undersøgelser omtalt i afsnit 3 samt andet arkivmateriale fra GEUS er der i forbindelse med EU projektet EMODNET blevet produceret et generelt havbunds overfladesedimentkort. Til brug for Jyske Rev – Lille Fisker Banke undersøgelserne har ovennævnte kort dannet baggrund for sammenstilling af overfladesedimentkortet præsenteret i figur 32 og Bilag 5.



Figur 32. Overfladesediment kort dækkende Jyske Rev – Lille Fisker Banke Sammenstillet af Jørgen O. Leth 2010. Høj opløseligt kort se Bilag 5.

Af overflade sediment kortet fremgår det, at der er blottet udbredte moræneaflejringer på havbunden i et strøg fra Bovbjerg i øst i en vestlig retning over Jyske Rev og Lille Fisker banke til EEZ grænsen mod Norsk farvand. Der er sandsynligvis tale om Weichsel Isens hovedopholdslinje. Moræne områderne er omkranset af meget store områder tolket som grusbund, hvilket kan dække over meget tynde lag af grus erosionsrester på morænen eller op til flere m tykke druknede strandvoldsdannelser, som oftest ligger som læ-dannelser på sydøstsiden af morænebakkerne.

I et område ud for Limfjordens udløb i Nordsøen er der registreret Holocænt silt og ler, der hører til Agger Leret (afsnit 4.5), som ligger blottet på havbunden.

I den vestligste dybe del af området, på vanddybder over 40m findes der dybvandsaflejret recent siltet - sand. Mod øst og dermed lavere vanddybde afløses silt af finkornet sand, der gradvist går over i mellemkornet og grovkornet sand. Dette sand repræsenterer en blanding af fossile druknede sandede kystaflejringer og sub-recent til recent sand, aflejret på sandbanker og sandbølger, styret af Jyllandsstrømmen.

Syd for Jyske Rev er sand den dominerende sedimenttype medens de sydvestlige dele syd for Lille Fisker Banke indeholder store områder, der tilsyneladende repræsenterer moræne og grus bund. I de sydvestlige dele af undersøgelsesområdet er der sandsynligvis tale om Saale morænebund eller smeltevandssedimenter overpræget af druknede kystaflejringer og recent mobilt sand, medens den sydøstlige del desuden kan være præget af Weichsel smeltevandssand.

6. Mulige sand og grus forekomster

Gennemgangen af den geologiske udviklingshistorie i Jyske Rev – Lille Fisker Banke området og overfladesediment fordelingen viser, at der er en række geologiske enheder som kan indeholde potentielle sand og grus råstofforekomster (Fig. 6 og Bilag 6). Desuden er der foregået en gradvist øget indvinding i flere områder på Jyske Rev i de senere år (Fig. 4 og Bilag 4) Kystdirektoratet har desuden indvundet sand i flere § 20 områder. Samtidig har erhvervet intensiveret råstofefterforskningen i det sidste par år (efterforskningsområder Fig. 4 Bilag 4). Det vil sige, at der ud over de geologiske indicier om råstofkvalitet er informationer om de mulige råstofkvaliteter i det mindste om de fossile kystaflejringer og det mobile sand.

Morfologien af den prækvartære overflade har indirekte betydning for tilstedeværelsen af råstofforekomster, idet højdedragene på Jyske Rev og Lille Fisker Banke er dannet som en kombination af diapir opdømmede bakker og efterfølgende glacial tektonik. 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 Saale sand og grus smeltevands aflejringer i de mulige Bakkeø områder syd for Jyske Rev og Lille Fisker Banke. Den geografiske placering og vanddybder på mindre end 35m betyder, at der kun kan forventes overjord i form af de holocæne enheder, W2 kystaflejringer og W1 Jyske Rev Sand. Kvaliteten og voluminerne af det potentielle Saale smeltevands sand/grus kan ikke forudsiges.

Smeltevandssand og -grus er ligeledes muligt at finde i forbindelse med den formodede Weichsel hovedopholdslinjes marginale dele, på Jyske Rev og Lille Fisker Banke, samt på smeltevandssletterne syd og vest for gletscher marginen. Det må formodes, at smeltevandssletten alt overvejende består af sand, medens de gletscher marginale områder kan indeholde proksimalt sand og grus. Der kan kun forventes overjord i form af de holocæne enheder W2 kystaflejringer og W1 Jyske Rev Sand. Kvaliteten og voluminerne af det potentielle Weichsel smeltevands sand/grus kan ikke forudsiges.

Holocæne druknede kystaflejringer i form af sand og grus må forventes at være de vigtigste ressourcer, som ifølge overfladesediment kortet (Fig. 32) må forventes at ligge i forbindelse med de glaciale højdedrag, Jyske Rev og Lille Fisker Banke på vanddybder af 25 – 30m, men også i det højtliggende Bakkeø landskab i den sydlige del af undersøgelsesområdet. Residual grusbunden må forventes over alt i forbindelse med morænebakkerne, medens strandvoldsdannelserne som hovedregel er bygget ud på den sydøstlige læside af morænebakkerne.

På basis af de generelle seismiske undersøgelser på Jyske Rev er der lavet et skøn på størrelsen af arealet hvor havbunden er karakteriseret som gruset materiale inden for vanddybder mindre end 40m. En summering af disse arealer giver et samlet areal af grusbunden på Jyske Rev på knapt 500 km². En konservativ antagelse på 1m gruslag giver i størrelsesordenen 500 mill m³ grus tilslagsmaterialer i Jyske Rev området. Grusforekomsterne i den øvrige del af undersøgelsesområdet er ikke vurderet. Volumenberegning-

gen er behæftet med meget store usikkerheder på grund af det åbne grid og på grund af vanskeligheder med at tolke de tynde gruslag, hvor Side Scan tolkning giver de store grus arealer, som fremgår af overfladesediment kortet (Fig. 32 og Bilag 5). Gruslagets tykkelse kan imidlertid normalt først kortlægges når tykkelserne er større end 1m, da sparker udstyrets bundpuls ikke tillader en bedre opløsning og samtidig er det eneste udstyr, som kan trænge igennem de grove lag. Kvalitetsmæssigt viser den hidtidige indvinding af ral på Jyske Rev, at der er tale om høj kvalitets ressourcer som er anvendelige til betonfremstilling.

Enkelte observationer gør det overvejende sandsynligt, at der findes lignende akkumulationer på et dybere niveau omkring kote -40m i Jyske Rev området. I en videre efterforskning efter tilslagsmaterialer bør opmærksomheden ligeledes være rettet mod dette niveau i områder med højtliggende glaciale aflejring (Fig. 2 og Bilag 2) i store træk svarende til morænelersområderne på sedimentkortet (Fig. 32 Bilag 5).

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, men der kan være tale om meget store morænebundsarealer med et tyndt gruslag.

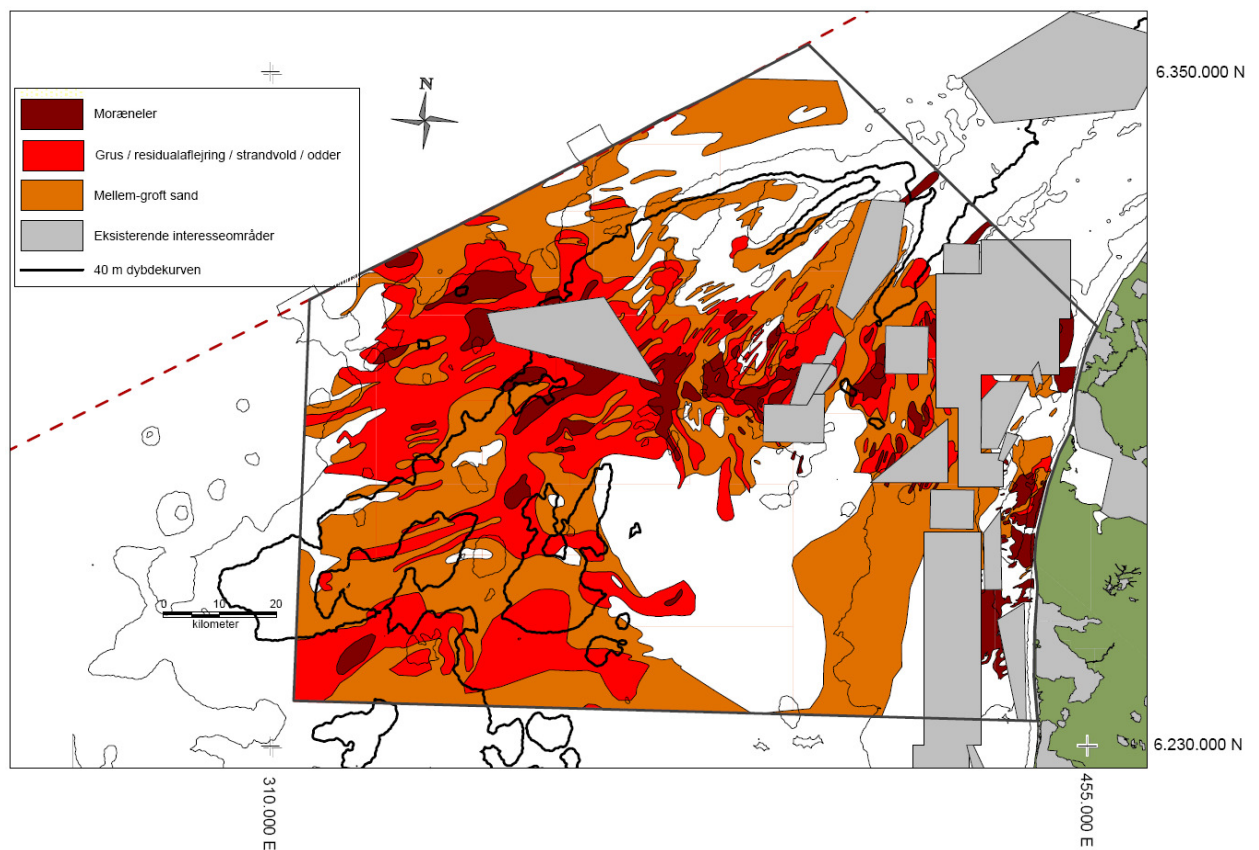
Overfladesediment kortet (Fig. 32 Bilag 5) kombineret med det bathymetriske kort (Fig. 2 og Bilag 2) viser, at der er store områder af havbunden på vanddybder mindre end 30m, som består af mellemkornet og grovkornet sand. Dette sand repræsenterer en blanding af fossile druknede sandede kystaflejringer og sub-recent til recent sand, aflejret på sandbaner og sandbølger, styret af Jyllandsstrømmen (Jyske Rev Sand).

I de kystnære områder er der allerede udlagt områder som benyttes af Kystdirektoratet til kystfodring, men de to sand aflejringstyper vil kunne findes i hele undersøgelsesområdet på vanddybder mindre end 30m. Sandkvaliteten vil sandsynligvis være høj på grund af sammensætningen af moræne kildeområderne og Nordsøens høje energiniveau.

Tidligere undersøgelser for Kystdirektoratet (Leth et al. 2001) viser, at der er tale om meget store sandområder og i store mængder. Det generelle overfladesediment kort (Fig. 32 Bilag 5) viser, at man må forvente at finde udbredte områder med både fossilt kystsand og subrecent til recent delvist mobilt sand på vanddybder mindre end 30 – 40m.

7. Potentielle ressourceområder

Ovenstående beskrivelse af de geologiske enheder og deres råstofforekomster er baggrunden for følgende gennemgang af råstofpotentialet i Jyske Rev – Lille Fisker Banke undersøgelsesområdet. For at tydeliggøre de potentielle råstoffers mulige fordeling i undersøgelsesområdet er overfladesedimentkortets grove sedimentklasser vist sammen med dybdekonturer og fordelingen af eksisterende interesseområder (Fig. 33 og Bilag 7). Generelt kan det nævnes at de vestligste arealer på vanddybder over 40m opfattes som mindre interessante, da blandt andet overfladesedimentkortet (Fig. 32 og Bilag 5) viser at fin- mellemkornede marine sandaflejringer dominere på disse vanddybder. De følgende afsnit vil beskrive råstofpotentialet i delområderne Jyske Rev, syd for Jyske Rev, Lille Fisker Banke og syd for Lille Fisker Banke.



Figur 33. Grove potentielt råstofrelevante overfladesedimenttyper præsenteret sammen med dybdekurver og eksisterende interesseområder på Jyske Rev – Lille Fisker Banke. Kort i høj opløsning se Bilag 7.

7.1 Jyske Rev

Jyske Rev (Fig. 1 og Bilag 1, Fig. 33 og Bilag 7) er det bedst undersøgte område, men der er stadig store ikke kortlagte områder, hvor der sandsynligvis gemmer sig smeltevandsaflejringer og druknede holocæne transgressions, sand- og gruskystaflejringer, samt sub-

recente til recente sandbanker. Den hidtidige detaljerede kortlægning i området har afsløret eksistensen af strandvoldsdannelse og odder, som ligger i læ af moræneryggen, på sydøstsiden af disse. Som det fremgår af figur 33 og Bilag 7 er der store arealer, hvor det må forventes at der findes strandvolds grus/ral ressourcer.

De potentielle råstofområder befinder sig hovedsagelig på vanddybder mindre end 25m (Fig. 33 og Bilag 7).

Det vurderes således, at Jyske Rev er det område, hvor der vil kunne kortlægges flest sand- og grusråstoffer i forhold til den kortlægningsmæssige indsats.

7.2 Syd for Jyske Rev

Undersøgelsesområdet syd for Jyske Rev (Fig. 1 og Bilag 1, Fig. 33 og Bilag 7) er kun dækket af få seismiske linjer (Fig. 3), men beliggenheden forholdsvis tæt på kysten og vanddybder oftest mindre end 20m (Fig. 2 og Bilag 2), gør området attraktivt, kombineret med mulighederne for at finde proksimale smeltevandsaflejringer, holocæne transgressions, sand- og gruskystaflejringer, samt sub-recente til recente sandbanker. Specielt må det forventes at der er mulighed for at finde mobile sandbanker i det brede sandbånd, som er skitseret på figur 33 og Bilag 7.

7.3 Lille Fisker Banke

Lille Fisker Banke (Fig. 1 og Bilag 1, Fig. 33 og Bilag 7) er dårligt undersøgt, men geologien opfattes som en analog til Jyske Rev området, hvorfor der sandsynligvis gemmer sig smeltevandsaflejringer og druknede holocæne transgressions, sand og gruskystaflejringer, samt sub-recente til recente sandbanker. De potentielle råstofområder befinder sig imidlertid generelt på dybere vand end på Jyske Rev (25- 35m) (Fig. 2 og Bilag 2) og længere til søs. Vanddybden og placeringen gør at Lille Fisker Banke er mindre attraktiv. Dog må man forvente at der findes betydelige råstofressourcer. Som på Jyske Rev er der speciel fokus strandvoldsdannelse og odder, som ligger i læ af moræneryggen på sydøstsiden af disse

7.4 Syd for Lille Fisker Banke

Området syd for Lille Fisker Banke (Fig. 1 og Bilag 1, Fig. 33 og Bilag 7) er det mindst kendte område, som generelt ligger på vanddybder større end 25m (dog større områder på 20 – 25m). Beliggenheden syd for den formodede Weichsel gletscher udbredelse giver usikkerhed med hensyn til beskaffenheden af de relativt lavvandede områder, som evt. kan være Bakkeø dannelser med mulighed for moræne og smeltevandsaflejringer. Disse kan ligeledes være kildeområder til holocæne transgressions, sand- og gruskystaflejringer, samt sub-recente til recente sandbanker. De åbenbare usikkerheder omkring området gør det usikkert med hensyn til råstofpotentiale, men kan dog vise sig at indeholde betydelige sand og grus råstofressourcer.

8. Referencer

Andersen, L.T., 2004: The Fanø Bugt Glaciotectonic Thrust Fault Complex, Southeastern Danish North Sea. Ph.D. thesis. Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2004/30, 143 sider.

Anthony, D., 2001: Seabed geology, Holocene development and sediment dynamics in the Danish coastal zone of the North Sea. Ph.D. thesis. Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2001-121.

Binzer, K. & Stockmarr, J., 1994: Geological map of Denmark. Pre-Quaternary surface topography of Denmark. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie 44, 10 sider + 2 kort.

Clausen, O.R. and Huuse M. 1999: Topography of the Top Chalk surface on- and offshore Denmark. Marine and Petroleum Geology 16, 677-691.

Ehlers, J. 1990: Reconstruction of the dynamics of the north – west European Pleistocene ice sheets. Quaternary Science Reviews, Vol. 9, pp. 71-83, 1990.

Geoiden, De seneste 150.000 år i Danmark – Istidslandskabet og naturens udvikling. Geologi og geografi nr. 2, 2005.

Gravesen, Peter, Leth, Jørgen O. & Jensen, Jørn Bo, 2009: Nordsøen – Havbundsdata og kortlægning. GEUS rapport 2009-48.

Gyllencreutz, R., Backman, J., Jakobsson, M., Kissel, C. and Arnold, E. 2006: Postglacial palaeoceanography in the Skagerrak. The Holocene 2006; 16; 975

Huuse, M. and Lykke-Andersen, H. 2000: Overdeepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. Quaternary Science Reviews 19 1233-1253.

Hansen, J.M. & Håkansson, E., 1980. Thistedstrukturens geologi - et 'neotektonisk' skoleeksempel. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1979*, 1-9.

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.

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., Knudsen, K.L. & Noe-Nygaard, N., 2006: 13. Istider og mellemistider. I: Naturen i Danmark. Geologien, side 255-302.
- Japsen, P. 2000: Fra Kridthav til Vesterhav. Nordsøbassinets udvikling vurderet ud fra seismiske hastigheder. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 2, pp. 1–36, København.
- 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.
- 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.
- 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, N.K., Knudsen, K.L., Krohn, C.F., Kronborg, C., Murray, A.S., Nielsen, O.B., 2009: Late Quaternary ice sheet, lake and sea history in southwest Scandinavia - a synthesis, *Boreas*, vol. 38 nr. 4, s. 732-761.
- Leth, J.O. 1998: Late Quaternary geology and recent sedimentary processes of the Jutland Bank region, NE North Sea. Ph.D. Thesis: Aarhus Universitet. 1998.
- Leth, J.O., 2000.: Geologisk kortlægning af Jyske Rev. En tolkning af den geologiske udvikling samt en vurdering af ressourcepotentialiet. *Danm og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2000-43, 16 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., 2005: Revurdering af marine kortlægningsdata som grundlag for udpegning af habitatsområder offshore i Nordsøen. Kortlægning af NATURA 2000 marine naturtyper. *Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2005-37, 32 sider + kortbilag + CD.
- 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 Grønl. Geol. Unders. Rap.* 2001-111, 26 sider + bilag.
- 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.

Pedersen, A. M., 1995a: Foraminiferal Biozonation in the Early Pleistocene in the Central North Sea. *Danm. Geol. Unders.*, Ser. C. nr. 13, side 2-56.

Pedersen, A. M., 1995b: Pliocene - Middle Pleistocene Biostratigraphy in the Central Danish North Sea wells E-1, P-1 and TWB-12. *Danm. Geol. Unders.*, Ser. C nr. 13, side 2-28.

Pedersen, S.A.S., Petersen, K.S. & Rasmussen, L.Aa. 1988: Observations on glaciodynamic structures at the Main Stationary Line in western Jutland, Denmark. In Croot, D. (ed) *Glaciotectonics: Forms and processes*, 177–183. Rotterdam: Balkema.

Salomonsen, I. & Jensen, K.A., 1994: Quaternary erosional surfaces in the Danish North Sea. *Boreas*, Vol. 23, side 244-253.

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.

9. Supplerende litteratur

Anthony, D. & Leth, J.O., 2002: Large-scale bedforms, sediment distribution and sand mobility in the eastern North Sea off the Danish west coast. *Marine Geology* 182, side 247-263.

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.

Fredningstyrelsen, 1982: Horns Rev. Ressourceundersøgelser Fase 1-4. Geoteknisk Rapport Nr. 2. Bind 1: Tekst, 38 sider + bilag.

GEO, 2006: Horns Rev 2 Offshore Wind Farm Geotechnical investigations. Factial Report. Borings, CPT's and vibrocores. GEO project no. 29180.

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.

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 Grønl. Geol. Unders. Rap. 2000-68. + CD.

Huuse, M & Lykke-Andersen, H., 2000: Overdeepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Reviews*, 19, side 1233-1253.

Huuse, M. & Lykke-Andersen, H., 2000: Large-scale glaciotectonic thrust structures in the eastern North Sea. In: Maltman, A.J., Hubbard, B. & Hambrey, M.J. (eds.): *Deformation of Glacial Materials*. Geological Society, London, Special Publications 176, side 293-305.

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.

Jensen, J.B. & Lomholt, S., 2006: Råstoffer ved HR2 Vindmølleparken. Vurdering af mulige sand- og grusforekomster på Horns Rev. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2006-4, 16 sider

- Konradi, P., 2002a: Description of seven vibrocores from the Lille Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002-38, 8 sider + bilag.
- Konradi, P., 2002b: Review of Site Surveys, Store Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders.. Rap. 2002-66, 27 sider + bilag.
- Konradi, P., 2003: Description of vibrocores from four well sites in the Danish North Sea. Geological description af vibrocores from NINI-4. SIRI-5 CECILIE-2 and JETTE-1 well sites, Store Fisker Banke area and northern Tail End area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders.,. Rap 2003-75, 18 sider + bilag.
- Konradi, P., 2004: Geological description of five vibrocores from the Hanne-1 Site, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2004-7, 6 sider + bilag.
- Konradi, P., 2005: Cenozoic stratigraphy in the Danish North Sea Basin. Geologie en Mijnbouw 84, 2, side 109-111.
- Konradi, P. & Czako, T., 2002a: Geological description of vibrocores from the Nini-3 site, Store Fisker Banke area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002-2, 10 sider + bilag.
- Konradi, P. & Czako, T. 2002b: Geological description of five vibrocores from the South Pod Site, Store fisker Banke Area, Danish North Sea. Danm. og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002-41, 7 sider + bilag.
- Konradi, P. & Czako, T., 2002c: Geological description of six vibrocores from the Hejre-1 site, Store Fiske Banke area, Danish North Sea. Danm.og Grønl. Geol. Unders. Rap. 2002-32, 7 sider + bilag.
- Konradi, P., Larsen, B. & Sørensen, Aa.B., 2005: Marine Eemian in the Danish eastern North Sea. Quaternary International 133, side 21-31.
- Kort og Matrikelstyrelsen, 1986: Nordsøen, nordlige del, 1:750.000, nr. 89, Int.-Chart 1041. 3. udgave.
- Kort & Matrikelstyrelsen, 1990a: Nordsøen, midterste del, 1:750.000, nr. 90, Int.-Chart 1042. 3. Udgave.
- Kort & Matrikelstyrelsen, 1990b: Nordsøen, sydlige del, 1:750.000, nr. 91, Int.- Chart 1043, 3.udgave.
- Kuijpers, A., 1993: Supplerende seismiske undersøgelser i område 524 Horns Rev. Udført for Skov- og Naturstyrelsen. DGU Kunde rapport nr. 76, 18 sider + bilag.
- Kuijpers, A., 1995: Late Quaternary sediment distribution in the DK Sector of the North Sea: Area 582 and 524, DGU Datadokumentation no. 13, 13 sider + bilag.

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

Kystdirektoratet, 2001: Kystdirektoratets program for Undersøgelser & Udvikling 1998-2001. Slutrapport, 36 sider.

Laier, T. & Jensen, 2007: Shallow gas depth-contour map of the Skagerrak-western Baltic Sea region. *Geo-Mar Lett*, side.

Laier, T. Jensen, J.B., Ion, G., Gulin, M. & Fritsche, U., 2005: Digital maps of free gas distribution in marine sediments. WP2 deliverables of the METROL EU project 2003-2005. *Danm. og Grøn. Geol. Unders., Rap. 2005-78*, 25 sider + bilag + CD.

Leth, J.O., 1994: Statnett Cable Route Survey, Danish North Sea Survey Report. DGU Service report no. 47, 33 sider + bilag

Leth, J.O., 1996: Statnett Cable Route Survey, Danish North Sea. *Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rap. 1996-112*, 19 sider + bilag.

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

Leth, Jørgen O., 2000: Geologisk Kortlægning af Jyske Rev - En tolkning af den geologiske udvikling samt en vurdering af ressourcepotentialet. *GEUS rapport 2000-43*.

Mærsk Olie og Gas AS, 2005: Atlas over miljø- og naturforhold i Nordsøen,. Vurdering af Virkning på Miljøet (VVM) for yderligere brønde, Bilag med 113 kort.

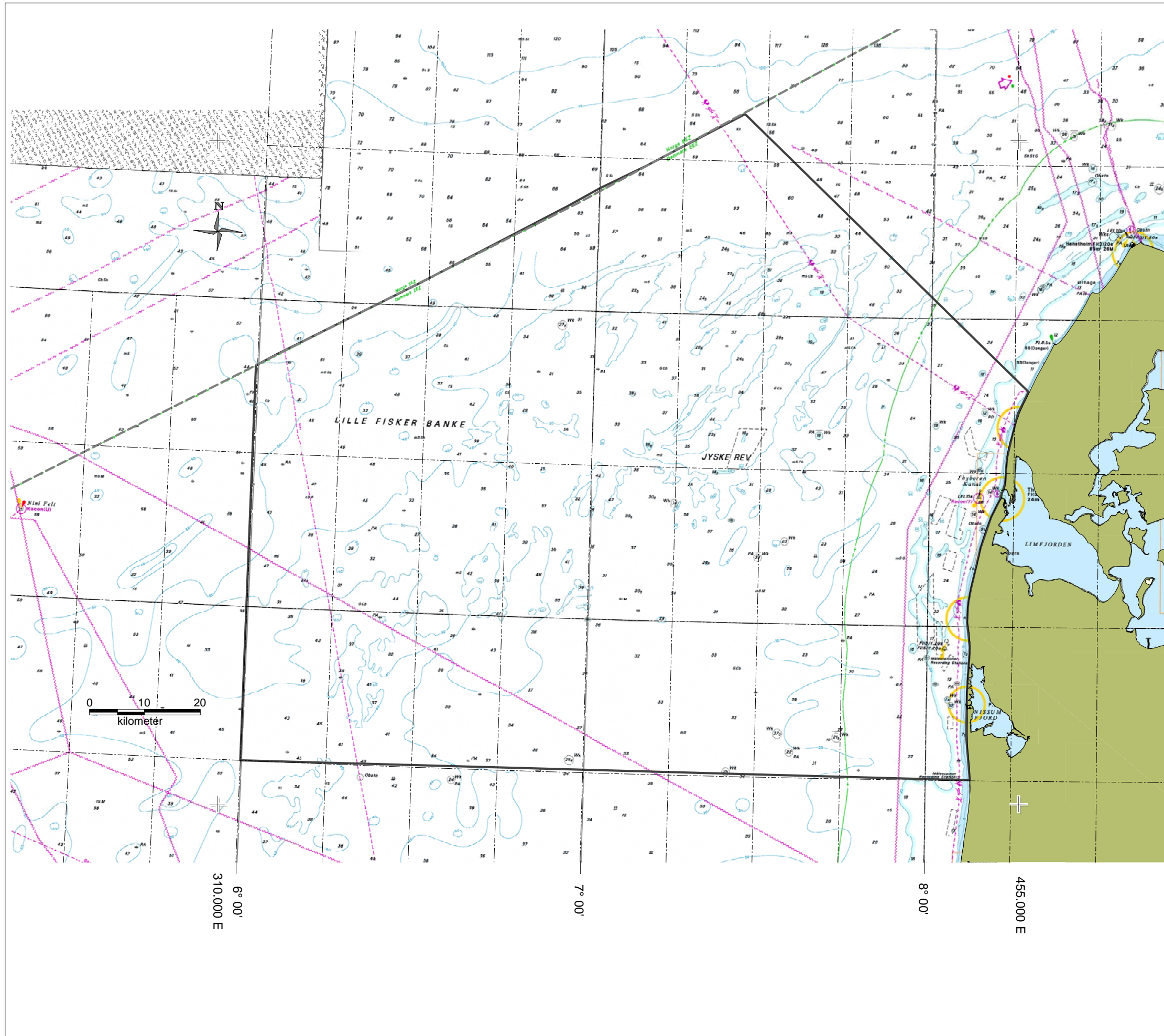
Mörner, Niels-Axel, 1970. Eustatic changes during the last 20,000 years and a method of separating the isostatic and eustatic factors in an uplift area, *Palaeogeography, palaeoclimatology, Palaeoecology*, 9 (1971), 153-181.

Salomonsen, I., 1994: A seismic stratigraphic analysis of Lower Pleistocene deposits in the western Danish sector of the North Sea. *Geologie en Mijnbouw* 72, side 349-361.

Salomonsen, I., 1995: Origin of a deep buried valley system in Pleistocene. *Proceedings of the 2nd Symposium on: Marine Geology* (ed. Michelsen, O.). *Danm. Geol. Unders.. Ser, C nr. 12*, side 7-19.

Van Weering, T.C.E., Rumohr, J. & Liebzeit, G., 1993: Holocene sedimentation in Skagerrak: A review. *Marine Geology*, 111, side 379-391.

10. Bilag 1 – 7



Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande

Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke, GEUS Rapport 2010/23

Datum : WGS 84
 Projektion : UTM zone 32 nord
 samt grader og decimalminutter



De Nationale Geologiske Undersøgelser
 for Danmark og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K

Bilag 1: Søkort over Jyske Rev og Lille Fisker Banke

6.350.000 N

57° 00'

56° 30'

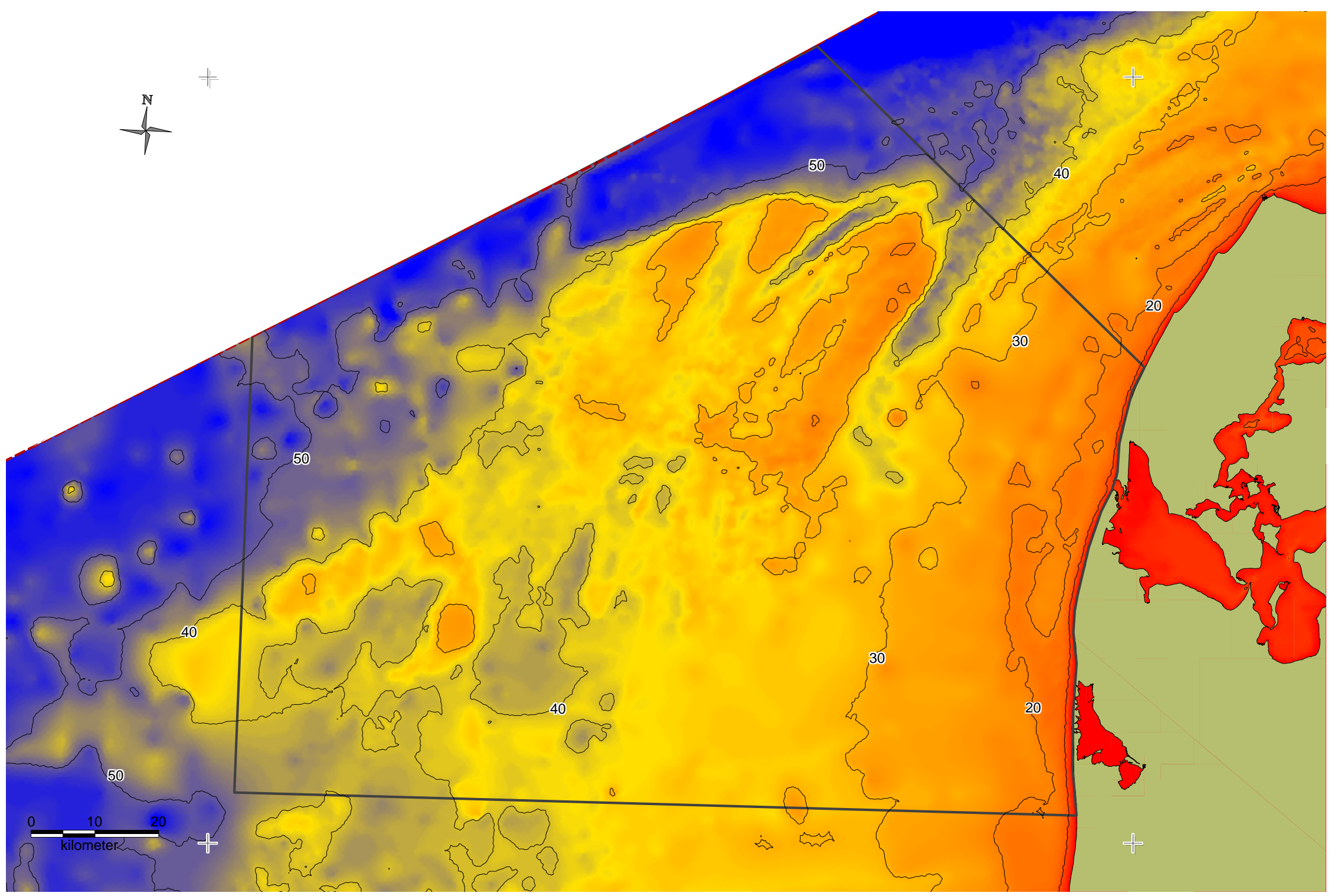
6.230.000 N

6° 00'
 310.000 E

7° 00'

8° 00'

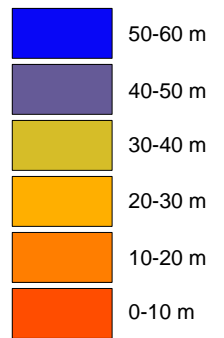
455.000 E



Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande

Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke, GEUS Rapport 2010/23

Vanddybder



Datum : WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord



De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K

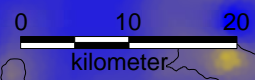
Bilag 2: Bathymetri

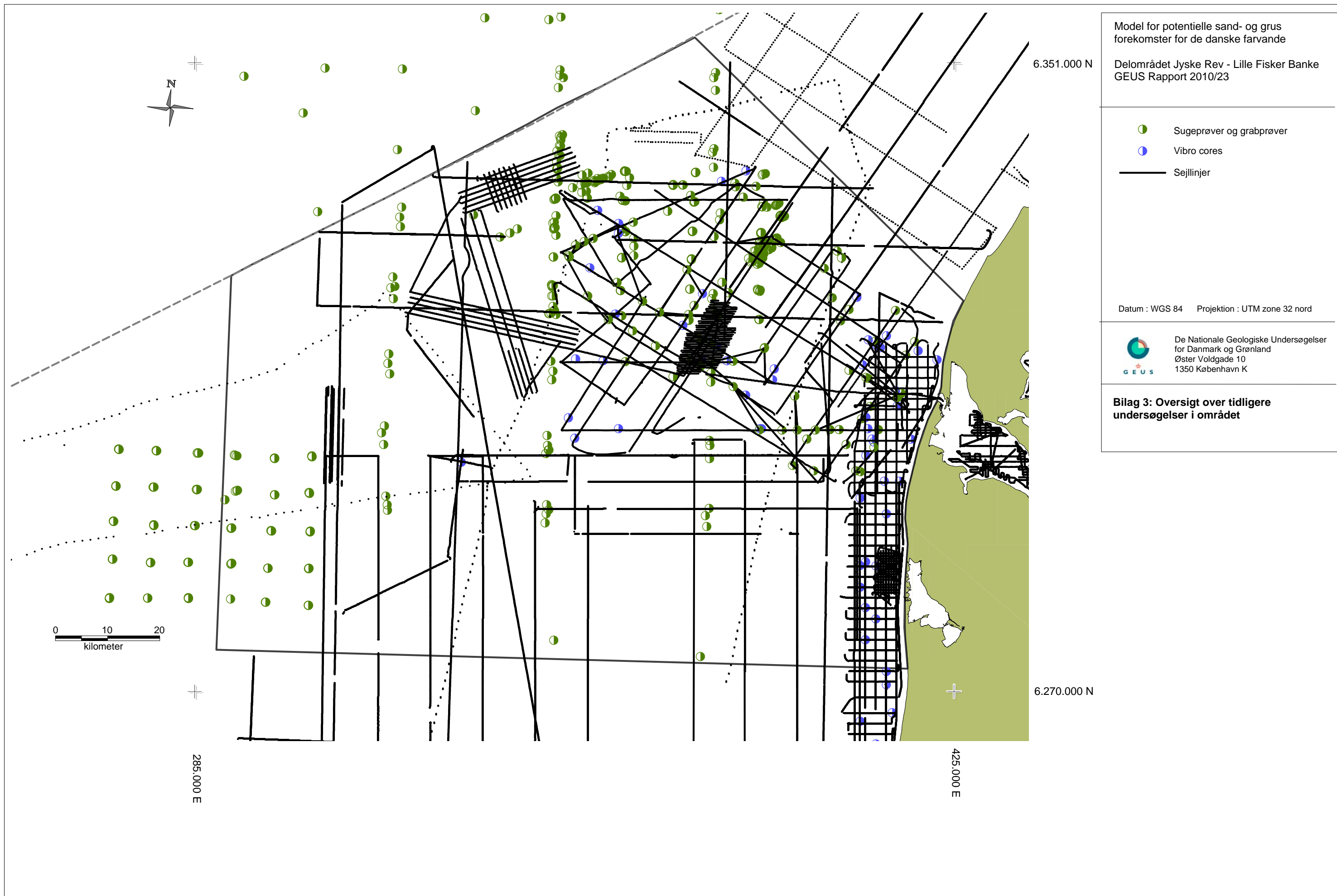
6.350.000 N

6.230.000 N

310.000 E

455.000 E






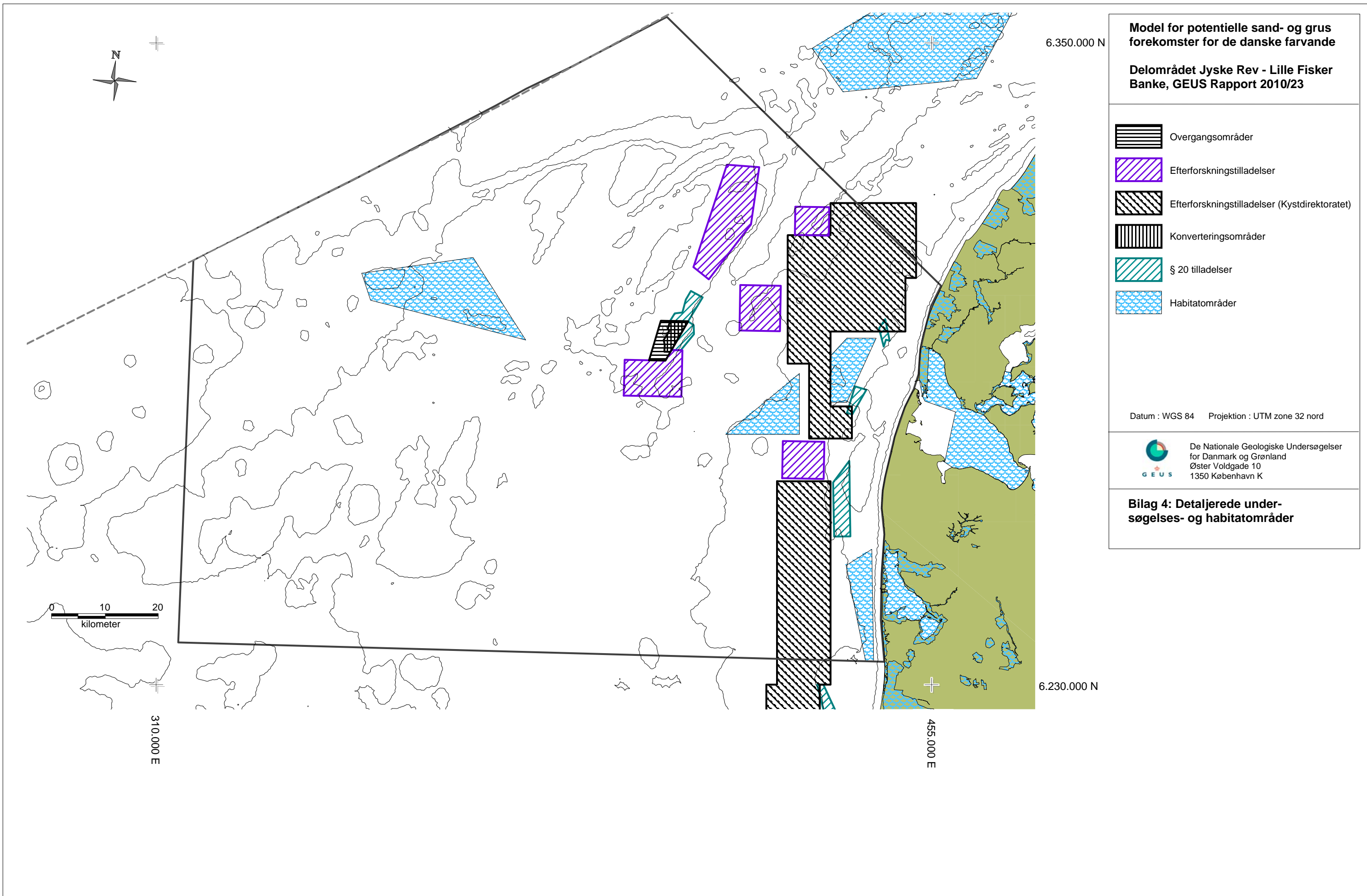
Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande
Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke
GEUS Rapport 2010/23

- Sugeprøver og grabprøver
- Vibro cores
- Sejllinjer

Datum : WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

 De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K


Bilag 3: Oversigt over tidligere undersøgelser i området



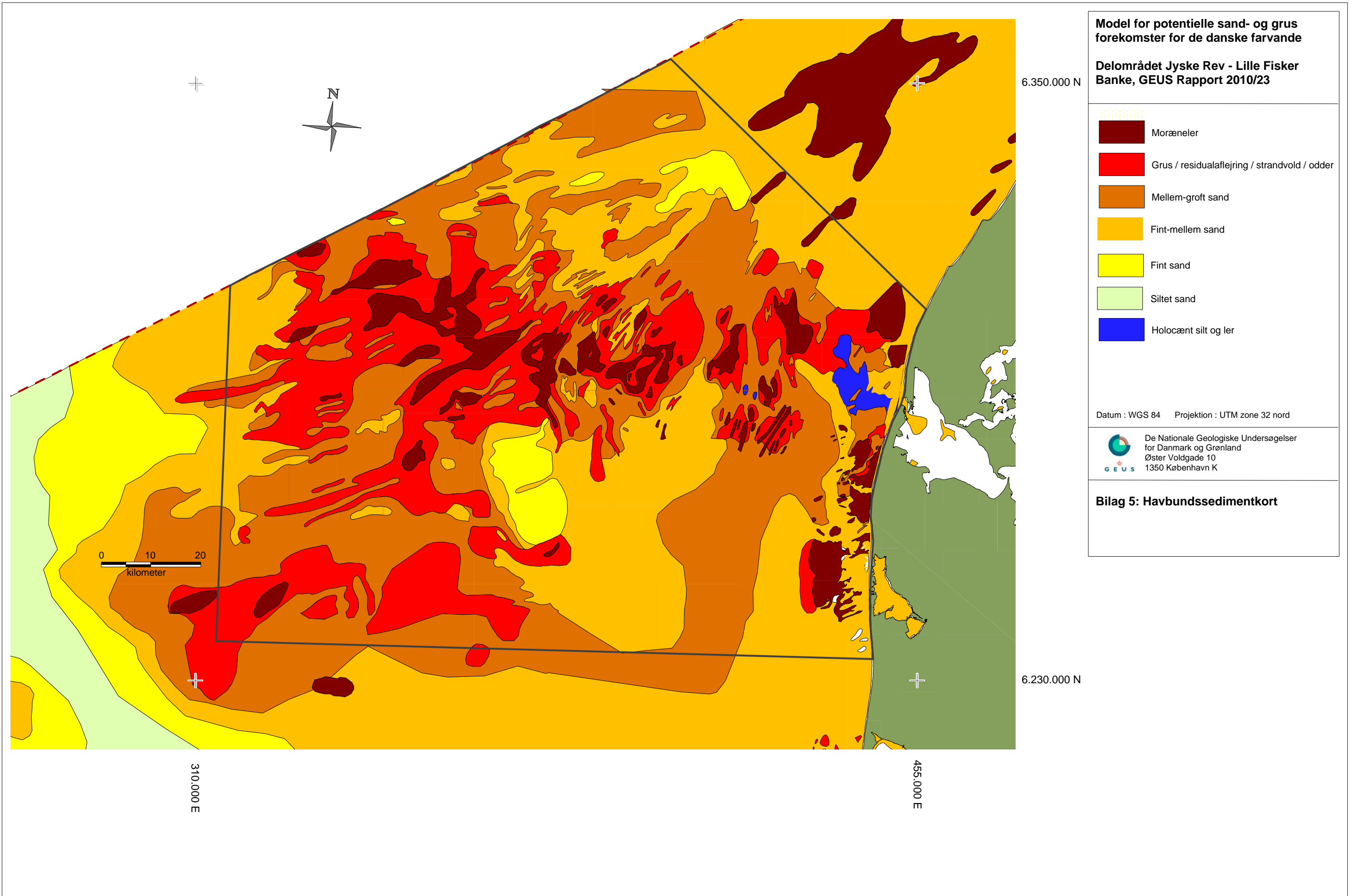
Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande
Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke, GEUS Rapport 2010/23

-  Overgangsområder
-  Efterforskningsstilladelser
-  Efterforskningsstilladelser (Kystdirektoratet)
-  Konverteringsområder
-  § 20 tilladelser
-  Habitatområder

Datum : WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

 De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K

Bilag 4: Detaljerede undersøgelses- og habitatområder



Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande

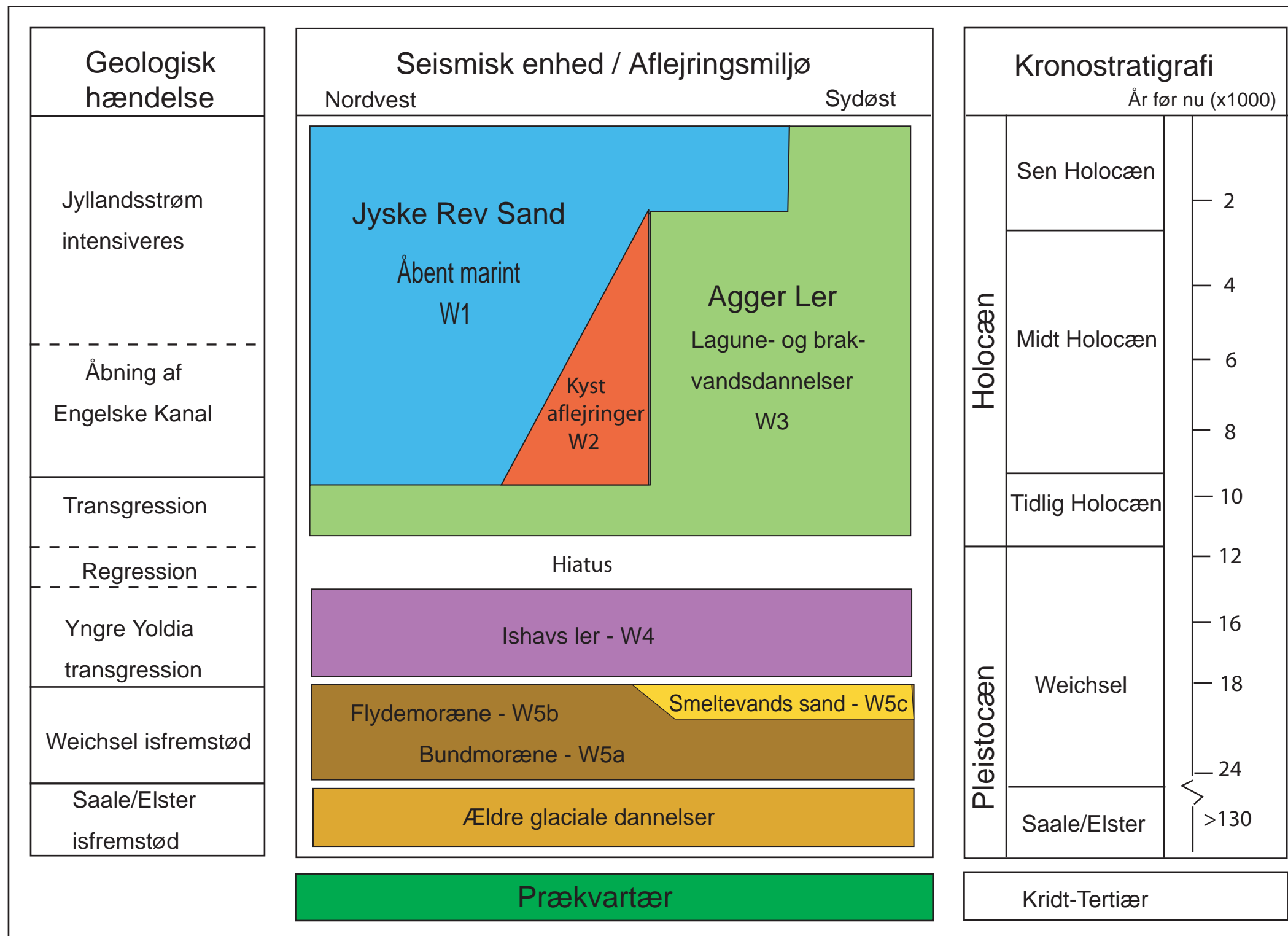
Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke, GEUS Rapport 2010/23

- Moræner
- Grus / residualaflejring / strandvold / odder
- Mellem-groft sand
- Fint-mellem sand
- Fint sand
- Siltet sand
- Holocænt silt og ler

Datum : WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord






De Nationale Geologiske Undersøgelser
 for Danmark og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K

Bilag 5: Havbundssedimentkort




Model for potentielle sand- og grus forekomster for de danske farvande

Delområdet Jyske Rev - Lille Fisker Banke, GEUS Rapport 2010/23

-  Moræneler
-  Grus / residualaflejring / strandvold / odder
-  Mellem-groft sand
-  Eksisterende interesseområder
-  40 m dybdekurven

Datum : WGS 84 Projektion : UTM zone 32 nord

 De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland
Øster Voldgade 10
1350 København K

Bilag 7: Potentielle ressourceområder

