

Til  
**Sund & Bælt Holding A/S**

Dokumenttype  
**Rapport**

Dato  
**Juni 2024**

# ALS-FYN FORUNDERSØGELSE GEOTEKNISK VURDERINGSRAPPORT



# ALS-FYN FORUNDERSØGELSE

## GEOTEKNISK VURDERINGSRAPPORT

Projektnavn **Fyn-Als Framework**  
Projektnr. **1100052138**  
Modtager **Sund & Bælt Holding A/S**  
Dokumenttype **Rapport**  
Version **6.0**  
Dato **2024/06/11**  
Udarbejdet af **Henrik Mikkelsen**  
Kontrolleret af **Rami Hammami**  
Godkendt af **Henrik Mikkelsen**

Rambøll  
Hannemanns Allé 53  
DK-2300 København S

T +45 5161 1000  
<https://dk.ramboll.com>

## Indhold

1.	Indledning	2
2.	Geofysiske og geotekniske informationer	4
2.1	Postglacial marine sedimenter, Gytje	9
2.2	Postglaciale brakvandssedimenter	11
2.3	Senglaciale aflejringer	12
2.4	Glaciale aflejringer	12
2.5	Lillebæltser	13
3.	Geologien på land	14
3.1	Fyn	14
3.2	Als	15
4.	Referencer	16

## 1. Indledning

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

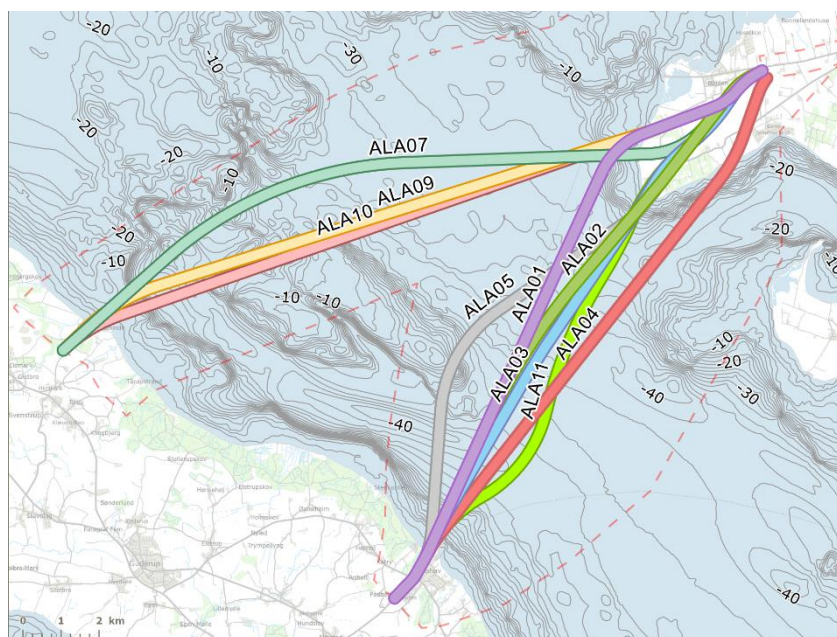
I denne geotekniske vurderingsrapport fastlægges foreløbige geotekniske parametre for at kunne gennemføre en vurdering af de angivne anlægstekniske løsninger.

Der er ikke gennemført geotekniske undersøgelser for den faste forbindelse så derfor anvendes eksisterende geotekniske undersøgelser udført i det sydlige Lillebælt til at vurdere geotekniske egenskaber og parametre for de trufne geologiske lag identificerede ved tidligere undersøgelser. I 2014 gennemførte Energinet en geofysisk undersøgelse for to mulige kabelruter mellem Horne Næs og Fynshav, ref. [1]. Denne undersøgelse omfatter ligeledes 16 stk. 3 m - 5 m vibrocore ("boringer"). Prøverne er geologisk beskrevet og der er udført klassifikationsforsøg på udvalgte prøver. I marts 2018 gennemførte Sønderborg Forsyning indledende geotekniske undersøgelser for vindmølleparken Lillebælt Syd, beliggende nord for den påtænkte faste forbindelse, ref. [2] og [3]. I 2022 og 2023 er der gennemført geotekniske undersøgelser for et oprensningsprojekt ved Himmarn Stand, dvs. syd for ilandføringen ved Tranerodde. Der er gennemført geotekniske boringer og CPTu-forsøg på Als og i Lillebælt indtil knap 200 m fra kysten. I 2023 gennemførte Sund & Bælt en indledende geofysisk undersøgelse af forundersøgelsesområdet for den faste forbindelse mellem Als og Fyn, ref. [4].

Som angivet ovenfor er der ikke udført geotekniske undersøgelser i forundersøgelsesområdet. Dette betyder, at alle materialeparametre angivet i denne vurderingsrapport er baseret på erfaringer med sammenlignelige jordarter samt eksisterende geotekniske undersøgelser udført i det sydlige Lillebælt, primært undersøgelserne udført for vindmølleparken Lillebælt Syd samt på baggrund af ingeniørmæssige vurderinger/valg.

Den anlægstekniske forundersøgelse for en fast forbindelse mellem Als og Fyn omfatter de 9 korridorer vist på Figur 1-1. Den foreløbige geologi langs de aktuelle korridorer er vist på de geologiske længdeprofiler angivet i Tabel 1-1.

Det ses af Figur 1-1 og Tabel 1-1 at korridor ALA1 til ALA5 samt ALA11 går fra Horne på Fyn til Fynshav på Als mens korridor ALA7, ALA9 og ALA10 går fra Horne til Tranerodde på Als.



**Figur 1-1** Illustration af korridorer mellem Als og Fyn

**Tabel 1-1** Linjeføringer og geologiske længdesnit

Korridor	Forbindelsestype	Tegning / Geologisk længdesnit
Horne til Fynshav		
ALA1	Sænketunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA01-001.pdf</a>
ALA2	Bro	<a href="#">AF-A-TG-ALA02-001.pdf</a>
ALA3	Boret tunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA03-001.pdf</a>
ALA4	Sænketunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA04-001.pdf</a>
ALA5	Kombination af sænketunnel og bro	<a href="#">AF-A-TG-ALA05-001.pdf</a>
ALA11	Boret tunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA11-001.pdf</a>
Horne til Tranerodde		
ALA7	Bro	<a href="#">AF-A-TG-ALA07-001.pdf</a>
ALA9	Sænketunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA09-001.pdf</a>
ALA10	Boret tunnel	<a href="#">AF-A-TG-ALA10-001.pdf</a>

## 2. Geofysiske og geotekniske informationer

I 2023 gennemførte GEUS for Sund & Bælt en indledende geofysisk undersøgelse af forundersøgelsesområdet. Undersøgelsesområdet er vist som sejl-/undersøgelseslinjer på Figur 2-1. Afstanden mellem linjerne er ca. 1 km.



**Figur 2-1** Illustration af undersøgelsesområde, dvs. sejl-/undersøgelseslinjer for GEUS' indledende geofysiske undersøgelse udført i 2023. Afstanden mellem sejl/undersøgelseslinjer er ca. 1 km. Undersøgelseskorridorerne for Energinets undersøgelse for kabelrute mellem Fyn og Als vist med rødt. Undersøgelsesområdet for vindmølleparken Lillebælt Syd indikeret nord for Als Fyn undersøgelsesområdet.

Det ses af de geofysiske undersøgelser udført for Als-Fyn projektet, ref. [4], at vanddybden på størstedelen af strækningen mellem Horne og Fynshav er mellem 35 m og 42 m. På strækningen mellem Horne og Tranerødde er vanddybden ca. 30 m.

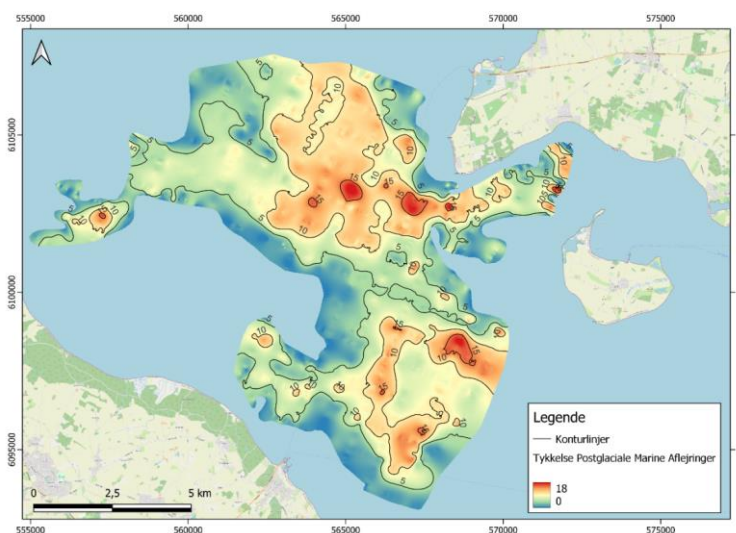
Øverst træffes mellem 5 og 10 m postglaciale (Holocæne) marine sedimenter, primært bestående af gytje. Enkelte steder er tykkelsen op til ca. 15 m, se Figur 2-2. Under gytjen træffes postglaciale (Holocæne) brakvandssedimenter som primært består af organiskrige kohæsive (lerede) sedimenter. Tykkelsen af brakvandssedimenterne er maksimalt 5 m.

Under de postglaciale (holocæne) sedimenter træffes generelt senglaciale aflejringer. Disse består øverst af lerede søaflejringer (ferskvandsler/smeltevandsler). Under den senglaciale ler træffes i store dele af forundersøgelsesområdet senglaciale smeltevandssand. Under de senglaciale aflejringer træffes glaciale aflejringer primært bestående af moræneler. Dog træffes der på en strækning ca. 3 til 5 km øst for Als, ved Søndre Stenrøn, prækvartære aflejringer i form af Lillebæltssler under de glaciale aflejringer. Lillebæltssleret træffes mellem 10 m og 20 m under havbunden. Områder hvor der er truffet Lillebæltssler er vist på Figur 2-4. Der er kun truffet Lillebæltssler ved de fem sydlige korridorer, ALA1 – ALA5. Korridoren for ALA11 er valgt således, at tunnelen føres syd om området hvor der er truffet Lillebæltssleret, se Figur 2-4.

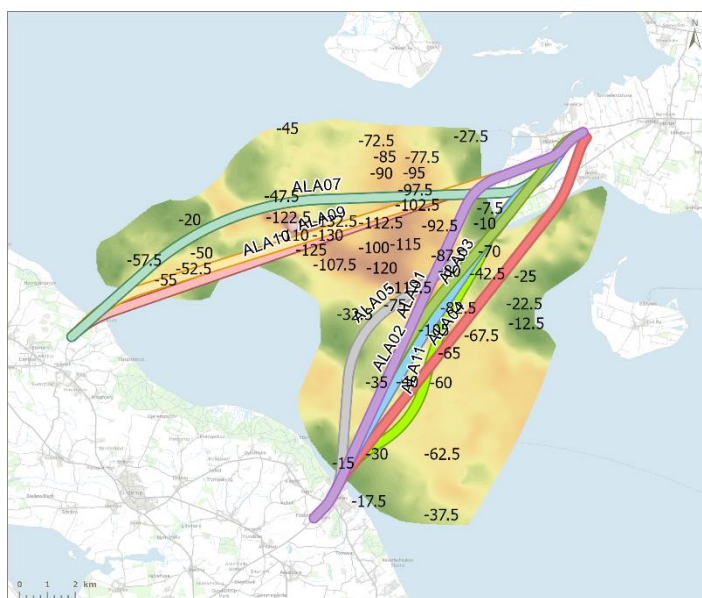
Et par km syd for undersøgelsesområdet er der i 2013 udført en ca. 200 m dyb boring, DGU nr. 551029.16 / IOPD M0059 (The Intergrated Ocean Drilling Program). Jorden er geologisk

beskrevet med der er ikke udført geotekniske laboratorie- eller feltforsøg. Øverst træffes der ca. 50 m postglaciale marine sedimenter, gytje. Gytjen underlejres af senglaciale og glacialle aflejringer og der træffes kridt/kalk ca. 170 m under havbunden. Med de store forekomsterne af gytje vurderes det, at denne boring ikke er relevant for denne geotekniske vurdering. Men det konkluderes, at i det sydlige Lillebælt kan forventes meget store variationer i jordbundsforhold / geologi over relativ korte afstande.

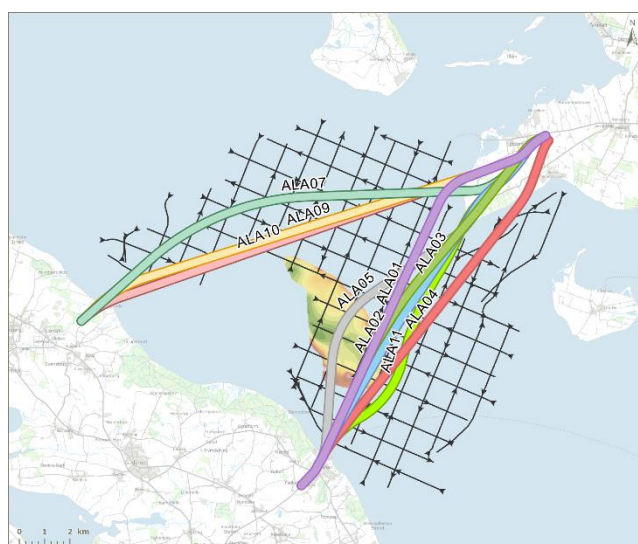
Det ses af bl.a. Figur 2-1, at den geofysiske undersøgelse udført i 2023 for Als-Fyn projektet ikke er ført helt ind til land ved Tranerodde på Als. Det ses af de geologiske længdesnit, at den geologiske model stopper ca. 2 km fra kysten ved Tranerodde. Oversiden af de glacialle aflejringer (moræneler), på de ca. 2 km hvor modellen ikke dækker, er vurderet på baggrund af de geologiske forhold i området, f.eks. hældning og dybde af glacialle aflejringer i den geologiske model, vanddybder, hældning af eksisterende havbund mm. Den kystnære del af vurderingen er udført på baggrund af de geotekniske undersøgelser udført ved Himmarnk strand. Ved kysten træffes oversiden af de glacialle aflejringer ca. i kote -1 m. Oversiden af de glacialle aflejringer er herefter svagt hældende til ca. kote -7 m ca. 150 m fra kysten. Herefter falder oversiden af den glacialle aflejringer til ca. kote -11 m ca. 180 m fra kysten. Herefter, dvs. i området mellem de kystnære undersøgelser og den geologiske model, vurderes oversiden af de glacialle aflejringer på baggrund som beskrevet ovenfor.



**Figur 2-2 Tykkelse af postglaciale (Holocæne) marine sedimenter, gytje, ref. [4].**



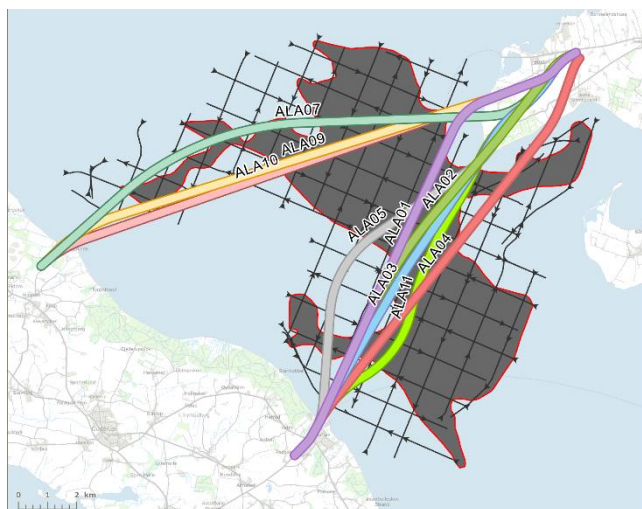
**Figur 2-3** Overside af glaciale aflejringer, moræne ref. [4].



**Figur 2-4** Illustration af områder med Lillebæltsler, ref. [4].

I områder hvor de øverste marine og organiske-holdige postglaciale aflejringer har en tykkelse på mere end ca. 6 m forekommer der ofte gas som følge af nedbrydning af det organiske materiale. Dette benævnes normalt "shallow gas". På Figur 2-5 er illustreret hvor der er truffet "shallow gas" i undersøgelsesområdet. Det ses at der er truffet "shallow gas" i størstedelen af undersøgelsesområdet.





**Figur 2-5** Illustration af områder med "shallow gas".

I gasholdige sedimenter reduceres refleksions-hastigheden signifikant i forhold til sedimenter uden gas. Da der ikke er udført forsøg til bestemmelse af seismiske hastigheder i de trufne jordlag, anvendes hastigheder baseret på erfaringer, ref. [4]. Hastighederne er gengivet i Tabel 2-1.

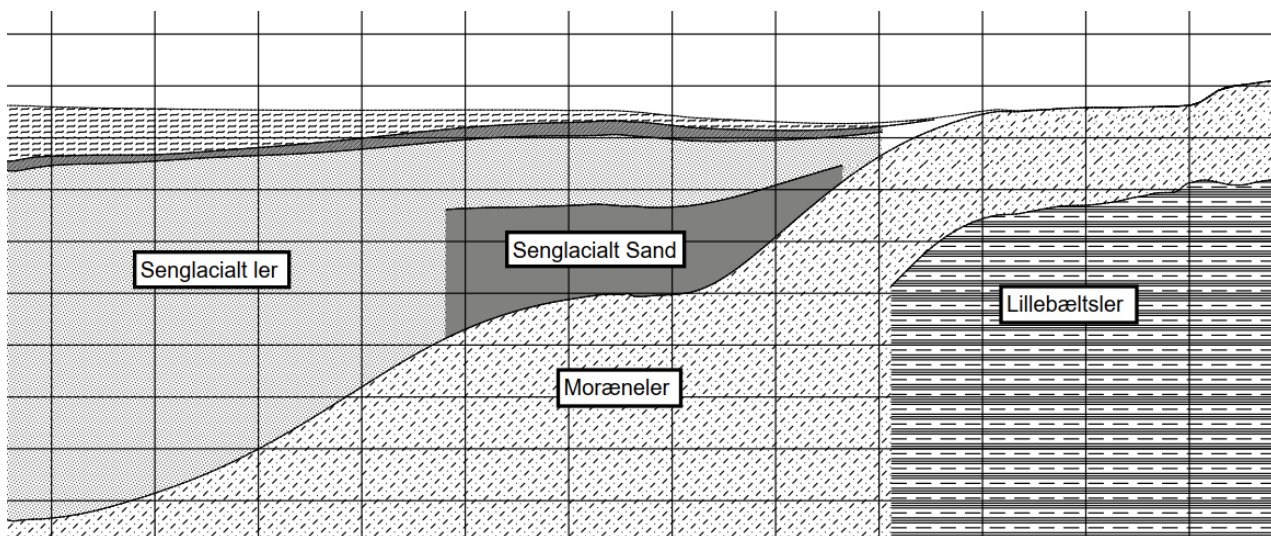
**Tabel 2-1** Seismiske hastigheder i forskellige sedimentstyper, ref. [4].

Enhed	Seismisk hastighed, [m/s]
Holocæn	1500
Senglacial	1600
Moræne	1800
Gas	1100

Dybdekonverteringen (dvs. konvertering fra målet refleksionstider til lagtykkelser) blev i første omgang gennemført med anvendelse af hastighederne angivet i Tabel 2-1. Dette førte til relativ stor diskontinuitet mellem områder med gasholdige sedimenter og område uden gasholdige sedimenter. For at undgå dette er den endelige dybdekonvertering udført udelukkende på baggrund af seismiske hastigheder de tre jordarter. Ved at anvende seismiske hastighed angivet i Tabel 2-1 (bortset fra 1100 m/s i gasholdige sedimenter) fås den maksimal tykkelse af de postglaciale aflejringer, hvilke vurderes konservativt i forhold til anlægsprojektet og specielt i forhold til vurdering af mulige og optimale funderingsmetoder.

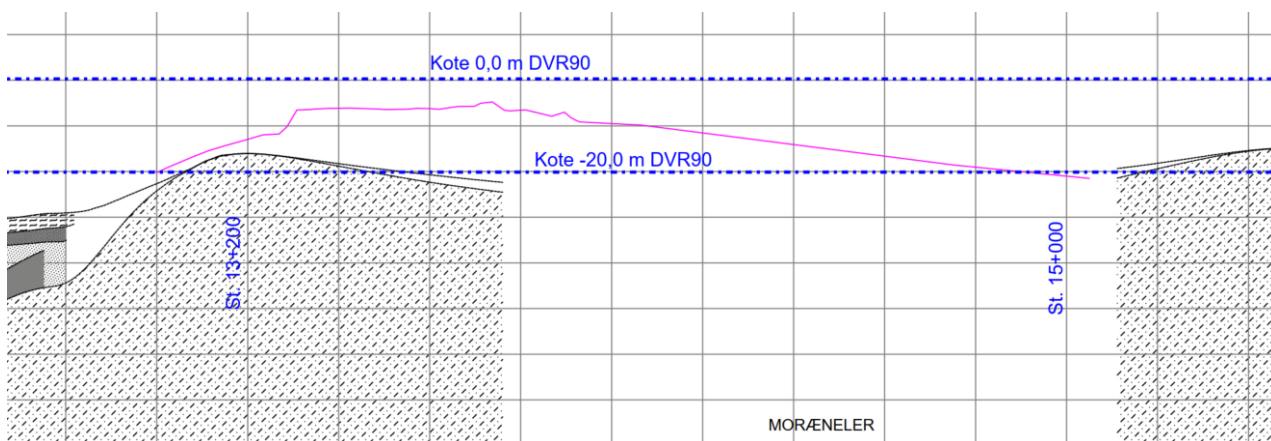
Som beskrevet i den geofysiske undersøgelsesrapport, ref. [4], har det ikke været muligt at fastlægge/tolke alle jordlag i hele undersøgelsesområdet. Dette betyder, at der flere steder i den geologiske model, og på de geologiske længdesnit, ses at tolkede laggrænser pludseligt stopper som vist på Figur 2-6. Det ses at tykkelsen af det sennglaciale sand pludseligt ændres fra ca. 25 m til 0 m og at tykkelsen af det sennglaciale ler samtidig øges fra ca. 15 m til ca. 40 m. Dette er selvfølgelig ikke fysisk korrekt, men de geofysiske data og tilhørende tolkning kan ikke identificere laggrænsen mellem de to sennglaciale aflejringer længere og derfor fås denne fiktive lodrette laggrænse.

Rambøll har for denne anlægstekniske forundersøgelse for en fast forbindelse mellem Als og Fyn valgt at anvende den geofysiske model som den er tolket. Det vil sige, at Rambøll ikke har forsøgt at tolke/fastlægge manglende laggrænser.



Figur 2-6 Udsnit af geologisk længdesnit for ALA05

Det ses af det geologiske længdesnit for korridor ALA10 at den geologiske model ikke dækker strækningen mellem st. 13+800 og st. 15+100. Det ses ligeledes, at havbunden bestemt på baggrund af havbundsmodellen fra Dataforsyningen er beliggende højere end forventet på baggrund af den geologiske model. Det er uklart hvordan denne uoverensstemmelse opstår, men det vurderes, at havbunden i Dataforsyningsmodellen viser den nordlige ende af Søndre Stenrøn. Det ses af det geologiske længdesnit, samt Figur 2-1, at der ikke er udført geofysiske undersøgelser mellem st. 13+000 og st. 15+500 for ALA10 og derfor har det ikke været muligt at tolke en korrekt havbund på strækningen. Da den borede tunnel er beliggende ca. 1 tunneldiameter under oversiden af moræneleret vurderes denne uoverensstemmelse ikke at have afgørende betydning for forprojektet.

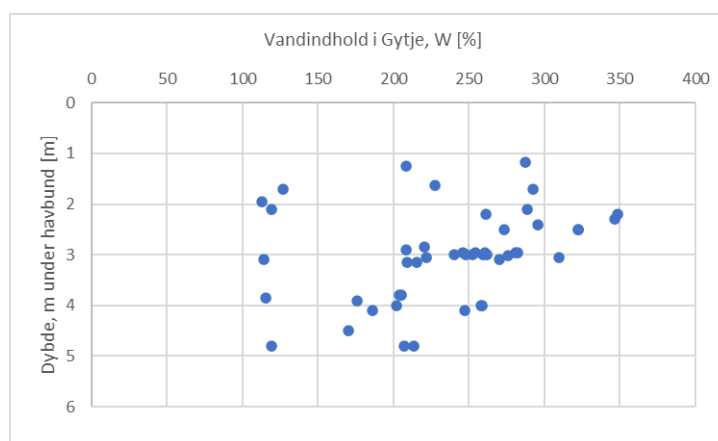


Figur 2-7 Illustration af havbunden mellem st. 13+200 og 15+200 for ALA10.

## 2.1 Postglacial marine sedimenter, Gytje

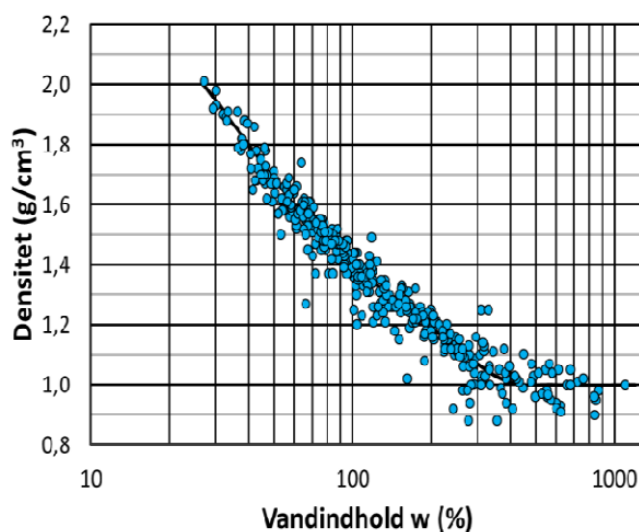
I næsten hele forundersøgelingsområdet, dvs. hvor vanddybden er mere end 20 m, er der ved havbunden truffet gasholdige postglaciale marine aflejringer, primært bestående af gytje. Tykkelsen af gytjen varierer fra ca. 5 m til ca. 10 m, dog lokalt op til ca. 15 m.

I forbindelse med undersøgelserne udført i 2014, ref. [1], blev der udført 16 vibrocore borer. De udtagne jordprøver er geologisk beskrevet og der er udført klassifikationsforsøg på udvalgte prøver. Resultaterne viser, at vandindholdet i postglaciale marine aflejringer, gytjen, varierer fra ca. 110% til ca. 350%, med et gennemsnit på ca. 240%. Vandindholdet i gytjen er vist på Figur 2-8. Laboratorieforsøgene viser ligeledes at glødetabet i gytjen varierer fra ca. 12% til ca. 17% samt at tørdensiteten varierer mellem 1,1 Mg/m<sup>3</sup> og 1,3 Mg/m<sup>3</sup> (~11 – 13 kN/m<sup>3</sup>). Der ses ingen tydelig variation i vandindhold i forhold til dybden under havbunden eller i linjeføringens længderetning.



**Figur 2-8** Vandindhold i Vibrocore prøver i gytje, ref. [1]

For at vurdere materialeegenskaberne af de postglaciale marine aflejringer, gytje, anvendes beskrivelser og vejledninger angivet i *DGF Bulletin 16, Gytje*, ref. [5]. Det ses af Figur 2-9 at med et vandindhold på ca. 250% kan densiteten bestemmes til mellem 1,1 g/cm<sup>3</sup> og 1,2 g/cm<sup>3</sup> (~11 – 12 kN/m<sup>3</sup>).

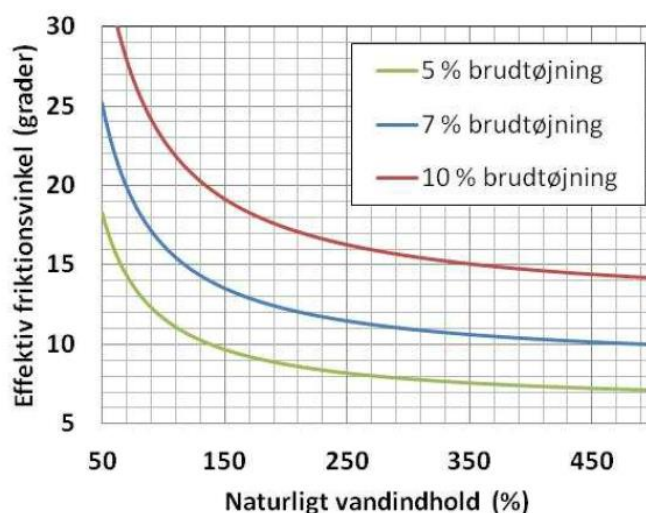


**Figur 2-9** Densitet af postglaciale aflejringer dannet i såvel ferskvand som marint miljø. Plot kopieret fra DGF Bulletin 16, ref. [5]

Hverken broløsninger eller tunnelløsninger kan funderes direkte på de slappe og bløde postglaciale marine sedimenter og derfor er styrke- og stivhedsparametre ikke umiddelbart relevante for forundersøgelsen til den faste forbindelse.

I forbindelse med udgravningen til sænketunnelløsninger kan det dog være relevant at vurdere hvor stejlt udgravningsskråningerne kan stå stabilt. Det vurderes, at udgravning i gytje kan stå stabilt når skråningerne er fladere end den effektive friktionsvinkel.

Den effektive friktionsvinkel vurderes på baggrund af beskrivelser og vejledninger angivet i *DGF Bulletin 16, Gytje*, ref. [5]. På Figur 2-10 vises skønnet effektiv friktionsvinkel for gytje (dog ved voksende spændingsniveau – altså modsat udgravning til sænketunnelen). På nuværende tidspunkt, hvor der reelt ikke findes præcise data, vurderes anbefalingerne i *DGF Bulletin 16, Gytje* dog stadigvæk som værende bedste estimat på den effektive friktionsvinkel i gytjen.



**Figur 2-10** Skønnet effektiv friktionsvinkel for anvendelse i tilfælde af voksende spændingsniveau. Bemærk at der aflastes ved udgravning til f.eks. sænketunnel. Plot kopieret fra DGF Bulletin 16, ref. [5]

Det vurderes lidt konservativt at den effektive friktionsvinkel i gytjen kan bestemmes til mellem 8° og 17° når vandindholdet varierer mellem 200% og 300%.

Antages det som beskrevet ovenfor, at udgravningsskråningerne kan stå stabilt når skrånningerne er fladere end den effektive friktionsvinkel betyder det at udgravningsskråningerne kan udgraves med skrånninger i størrelsesorden anlæg A=4 (14°) til A=5 (11°).

Med det meget høje vandindhold, lave effektive rumvægt mm og det faktum at udgravning til f.eks. sænketunnel udføres måneder og måske år før finudgravning og udlægning af gruspude og tunnelelementer vælges en konservativ udgravningsskråning på anlæg 5 (1:5, lodret: vandret).

I Tabel 2-2 er foreløbige styrke- og stivhedsparametre for gytjen angivet.

**Tabel 2-2 Foreløbige geotekniske materialeparametre for postglaciale marine aflejringer, gytje.**

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}$ [%]	Q [%]
1	Marine aflejringer / Gytje	Ma/Pg	12 / 2	-	20	15	0	-	45

## 2.2 Postglaciale brakvandssedimenter

Det ses af den geologiske model og de geologiske længdeprofiler, at der under gytjen træffes postglaciale (holocæne) brakvandssedimenter. Sedimenterne beskrives som organiskrige lerede sedimenter.

Som for gytjen, kan der ikke funderes direkte på disse sedimenter, og derfor skal det postglacial brakvandssediment bortgarves hvor broløsninger skal funderes direkte og hvor der skal placeres sænketunnel elementer. Der findes på nuværende tidspunkt ingen data til bestemmelse af materialeparametre for de postglaciale brakvandssedimenter og derfor antages det konservativt at materialeparametre og udgravningsskråninger i de postglaciale brakvandssedimenter er identiske med materialeparametre og udgravningsskråninger angivet for gytjen. Dog vurderes den effektive rumvægt at være højere i brakvandssedimenterne end i gytjen.

I Tabel 2-3 er foreløbige styrke- og stivhedsparametre for de postglaciale brakvandssedimenter angivet.

**Tabel 2-3 Foreløbige geotekniske materialeparametre for postglaciale brakvands sedimenter**

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}$ [%]	Q [%]
2	Postglacialt ler	Ma/Pg	18 / 8	-	20	15	0	-	45

### 2.3 Senglaciale aflejringer

Det ses af den geologiske model og de geologiske længdeprofiler at der under de postglaciale aflejringer træffes senglaciale smeltevandsler som flere steder underlejres af senglaciale smeltevandssand.

Der er på nuværende tidspunkt hverken udført felt- eller laboratorieforsøg i de senglaciale aflejringer. Ved vindmølleparken "Lillebælt Syd Nearshore Windfarm" er der truffet store mængder senglaciale aflejringer, primært sand og grus. I boring BH02 er der under ca. 2,5 m postglaciale sedimenter truffet ca. 15 m senglaciale smeltevandsler som underlejres af moræneler. I den geotekniske tolkningsrapport (*Interpretative Report*), ref.[3], er middelværdien af den udrænedede forskydningsstyrke i smeltevandsleret bestemt til mellem 80 kPa og 160 kPa. Da den senglaciale smeltevandsler er truffet lige under de meget svage og bløde postglaciale aflejringer vurderes det, at styrken og stivheden af smeltevandsleret er begrænset og derfor vælges den udrænedede forskydningsstyrke i den senglaciale smeltevandsler i Als-Fyn undersøgelsesområdet til 100 kPa.

Under den senglaciale ler træffes i størstedelen af undersøgelsesområdet senglaciale smeltevandssand. Som nævnt ovenfor er der ved vindmølleparken "Lillebælt Syd Nearshore Windfarm" truffet store mængder senglaciale sand. I den geotekniske tolkningsrapport (*Interpretative Report*), ref.[3], er middelværdien (Best estimate) bestemt til mellem 35° og 38°. Da der på nuværende tidspunkt ikke findes geotekniske data for den senglaciale smeltevandssand i undersøgelsesområdet for den fasteforbindelse mellem Als og Fyn vælges den karakteristiske effektive friktionsvinkel for smeltevandssandet til  $\phi'_{pl} = 35^\circ$ .

Det vurderes, at udgravning i de senglaciale aflejringer kan udføres med anlæg A=3.

**Tabel 2-4 Foreløbige geotekniske materialeparametre for senglaciale aflejringer**

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma/\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}^*$ [%]	$E_{oed}$ [Mpa]
3A	Smeltevandsler	Sm/Sg	20 / 10	-	100	30	10	1	15
3B	Smeltevandssand	Sm/Sg	19 / 9	35	-	-	-	-	30

\* Vurderer på baggrund af erfaringer

### 2.4 Glaciale aflejringer

Under de senglaciale aflejringer træffes glaciale aflejringer, primært moræneler. Ved vindmølleparken "Lillebælt Syd Nearshore Windfarm" er der truffet moræneler i flere borer. Den karakteristiske udrænedede forskydningsstyrke varierer mellem ca. 150 kPa og 700 kPa men det ses, at styrken øges med dybden.

Da der på nuværende tidspunkt ikke findes geotekniske data for moræneleret i undersøgelsesområdet for den faste forbindelse mellem Als og Fyn vælges den karakteristiske udrænedede forskydningsstyrke for moræneler til  $c_{u;k} = 250$  kPa over kote -60 m DVR90. Under kote -60 m DVR90 vælges den karakteristiske udrænedede forskydningsstyrke for moræneler til  $c_{u;k} = 500$  kPa.

Det vurderes, at udgravning i moræneaflejringer kan udføres med anlæg A=3.

**Tabel 2-5 Foreløbige geotekniske materialeparametre for moræneler**

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}^*$ [%]	$E_{oed}$ [Mpa]
4A	Moræneler (over -60 m DVR90)	Gl/Gc	21 / 11	-	250	32	20	1	75
4B	Moræneler (under -60 m DVR90)	Gl/Gc	21 / 11	-	500	32	20	1	150

\* Vurderer på baggrund af erfaringer

## 2.5 Lillebæltssler

Det ses af den geologiske model og de geologiske længdeprofiler, at der under moræneaflejringerne syd for Sdr. Stenrøn træffes palæogent ler som vurderes af være Lillebæltssler. Den palæogene Lillebæltssler ses som opragende skråtstillede blokke, der er flyttet af isen.

Lillebæltssleret er dannet i Eocæn perioden for 45 – 50 mio. år siden. Lillebæltssleret er højplastisk ler som normalt er stærkt forkonsolideret som følge af gentagende belastninger og aflastninger fra flere istider. Ved aflastning og frigravning af Lillebæltssler er der risiko for svelning, skred og at leret "falder fra sig selv" i flager. Ved øget belastning er der risiko for langvarige sætningsforløb, som det ses på den gamle Lillebæltssbro. Der er nuværende tidspunkt hverken udført felt- eller laboratorieforsøg i Lillebæltssleret.

Ved vindmølleparken "Lillebælt Syd Nearshore Windfarm" er der i boring BH4 og BH5 truffet ler med meget høj plasticitet og meget højt vandindhold. Leret beskrives som lamineret og af glacial oprindelse. Det vurderes i den geotekniske tolkningsrapport, ref. [3], at den fede og plastiske ler måske er palæogent Lillebæltssler og ikke glacialt ler.

Da der på nuværende tidspunkt ikke findes geotekniske data for den palæogene Lillebæltssler i undersøgelsesområdet for den faste forbindelse mellem Als og Fyn vælges de karakteristiske parametre på baggrund af tolkningerne af den *fede plastiske ler* beskrevet i tolkningsrapporten for "Lillebælt Syd Nearshore Windfarm", ref. [3].

**Tabel 2-6 Foreløbige geotekniske materialeparametre for Lillebæltssler**

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}^*$ [%]	$E_{oed}$ [Mpa]
5	Lillebæltssler	Ma/Eo	19 / 9	-	150	16	20**	1	25

\* Estimerer som øvrige kohæsive aflejringer i undersøgelsesområdet

\*\* Ved aflastning skal den effektive kohæsion  $c'$  sættes til nul.

### 3. Geologien på land

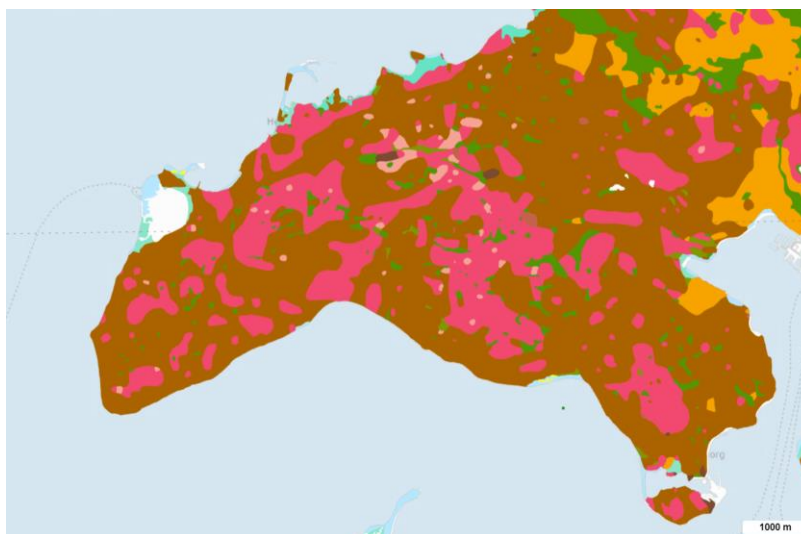
#### 3.1 Fyn

Jordbundsforholdene på land ved Horne Næs og på Horne Land er vurderet på baggrund af GEUS jordartskort, ref. [7], og eksisterende geotekniske undersøgelser fra GEUS Jupiterdatabase, ref. [6].

Det ses af Figur 3-1 at ved Horne Næs og på Horne Land træffes der overvejende intakte glacialt aflejringer, primært moræneler og glacialt smeltevandssand. Jordartskortet viser også mindre områder med postglaciale ferskvandsaflejringer, gytje og/eller tørv.

På baggrund af tilgængelige eksisterende geotekniske borer, som primært er grundvandsboringer udført i 1960'erne, vurderes det, at der under 5 m til 10 m moræneler træffes et lag af smeltevandssand som igen underlejres af moræneler. Det vurderes, at tykkelsen af smeltevandssandet er i størrelsesordenen 3 m til 5 m. Vandspejlet er i 1960'erne pejlet et par meter under terræn, svarende til mellem kote +18 og +20 m. Oprindelige pejlinger kan ikke anvendes til at vurdere designvandspejl for anlægsprojektet.

I Tabel 3-1 er estimerede styrke og stivhedsparametre for intakte aflejringer ved Horne Næs og på Horne Land angivet.



**Figur 3-1** Jordartskort for Horne Land og Horne Næs, Ref. [6]. Moræneler (brun), glacialt smeltevandssand (lyserød) og postglaciale ferskvandsaflejringer, dvs. gytje og tørv (grøn)

**Tabel 3-1** Estimerede geotekniske materialeparametre for primære jordarter på Horne Næs/Land

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke			Stivhed		
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	$\epsilon_{50}^*$ [%]	$E_{oed}$ [Mpa]
6A	Moræneler, Horne Næs/Land	Gl/Gc	21 / 11	-	150	31	15	-	35
6B	Smeltevandssand	Sm/Gc	19 / 9	37	-	-	-	-	40



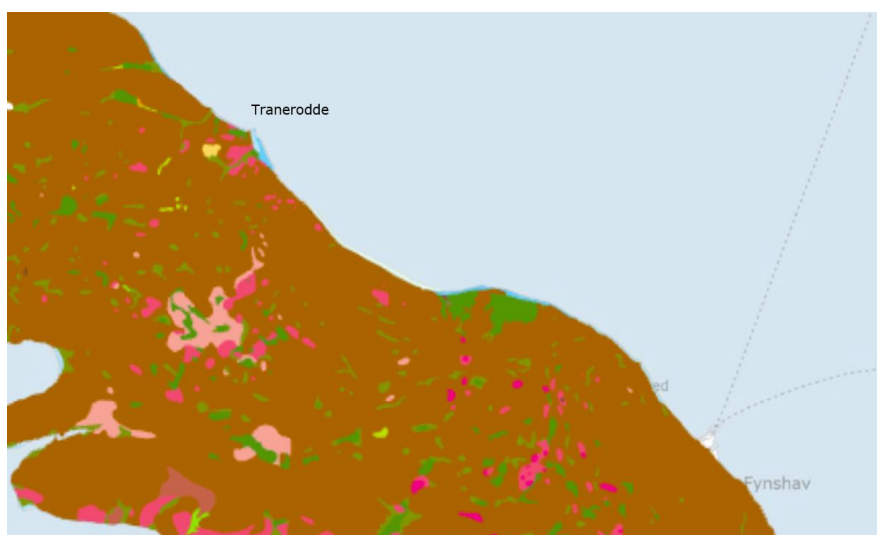
### 3.2 Als

Jordbundsforholdene på Als er vurderet på baggrund af GEUS Jordartskort, ref. [7], geotekniske undersøgelser for forureningsoprensning ved Himmarsk Stand, ref. [8], geotekniske undersøgelser for Resort Nordals, ref. [9], samt enkelte eksisterende geotekniske borer fra GEUS Jupiterdatabase, ref. [6].

Det ses af Jordartskortet på Figur 3-2 at der ved både Fynshav og Tranerødde primært træffes intakte glaciale aflejringer. Ved Fynshav viser de geologiske forhold næsten udelukkende moræneler mens forholdene ved Tranerødde er mere varierende.

På baggrund af tilgængelige undersøgelser ses det, at jordbundsforholdene består af vekslende lag af moræneler, smeltevandsler og glacialt smeltevandssand. Jordskortet og borerne viser også, at der træffes mindre områder med postglaciale aflejringer, gytje og tørv, specielt længere ind i landet. Vandindholdet i gytjen og tørv ligger generelt mellem 50% og 100%, dog med enkelt prøver hvor vandindholdet er over 300%.

I Tabel 3-2 er estimerede styrke og stivhedsparametre for intakte aflejringer ved Fynshav angivet.



**Figur 3-2** Jordartskort for Als, Ref. [6]  
Moræneler (brun), glacialt smeltevandssand (lyserød) og postglaciale ferskvandsaflejringer, dvs. gytje og tørv (grøn)

**Tabel 3-2** Estimerede geotekniske materialeparametre for primære jordarter på Als

Id.	Jordart	Miljø/ alder [-]	Rumvægt $\gamma / \gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	Styrke				Stivhed	
				$\phi'_{pl}$ [°]	$c_u$ [kPa]	$\phi'_{tr}$ [°]	$c'$ [kPa]	Q [%]	$E_{oed}$ [Mpa]
7A	Moræneler, Als	Gl/Gc	21 / 11	-	200	31	20	-	40
7B	Smeltevandssand	Sm/Gc	19 / 9	37	-	-	-	-	40
7C	Gytje	Ma/Pg	15 / 5		50	25	0	30	-

## 4. Referencer

I denne vurderingsrapport er følgende referencer anvendt:

- [1] Energinet.dk. Jylland-Fyn Cable Routes. Geophysical and Geotechnical investigations. GEO, 14. November 2014.
- [2] Sønderborg Forsyning. Lillebælt Syd Nearshore Windfarm. Geotechnical Survey. Task B – Factual Report. GEO, 31. Maj 2018
- [3] Sønderborg Forsyning. Lillebælt Syd Nearshore Windfarm. Geotechnical Survey. Task C – Interpretative Report. GEO, 13. August Maj 2018.
- [4] Als-Fyn Forbindelsen. Geofysiske forundersøgelser. Geologisk model til brug for miljø- og anlægstekniske analyser. Danmarks og Grønlands Geologiske undersøgelser, GEUS. Rapport 2023/26.
- [5] DGF Bulletin 16, Gytje (foreløbig version)  
Frederiksen, J.K, Okkels, N., Foged, N. & Rasmussen, J.L.  
*(DGF Bulletin 16 bliver ikke færdiggjort og ikke udsendt. Kapitel om Gytje er udarbejdet og anvendes)*
- [6] Danmarks og Grønlands Geologiske undersøgelser, GEUS. Jupiter database  
<https://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter>.
- [7] Danmarks og Grønlands Geologiske undersøgelser, GEUS. Jordartskort.  
[https://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=denmark#baslay=baseMapDa&op=lay=&extent=-332067.3832876085,5788424.893232739,1447067.3832876086,6661575.106767261&layers=jordartskort\\_200000](https://data.geus.dk/geusmap/?lang=da&mapname=denmark#baslay=baseMapDa&op=lay=&extent=-332067.3832876085,5788424.893232739,1447067.3832876086,6661575.106767261&layers=jordartskort_200000)
- [8] Geoteknisk undersøgelse. [Himmark strand](#).  
[HISO-R01-Geoteknisk datarapport. Rambøll 28. september 2022.](#)  
[HISO-R03-Geotekniske datarapport. Sweco 11. november 2022.](#)
- [9] [Nordals Ferieresort. Geotekniske undersøgelse. Rambøll](#)