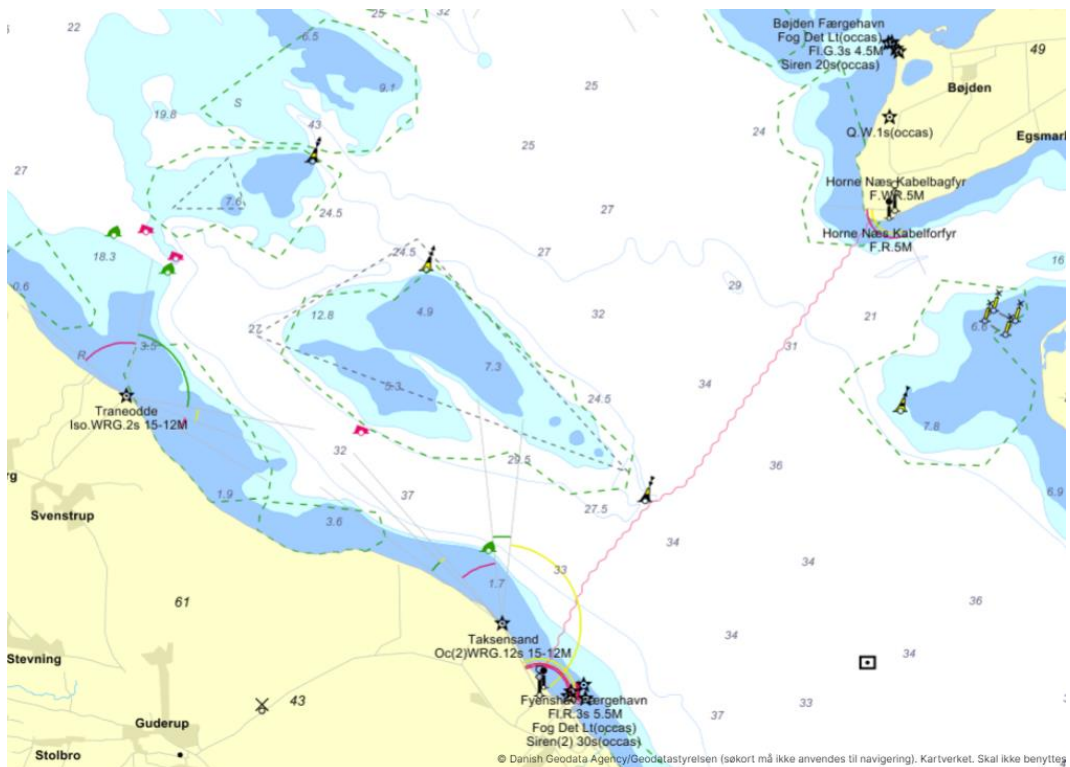


Til  
**Sund & Bælt Holding A/S**

Dokumenttype  
**Geologisk screening**

Dato  
**Juni, 2024**

# ALS-FYN FORUNDERSØGELSE GEOLOGISK SCREENING



# ALS-FYN FORUNDERSØGELSE

## Geologisk screening

Projektnavn **Als-Fyn Anlægsteknisk Forundersøgelse**  
Projektnr. **1100052138**  
Modtager **Sund & Bælt Holding A/S**  
Dokumenttype **Rapport**  
Version **5.0**  
Dato **2024/06/11**  
Udarbejdet af **JNGA/HENM**  
Kontrolleret af **HENM/JNGA**  
Godkendt af **HENM**

Rambøll  
Hannemanns Allé 53  
DK-2300 København S

T +45 5161 1000

Confidential

## Indhold

1.	Indledning	2
2.	Datagrundlag	2
3.	Jordbundsforhold	3
3.1	Havbunden	3
3.2	Regionalgeologi	4
3.3	Seismiske og petrografiske enheder i undersøgelsesområdet	9
3.4	Diskussion og geologisk skitsemodel	12
4.	Konklusion	13
5.	Referencer	14

## 1. INDLEDNING

Sund og Bælt Holding A/S har udpeget Rambøll Danmark A/S til at gennemføre en anlægsteknisk forundersøgelse for en fast forbindelse mellem Als og Fyn.

Kyst til kyst forbindelsen inkluderer bro, tunnel (boret eller sænke-) eller kombineret bro og sænketunnel, langs en endnu ikke fastlagt linjeføring fra Horneland på Fyn og med ilandføring på Als ved enten Fynshav mod syd eller Tranerodde mod nord.

Som en del af den anlægstekniske forundersøgelse udarbejdes denne geologiske screening. Formålet med screeningen er at beskrive de geologiske forhold i det sydlige Lillebælt, og specielt i undersøgelsesområdet med mulige korridorer vist på Figur 3-1.

Denne geologiske screening er udarbejdet på baggrund af den indledende geofysiske undersøgelse gennemført for Sund & Bælt af GEUS i 2023. Screeningen er ligeledes baseret på eksisterende geotekniske og geofysiske undersøgelser udført i den sydlige del af Lillebælt.

## 2. DATAGRUNDLAG

Følgende data er brugt:

- GEUS (2023): Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser. Geologisk model til brug for miljø- og anlægstekniske analyser, Rapport 2023/26, ref. [9]
- Geo (2014): Jylland-Fyn Cable Routes, geofysisk og geoteknisk undersøgelse, ref. [7]
- Geo (2018): Lillebælt Syd Nearshore Windfarm, faktuel report , ref. [8]
- Rambøll (2014): Fast forbindelse Als-Fyn. Havbundsundersøgelser. Rapport til Faaborg-Midtfyn Kommune, oktober 2014, rev. 1, ref. [6]
- IODP-boring M0059 (DGU nr. 551029.16), udført ca. 2 km øst for undersøgelsesområdet, ref. [10]
- Boring 162.211 og 162.212, udført ca. 12 km NV for Fynshav, fra Jupiter-databasen, ref. [11]

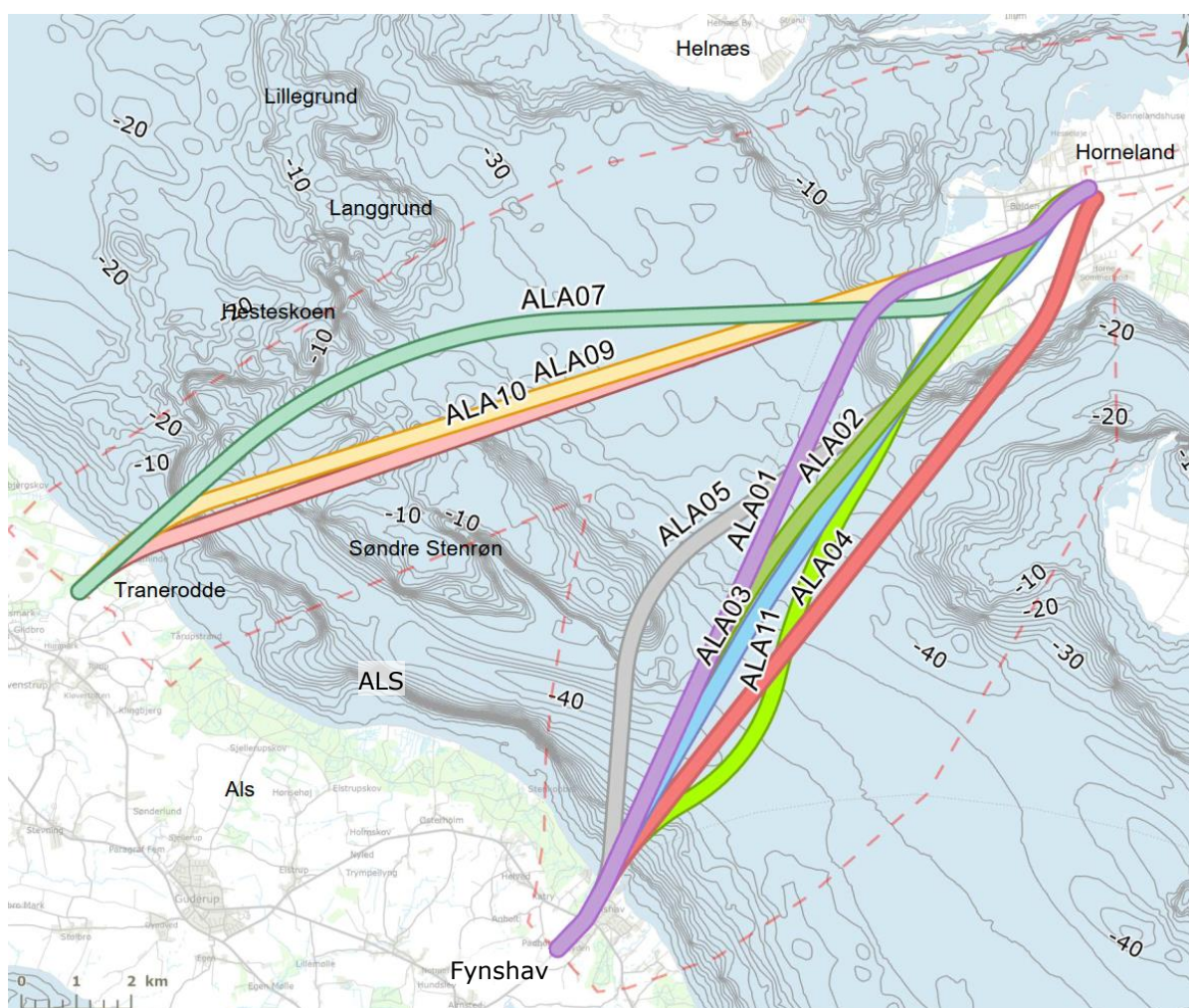
Desuden er referencerne [12] til [15] gennemgået, uden at der blev fundet noget relevant.

### 3. JORDBUNDSFORHOLD

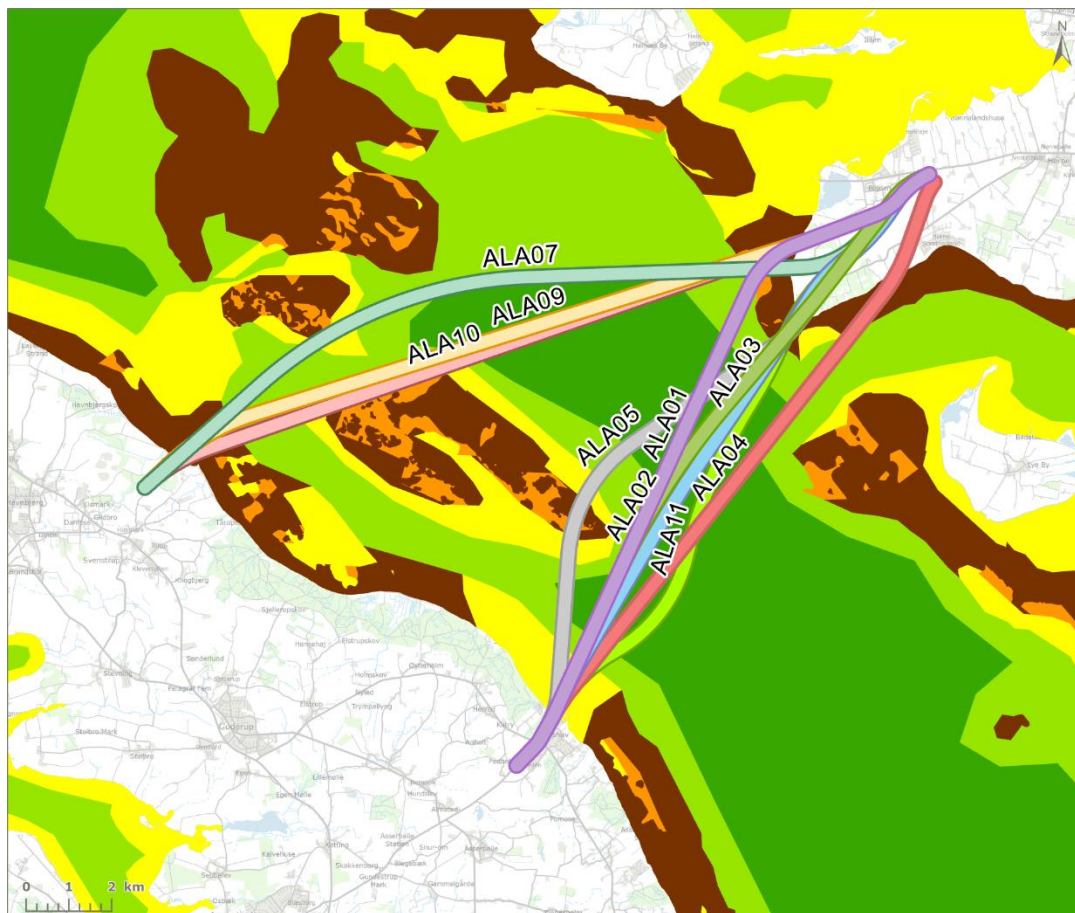
#### 3.1 Havbunden

Fra Lillebælts kyster mellem Als i vest og Horneland på Fyn i øst falder vanddybden ud i bællet ret hurtigt til 30-35 m, se Figur 3-1, idet havbunden i det meste af området er forholdsvis plan. Mod nordvest ligger der dog flere lavvandede områder, nemlig:

- Området ved Søndre Stenrøn, ca. 8 km NNV for Fynshav, med vanddybder ned til 3 m,
- Hesteskoen, ca. 11 km NV for Fynshav, hvor vanddybden er ned til 0,5 m,
- Langgrund og Lillegrund, ca. 14 km NNV for Fynshav, og ca. 5 km SV for Helnæs, hvor vanddybden er ned til 4 m.



Figur 3-1: Undersøgelingsområdet (stiplede streger) og ni mulige korridorer, vist på bathymetrisk kort med havdybder (fra webportal [gis.sundogbaelt.dk](http://gis.sundogbaelt.dk)).



Figur 3-2: Havbundsjordarter i sydlige Lillebælt. (fra webportal [gis.sundogbaelt.dk](http://gis.sundogbaelt.dk)).

Figur 3-2 viser den kendte fordeling af havbundssedimenter. Denne fordeling hænger for gytjens (dyndets) vedkommende ret nøje sammen med vanddybden, idet havbunden på dybt vand, dvs. omkring 30 m eller mere oftest er dækket med gytje, mens det på lavere vand er mere grovkornede sedimenter, som dominerer på havbunden, foruden moræne. Dette skyldes især, at det finkornede organiske materiale, hvoraf gytjen er opbygget, på tilpas stor vanddybde altid får lov til at blive liggende på havbunden, uanset vindstyrke og bølgestørrelse, mens organisk materiale på lavere vanddybde kun får lov at blive liggende i stille vejr

Såvel Rambølls seismiske undersøgelser fra 2014, ref. [6], som GEUS's fra foråret 2023, ref. [9], bekræfter i det store og hele dette billede, idet det dog lader til, moræneområdet på Søndre Stenrøn strækker sig lidt længere mod SØ end vist på Figur 3-2.

Ud fra de ni geologiske længdeprofiler med seismiske tolkninger, ALA01-05, ALA07, ALA09-11, at dømme ligger gytjelagets tykkelse på dybt vand i bæltet generelt mellem 5 og 10 m, dog lokalt op til 15 m.

### 3.2 Regionalgeologi

Lillebæltområdet er præget af ret tykke kvartære lag af moræner og smeltevandsaflejringer, som dækker et prækvartært underlag af palæogene ler, især den eocæne Lillebælt Ler, ref. [4], men oligocæne lere forekommer også, se Figur 3-4 og Figur 3-5. Ude i bæltet har seismiske undersøgelser påvist tilstedeværelsen af en kilometerbred begravet dal fyldt med sådanne kvartære aflejringer, ref. [3] og [9].

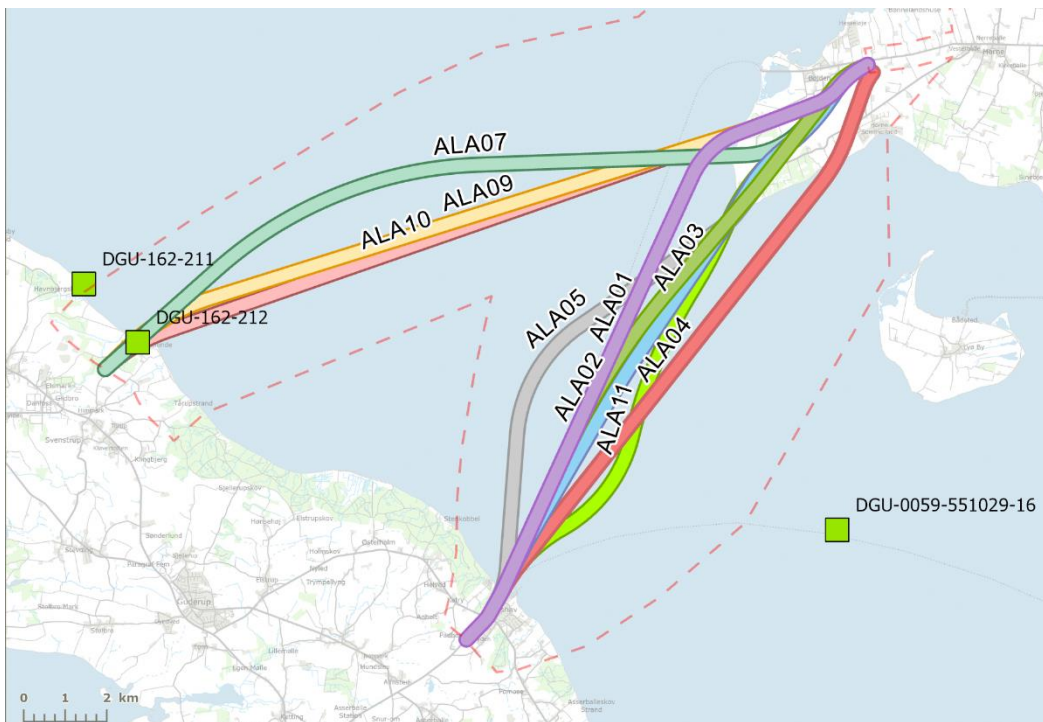
I de to Jupiterboringer 162.211 og 162.212, ref. [11], beliggende ved Tranerodde, ca. 12 km NV for Fynshav, traf tykke lag af Lillebæltsler i hhv. kote -46 og -37, se placering på Figur 3-3.

På de førnævnte lavvandede områder Langgrund og Lillegrund ud for Helnæs er der i 2018 udført en geoteknisk undersøgelse, bl.a. omfattende fem dybe boringer, foruden et antal korte vibrocore prøvetagninger, ref. [8]. Vanddybden er typisk omkring 10-20 m, og i overensstemmelse hermed er der ganske sparsomt med gytje på havbunden. Denne er i stedet opbygget af tykke glaciale lag af ler, sand og grus, vekslende med moræneler. I to af de dybe boringer ses op mod 40 m tykke lag af glacialt forstyrret, men i øvrigt ganske homogent Lillebælt Ler.

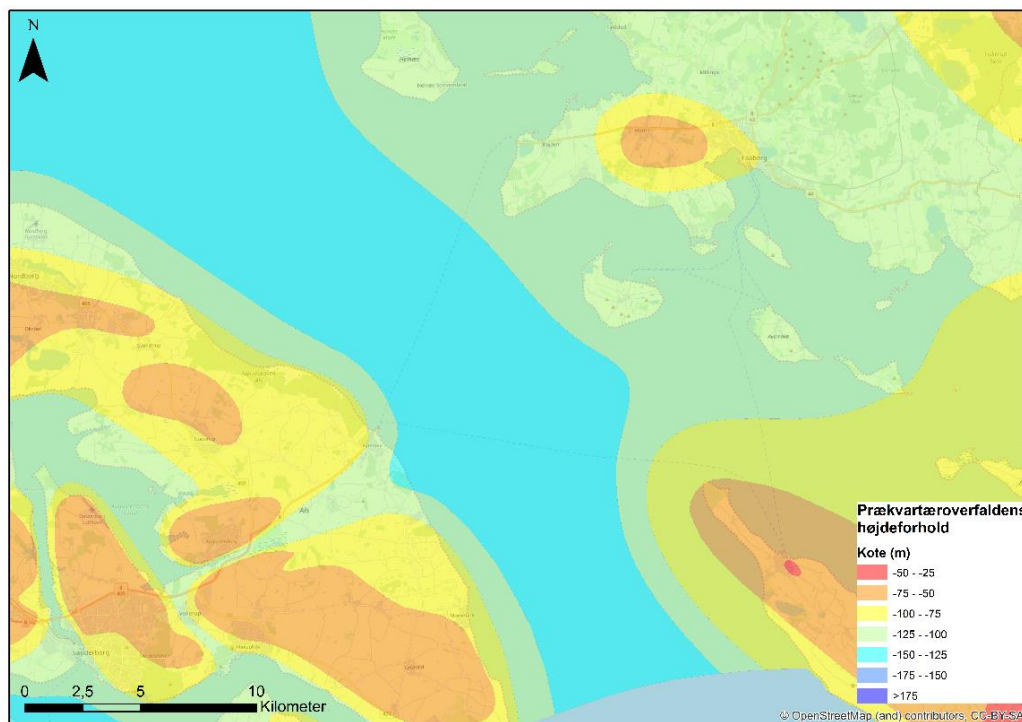
Boring M0059 (DGU nr. 551029.16), ref. [10], er i september 2020 boret på en position omkring 7-8 km NØ for Fynshav, se Figur 3-3. Boringen viser øverst en meget tyk serie på 47 m postglacial gytje, herunder 46 m vekslende sand og ler af postglacial og senglacial alder, herunder 76 m glaciale lag, hvorefter boringen slutter i skrivekridt, se Tabel 3-1. Denne lagfølge passer derfor ikke med prækvartærkortet vist på Figur 3-5, idet boringen ikke viser palæogent ler.

**Tabel 3-1: Lagfølge i boring M0059, ref. [10]**

Dybde [m]	DGU-Jordart	Kode	Beskrivelse
0,0	Postglacial saltvandsgytje	HP	GYTJE (DYND), utydelig horisontal lagdeling, sort. (postglacial saltvandsgytje (inkl. diatomegytje)). Note: Macoma.
47,1	Postglacial ferskvandsler	FL	LER, siltet, horisontal lagdeling, grøngrå
51,7	Postglacial ferskvandssand	FS	SAND, gulbrun
51,8	Senglacial ferskvandsler	TL	LER, horisontal lagdeling, grøngrå
82,2	Senglacial ferskvandssand	TS	SAND, siltet, leret, grå
93,1	Glacial moræneler (leret till)	ML	LER, siltet, sandet, gruset, mørk gråbrun
99,1	Glacial smeltevandssand	DS	SAND. Note: lag af sand, silt og moræne.
169,0	Campanien-Maastrichtien skrivekridt	SK	KRIDT/KALK



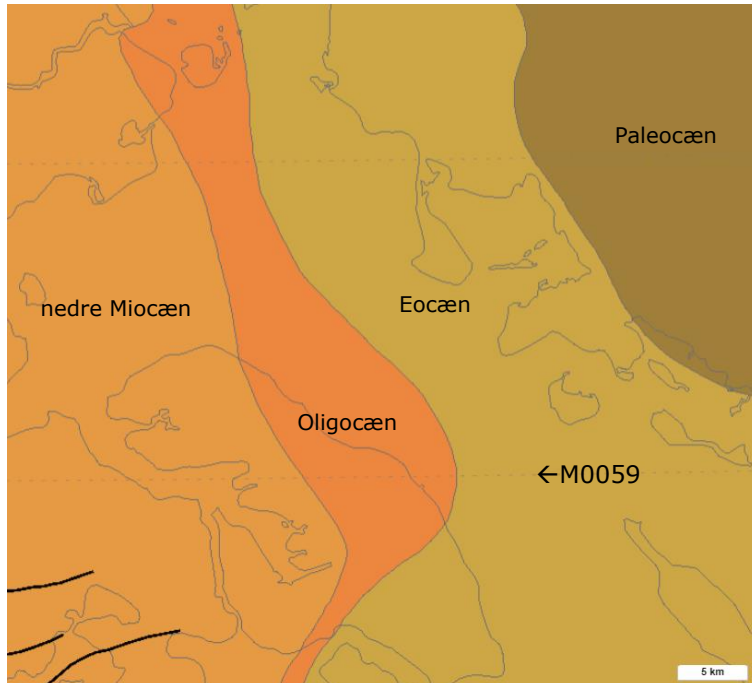
Figur 3-3: Med grønt er t.h. vist placering af Boring M0059 (DGU nr. 551029.16), på ca. 35 m vanddybde, samt t.v. to Jupiter-boringer udført tæt ved Als-kysten.



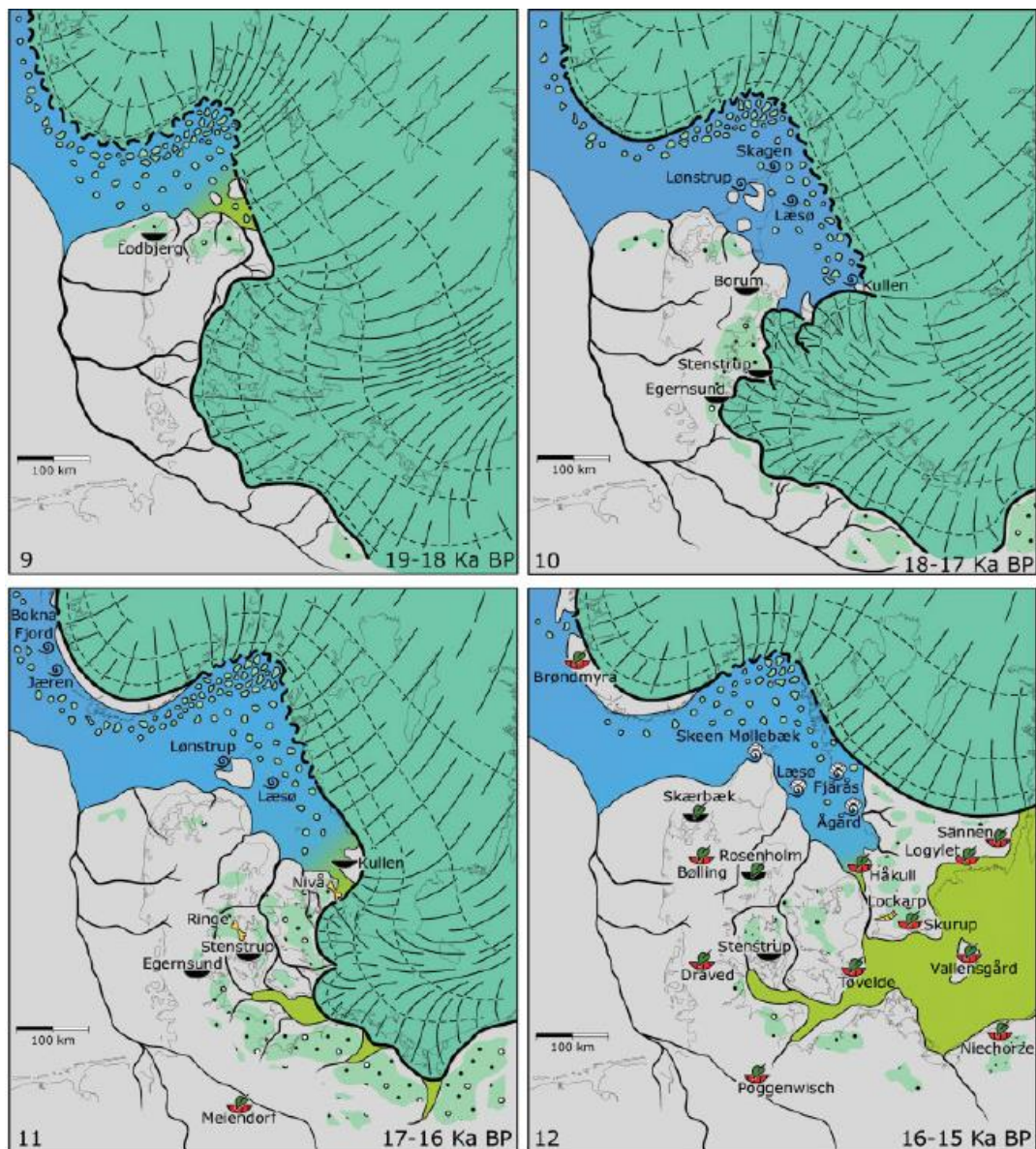
Figur 3-4: I forhold til denne officielle model over prækvartærøverfladens kote ligger koten til overside af prækvartærøverfladen ifølge nye data stedvist meget højere, i det blå område midt i Lillebælt (fra GEUS).



Under sidste mellemistid, Eem, var Lillebælt dækket af hav, hvori der blev aflejret stedvis ret tykke lerlag, og disse lag kendes fra mange af Lillebælts kystklinter, ref. [1], men er ikke i det foreliggende datamateriale påvist ude i bæltet.



**Figur 3-5: Prækvartærkort ("Varv"-kortet fra GEUS) over det centrale og sydlige Lillebælt; orange: nedre Miocæn (glimmerler og -sand), rød: Oligocæn (fedt ler), karrygul: Eocæn (meget fedt ler), brun: Palæocæn (fedt ler/mergel); boring M0059 viser ikke lag af Eocæn, men derimod skrivekridt.**



**Figur 3-6: Fordelingen af land (grå), is (mørkgrøn), hav (blå) og sø (lysgrøn) mod slutningen af Weichsel-istiden, med tidsangivelser i tusinder år før nu (Ka BP). Kort 9: Det ungbaltiske isfremstød. Kort 10: Bælthavsfremstødet. Kort 11: Det sidste isfremstød dækker det østligste Danmark, mens søer og dødisområder præger området mellem Als og Fyn. Kort 12: Bølling Interstadial: isen har nu helt trukket sig væk fra det danske område, og området mellem Als og Fyn ligger tæt på den baltiske issø (lysgrøn) (fra ref. [2]).**

Lillebæltsområdet er udformet af flere gletsjefremstød med tilhørende randmoræner, heriblandt mindst tre fremstød under sidste istid. Isen er gledet ind over området fra både nordøstlige og sydøstlige retninger, idet gletsjertunger har banet sig vej op gennem både Storebælt og Lillebælt. For ca. 18-19.000 år siden kom den ungbaltiske is til området fra syd og sydøst, se Figur 3-6, kort 9, og en del af denne is blev til Lillebæltgletcheren, som fik afgørende indflydelse på udformningen af landskabet mellem Als og Fyn, med dets storbakkede og kuperede terræn med tilhørende dybe fjorde.

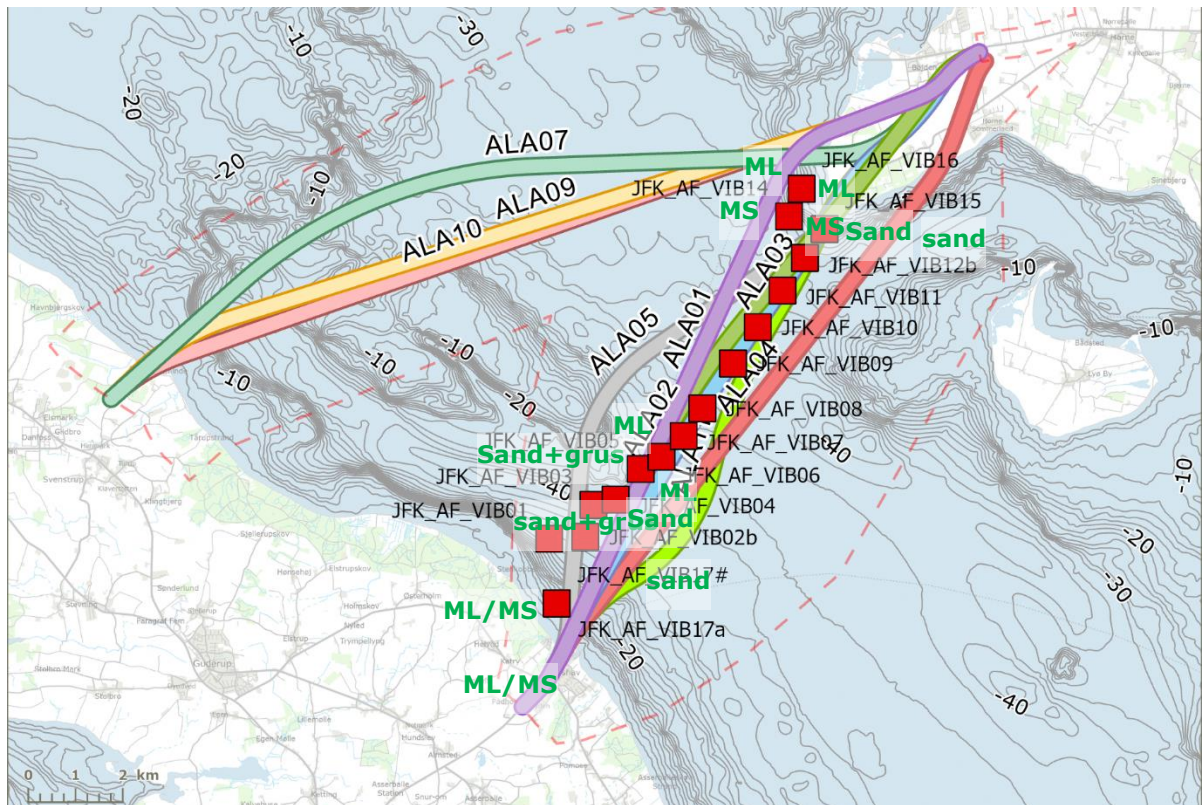
Da isen for omkring 15.000 år siden trak sig væk fra det danske område, omdannedes Østersøen i en periode til en ferskvandssø, Den baltiske Issø, som mod øst og nord grænsede direkte op til ismasserne og herfra fik tilført store mængder smeltvand. Søaflejringerne er i store dele af

Østersøen udviklet som få cm tykke varv, et lagdelt sediment karakteriseret ved en vekslen mellem (ofte brunlige eller rødlig) lerlag afsat om vinteren og (ofte grå eller lyse) silt/sand-lag afsat om sommeren. Sådanne issøaflejringer, hvor altså et sæt af ler og silt/sand svarer til ét års aflejring, kendes fra Femerbælt og forekommer sandsynligvis også i Lillebælt, ref. [5] og [12].

Ved begyndelsen af Postglacial (eller Holocæn) tid for ca. 11.700 år siden steg temperaturen brat, hvilket øgede isafsmeltningen kraftigt. Derved steg det globale havspejl, og Lillebælt blev, som de andre danske stræder, havdækket og præget af kystnære sandaflejringer og gytjeflejringer på dybere vand.

### 3.3 Seismiske og petrografiske enheder i undersøgelsesområdet

På strækningen mellem Fynshav og Horne Næs foreligger en undersøgelse, ref. [7], med geofysik og vibrocore, udført af Geo i 2014 for en kabelforbindelse, se Figur 3-7. De fleste vibrocore stopper i gytje, undtagen tæt på land, samt i det lavvandede område i forlængelse af Sønder Stenrøn, ca. 4 km NØ for Fynshav, hvor gytje i havbunden er afløst af moræne, sand og grus. Dette billede stemmer ret godt overens med havbundskortet, Figur 3-2.



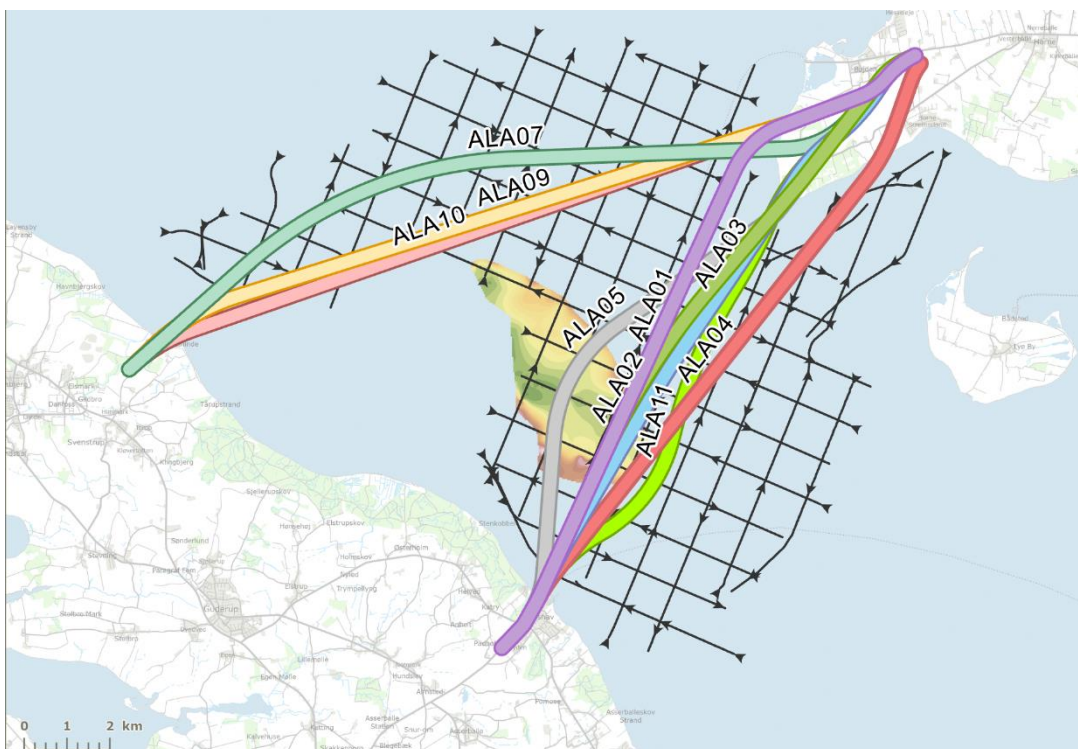
Figur 3-7: Placering af vibrocore fra ref. [7]. Med grøn tekst er vist vibrocores, som viser andet end gytje (ML: moræner, MS: morænesand).

I 2023 har GEUS for Sund og Bælt udført en geofysisk undersøgelse, ref. [9], hvorfra der her er medtaget udvalgte figurer, se Figur 3-8, Figur 3-11 og Figur 3-12.

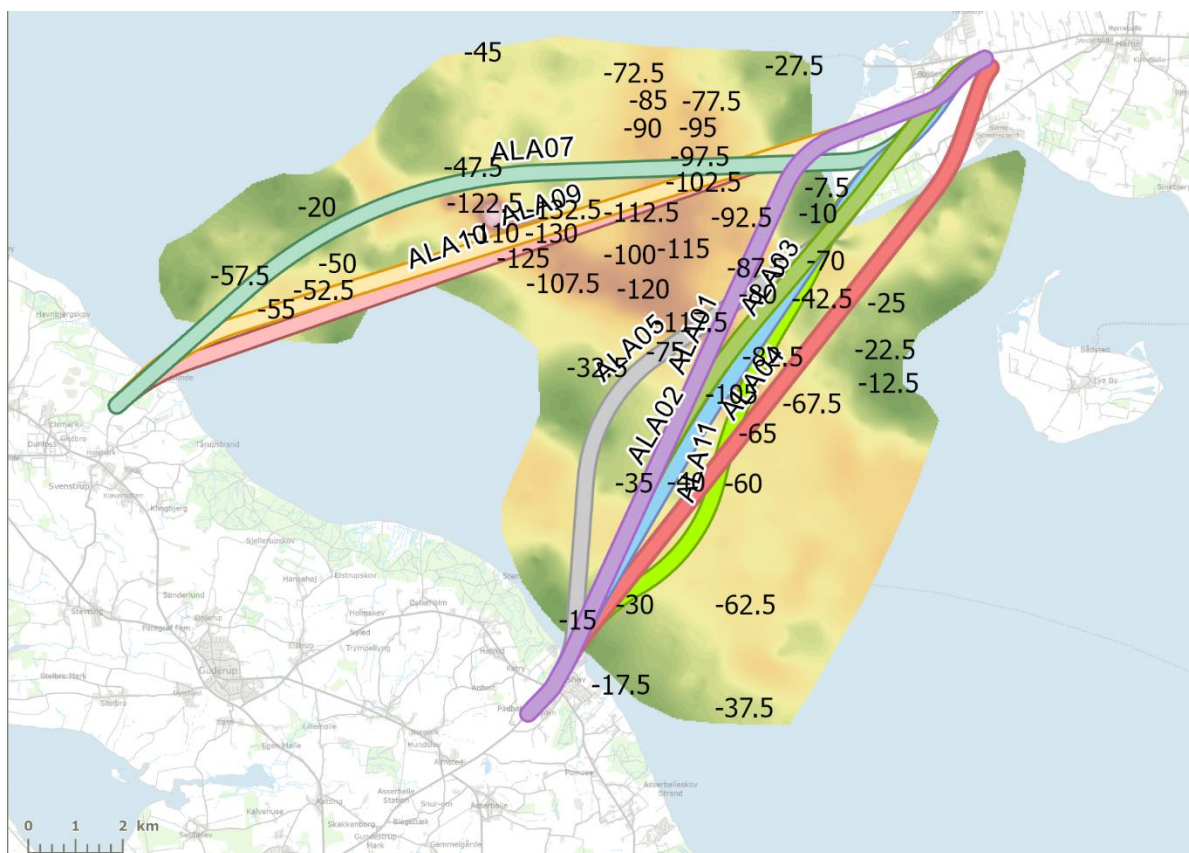




Figur 3-10: Placering af seismiske linjer (sort), fra GEUS' 2023 undersøgelse, ref. [9], hvor desuden med rødt er vist placering af undersøgelser fra ref. [7], samt med gråt området, fra ref. [8].



Figur 3-11: Konturkort over koten til overside af Lillebæltssler, hvor data tillod tolkning, fra ref. [9].



Figur 3-12: Konturkort over koten til overside glaciale lag, fra ref. [9].

GEUS-undersøgelsen, ref. [9], identificerede 6 seismiske enheder, med følgende tolkede lithologier, jf. Figur 3-8:

- Holocæn (=Postglacial) marin: dynd (=gytje), med sandindslag (sandede kystudbygninger), op til 18 m tyk
- Holocæn brakvand: organisk rigt lamineret ler, op til 5 m tyk, dog overvejende ca. 2 m tyk
- Yngre Senglacial: ler, op til 53 m tyk
- Ældre Senglacial: grovere end Yngre Senglacial (siltet og leret sand i M0059), op til 55 m tyk
- Glaciale aflejringer: moræne
- Lillebæltssler: palæogent ler

Mod Als-siden ses på de seismiske profiler ALA01-05 et nogenlunde kystparallelt område med højtliggende Lillebæltssler, se Figur 3-9, Figur 3-11 og Figur 3-12, dækket med tynde glaciale aflejringer, og på begge sider flankeret af begravede dale, se Figur 3-9 og Figur 3-12, fyldt med tykke sen- og postglaciale lag af sand, ler og gytje. Ingen af de øvrige seismiske profiler viser Lillebæltssler.

### 3.4 Diskussion og geologisk skitsemodel

Bortset fra kysttegnene er undersøgelsesområdet beliggende på 30 - 40 m vanddybde, med et højdepunkt ud for det lavvandede Søndre Stenrøn, ca. 4 km NØ for Fynshav. Havbunden består på dybt vand af ganske tykke gytjelag, stedvis med indslag af sand, mens der kystnært, og ud for Søndre Stenrøn, dukker sand, grus og moræneler op i havbunden.

Seismiske data tyder på tilstedeværelsen under gytjelagene af tykke senglaciale lag, af øverst ler og herunder sand, mens området ud for Søndre Stenrøn lader til at bestå af en kerne af Lillebælt ler dækket med glaciale aflejringer.

En lignende situation forefindes på det lavvandede Lillegrund-Langgrund længere mod NV, hvor ref. [8] har påvist mere end 40 m tykke lag af Lillebælt ler i forholdsvis ringe dybde under havbund. Noget tyder således på, at de lavvandede områder ude midt i Lillebælt er dannet ved glacialtektonisk deformation og opskydning af dybereliggende lag af palæogent ler. Dette ville også kunne forklare, hvorfor palæogene lag mangler i den nærliggende boring M0059.

Lagserien i undersøgelsesområdet kan skitse-mæssigt tænkes at være fremkommet således:

Frem til og med næstsidste istid, Saale, har kvartærtidens gletsjere i området aflejret moræner og smeltevandsaflejringer oven på et underlag af palæogent ler. Under sidste mellemistid, Eem, har havet dækket området og aflejret marine sand- og lerlag. Under sidste istid, Weichsel, trak havet sig igen væk, og gletsjere overskred flere gange området og aflejrede stedvis tykke lag af moræne- og smeltevandsaflejringer. Et eller flere af disse is-fremstød har flere steder, bl.a. pga. poretryksopbygning, været i stand til at mobilisere de underliggende palæogene lerlag, så disse er blevet revet løs fra deres oprindelige leje, flyttet med isen og stillet på skrå, som opragende blokke, som efterfølgende er blevet dækket med forholdsvis tynde moræne- og smeltevandsaflejringer.

Da isen ved begyndelsen af senglacial tid trak sig væk, afdækkede den et ganske kuperet terræn, med opskudte flager af såvel palæogent ler som interglaciale sand- og lerlag, foruden moræner og smeltevandsaflejringer. Landskabet blev drænet af et eller flere vandløb på bunden af Lillebælt. I de dybereliggende dele aflejredes ferskvandssand og -ler, måske på bunden af søer, med materiale stammende fra de omliggende skrånninger, som var udsat for udjævning og erosion, pga. jordflydning og nedbør. I en periode har Den baltiske Issø pga. øget tilførsel af smeltevand kunnet brede sig ind over området, fra området syd for Ærø og Langeland. Aflejringer fra Den baltiske Issø kendes fra boringer fra Femerbælt, i form af cm-tykke vekslende ler- og siltlag.

Da havet senere i Postglacial tid trængte ind i Lillebælt, begyndte den nuværende dannelse af kystnære sandaflejringer og gytjeaflejringer på dybere vand.

## 4. KONKLUSION

For anlæggelse af en fast forbindelse mellem østkysten af Als og Horneland på Fyn, enten mellem Fynshav og Horneland eller Tranerødde og Horneland, byder de trufne bundforhold på flere udfordringer, uanset om der bliver tale om bro og/eller tunnel:

- for de postglaciale gytjelag må bæreevnen regnes for så forsvindende lille, at disse lag ikke kan bidrage til funderingen
- forekomster af højplastisk Lillebæltsler tæt på havbunden vil komplicere og fordyre projektet, både i anlægs- og brugsfase.

## 5. REFERENCER

- [1] Michael Houmark-Nielsen, Karen Luise Knudsen og Nanna Noe-Nygaard (2006): *Istider og mellemistider*. Side 255-302 i: Gunnar Larsen (red.): *Naturen i Danmark*. Geologien, Gyldendal, ISBN 87-02-04758-6
- [2] Michael Houmark-Nielsen og Kurt Kjær (2003): *Southwest Scandinavia, 40–15 kyr BP: palaeogeography and environmental change*. *Journal of Quaternary Science*, vol 18, issue 8, pp. 681-816
- [3] Eiríksson, Jón; Kristensen, Peter H.; Lykke-Andersen, Holger, et al. (2006): *A sedimentary record from a deep Quaternary valley in the southern Lillebælt area, Denmark: Eemian and Early Weichselian lithology and chronology at Mommark*, *Boreas*, Vol. 35, p. 320-331
- [4] Claus Heilmann-Clausen og Erik Skovbjerg Rasmussen (2010): *Danmarks geologiske udvikling fra 65 til 2,6 mio. år før nu*. *Geviden 2010*, nr. 3, GeoCenter Danmark, 20 sider
- [5] Bennike, O. og Jensen, J.B. (2011): *Postglacial, relative shore-level changes in Lillebælt, Denmark*. *Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 23*, p. 37-40. GEUS
- [6] Rambøll (2014): *Fast forbindelse Als-Fyn. Havbundsundersøgelser*. Rapport til Faaborg-Midtfyn Kommune, oktober 2014, rev. 1
- [7] Geo (2014): *Jylland-Fyn Cable Routes. Geophysical and Geotechnical Investigations*. Energinet.dk, Report 2, rev. 1, 2014-11-14
- [8] Geo (2018): *Lillebælt Syd Nearshore Windfarm. Geotechnical Survey. Task B – Factual Report*, rev. 00, 2018-05-31. Sønderborg Forsyning
- [9] GEUS (2023): *Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser. Geologisk model til brug for miljø- og anlægstekniske analyser*, Rapport 2023/26, udført for Sund og Bælt A/S
- [10] Boring M0059 (IODP DGU nr. 551029.16, udført september 2020)
- [11] Boring 162.211 og 162.212, udført 1991, fra Jupiter-databasen
- [12] GEUS (2013): *Evaluering af marine sand- og grusressourcer i det sydlige danske havområde – Områderne Lillebælt (542), Østersøen Vest (566), Femern Bælt (568) samt Gedser (560)*. Forfatter Sara Skar. Rekvirent: Naturstyrelsen. Rapport 2013/12
- [13] Fredningsstyrelsen (1986): *Havbundsundersøgelser. Råstoffer og fredningsinteresser. Lillebælt. Oversigt*. ISBN 87-503-6289-5 ("blå rapport")
- [14] Fugro (2010): *GDR 17.0-005 Boring Campaign Lillebælt*. Report No. N5075/04
- [15] Birger Larsen (1983): *Geologisk kortlægning af Lillebælt syd for broerne med tilstødende fjorde*. Udført for Vejle, Fyn og Sønderjyllands amtskommuner, Lillebæltskomiteen. Institut for Teknisk Geologi, DTH