

En geologisk undersøgelse mellem Vrads og Hjøllund, Midtjylland

Jordartskortlægning og geomorfologi

Claus Ditlefsen, Mette Hilleke Mortensen &
Søren Munch Kristiansen

En geologisk undersøgelse mellem Vrads og Hjøllund, Midtjylland

Jordartskortlægning og geomorfologi

Claus Ditlefsen, Mette Hilleke Mortensen &
Søren Munch Kristiansen

Indholdsfortegnelse

Indledning	4
Området	4
Periode.....	5
Deltagere	5
Metodik	5
Geologisk ramme	7
Aflejringerne på jordartskortet	11
Glaciale aflejringer	11
Senglaciale aflejringer.....	11
Postglaciale aflejringer	12
Lokalitetsbeskrivelser	14
Grusgravene ved Asklev	14
Grusgrav ved GODRUM	19
Grusgrav ved Store Bredlund.....	21
Flyvesand og jordbundsprofil øst for Hjøllund	24
Morfologi og landskabsdannelse	28
De ældre morænelandskaber	29
Smeltevandssletterne.....	29
De yngre morænelandskaber.....	33
Landskaberne i tunneldalene	36
De postglaciale landskabselementer.....	42
Sammenfatning	44
Referencer	47
Bilag 1: Jordartskort	50
Bilag 2: Morfologisk kort	52
Bilag 3: Prækvartær-fladen og de begravede dale	54
Bilag 4: OSL dateringer	56



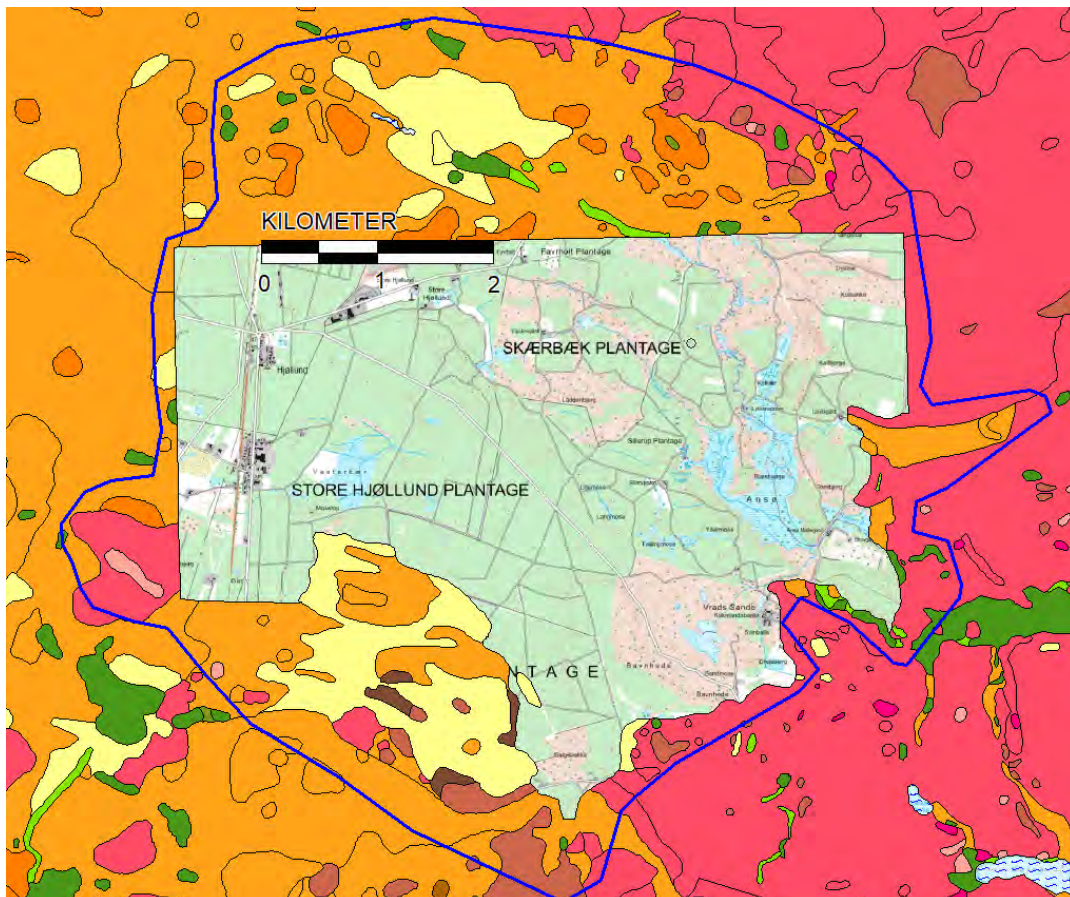
Udsigt over Vrads Sande set mod nord.

Indledning

Nærværende rapport beskriver den geologiske jordartskortlægning 2020-21 i nedenstående område mellem Vrads og Hjøllund (figur 1), som er del af kortblad 1214 IV SØ. Ud over beskrivelse af det udførte arbejde og undersøgte lokaliteter refereres til tidligere undersøgelser af geologien i området og ud fra de samlede oplysninger tolkes landskabets dannelse.

Området omfatter store dele af St. Hjøllund Plantage og Skærbæk Plantage. Begge steder har man imødekomme hjulpet med adgang til arealerne. Desuden har St. Hjøllund Plantage venligt sponsoreret dateringer af flyvesand fra området og stillet rende-graver til rådighed.

Området



Figur 1. Kortlagt område (her vist uden jordartssignaturer). Blå rand angiver zone, hvor der er foretaget tilpasning til den tidligere kortlægning. Opdateret jordartskort og legende fremgår af bilag 1.

Det kortlagte areal har en størrelse på 21,5 km². For at få kortlægningen til at passe med jordarterne på de omgivende arealer har det stedvist indenfor en randzone været nødvendigt at revurdere den eksisterende kortlægning. Det gjaldt især områder med flyvesand (lysegul signatur) nord og syd for det kortlagte område, se figur 1. Her er foretaget supplerende kortlægning og revurdering med støtte fra digital terrænmodel.

Periode

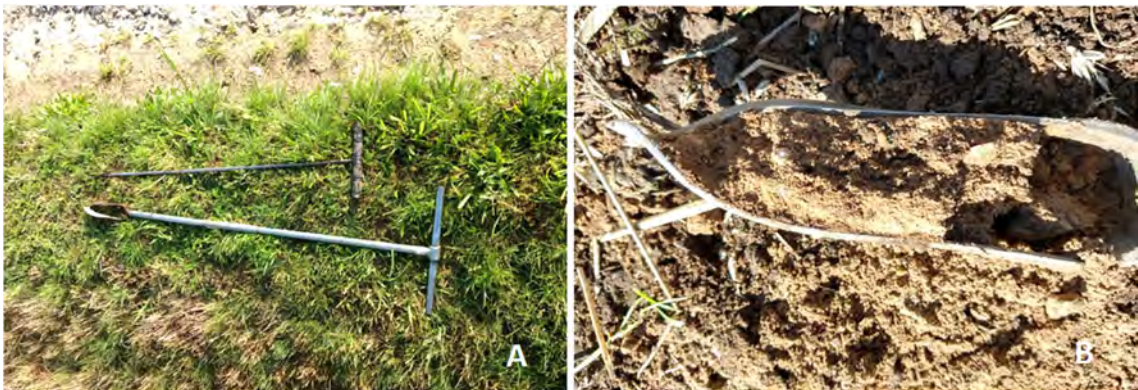
Feltarbejdet er udført i perioden april 2020 til april 2021 med pauser i perioder, hvor der ikke var adgang til plantagerne.

Deltagere

Kortlægningen er primært udført af Claus Ditlefsen med assistance fra Mette Hilleke Mortensen og Esben Skovhus Ditlefsen. Henrik Jønsson Granat (GEUS) og Søren Munch Kristiansen, Aarhus Universitet (AU) har deltaget i profilopmåling og tolkning. Jordartskortet er kvalitetssikret af Peter Roll Jakobsen og Karen Lyng Anthonsen og nærværende rapport af Peter Sandersen og Henrik Jønsson Granat.

Metodik

Fremgangsmåde ved GEUS jordartskartering og fremstilling af jordartskort er bl.a. beskrevet af Jakobsen, Tougaard og Anthonsen (2021) og Gravesen et al. (2006). Prøverne udtages ved stik til 1 m med standard jordspyd (figur 2A). Afstanden mellem punkterne er mellem 150 og 200 m afhængig af terrænet og den geologiske variation. Normalt indsamles data ved jordartskortlægning analogt, hvor de observerede datapunkter og de tolkede områdegrenser tegnes i felten på et stykke 4 cm kort og efterfølgende rentegnes analogt på et fælleskort. Ved denne fremgangsmåde er præcisionen på datapunkternes placering begrænset af, hvor nøjagtigt man kan lokalisere sig visuelt på det analoge kort. Desuden resterer et stort arbejde med at digitalisere kortene, når feltarbejdet er overstået.

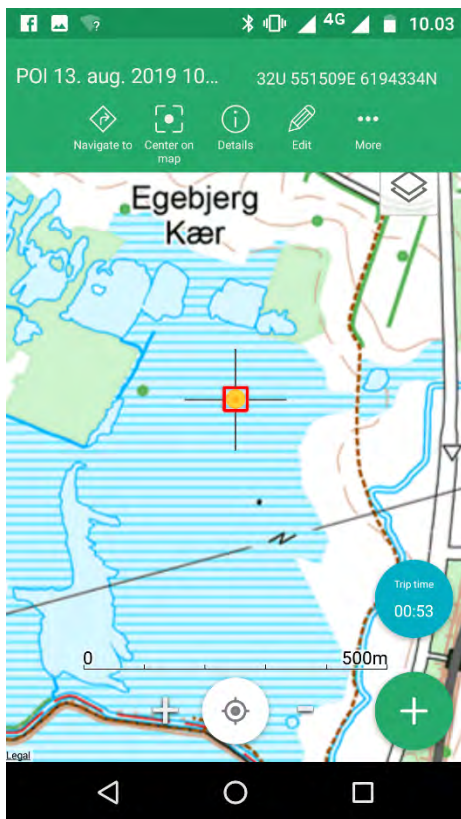


Figur 2. A: Jordspyd og håndbor benyttet ved kortlægningen. Hvor prøver fra spyd var vanskelige at fortolke blev der benyttet et håndbor for at forbedre prøve kvaliteten. B: Prøve af morænesand udtaget med håndbor.

Digital kortlægning

For at øge punktpræcisionen og gøre kortlægningen digital fra start til slut er der i nærværende kortlægning registreret datapunkter og relevante områdegrenser på en smartphone i felten (Ditlefsen, 2021). Datapunkter og indtegnede afgrænsninger registreres i felten og eksporteres til et lokalt GIS på PC ved arbejdsdagens slutning. Her indtegnes de endelige afgrænsninger med støtte fra relevante hjælpe-temaer som højdekurver, luftfoto af forskellige aldre, gamle målebordsblade m.fl. Denne fremgangsmåde medfører at jordartskortet ved

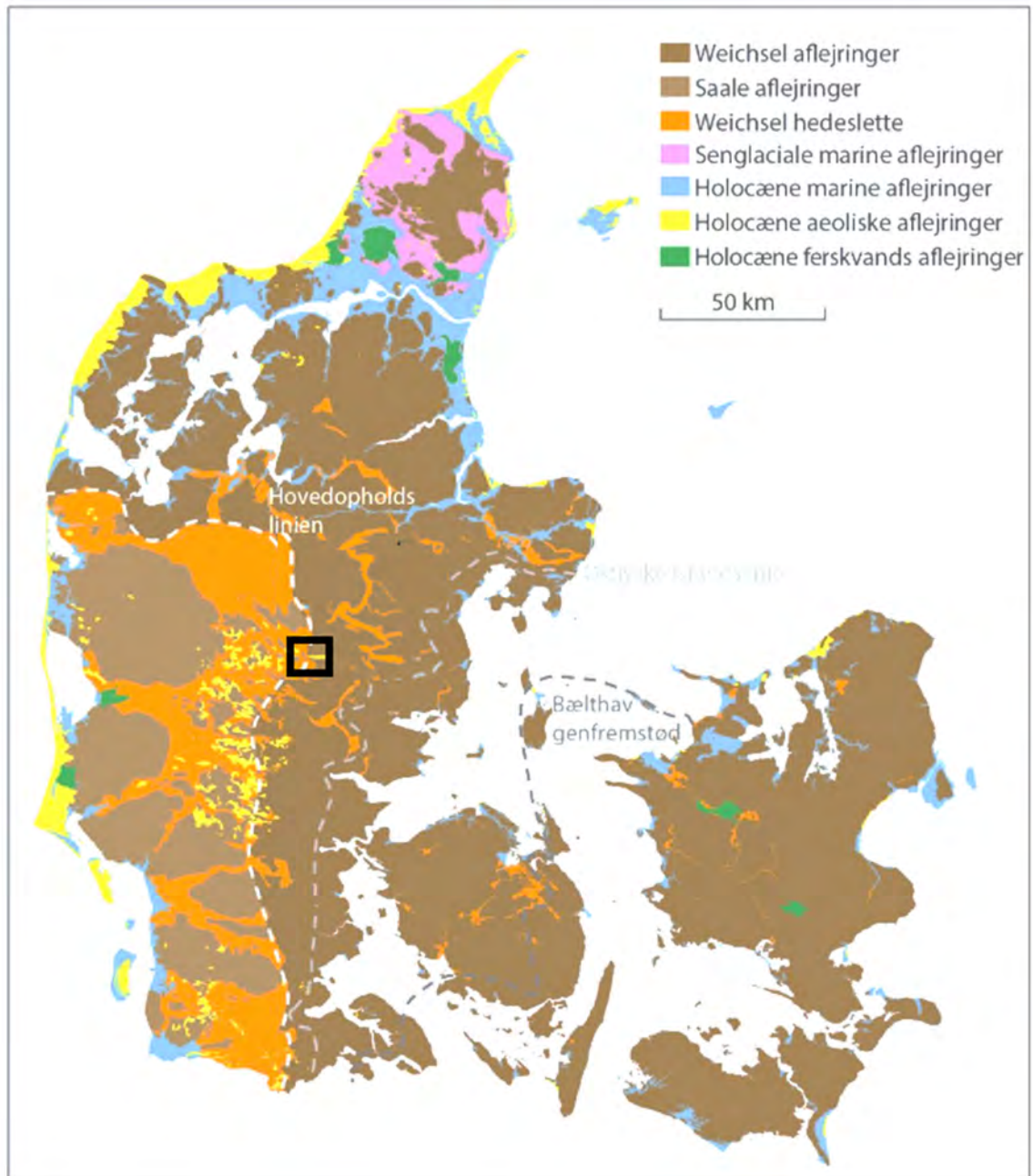
feltarbejdet afslutning er digitaliseret og klar til kvalitetssikring. Desuden gemmes de enkelte stik som digitale punkter med en anslået GPS-præcision på 1-2 m, se figur 3.



Figur 3. Eksempel på lokalisering af prøvesteder med GPS og App. Eksemplet er fra tidligere kortlægning af udbredte engarealer (ved Horsens), hvor visuel stedfæstelse var vanskelig. Her blev opnået en mere sikker lokalisering af prøvestederne og dermed en bedre afgrænsning af jordarterne ved den digitale fremgangsmåde.

Geologisk ramme

Det kortlagte område ligger ved Hovedopholdslinjen i Midtjylland (Ussing 1903 og 1907), som angiver den overordnede udbredelse af det regionale isdække, der sent i sidste istid (Weichsel) for ca. 23.000-21.000 år siden skød frem fra NØ (Houmark-Nielsen og Kjær, 2003). Linjen kan følges fra Bovbjerg på vestkysten i østlig retning til Viborg og herfra mod syd til grænsen, se figur 4.

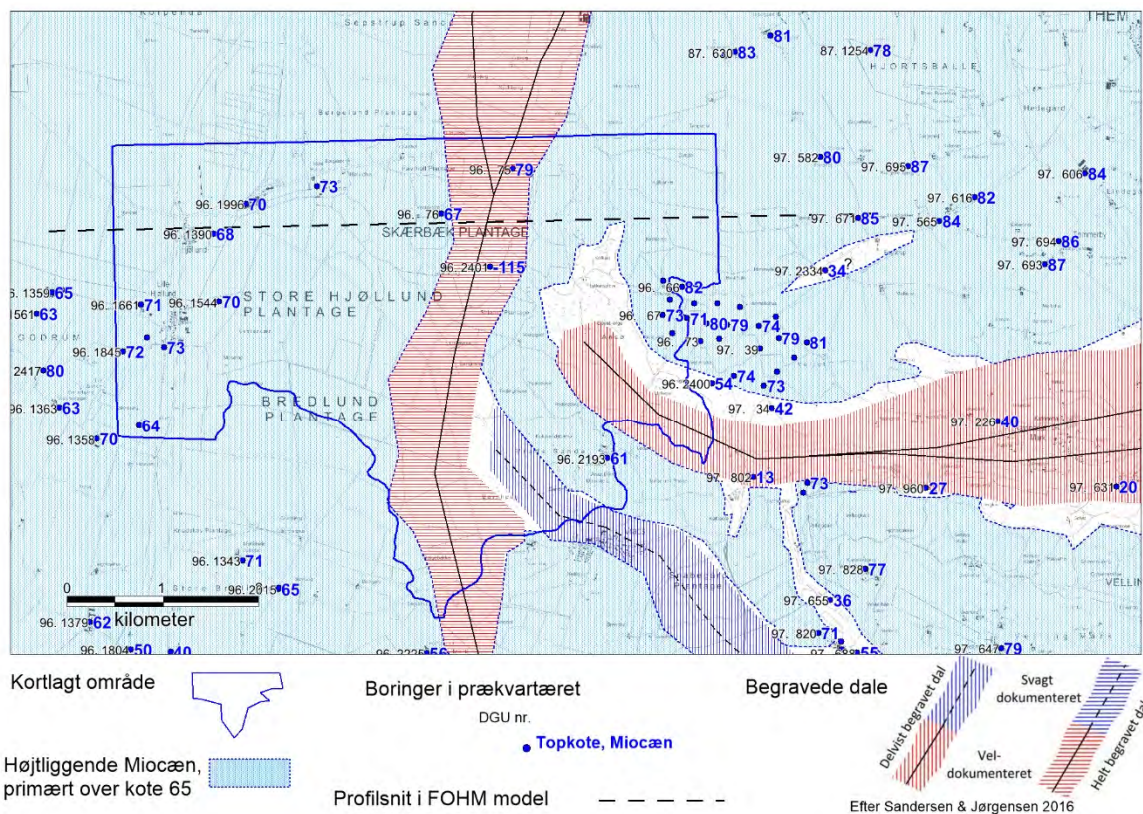


Figur 4. Geologisk oversigtskort, hvor det kortlagte område er markeret med en sort firkant.

Prækvaltæret

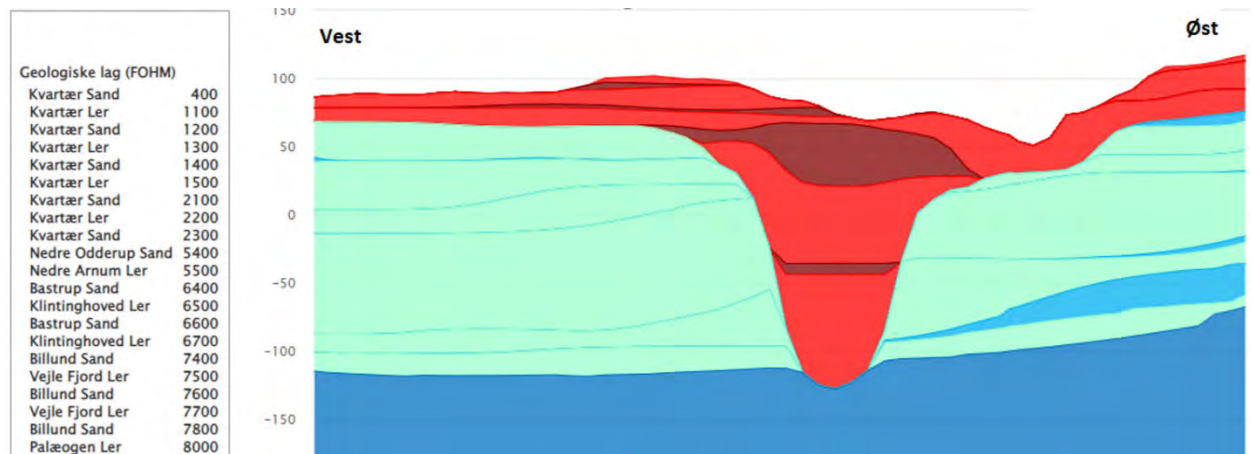
Miocæne aflejringer kendes fra profiler i Saltendalens sider øst for det kortlagte område, (Hartz 1909 og Rasmussen et al. 2006) og i en række boreriger indenfor og nær området. Geofysisk kortlægning indikerer, at der under Miocænet findes fedt palæogent ler fra omkring kote -120 m (Sandersen og Jørgensen, 2016).

Toppen af de miocæne aflejringer træffes generelt højt (over kote 65 -DVR90) i store dele af området, se figur 5 og for detaljer bilag 3.



Figur 5. Toppen af prækvartæret med skitseret forløb af begravede dale i området. Kortet bygger på Sandersen og Jørgensen (2016) og boredata (GEUS). Profilsnit fra FOHM-model ses figur 6.

Den miocæne lagfølge er i den fælles offentlige, hydrostratigrafiske model FOHM (Miljøstyrelsen 2020) opdelt i lithostratigrafiske formationer opstillet af Rasmussen (2017). Lagfølgen består ifølge modellen overvejende sandede aflejringer af hhv. Billund og Bastrup Sand, hvorimellem der træffes tyndere lag af marint ler. Øverst findes tynde lag af (nedre) Odderup Sand og Arnum Ler, se figur 6.



Figur 6. Geologisk snit gennem FOHM-modellen i det kortlagte område (Miljøstyrelsen, 2020). Placering fremgår af figur 5.

Kvartæret

På baggrund af boringer og geofysiske SkyTEM-data er der i området kortlagt tre helt eller delvist begravede dale, se figur 5. Dalene (AAR28) antages at være dannet som tunneldale ved smeltevandserosion under isen, (Sandersen og Jørgensen 2016). De geofysiske data indikerer, at erosionen mange steder er foregået til stor dybde (>100 m under terræn).

Den østligste begravede dal er stort set sammenfaldende med Saltendalen. Dalbunden ses her omkring kote -100. Dalen er primært fyldt med lag, der har elektriske modstande på 60-80 ohmm fra dalbunden op til omkring kote -40 m. Herover ses en bredere dalstruktur med lavere modstande (30-40 ohmm). Bredden svarer til den nuværende topografiske dal, og kan følges helt op til terræn. Lavmodstands-lagene tolkes som leret dalfyldt af moræneler og derunder smeltevandsler, Sandersen og Jørgensen (2016).

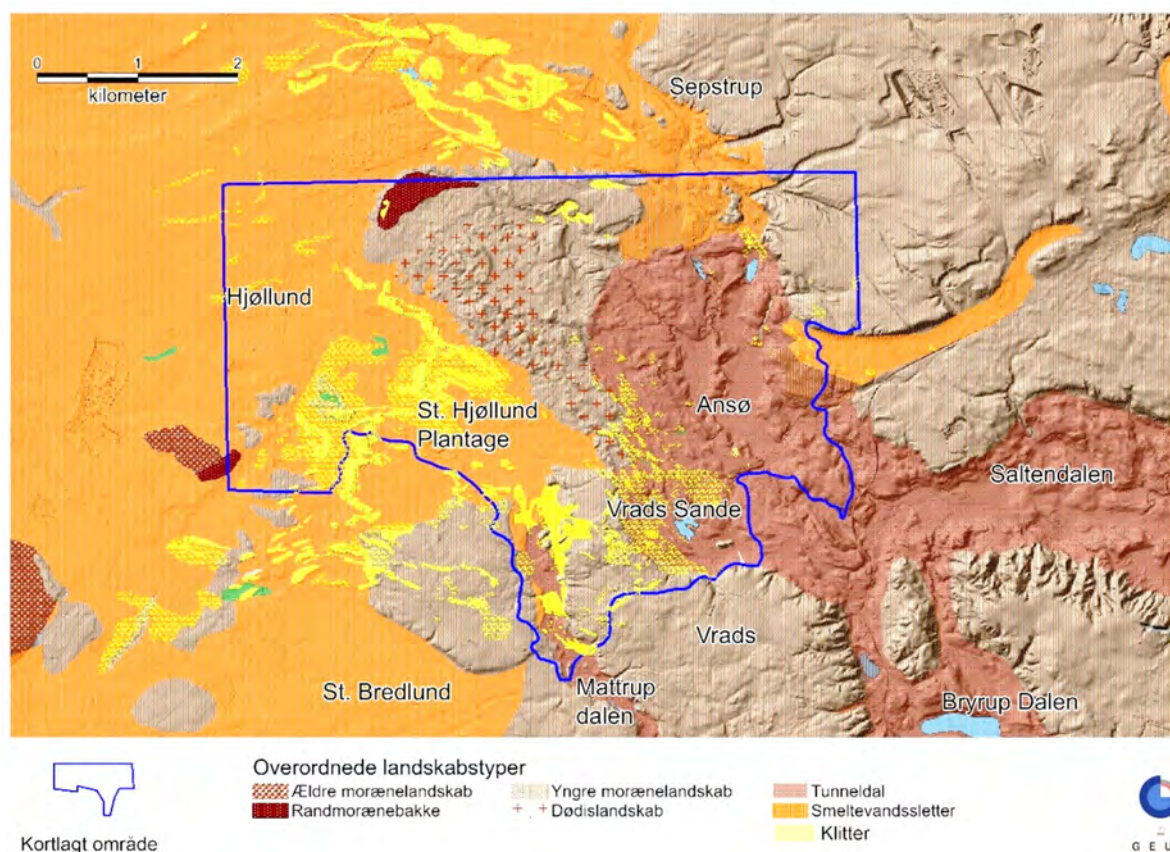
Ved Vrads ses mulige tegn på en anden delvist begravet dal med et sydøst-nordvestligt forløb, se figur 5. Denne dal er mindre tydelig, da det øjensynlig kun er den allernederste del af dalen, der tegner sig i de geofysiske data ved kontrast til omgivelserne.

Mod vest er der kortlagt en helt begravet N-S gående dal, som kan følges fra umiddelbart syd for det kortlagte område til Sepstrup nord for området, se figur 5. Dalen ses i de geofysiske data som lag med lav modstand mellem kote +20 og +60 m og herunder med meget høje modstande. Lavmodstands-laget er i boringerne DGU nr. 96.2128 og 96.2401 beskrevet som organiskholdigt smeltevandsler. Under lerlaget træffes tykke lag af smeltevandssand i begge boringer, svarende til de høje modstande. Bunden af dalen er truffet i kote -115 m i boring DGU nr. 96.2401, hvor der ses en overgang til miocænt glimmerler. Dalen ligger i umiddelbar, nordlig forlængelse af Mattrup tunneldalen, og kan tolkes som en begravet forlængelse af denne tunneldal. (Sandersen og Jørgensen 2016). Derved er der formodentlig tale om en ældre dalstruktur, der har været aktiv før isfremstødet til Hovedopholdslinjen.

Ældre kvartære sedimente fra før isfremstødet til Hovedopholdslinjen findes blotet i to grusgrave ved Asklev 1,5 km nordøst for det kortlagte område, Bender (1979) og Kronborg et al. (1990). Se nedenstående lokalitetsbeskrivelse for stratigrafi og datering inklusive nye observationer.

Ved slutningen af sidste istid (Weichsel) rykkede et isdække fra nordøst frem til Hovedopholdslinjen i Midtjylland, (e.g. Houmark-Nielsen 2021). Afstrømningen af smeltevand herfra førte til dannelsen af smeltevandssletterne, der omslutter de såkaldte glaciale bakkeøer i det dengang isfrie Midt- og Vestjylland. Bag israndslinjen opstod et varieret morænelandskab, gennemskåret af glaciale tunneldale, der under isen førte smeltevand mod isranden. I det kortlagte område munder to tunneldale ud ved Hovedopholdslinjen. Øst for Vrads mødes Salten Dalen fra øst med Bryrup Dalen fra sydøst og fortsætter samlet mod nordvest via Ansø lavningen til munding syd for Sepstrup i nord. Mod sydvest munder Mattrup Dalen ud i smeltevandssletten ved St. Hjøllund Plantage, se figur 7.

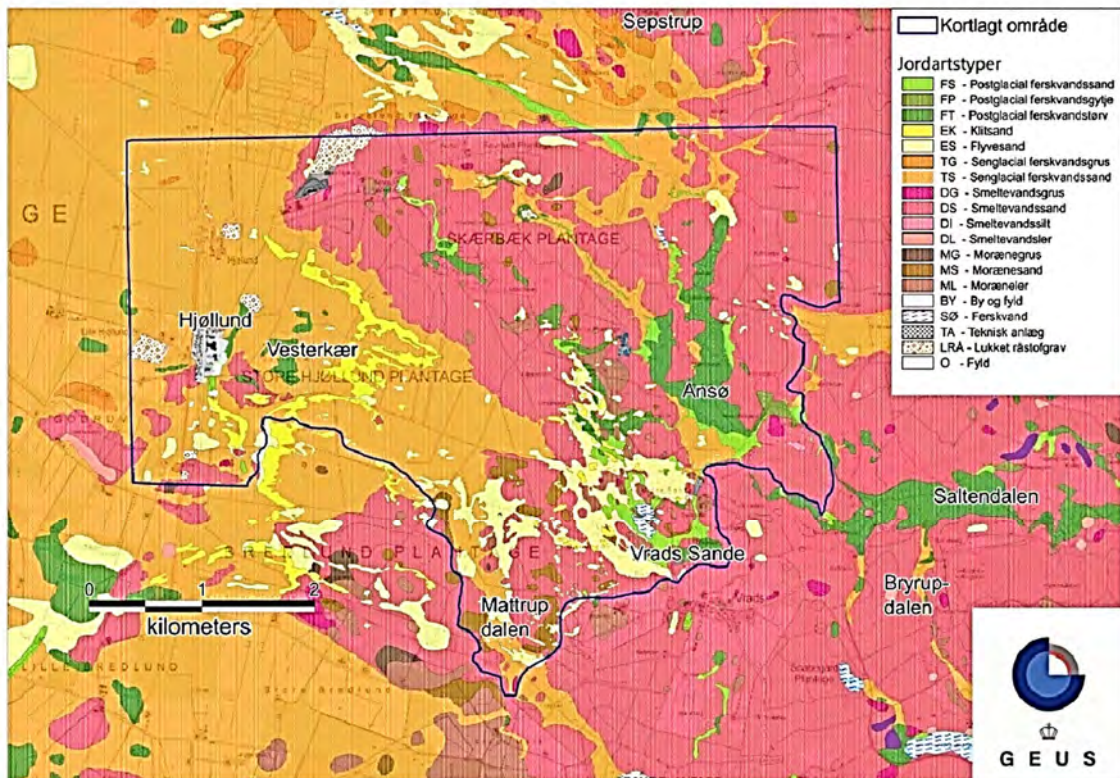
Langs isranden opstod stedvis randmorænebakker skubbet op af gletsjerisen. Under isens afsmeltning førte de nu åbne dale smeltevandet bort først i vestlig retning og senere tilbage mod øst (Harder 1908), (Hansen 1975). Efter at isen have forladt området var landet blotlagt for vinderosion og sandflugt, der efter alt at dømme foregik i flere adskilte perioder. De landskabelige hovedtræk i det kortlagte område fremgår af figur 7.



Figur 7: De landskabelige hovedtræk delvist efter Smed (1981) og Jakobsen (2022).

Aflejringerne på jordartskortet

Nedenstående beskrives jordarterne, der er kortlagt i nærværende undersøgelse. Alle jordarterne, der er registreret ved kortlægningen, er af kvartær oprindelse. Det drejer sig om glaciale, sen-glaciale og postglaciale aflejringer. Aflejringsstypernes lithologi og dannelse findes nærmere beskrevet i Jakobsen, Tougaard og Anthonen (2021).



Figur 8: Opdateret jordartskort. Se bilag 1 for detaljer.

Glaciale aflejringer

Glaciale aflejringer træffes i de glaciale landskaber mod øst samt på mindre, glaciale øer på smeltevandssletterne langs området's vestlige rand. De domineres af diluvialt smeltevandssand og grus. Desuden findes der aflejringer af moræneler og morænesand i en række mindre områder, se figur 8 og bilag 1.

Senglaciale aflejringer

De sen-glaciale sedimenter består overvejende af uforstyrrede smeltevandssedimenter af sand og grus (figur 9). De træffes på smeltevandssletterne mod vest og som terrasser og dalfyld i tunneldalene øst for hovedopholdslinjen, se afsnittet om morfologi og landskabsdannelse.



Figur 9: Senglacialt smeltevandssand og -grus fra gravene ved Hovedopholdslinjen, se lokalitetsbeskrivelser for nærmere lokalisering.

Postglaciale aflejringer

De postglaciale sedimenter udgøres dels af ferskvandsaflejringer dels æoliske aflejringer.

Ferskvandsaflejringer

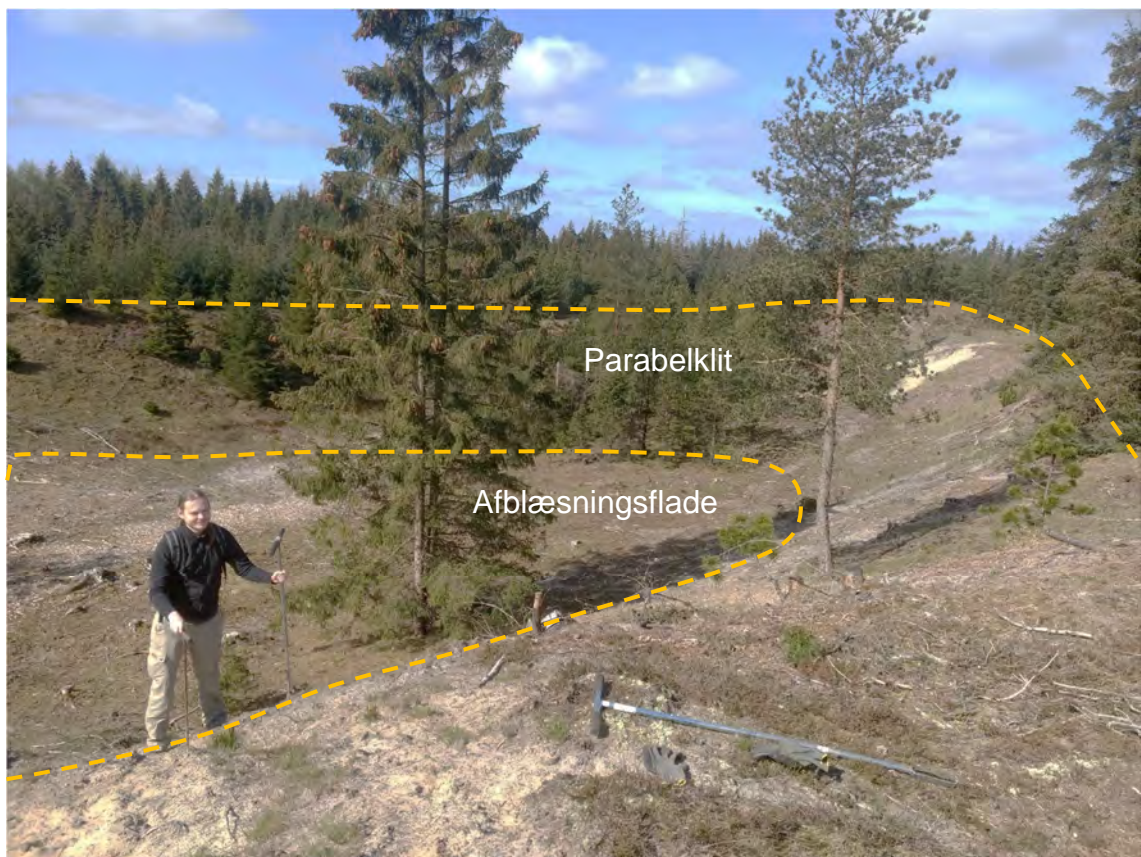
De postglaciale ferskvandsaflejringer findes i form af ferskvandstørv (FT), ferskvandsgytje (FP) og ferskvandssand (FS). De er primært aflejret i de lavere dele af ådalene. Det er især tilfældet i dalbunden omkring Ansø og i de lavereliggende dele af Vrads Sande. Desuden

findes postglaciale aflejringer i lavninger som Vesterkær på smeltevandssletten omkring Hjøllund, se figur 8.

Flyvesand og klitter

Flyvesand forekommer i sandflader (ES) og klitter (EK), der hæver sig over omgivelserne. Større flader af flyvesand findes især ved Vrads Sande og i den nordligste del af Matstrup dalen, figur 8. Desuden findes mange steder et tyndt dække (< 1 m) af flyvesand på smeltevandssletterne mod vest.

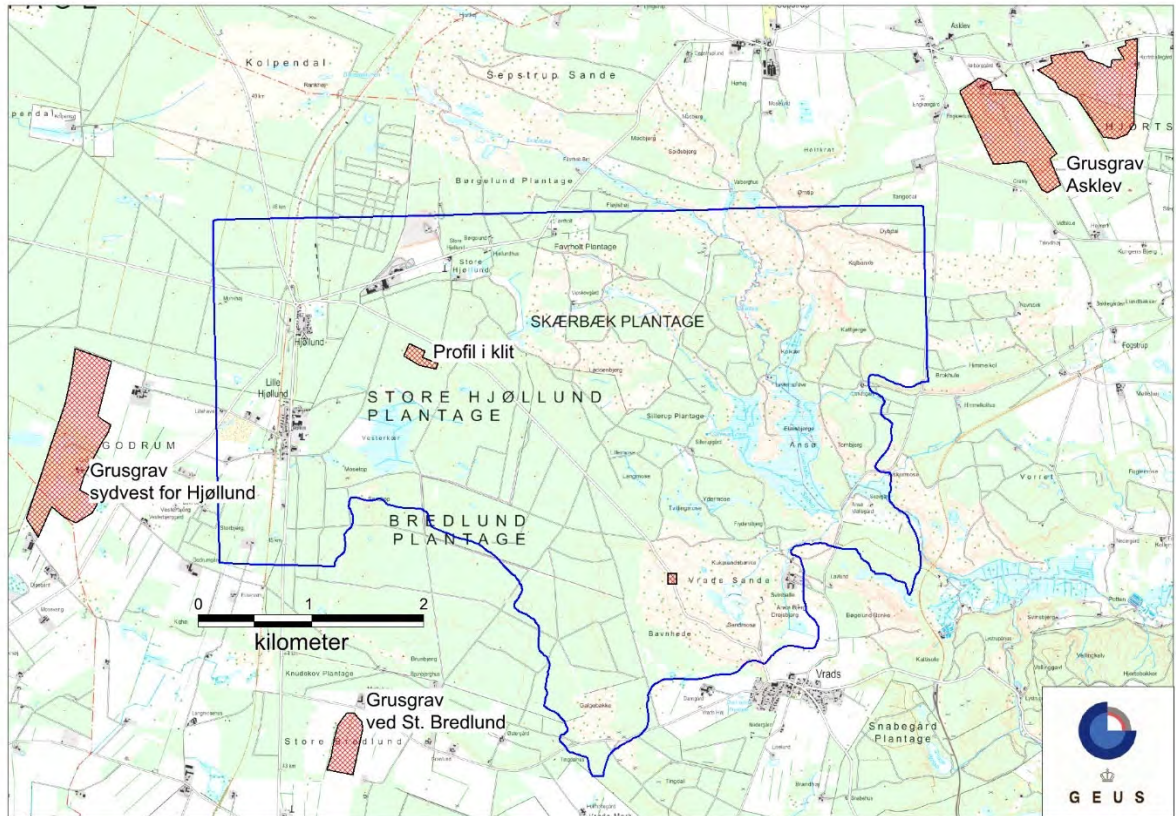
Større partier med parabel-formede og lineære klitter (Clemmensen 1997) findes på smeltevandssletten i St. Hjøllund Plantage, se figur 10 og afsnittet om de postglaciale landskabselementer.



Figur 10. Parabelklit med indre aflæsningsflade, St. Hjøllund Plantage. På aflæsningsfladen træffes hedsletteaflejringer af smeltevandssand og grus.

Lokalitetsbeskrivelser

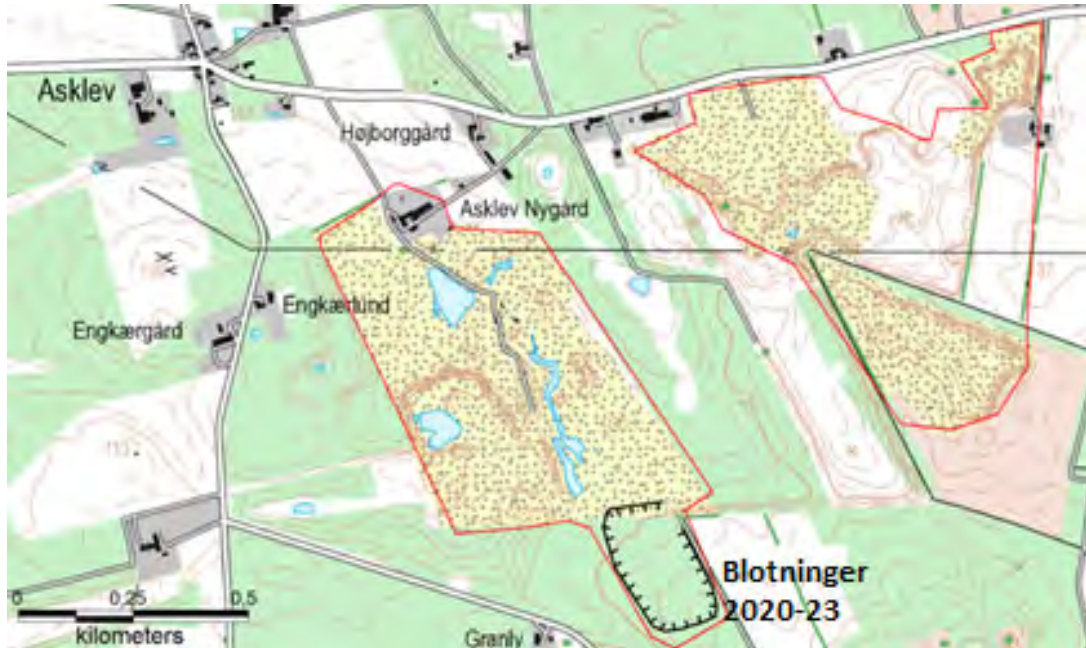
Indenfor det kortlagte område er der kun registreret få geologiske blotninger. I nærheden findes dog større råstofgrave, der sammen med de få interne lokaliteter beskrives nedenfor. Lokaliteterne, der er beskrevet i dette afsnit, fremgår af kortet figur 11.



Figur 11: Beliggenhed af de beskrevne lokaliteter.

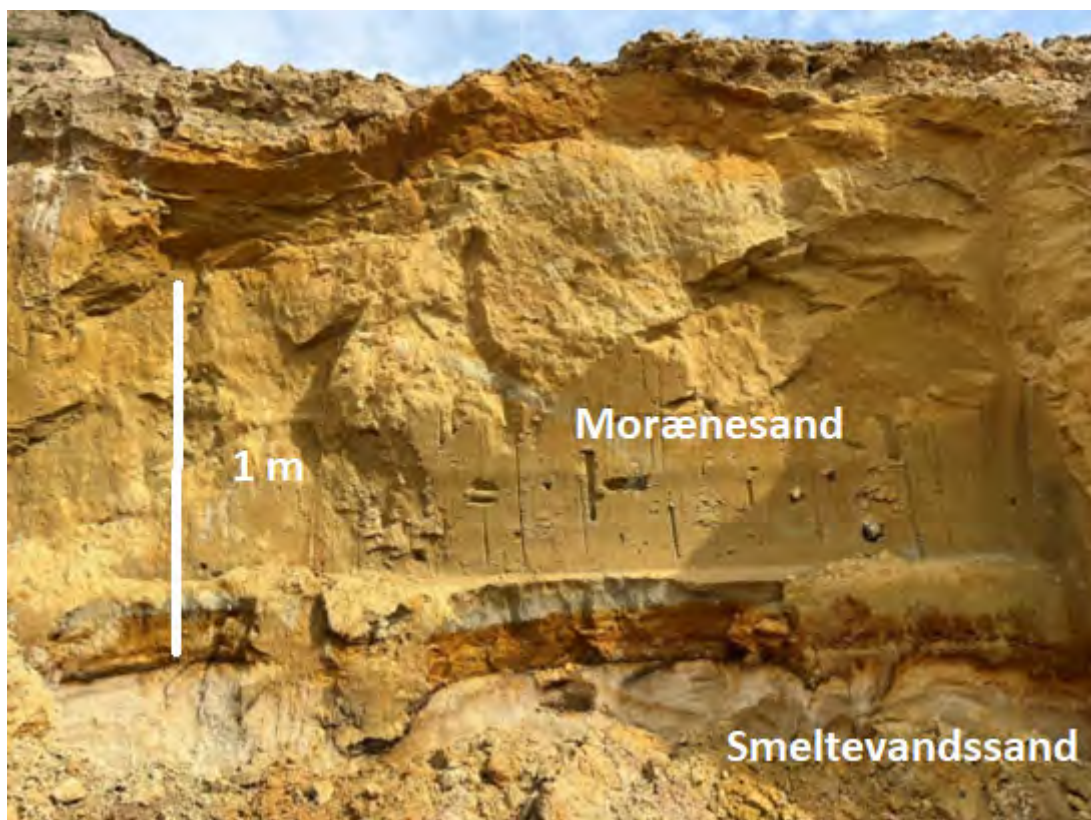
Grusgravene ved Asklev

Godt 1 km nordøst for det kortlagte område i det højtliggende glaciale landskab ved Asklev (omkring 120 m o. h.) findes en serie ældre kvartære sedimenter blotlagt i to grusgrave (figur 11). Gravene er sammen med en nærliggende boring oprindeligt undersøgt af Bender (1979) og yderligere beskrevet af Kronborg (1983a). I forbindelse med nærværende kortlægning er der primært fundet i blotninger i den sydlige del af graveområdet, (figur 12), hvor profilerne p.t. er mere end 30 m høje, se figur 14.



Figur 12: Kort over grusgravene ved Asklev.

Lagfølgen i Asklev består af en række primært glaciale sedimentenheder. Dybest ses stedvis lyst, sorteret smeltevandsand overlejret af en nedre enhed af svagt lagdelt morænesand med rustudfældninger (figur 13).



Figur 13: Nederste sedimentenheder i Asklev. Lyst smeltevandssand overlejret af morænesand.

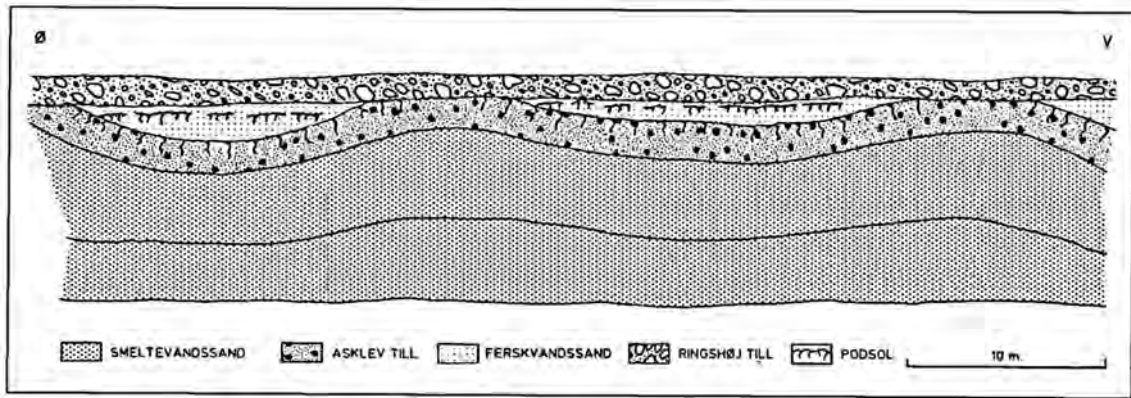
Herover findes to relativt mægtige serier af smeltevandssand og -grus, hvorimellem der stedvis ses en tynd morænebænk. I den nedre serie (figur 14) ses trugformede krydslejringer, hvis orientering indikerer smeltevandsstrømning mod nordvest (Kronborg 83a). I toppen af den nedre serie ses stedvis overkippede folder, der tyder på at glacial deformation formodentlig sket i forbindelse med aflejringen af den overliggende morænebænk.



Figur 14: Sydlige graveprofil Asklev, med angivelse af sedimentenheder og strukturer.

Den øvre serie er overvejende planlejet og indledes med op til 0,5 m grus, efterfulgt af veksellende lag af krydslejet og horisontalt afsat sand og grus. Krydslejringerne orientering antyder, at de er afsat under afstrømning mod sydøst (Kronborg 1983a).

Over den to serier af smeltevandssand og grus træffes nær toppen af graven en svagt bølgende bænk af morænesand, i hvis top der tidligere er observeret kraftigt udviklet podsolfjord, se skitsen, figur 15. En fabric-analyse af de aflange stens orientering i morænebænken antyder, at den er afsat som en bundmoræne under et isfremstød fra øst-nordøst. Den er endvidere karakteriseret ved et vist indhold af flintkonglomerater i stenstørrelse (Bender 1979).



Figur 15: Profil i Asklev Grusgrav efter Kronborg al. 1990.

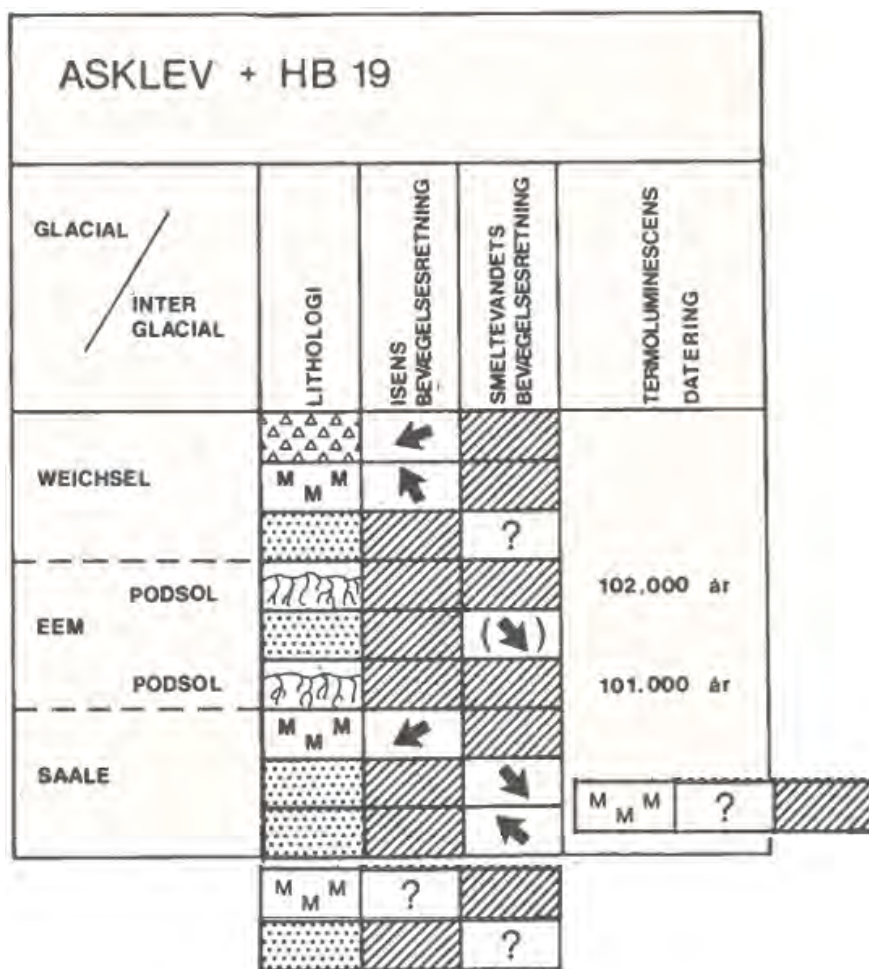
Morænen overlejres i lavninger af et tyndt lag tolket som ferskvandssand med en intern svagt udviklet podsolhorisont (figur 15).

En nærmere undersøgelse af den nedre jordbund, (der p.t. ikke er tilgængelig) viste tegn på meget fremskreden podsolering, der antages af være sket i en varmeperiode af længere varighed, sandsynligvis en interglacial periode (Kristiansen et al. 2009). De to podsol jordbunde er foreløbigt dateret ved hjælp af termoluminescens (Kronborg, 1983b), hvilket gav aldre omkring 100.000 år før nu. Jordbundene kan derved henføres til Eem mellemistid og måske en tidlig stadial i Weichsel.

Øverst ses en dækkende bænk af morænesand. Fabricmålinger i det øvre morænesand indikerer, at det er afsat under isbevægelse fra sydøst (Bender, 1979).

I en boring (HB19) øst for Asklev finder Bender (1979) en øvre bænk af moræneler beliggende over en serie med to bænke af morænesand svarende til dem, der er fundet i Asklev. Fabricmålinger i det øvre moræneler indikerer isbevægelse fra nordøst, og moræneleret regnes for afsat af det isdække, der nåede Hovedopholdslinjen i slutningen af Weichsel istiden.

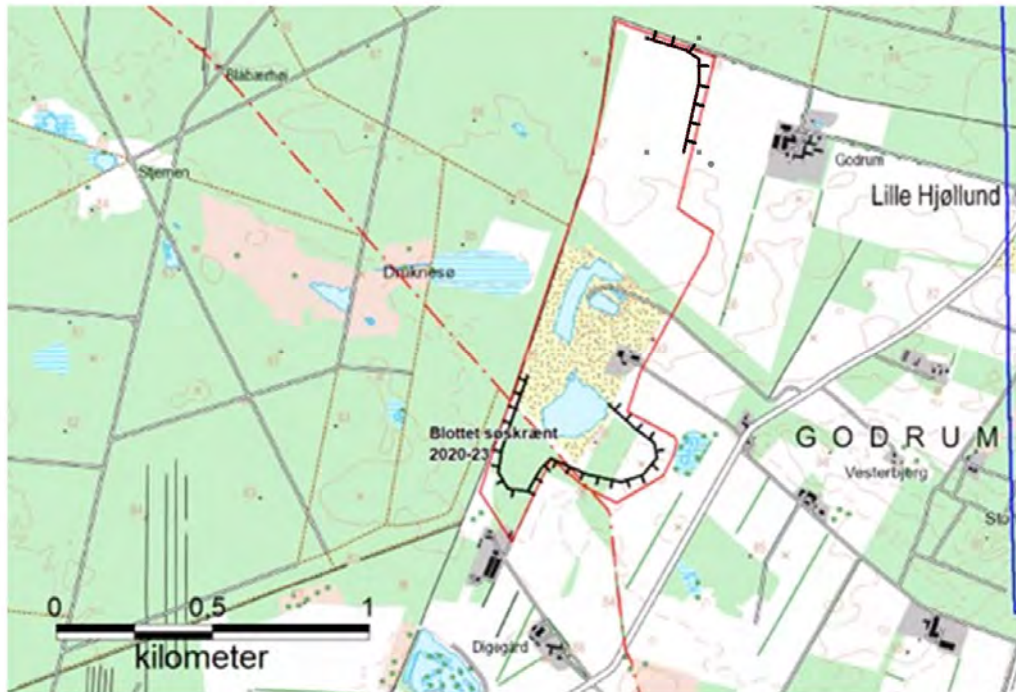
Den samlede kvartærstratigrafi ved Asklev inklusiv de senest observerede enheder (2023) fremgår af figur 16.



Figur 16: Kvartærstratigrafien ved Asklev ifølge Kronborg et al. 1990 modificeret med ny-observerede enheder i bunden af graven.

Grusgrav ved GODRUM

På smeltevandssletten ved GODRUM, vest for det kortlagte område, træffes en større grusgrav, hvor der primært graves under grundvandspejlet, se figur 17.



Figur 17: Lokalisering af grusgrav vest for GODRUM.

I gravevæggene, der er ca. 15 m høje, ses overvejende planlamineret smeltevandssand med tyndere gruslag, se figur 18. At dømme efter stenbunker i graven bliver aflejringerne grovere under vandspejlet. I toppen er lagene kryoturberede, og stedvis ses en podsol jordbund.



Figur 18: Sydvestvendt sø-skrænt i den sydlige del af grusgraven vest for GODRUM.

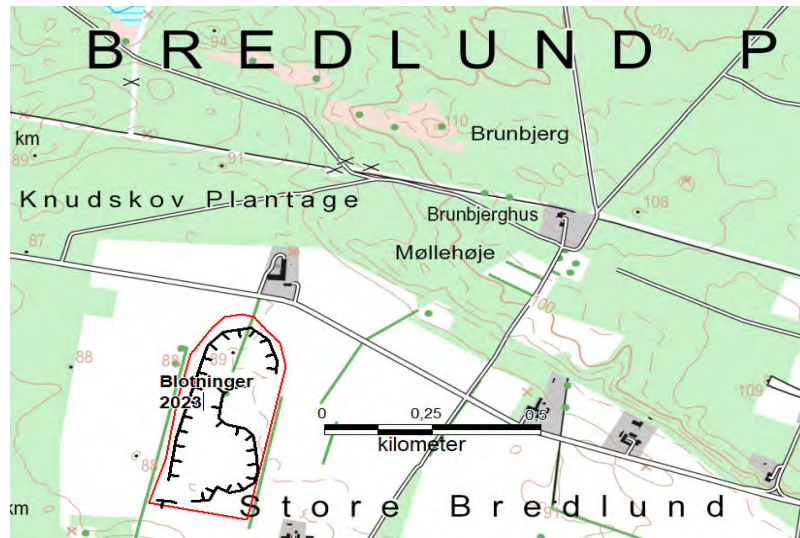


Figur 19: Toppen af det nordlige profil i GODRUM Grusgrav. Her ses små sten samlet i grydestrukturer af formodet periglacial oprindelse.

Det øverste lag i graven er forholdsvis rig på mindre sten, figur 19. Disse ses især samlet i grydestrukturer, der formodes dannet under isfrie, periglaciale forhold, -måske kombineret med flydning af morænemateriale fra en nærliggende isrand.

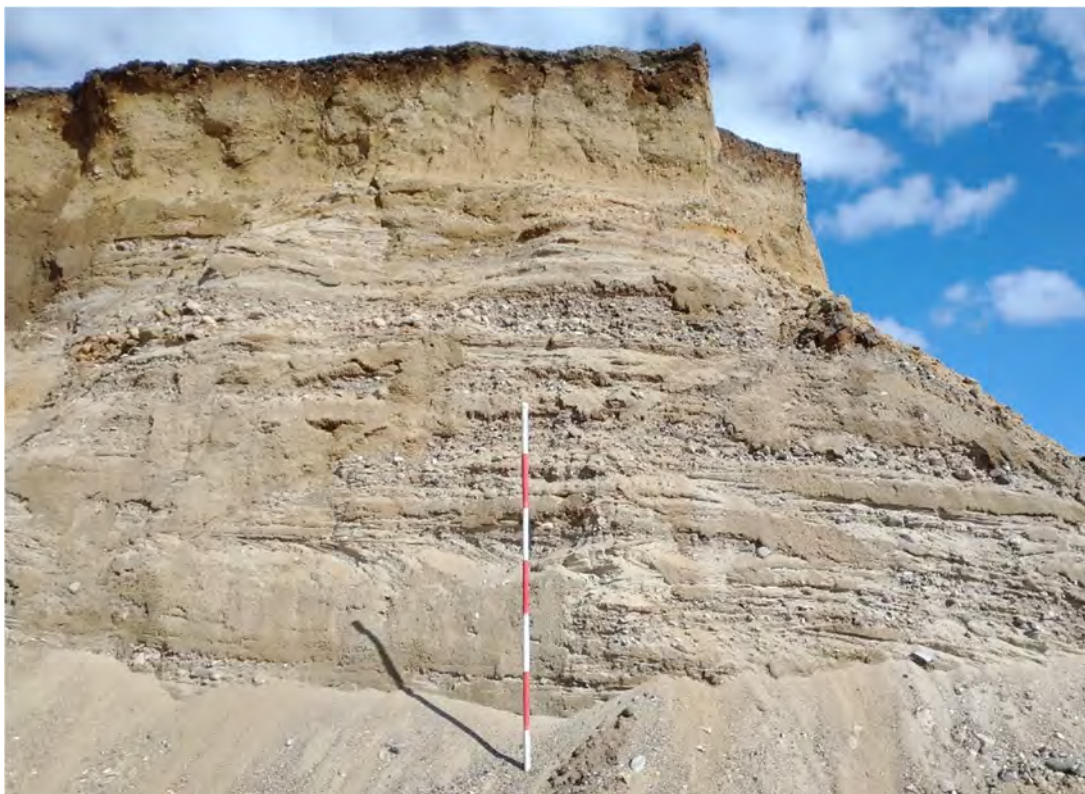
Grusgrav ved Store Bredlund

Ved Store Bredlund syd for det kortlagte område blev der i 2021 etableret en ny grusgrav, se figur 20. Graven er p.t. 15-20 m dyb. Ifølge entreprenørens egne boringer forventes yderligere omkring 15 m sand og grus under den nuværende bund.



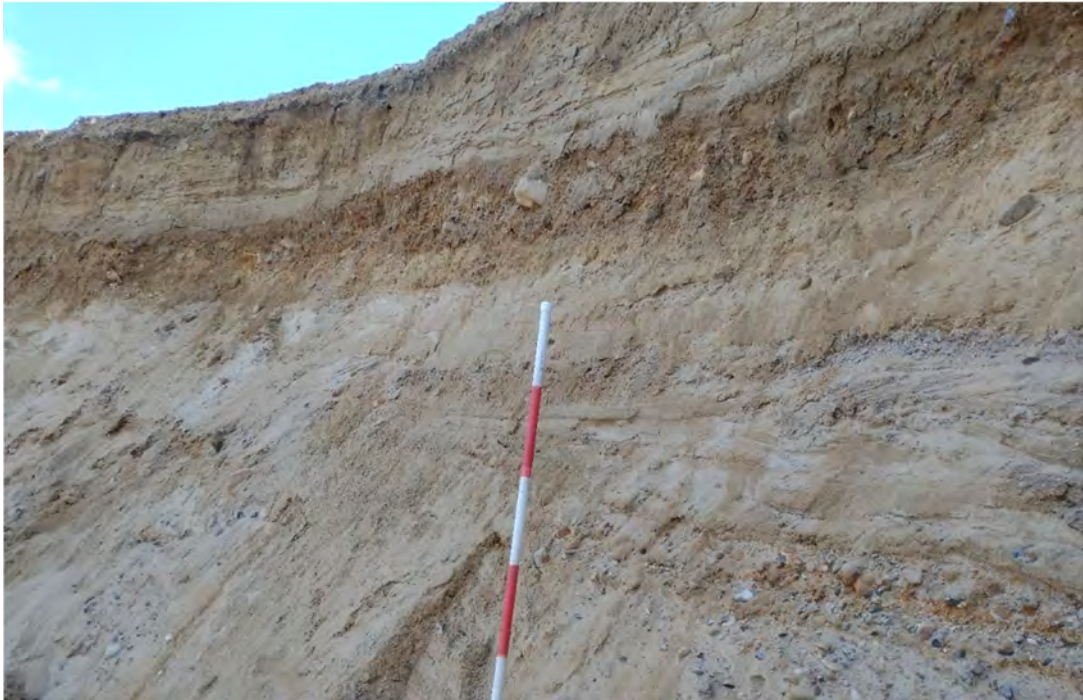
Figur 20: Lokalisering af grusgrav ved Store Bredlund.

I gravens profilvægge ses vekslende lag af sand og grus, der stedvis er krydslejrret. Derover ses de fleste steder et dække af morænesand på mellem 0,5 og 1,5 m, se figur 21.



Figur 21: Vekslende lag af sand og grus, hvor der stedvist ses krydslejringer. Øverst ses en gennemgående bænk af morænesand med jordbundsudvikling i toppen.

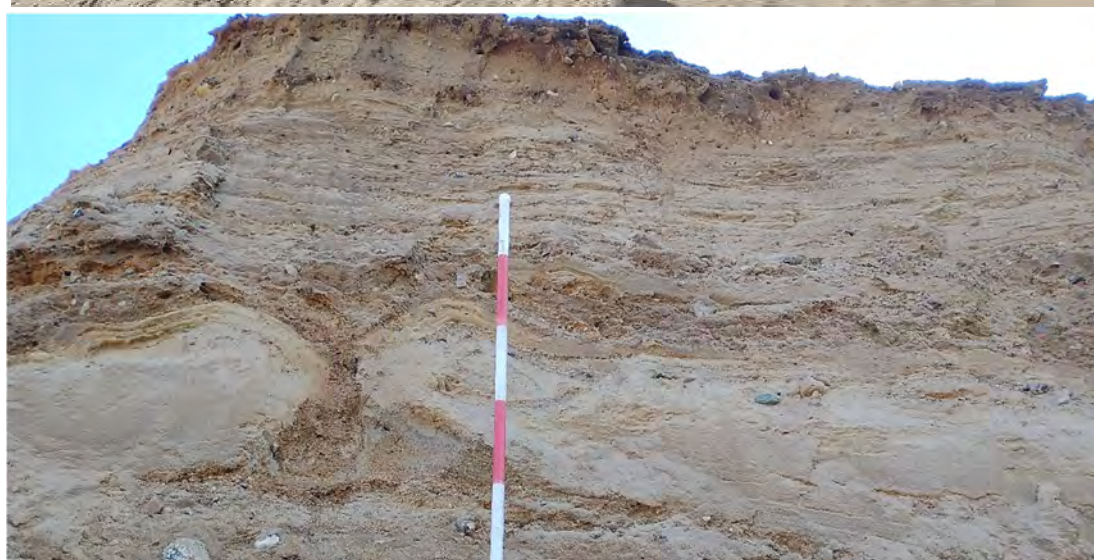
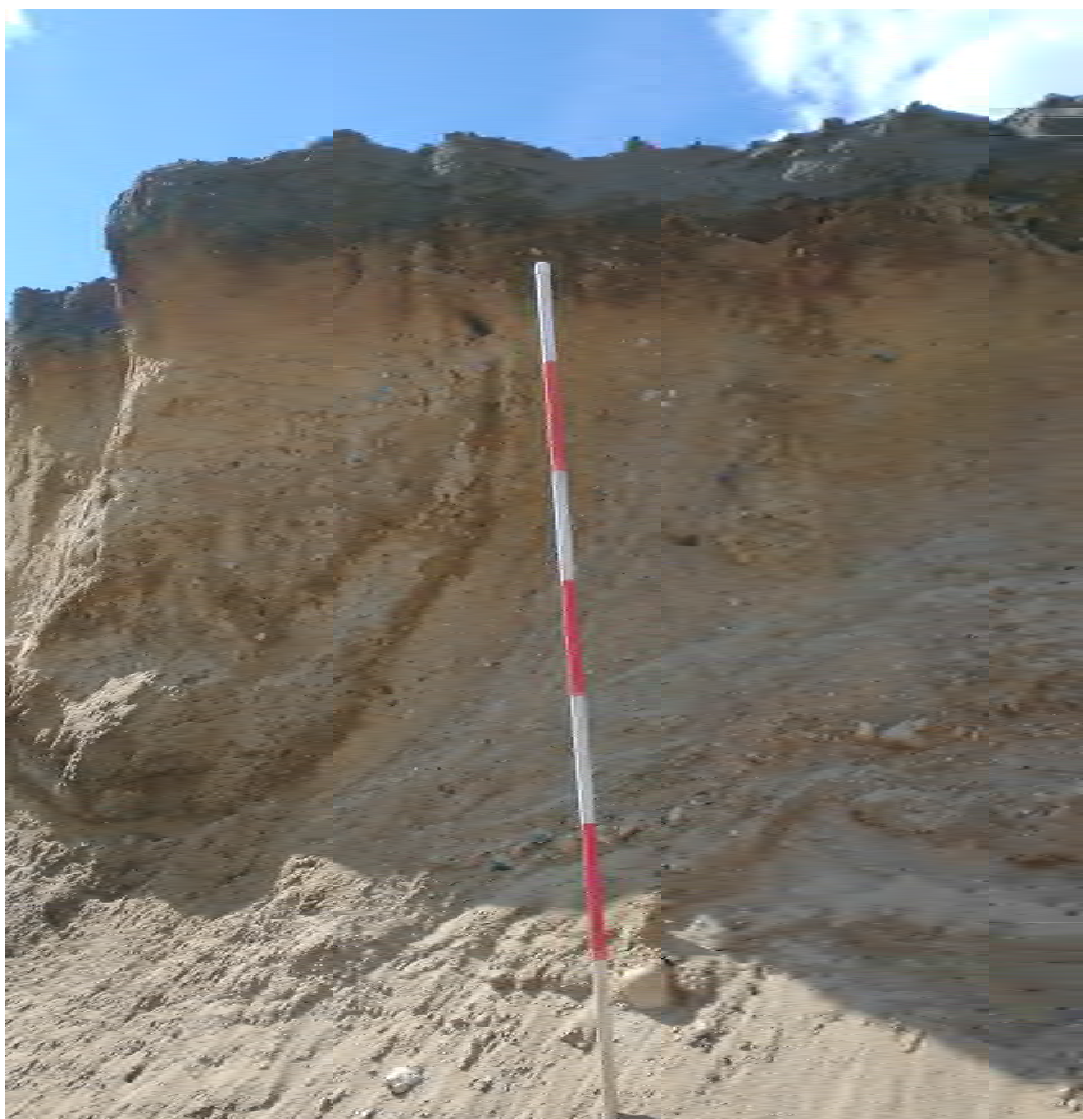
I den sydligste del af graven er morænesandet tyndt og overlejret op til 1 m planlamineret smeltevandssand, (figur 22).



Figur 22: Sydligt profil i grusgrav ved Store Bredlund. Her er morænebænken tynd og overlejret af planlamineret smeltevandssand.

Morænen og det underliggende sand indeholder stedvis formodede periglaciale strukturer (figur 23), som ikke ses i det overliggende smeltevandssand (figur 23 nederst).

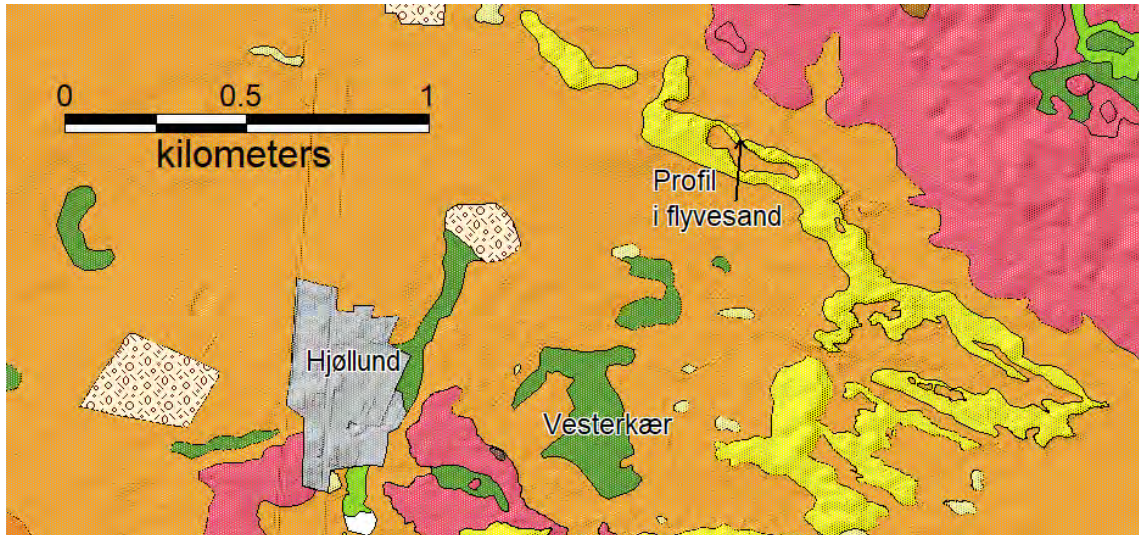
Tilstedeværelsen af disse strukturer i toppen af morænen indikerer, at der har været en kold, isfri periode, inden det øvre smeltevandssand blev aflejret. Umiddelbart henføres morænesandet på lokaliteten til isfremstødet til Hovedopholdslinjen, der vurderes at løbe ca. 1 km vest for graven, se figur 28, mens det øvre smeltevandssand henføres til et senere genfremstød af isen, jf. afsnittet om morfologi og landskabsdannelse.



Figur 23: Formodede periglaciale strukturer dannet ved vekslende tø og frost under isfrie forhold. Øverst grydeformede strukturer. Nederst såkaldt dråbejord.

Flyvesand og jordbundsprofil øst for Hjøllund

I St. Hjøllund Plantage findes et større område med lineære og parabel-formede klitter med mellemliggende afblæsningsflader, se figur 24. Parabelklitterne er overvejende lukkede mod vestnordvest, mens enkelte også er lukkede i den modsatte ende. Denne overordnede orientering kunne indikere, at klitterne er formet under sandflugt fra ØSØ (Clemmensen 1997).

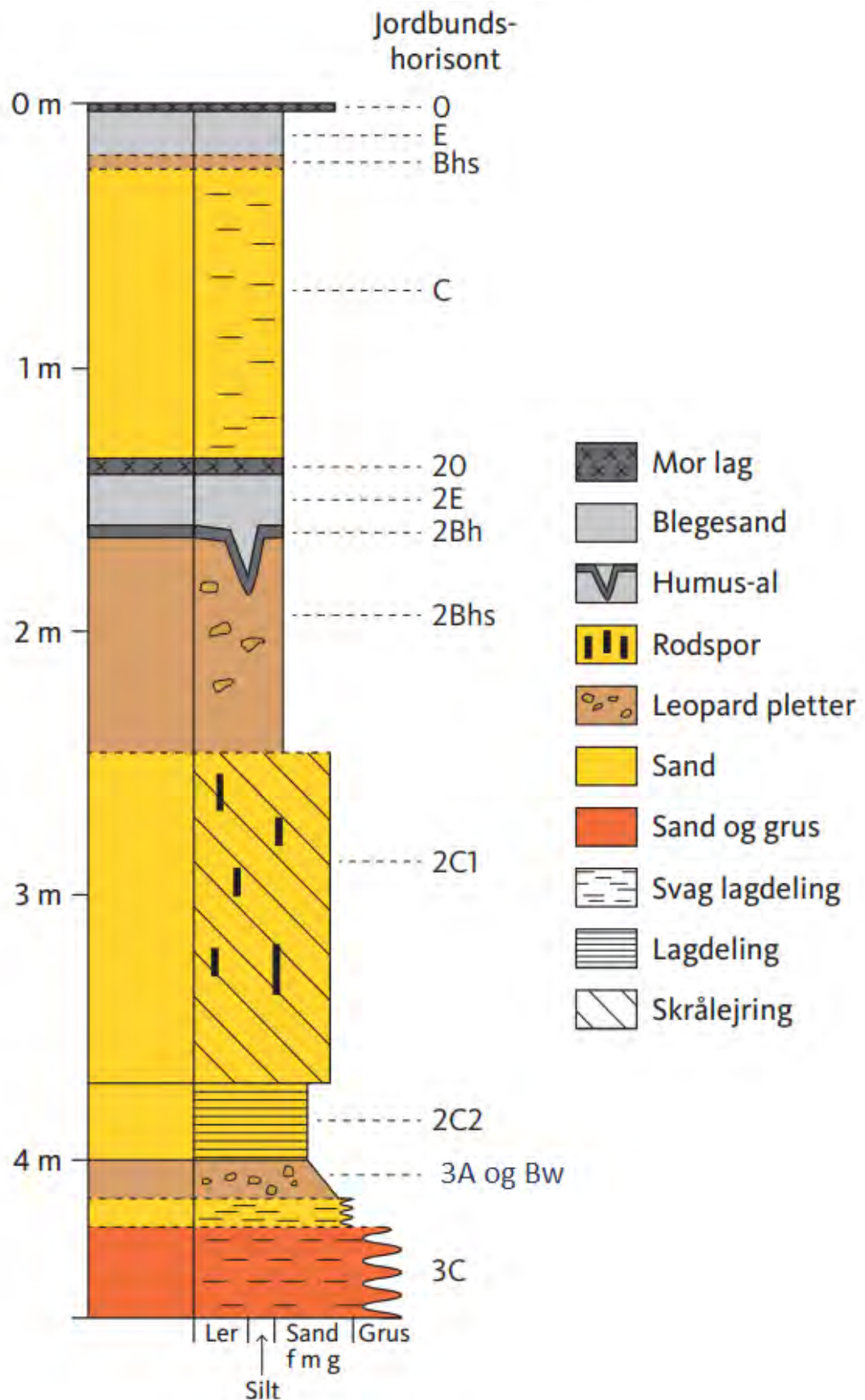


Figur 24: Udsnit af jordartskort for St. Hjøllund Plantage, se bilag 1 for legende.

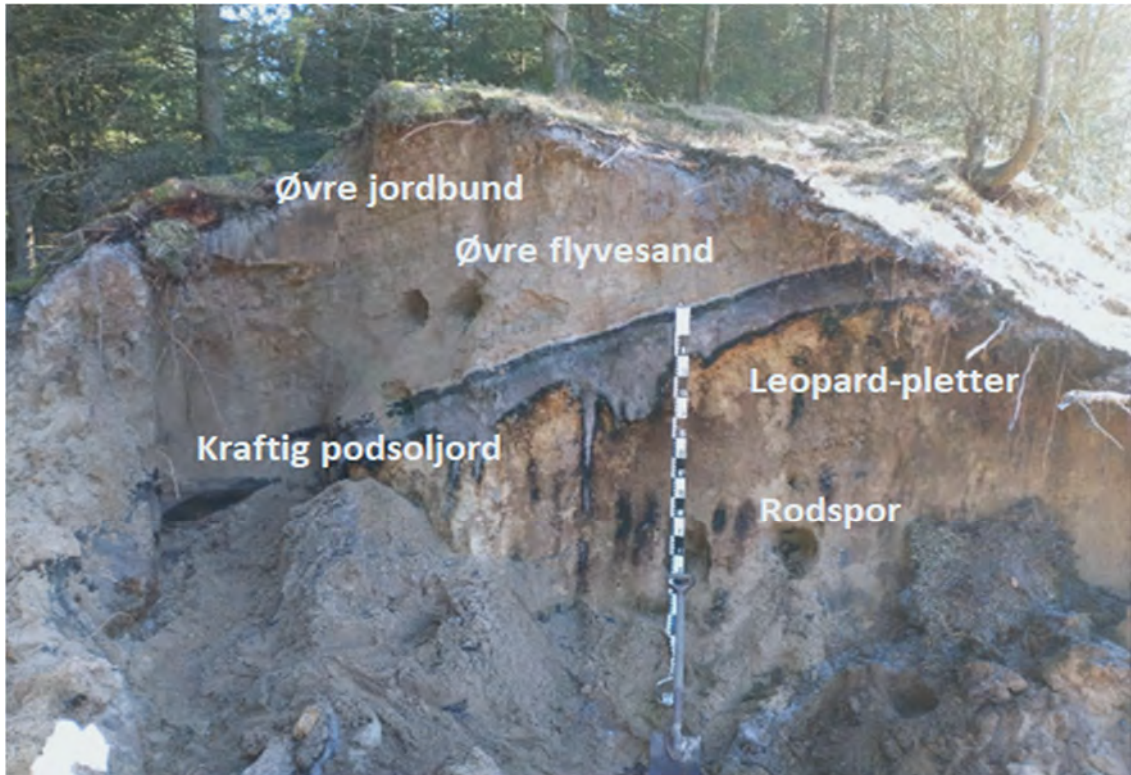
Nordligst i området (figur 24) gennemskærer en arbejdsvej en af klitryggene. Her er blotlagt et profil, som viser klittens interne opbygning, se figur 25. I toppen ses en tynd, svagt udviklet, recent podsol-jordbund, hvorunder der træffes en øvre serie af fint til mellemkornet flyvesand. På en skrånende flade derunder ses en meget veludviklet podsoljord med mor-lag, blegesand og humus-al, se figur 26. Denne jordbund er udviklet på mellem- til grovkornet flyvesand, der er opbygget af store krydslejringer, som skarpt skærer et tyndere lag af planlejet flyvesand. Ved basis af flyvesandet ses endnu en jordbundsudvikling, med kviste og spor af trækul, se figur 27. Den nederste jordbund kan karakteriseres som en næringsrig brunjord, der er udviklet på gruset smeltevandssand i den underliggende smeltevandsslette.

To prøver af det øvre flyvesand (VR5 og VR6, bilag 4) er dateret ved hjælp af optisk stimuleret luminescens, OSL (Rittenour 2018) til omkring 610 (+/- 100) år før nu, se tabel 1. Fra skriftlige kilder kendes vidnesbyrd om udbredt sandflugt i historisk tid. Heri beskrives, hvordan sandflugtsaktiviteten tog fart i første halvdel af 1500-tallet. (Allen 1878), og først blev bremset i 1800-tallet (Oksbjerg & Worsøe 1996, Oksbjerg 2000). Det øvre flyvesand regnes på den baggrund til denne periode, der kaldes Den lille Istid, og dateringerne tyder på, at sandflugt formodentlig var et problem før de skriftlige kilder berettede om det.

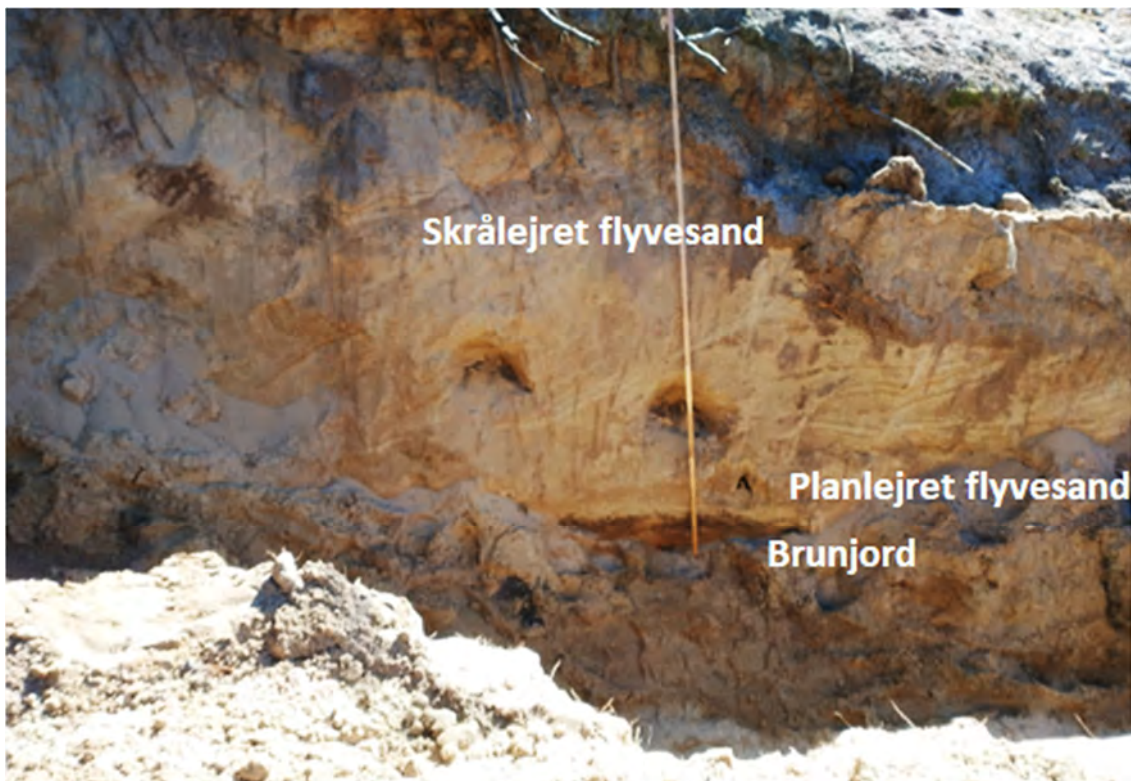
Den mellemste jordbund med podsoljord er efter alt at dømme udviklet på skråningen af en ældre klit. Tykkelsen af podsollen viser, at den er udviklet over en længere periode – sandsynligvis tusinder af år med hedevegetation uden sandflugt (Dalsgaard et al. 2000).



Figur 25: Overordnet sedimentologisk og pædologisk log, St. Hjøllund Plantage
- delvist efter Søren Munch Kristiansen, AU.



Figur 26: Klitprofil -øvre del. St. Hjøllund Plantage, Foto Søren Munch Kristiansen, Geoscience A.U.



Figur 27: Klitprofil -nedre del. St. Hjøllund Plantage, Foto Søren Munch Kristiansen, Geoscience A.U.

Fire prøver af det nedre flyvesand, der vurderes at udgøre kernen i det pågældende klitsystem, er ligeledes dateret med OSL (VR1-VR4, tabel 1). Tre af disse viser samstemmende aldre på omkring 8100 (+- 1000) år før nu. Den fjerde prøve (VR3), giver derimod en alder på ca. 9950 år før nu. Den tolkes at være en "outlier", der antagelig ikke er blevet nulstillet ved aflejringen og derfor giver for høj en alder (Olley et al., 1998). Dateringerne af det nedre flyvesand indikerer således, at en periode med sandflugt blev indledt for omkring 8100 år siden, hvilket umiddelbart kan være relateret til en velkendt kort periode med regional nedkøling på den nordlige halvkugle omkring 8200 før nu, der sættes i forbindelse med et større kollaps af isdæmmede søer i Nordøst Amerika og hurtig tilstrømning af koldt smeltevand til Atlanterhavet (Matero 2017).

Table 1. Optically Stimulated Luminescence Age Information

Sample num.	USU num.	Depth (m)	Num. of aliquots ¹	Dose rate (Gy/kyr)	Equivalent Dose $\pm 2\sigma$ (Gy)	OSL age $\pm 1\sigma$ (ka)	Age Model ²
VR1	USU-3612	1.30	17 (27)	0.74 \pm 0.04	5.77 \pm 0.45	7.82 \pm 0.75	CAM
VR2	USU-3613	1.3	18 (23)	0.66 \pm 0.04	5.27 \pm 0.64	7.99 \pm 0.87	CAM
VR3	USU-3614	1.8	18 (22)	0.64 \pm 0.04	6.34 \pm 0.66	9.94 \pm 1.04	CAM
VR4	USU-3615	1.8	20 (26)	0.69 \pm 0.04	5.62 \pm 0.44	8.13 \pm 0.79	CAM
VR5	USU-3616	1.10	14 (26)	0.72 \pm 0.04	0.41 \pm 0.18	0.57 \pm 0.13	UL-CAM
VR6	USU-3617	1.10	12 (26)	0.76 \pm 0.04	0.50 \pm 0.15	0.65 \pm 0.11	UL-CAM

¹ Age analysis using the single-aliquot regenerative-dose procedure of Murray and Wintle (2000) on 2mm small-aliquots of quartz sand. Number of aliquots used in age calculation and number of aliquots analyzed in parentheses.

² Equivalent dose (D_e) calculated using the Central Age Model (CAM) or unlogged CAM (UL-CAM) of Galbraith and Roberts (2012).

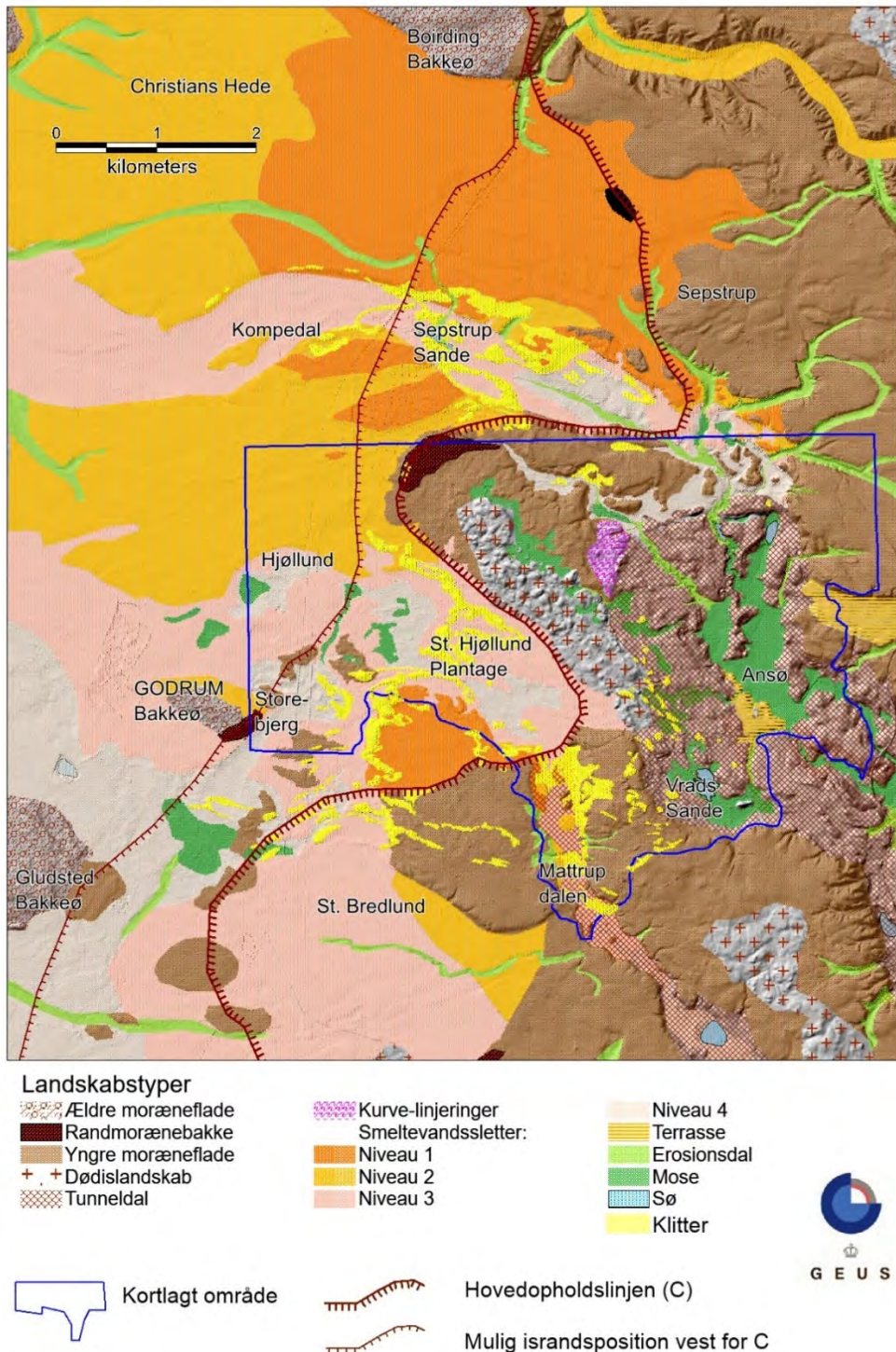
Tabel 1: Resultater af OSL-dateringer, se bilag 4 for supplerende oplysninger. OSL-aldre er opgivet i år før prøvetagningstidspunktet (her år 2022).

P.t pågår C14 datering og artsbestemmelse af planterester fra den nedre jordbund, hvilket forventes at tidsfæste den tidlige postglaciale sandflugt i Midtjylland mere præcist og relatere den til den regionale og globale klimaudvikling.

Foreløbigt kan det konkluderes, at kernen af klitterne i St. Hjælland Plantage er gamle og muligvis dannet af vind fra ØSØ tidligt i postglacial tid (omkring 8100 år før nu). De synes således ikke at være relateret til hverken senglacial sandflugt (Kolstrup et al. 1990) eller senere præhistoriske perioder med sandflugt i det jyske indland, (Dalsgaard og Odgaard 2001, Kristiansen et al. 2020). Det er omvendt tydeligt, at klitterne er blevet omformet ved efterfølgende sandflugt under den kuldeperiode, der betegnes Den lille Istid.

Morfologi og landskabsdannelse

I nærværende afsnit beskrives geomorfologien i området, og landskabsdannelsen tolkes. Beskrivelse og tolkning tager udgangspunkt i jordartskortet, bilag 1, det morfologiske kort bilag 2 (delvist gengivet figur 28) og observationerne i felten, beskrevet i forrige afsnit.



Figur 28: Morfologisk kort med angivelse af niveauer på smeltevandssletten, tolket lokalt forløb af Hovedopholdslinjen og mulig israndposition vest for denne. Delvist efter Jakobsen (2022) og Smed (1981).

De ældre morænelandskaber

De ældre morænelandskaber findes som såkaldte bakkøer på smeltevandssletterne mod vest. De henføres traditionelt til forrige istid Saale.

I den sydvestlige del af området syd for Hjøllund (figur 28) findes en række mindre "bakkøer". Det kan imidlertid umiddelbart være vanskeligt at afgøre, hvorvidt der er tale om gamle glaciale landskaber, eller om de er dannet i slutning af Weichsel på et tidspunkt, hvor isen muligvis var længere fremme end Hovedopholdslinjen eller en kombination af begge. Et eksempel på dette ses ved det langstrakte bakkeparti Storebjerg sydvestligt i det kortlagte område, se figur 28. Dette tolkes som en randmorænebakke dannet, hvor Weichsel Isen lokalt har været længere fremme end Hovedopholdslinjen, mens det lavere morænelandskab vest for bakken tolkes som et ældre glacialt landskab.

Muligvis findes også rester af gamle landskaber øst for Hovedopholdslinjen, som er slørede af efterfølgende isoverskridelse sent i Weichsel. Dette underbygges af at der i det højtliggende glaciale landskab ved Asklev nær terræn findes store mægtigheder ældre glaciale aflejringer fra Saale istid og måske ældre.

Smeltevandssletterne

Hovedopholdslinjen (Ussing 1903) anses for at repræsentere en israndposition tæt på Weichsel isens maksimale udbredelse, hvor isen stod i en længere periode ved slutningen af sidste istid. Linjen tegner sig i landskabet som grænsen mellem smeltevandssletterne i vest og det yngre kuperede morænelandskab i øst. Mange steder langs linjen ses tydelige randmorænebakker. Andre steder er linjens forløb mere usikkert (Ussing 1907).

Mens isen stod ved Hovedopholdslinjen strømmede smeltevandet overordnet mod vest og var med til at opbygge de store vestjyske smeltevandssletter også kaldet hedesletter. I den vestlige del af det kortlagte område optræder smeltevandssletter i flere niveauer, hvorimellem der stedvist ses skarpe erosive grænser, der vidner om forskellige faser af afsmeltning og erosion. Overordnet kan der på smeltevandssletterne lokalt erkendes fire stedvist klart adskilte niveauer (figur 28), hvorimellem der også ses jævne overgange.

Niveau 1, der er det højeste, træffes over kote 95 m. Det findes dels som en stor kegleformet slette med toppunkt omkring kote 100 m ved Sepstrup umiddelbart nord for det kortlagte område, se figur 28. Desuden finde i tilsvarende niveau en højtliggende smeltevandsterrasse i Bredlund Plantage og ved munden af Mattrup Dalen øst herfor. De højtliggende smeltevandsterrasser ved dalens munding vidner om en mulig gletsjerport her. På de højtliggende flader ses ofte op til 40 cm store, ofte afrundede sten (figur 29), der vidner om kraftig smeltevandsstrøm, formodentlig fordi isranden stod tæt på.

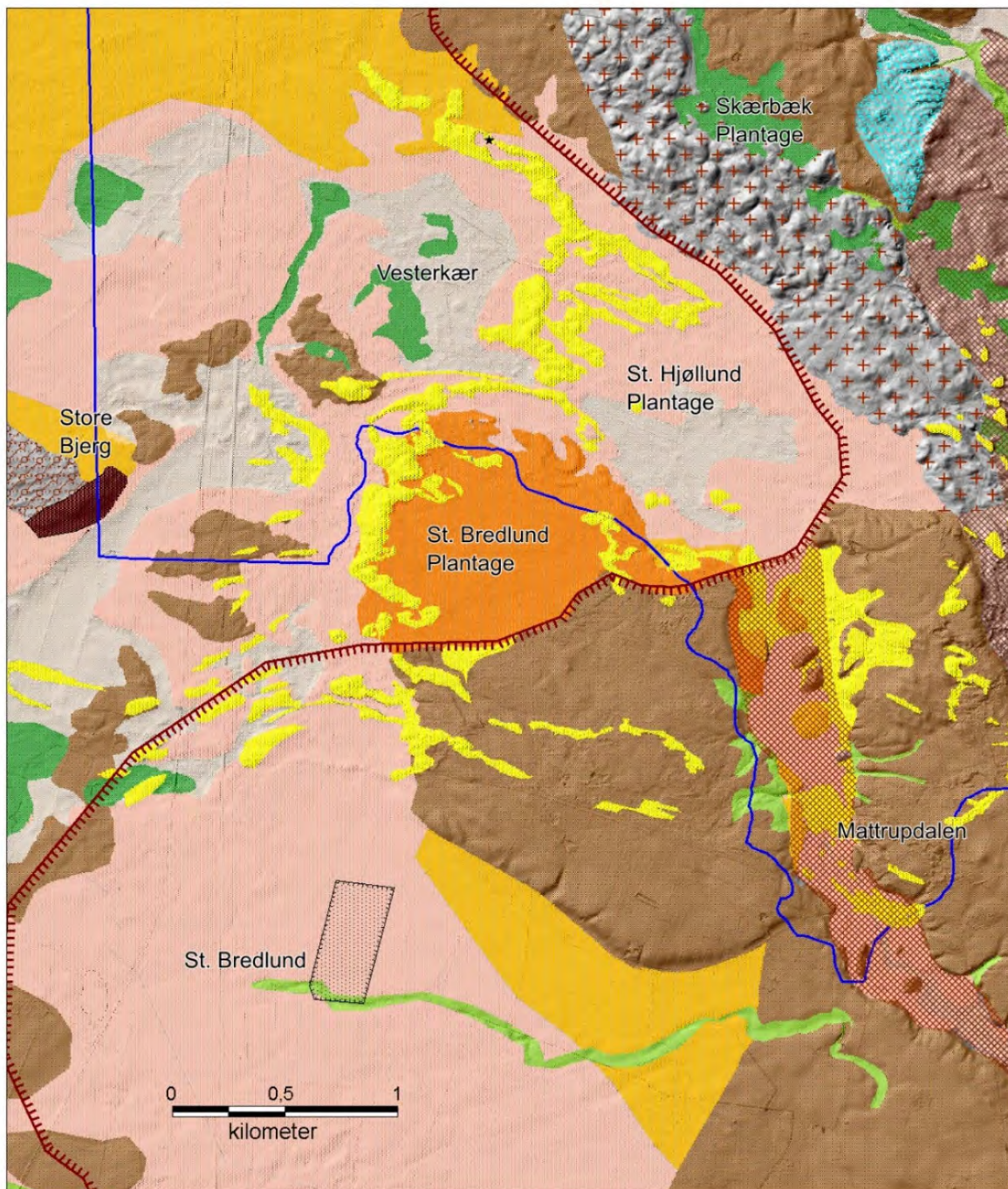


Figur 29: Større sten i terræn, sydlige højtliggende smeltevandsplateau i Bredlund Plantage.

Niveau 2 repræsenteres af hældende flader med smeltevandsaflejringer beliggende omkring kote 92. Niveauet træffes i et stort område nordvest for det kortlagte areal, hvor det dels ses i direkte forlængelse af niveau 1 på Christians Hede dels skærer niveau 1 syd for Sepstrup Sande, se figur 28. Niveau 2 udgør også den øvre kegleformede del af smeltevandssletten ved St. Bredlund umiddelbart sydvest for det kortlagte område (figur 28). Denne har sit toppunkt i kote 93, hvilket er betydeligt over bunden af Mattrup dalen umiddelbart øst for.

Niveau 3 er beliggende mellem kote 87 og 84. Det udgør hovedparten af smeltevandssletten i St. Hjøllund Plantage (figur 30) samt et nedre dalniveau i Kompedal og Sepstrup Sande nord for det kortlagte område, figur 28. Denne dal har toppunkt omkring kote 85 og kan følges mod vest uden for området til syd for Bording Bakkeø, (Hansen 1975).

Niveau 4 beliggende under kote 84 træffes primært mod sydvest. Det udgør en nedre flade i St. Hjøllund Plantage indeholdende Vesterkær (figur 30). Mod sydvest udgør det bunden i en erosionsdal øst for Storebjerg (figur 28). Længere mod sydvest ligger hovedparten af smeltevandssletten i dette niveau.



Landskabstyper

- Ældre moræneflade
- Randmorænebakke
- Yngre moræneflade
- + + Dødislandskab
- Tunneldal

- Kurve-linjeringer
- Smeltevandssletter:
- Niveau 1
- Niveau 2
- Niveau 3

- Niveau 4
- Terrasse
- Erosionsdal
- Mose
- Sø
- Klitter



Kortlagt område



Hovedopholdslinjen (C)



Grusgrav

Figur 30: Morfologi omkring Matstrup-dalens munding.

Kronologi

Aflejringerne, der træffes i niveau 1 og sammenhængende niveau 2 tolkes dannet, da isen stod ved Hovedopholdslinjen og smeltevand via Saltendalen strømmede ud fra en stor gletscherport nord for Ansø og her dannede en stor aflejringskegle vest for Sepstrup, se figur 28. Det formodes, at smeltevand på samme tid tilsvarende strømmede via Mattrup Dalen mod nord, hvor der antagelig har været en gletsjerport ved dalens munding. Her er der dog kun efterladt en mindre terrasse i niveau 1, se figur 30.

Syd for Sepstrup Sande tolkes niveau 2 dannet i forbindelse med erosion i niveau 1, der står tilbage som to højt liggende terrasser. Erosionen tolkes at være resultat af en mindre ændring i udstrømningen fra tunneldalen, da isen formodentlig stadig stod nær hovedopholdslinjen.

Det nedre niveau i Kompedal (3) tolkes som en erosionsdal dannet af smeltevand fra tunneldalen på et senere tidspunkt, hvor afsmeltningen fra Hovedopholdslinjen var begyndt, se figur 28.

Den kegleformede smeltevandsslette ved Store Bredlund (figur 30), hvor der ses en jævn overgang fra niveau 2 til 3, tolkes umiddelbart dannet ved et senere genfremstød efter isen var smeltet tilbage fra Hovedopholdslinjen, hvilket underbygges af observationer i grusgrav ved Store Bredlund samt morfologisk tolkning af morænelandskabet umiddelbart øst herfor.

Niveau 4, der ses som en nedre lavning ved Vester Kær i St. Hjøllund Plantage med forbindelse en erosionsdal ved Storebjerg i sydvest, se figur 30, tolkes dannet i forbindelse med den sidste afstrømning af smeltevand muligvis fra efterladt dødis i området.

De yngre morænelandskaber

I takt med, at isen smeltede tilbage, blev landet bag Hovedopholdslinjen gradvist blotlagt, mens der længere mod nord blev åbnet for afstrømning via Karup Dalen til Venø Bugt (Milters 1935). Øst for det kortlagte område tyder morfologien på, at isen igen rykkede frem efter den begyndende tilbagesmeltning.

Tidligere undersøgelser i området

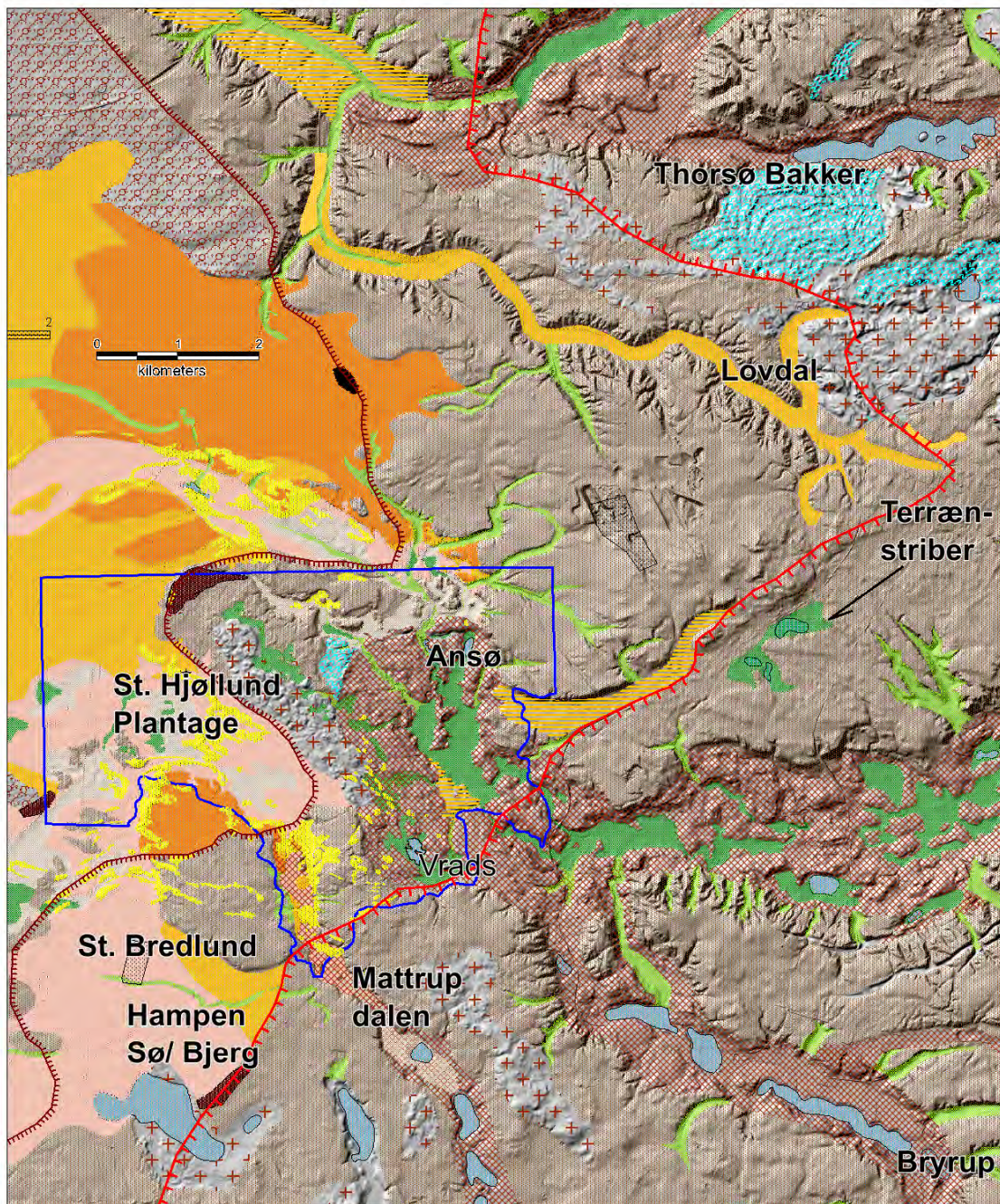
Larsen et al. (1979) skitserer flere mulige israndpositioner dannet ved genfremstød øst for Hovedopholdslinjen (C1-C4) bl.a. baseret på tolkede israndsbakker samt terrasseniveauer og vandskel i dalene. Ved Thorsø Bakker syd for Virklund beskriver de et antal veludviklede indbyrdes parallelle buformede bakker (figur 31). Larsen et al. tolker dette landskab som randmorænebakker ved C2 linjen presset op fra SSØ af en lokal istunge.

På baggrund af detaljerede feltstudier i dette område konkluderer Nielsen (2018) imidlertid, at her i stedet har været isbevægelse fra NØ frem til omtalte linje, som herefter vil blive betegnet C2_{rev}. Larsen et al. (1979) og Nielsen (2018) er generelt enige om linjens videre forløb omkring Lovdal (figur 31), der af Milthers (1948) tolkes som en senglacial smeltevandsdal.

Tolket forløb af isrand bag Hovedopholdslinjen

På baggrund af nærværende undersøgelse tolkes omtalte israndslinje (C2_{rev}) fra Lovdal at dreje mod syd og sydvest med retning mod Ansø lavningen, se figur 31. Umiddelbart nord for den foreslåede linje ses en veludviklet smeltevandsterrasse, som tidligere bl.a. er beskrevet af Hansen (1975), mens der syd for linjen ses en lavtliggende moræneflade med VNV rettede terrænstriber, se figur 31. Dette tolkes samlet som tegn på, at isen her er skudt frem fra en sydøstlig retning til en position nord for Salten dalen. Linjen indikerer således, at der både har været isbevægelse fra NØ i nord og fra SØ i den sydlige del af området. Det er dog usikkert, om de to bevægelser har været samtidig.

Det foreslås videre, at isranden passerede Saltendalen sydøst for Ansø, hvor dalbunden er domineret af relativt høje glaciale bakker (med toppe over kote 70). Muligvis har der på dette tidspunkt ligget dødis i Ansø-lavningen, se figur 32.

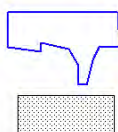


Landskabstyper

- Ældre moræneflade
- Randmorænebakke
- Yngre moræneflade
- Dødslandskab
- Tunnedal

- Kurve-linjeringer
- Smeltevandssletter:
- Niveau 1
- Niveau 2
- Niveau 3

- Niveau 4
- Terrasse
- Erosionsdal
- Mose
- Sø
- Klitter



Kortlagt område

Grusgrav

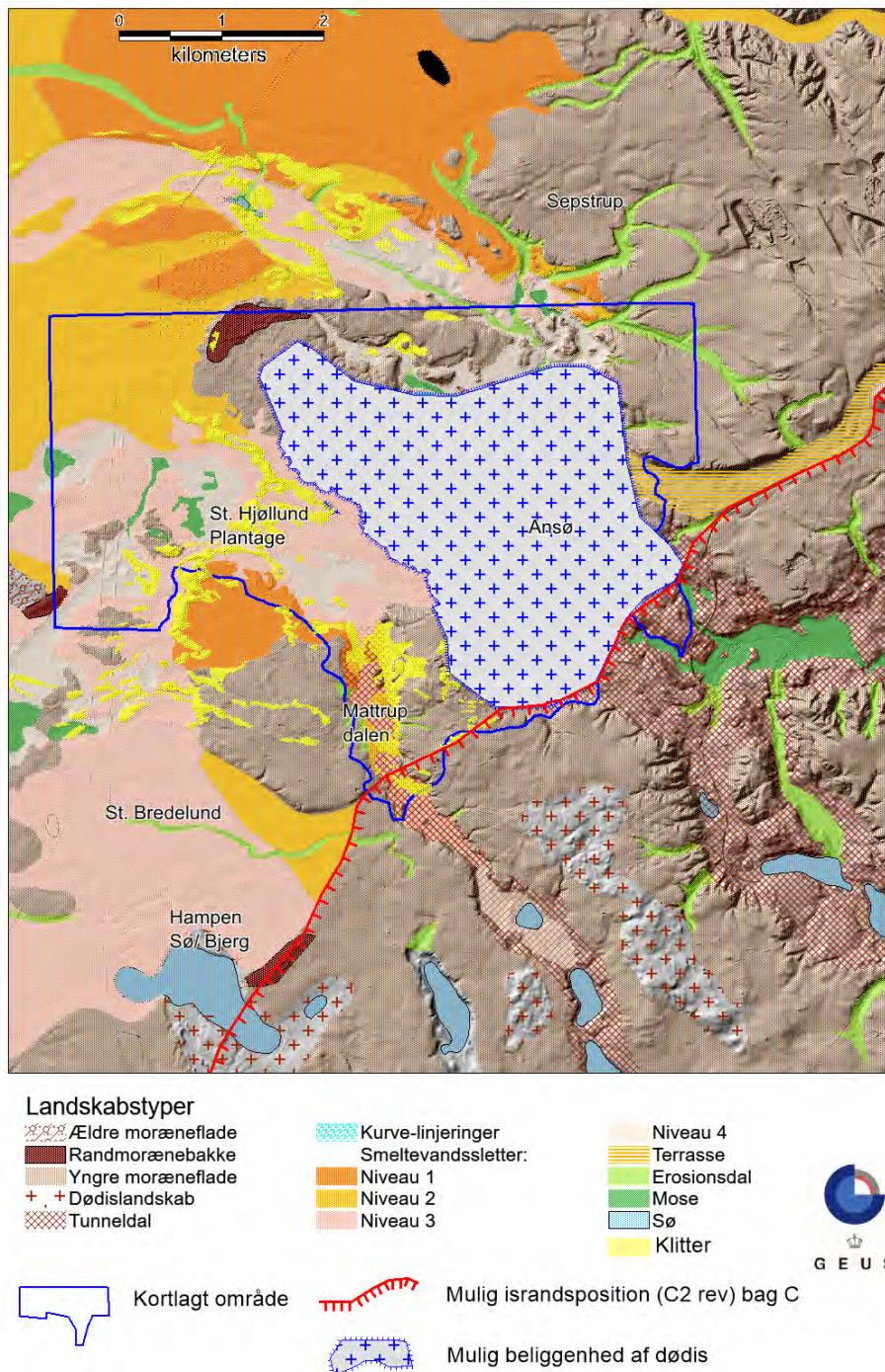


Hovedopholdslinjen (C)

Mulig israndspøisition bag C (C2_{Rev})



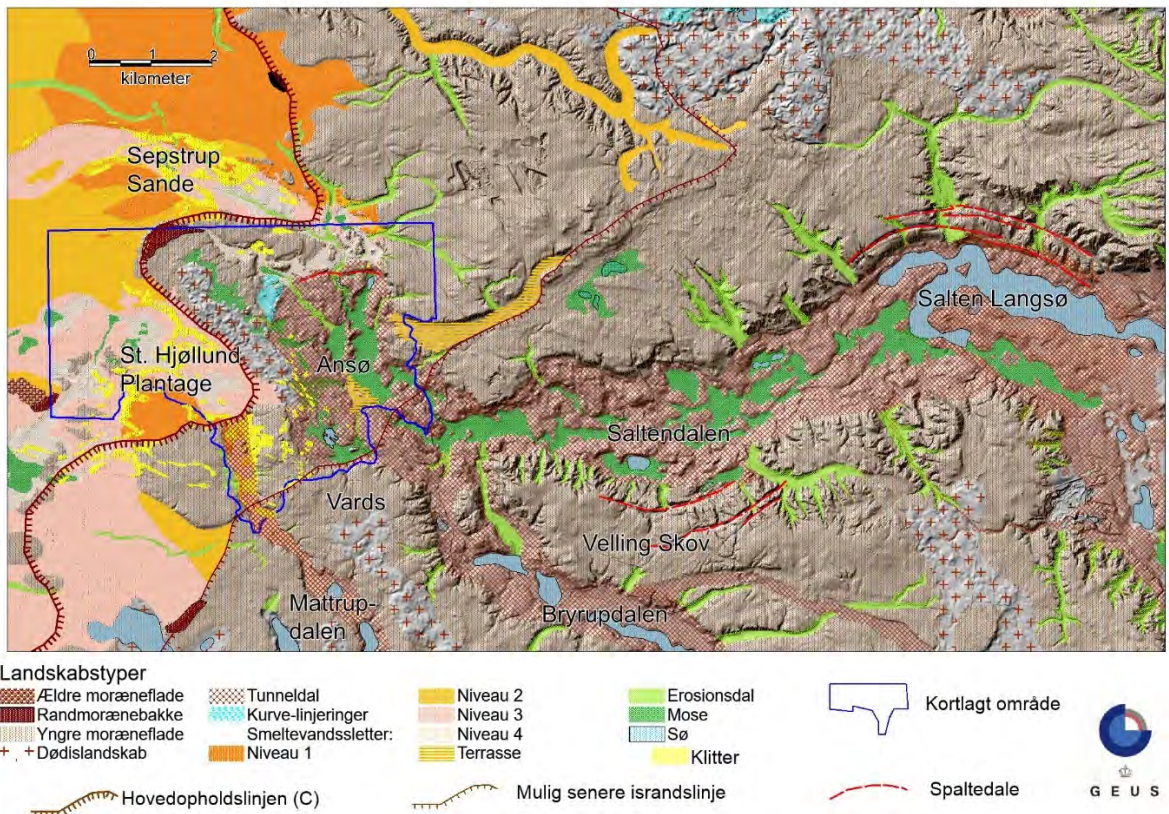
Figur 31: Morfologisk kort med ny forslået israndspøisition C2_{rev} ved et genfremstød kort tid efter tilbage-smeltningen fra Hovedopholdslinjen.



Figur 32: Tænkt beliggenhed af dødis i lavningen ved Ansø og, dødislandskabet vest for.

Isranden tolkes videre at have passeret Mattrup dalen ved toppunktet for smeltevandssletten ved Store Bredlund, (figur 32), og her givet anledning til smeltevandsstrømning mod vest. Dette underbygges af grusgravsobservationer ved Store Bredlund, hvor der ses tegn på kolde isfrie forhold i form af formodede periglaciale strukturer dannet efter fremstødet til Hovedopholdslinjen inden aflejringen af en øvre enhed af smeltevandssand. Israndslinjen (C2_{rev}) kan følges videre mod sydvest til Hampen Bjerg nord for Hampen Sø, (figur 32), og dette langstrakte bakkeparti tolkes som en randmorænebakke knyttet til denne israndslinje.

Landskaberne i tunneldalene



Figur 33: Morfologi langs Saltendalen med omkringliggende spaltdale.

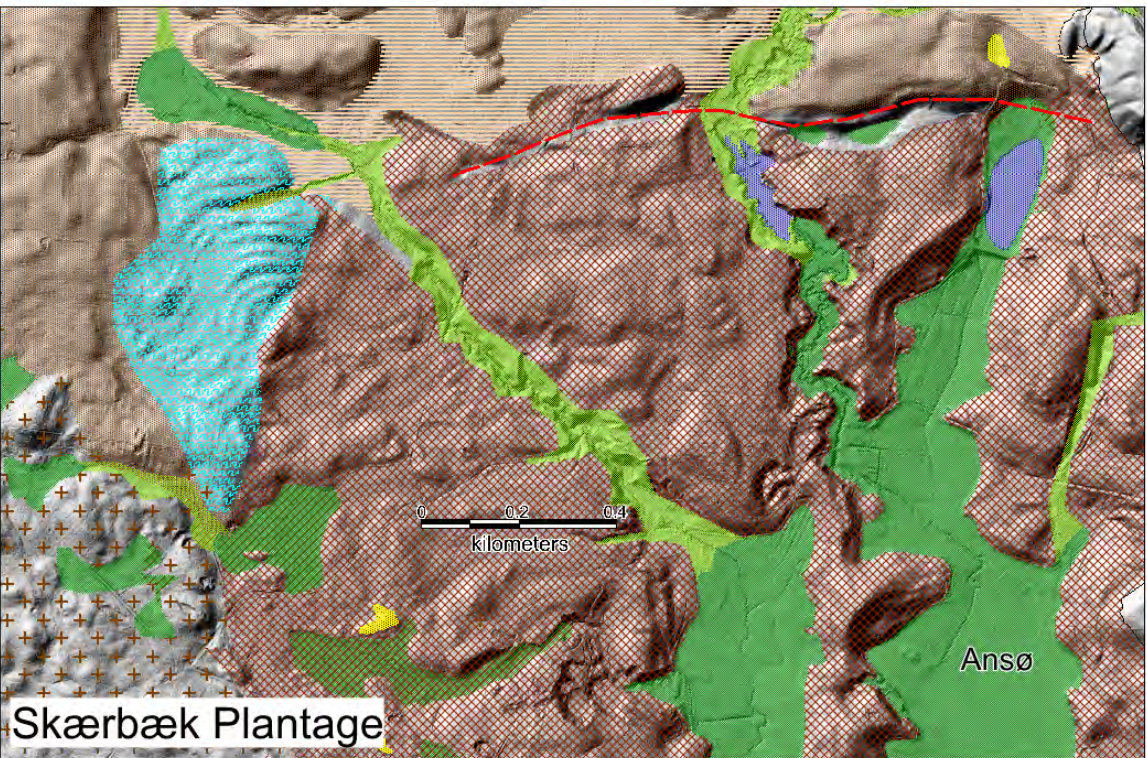
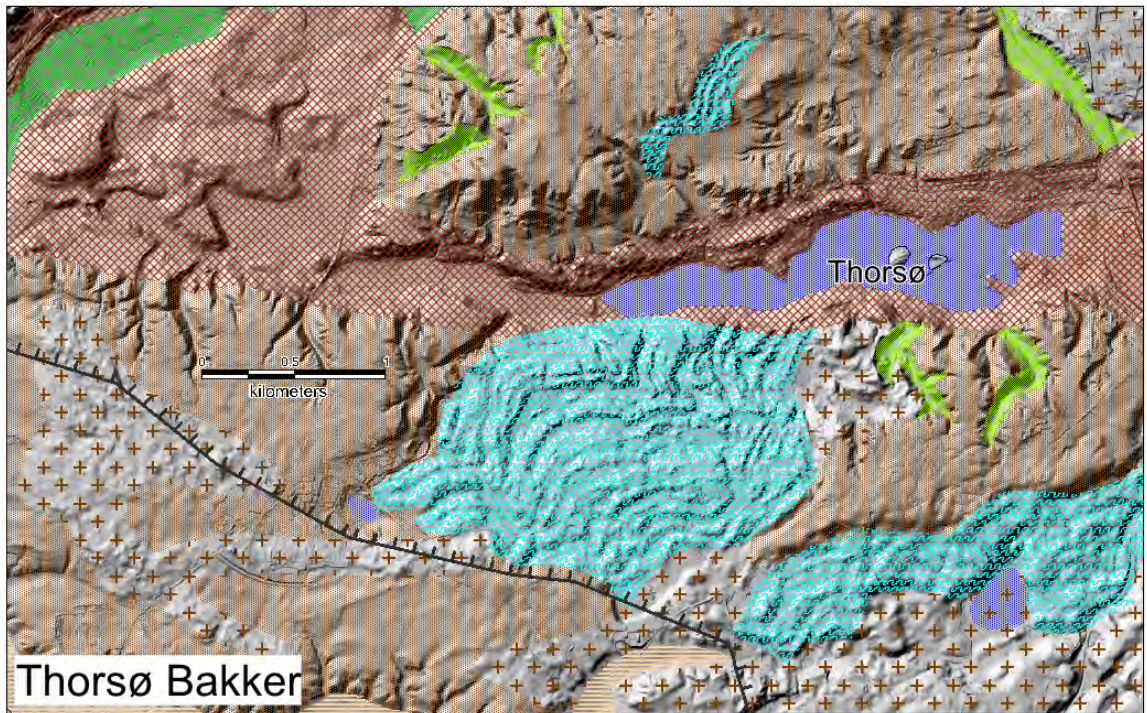
I det kortlagte område munder som beskrevet to tunneldale ud ved Hovedopholdslinjen. Saltendalen og den tilstødende Bryrupdal drejer nord for Vards mod NV og munder ud på smeltevandssletterne ved Sepstrup Sande. Adskilt herfra munder Mattrup dalen, der er væsentligt smallere, ud i smeltevandssletten på St. Hjøllund Plantage, se figur 33.

Tunneldalene indeholder en række landskabsformer, som vidner om forskellige processer under isens fremstød og tilbagesmeltning.

Glaciale bundformer

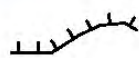
Foruden moselavninger, der hovedsagelig kan tolkes dannet i dødishuller, ses i tunneldalen flere andre bundformer af glacial oprindelse.

Det drejer sig bl.a. om parallelle bueformede bakker, kaldet glaciale kurve-linjeringer, GCL (Glacial curvilineations), som i litteraturen kendes fra subglaciale smeltevandssletter. Deres dannelse bliver forklaret med subglaciale hændelser, hvor smeltevand drænes under isen ved højt tryk og turbulent strømning, Lesemann et al. (2010; 2014).



Landskabstyper

- | | | |
|----------------|-------------------|---------|
| Morænelandskab | Kurve-linjeringer | Mose |
| Dødislandskab | Terrasse | Sø |
| Tunneldal | Erosionsdal | Klitter |



Mulig israndsposition C2(rev)
bag Hovedopholdslinjen (C)



Spaltedal

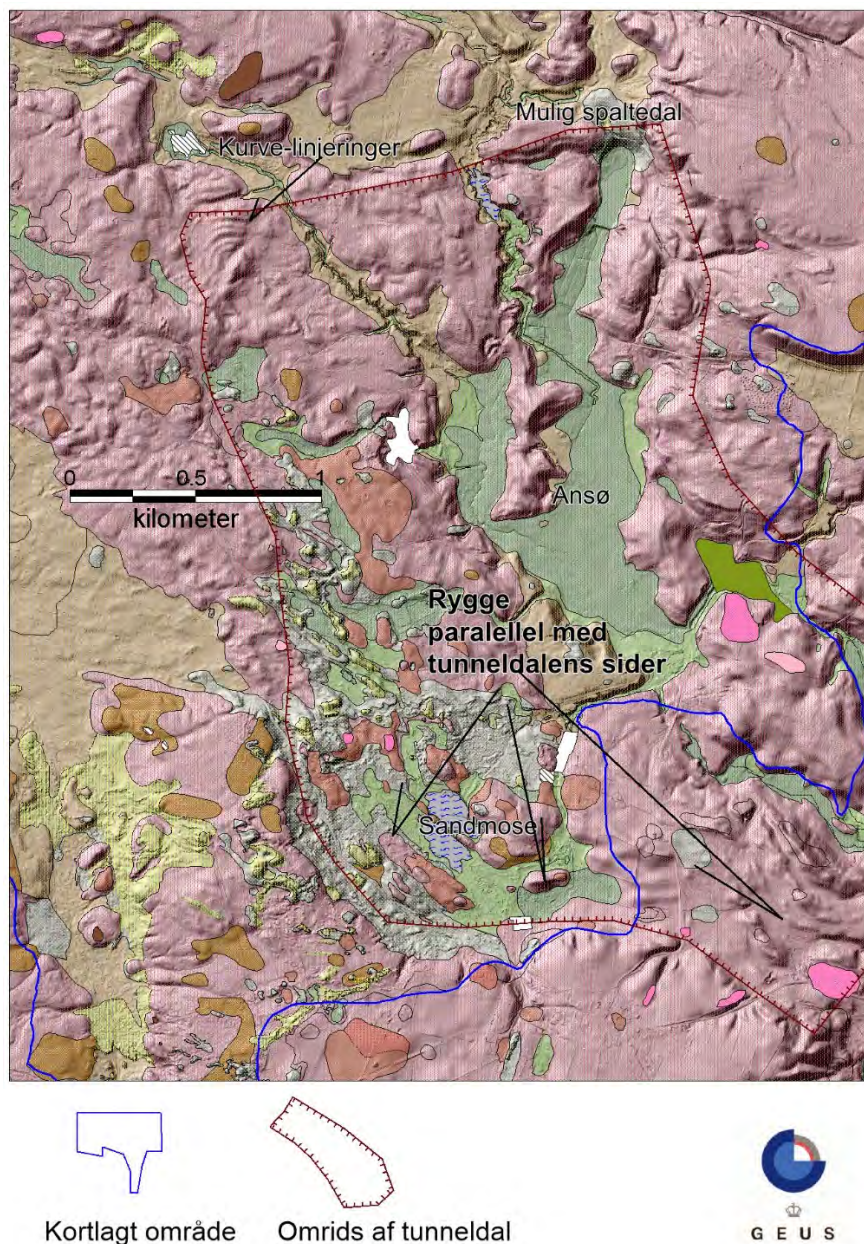


GEUS

Figur 34: Glaciale kurve-linjeringer i tilknytning til tunneldale hhv. i Thorsø Bakke og Skærbæk Plantage.

Denne bundform er fornylig beskrevet ved Thorsø Bakker syd for Virklund af Nielsen (2018) og er i nærværende undersøgelse fundet nord for Ansø i Skærbæk Plantage, se figur 34. Linjeringernes orientering synes her ikke at være entydige i forhold til tunneldalens orientering.

Ved Sandmose, nord for Vrad, hvor tunneldalen drejer mod nordnordvest, er der desuden fundet en række langstrakte rygge, der mere entydigt følger tunneldalens drejning rundt fra V til NNV, se figur 35. Umiddelbart synes de derved at adskille sig fra kurvelinjeringerne og tolkes som morænerygge skubbet op af isbevægelse langs tunneldalens sider. Omkring Sandmose synes disse rygge overvejende at bestå af moræneler, hvilket underbygger tolkningen af, at de er af glacial oprindelse og ikke senglaciale smeltevandsterrasser som foreslået af Hansen (1975).



Figur 35: Relief- og jordartskort for et udsnit af tunneldalen nord for Vrad. Se bilag 1 for jordartslegende.

Smeltevandsterrasser

I tunneldalene findes som nævnt også en række smeltevandsterrasser, der dels er dannet som højereliggende terrasser ved afstrømning fra Hovedopholdslinjen, og dels som lavere terrasser dannet under forskellige senere faser af isens tilbagesmeltning. Mest iøjnefaldende i det kortlagte område er den ovennævnte store terrasse NØ for Saltendalen og de højt liggende terrasser ved mundingen af Matstrup dalen, jf. afsnittet om det unge morænelandskab. Desuden kan erkendes en lavereliggende terrasse (i kote 65) sydvest for Ansø (Hansen 1975), som tolkes dannet ved den senere strømning til Gudenå Systemet (Harder 1908). Der er formodentlig tale om det såkaldte Skalså-stadie, hvor der var forbindelse til Hjarbæk Fjord, (Larsen og Kronborg 1994).

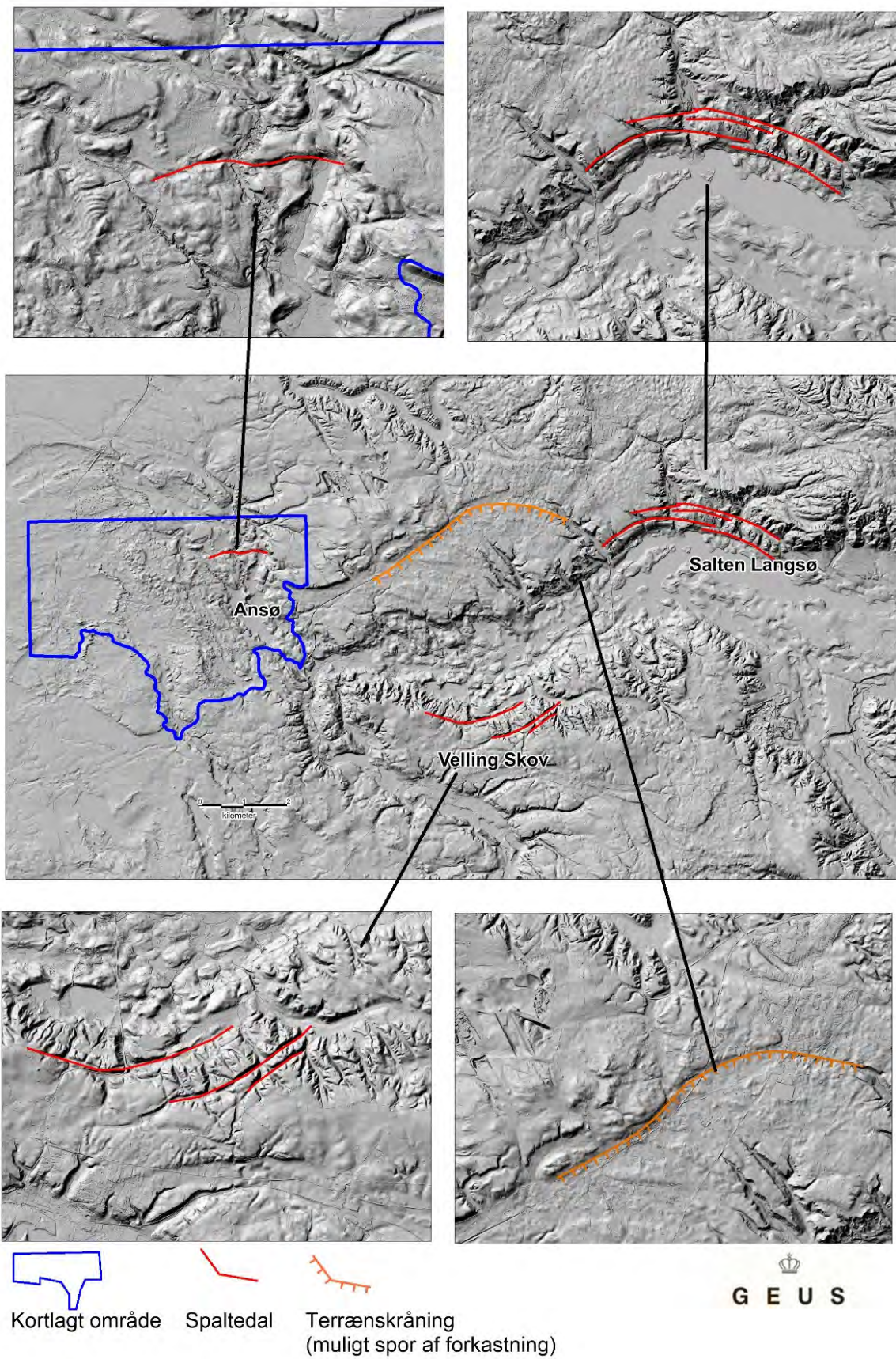
Erosionsdale

Erosionsdale findes mange steder på smeltevandssletten og i det glacielle landskab. Specielt på siderne af tunneldalene findes en lang række skarpt nedskårne erosionsdale, se figur 33. Flere af disse munder i Matstrup og Salten dalene (udenfor det kortlagte område) ud i lavtliggende smeltevands-terrasser nær bunden af tunneldalene. Hansen (1975) relaterer disse terrasser til forskellige faser af afsmeltning til Gudenåsystemet i sen-glacial tid. Andre erosionsdale når tunneldalenes bund, og generelt antages dalene at være blevet formet både i sen- og postglacial tid. I erosionsdalene omkring Saltendalen se stedvis tegn på såkaldte kildedale (Andersen 1957, Jakobsen 2019). Denne dalform tolkes dannet ved at et vandstandsende lag forårsager kildevæld i siderne af en dal, der gør løse sandaflejringer ustabile. De eroderes væk, og der sker med tiden en baglæns erosion væk fra dalen, hvorved der opstår en cirkus-dal lignende dalform.

Spaltdale

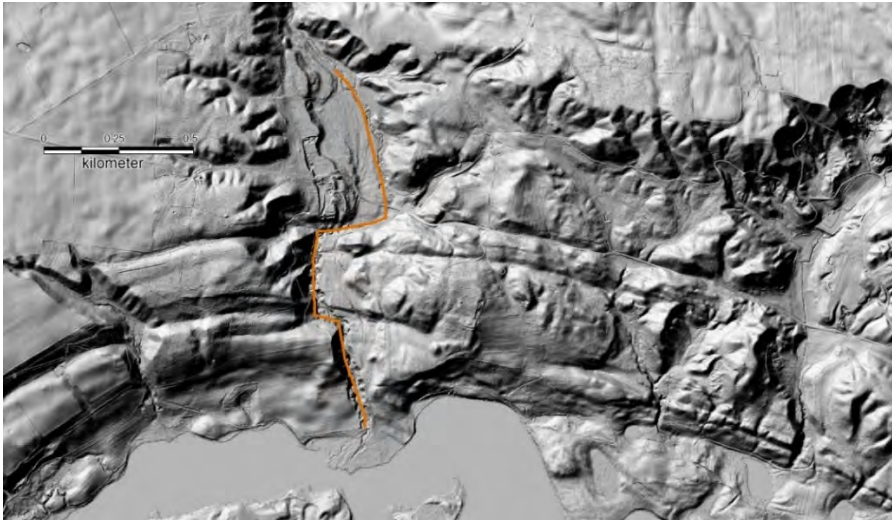
I tilknytning til Saltendalens sider findes en række smalle, skarpt nedskårne buede dale og terrænskråninger. De ses bl.a. som serier af parallelt, buede dale nord for Salten Langsø og i Velling Skov nord for Bryrup. Desuden ses muligvis en tilsvarende dal nord for Ansø i det kortlagte område, se figur 36.

Lignende parallelle dale, kaldet 'spaltdale', er oprindeligt beskrevet mellem Hammel og Hvorslev af Milters (1916) og Jakobsen & Pedersen (2009). De foreslås at være af tektonisk oprindelse. Dalenes placering langs flankerne af Saltendalen og deres indbyrdes parallelitet kunne tyde på, at de ligeledes kan være dannet ved tektoniske bevægelser langs dalens sider. At de alternativt skulle være dannet ved almindelig skred langs siderne af Saltendalen synes mindre sandsynligt, da denne proces må forventes at resultere i parabelformede skredzoner vinkelret på dalen, og oppressede volde ved foden af skreddene.



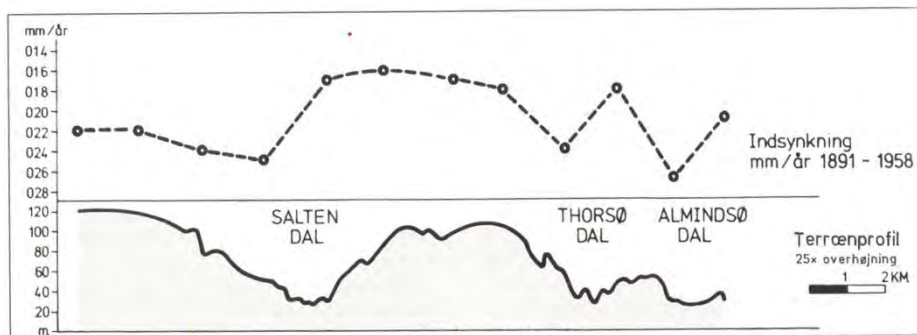
Figur 36: Reliefkort, der viser skarpt nedskårne og buede dale, langs siderne af Salten dalen med tværgående erosionsdale.

Indikationer på, hvornår bevægelserne har fundet sted, fås ved inspektion af relationerne mellem spaltedale og de omgivende erosionsdale, der anses for overvejende at være af postglacial oprindelse. Nord for Salten Langsø skæres spaltedale af flere erosionsdale, se figur 37.



Figur 37: Reliefkort, der viser relation mellem spaltedale og erosionsdale nord for Saltendalen.

Her ses et tydeligt eksempel på, at det eroderende vand, der overordnet er løbet ned ad bakke på strækninger, er blevet fanget af de sideværtsgående dale. Det indikerer, at spaltedale kom før erosionsdalene. Desuden tyder forholdet til de øvrige bundformer i dalen på, at de blev dannet efter, at der var isbevægelse i dalen. Således forekommer det mest sandsynligt, at spaltedale og den buede terrænskråning langs Saltendalen er anlagt som følge af indsynkning i senglacial eller tidlig postglacial tid, muligvis som følge af aflastning af undergrunden, da isen muligvis efter et genfremstød fra SØ smeltede. Sådant indsynkning kan ske langs gamle forkastninger, der ved aflastning reaktiveres, (Sandersen og Jørgensen 2022). En mulig model for større tektoniske bevægelser i det midtjyske Søhøjland er tidligere skitseret af Kronborg et al. (1978), og tegn på indsynkning i Saltendalen helt op i nyere tid sammenlignet med det omgivende højland er tidligere præsenteret af Larsen et al. (1979), se figur 38.



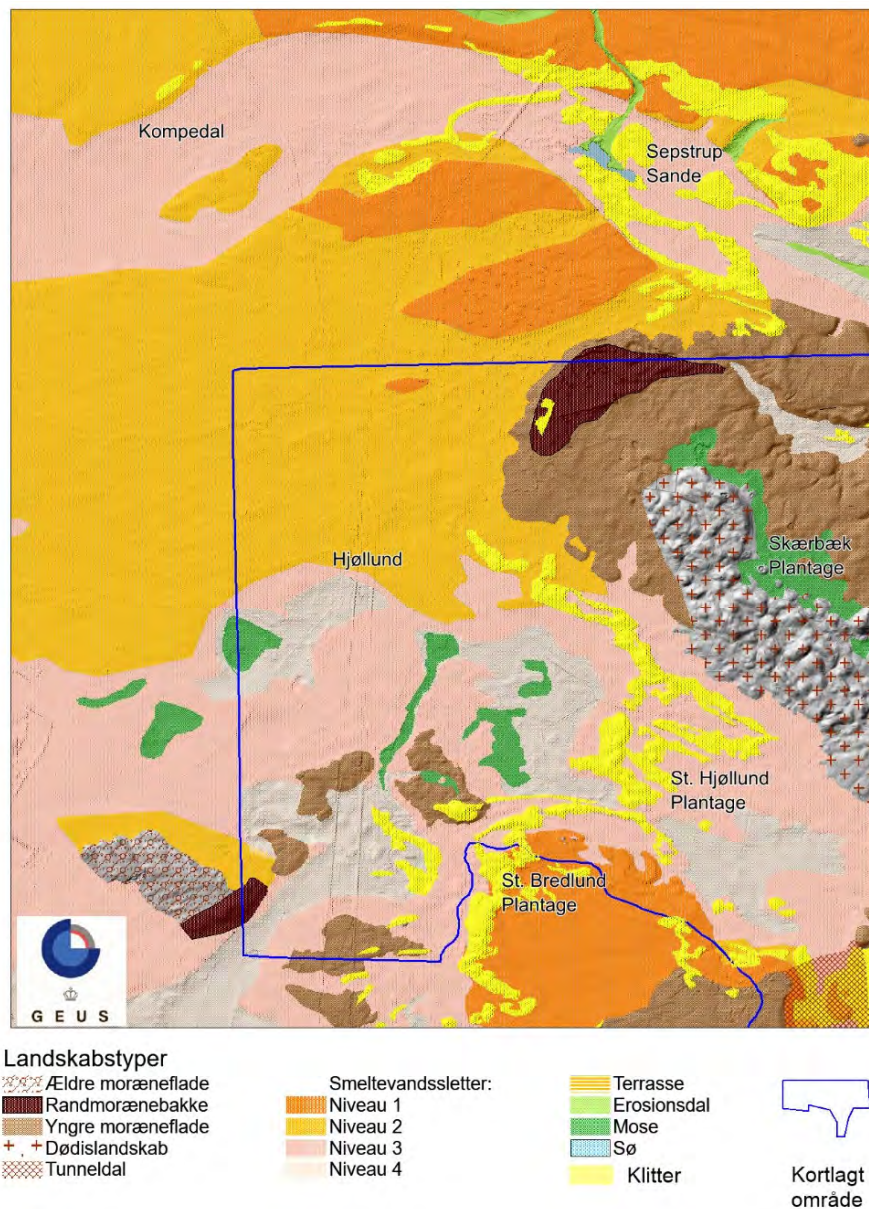
Figur 38: Indsynkning i mm pr. år for et antal målestationer langs en nordgående linje fra Vinding til Silkeborg, baseret på ældre præcisionsmålinger fra Geodætisk Institut, (efter Larsen et al. 1979).

De postglaciale landskabselementer

Flyvesand og klitter

Flyvesand forekommer i sandflader og klitter, der hæver sig over omgivelserne. Større flader af flyvesand findes især ved Vrads Sande og i den nordligste del af Mattrup dalen, se bilag 1. Desuden findes mange steder et tyndt dække (< 1 m) af flyvesand på smeltevandssletterne mod vest. Alderen og dannelsen af områderne med tynde lag af flyvesand er ikke undersøgt nærmere, men der kan være tale om såkaldt Senglacialt dæk sand som beskrevet af Kolstrup et al. (1990).

I St. Hjøllund Plantage og ved Sepstrup Sande findes to større områder med lineære og parabel-formede klitter (Clemmensen 1997) med mellemliggende afblæsningsflader, se figur 39. Overordnet synes de to klitfelter relateret til mundingerne af de to tunneldale i området, og formodentlig har smeltevandssand herfra været til kilde til klitsandet.



Figur 39: Klitter og øvrige landskabselementer ved St. Hjøllund Pl. og Sepstrup Sande.

De parabelformede klitter er overvejende lukkede mod vestnordvest, mens enkelte også er lukkede i den modsatte ende. Dette kunne indikere, at klitterne overordnet er dannet af vind fra en sydøstlig retning langs de eksisterende smeltevandsdale. Et profil gennem en af klitterne i St. Hjøllund Plantage viser imidlertid, at her har været to separate episoder med sandflugt, se ovenstående, og det forekommer derfor muligt, at den samlede klitmorfologi er dannet af vind fra forskellige retninger.

Flere steder bl.a. langs Kompedals nordlige side ses lange tynde klitter, der følger dalens buede sider, (figur 36), og som sådan muligvis er relateret til vindforhold langs dalen. Sørensen (1971) beskriver tilsvarende former relateret til smeltevandsdale bl.a. ved Kærshoved (ligeledes i Kompedal) 6 km vest for det kortlagte område. Han betegner dem "rækkebjerge" og tolker dem overordnet dannet ved sandflugt langdalene, stedvis styret af et højtliggende grundvandsspejl.

I den sydlige del af det kortlagte område ved Bredlund Plantage beskriver klitrækkerne en bred åben bue, der er sammenfaldende med terrænskråningen mellem niveau 1 og niveau 3 på smeltevandssletterne, se figur 36. Dette kunne tyde på, at denne klitbue kan være afsat i læ bag terrænskråningen ved sandflugt fra SØ.

Sammenfatning

Der er i 2020-21 foretaget geologisk jordartskortlægning af et 21,5 km² stort område mellem Vrads og Hjøllund i Midtjylland. Det omfatter bl.a. klitområdet med indsandet Vrads Sande samt store dele af St. Hjøllund og Skærbæk plantager.

Området er beliggende ved Hovedopholdslinjen, som angiver den overordnede udbredelse af det isdække, der sent i sidste istid (Weichsel) skød frem fra nordøst.

Glaciale aflejringer træffes især i de glaciale landskaber mod øst samt på mindre, glaciale øer på smeltevandssletterne langs områdets vestlige rand. Sedimenterne domineres af diluvialt smeltevandssand og grus. Desuden findes mindre områder med moræneler og morænesand. Senglaciale smeltevandsaflejringer af sand og grus træffes primært på smeltevandssletterne i vest samt som terrasser i dalene mod øst. Postglaciale aflejringer af ferskvands-sand, gytje- og tørvedannelser findes overvejende i de lavere dele af områdets tunneldale og i lavninger på smeltevandssletterne. Flyvesand forekommer i sandflader og i klitter, der hæver sig over omgivelserne. Større flader af flyvesand findes især ved Vrads Sande og i den nordligste del af Matstrup dalen. Desuden findes mange steder et tyndt dække (< 1 m) af flyvesand på smeltevandssletterne mod vest.

På baggrund af fordelingen af de kortlagte jordarter, områdets geomorfologi og tidligere geologiske undersøgelser i området kan hovedtrækkene i landskabets dannelse beskrives:

Toppen af prækvartæret udgøres af miocæne, overvejende marine aflejringer, der mange steder uden for dalene træffes højt i terrænet. Med geofysiske undersøgelser er der kortlagt flere helt eller delvist begravede dale, der generelt antages dannet ved smeltevandserosion under isen, og der er bl.a. i Saltendalen fundet tegn på flere generationer af begravede dale langs de samme strækninger. Umiddelbart forventes de ældste dale at være dannet før sidste istid (Weichsel). En ældre kvartær lagfølge findes desuden blottet højt i terrænet ved Asklev 1,5 km nordøst for området. Her træffes glaciale aflejringer fra Saale og muligvis ældre glaciationer. Derover findes flere podsol-jordbunde, som kan henføres til Eem mellemistid og perioden lige efter. Den øvre lagfølge ved Asklev viser tegn på flere isfremstød i Weichsel, hvoraf det yngste antages at svare til fremstødet til Hovedopholdslinjen.

Under isen, der nåede Hovedopholdslinjen, førte tunneldale smeltevand under tryk frem mod isranden. I det kortlagte område munder to tunneldale ud ved Hovedopholdslinjen. Øst for Vrads mødes Salten Dalen fra øst med Bryrup Dalen fra sydøst og fortsætter samlet mod nordvest via Ansø lavningen til tunneldalens munding ved Sepstrup Sande i nord. Længere mod vest munder Matstrup Dalen ud i hedesletten ved St. Hjøllund Plantage. I forlængelse heraf fortsætter er begravet dal, der formodes at være en ældre struktur dannet før fremstødet til Hovedopholdslinjen.

Mens isen stod ved Hovedopholdslinjen strømmede smeltevandet overordnet mod vest og var med til at opbygge de store vestjyske hedesletter, som omgiver et ældre glaciale landskab af såkaldte bakkeøer, der traditionelt henføres til forrige istid Saale. Lokalt er der vest for

Hjøllund dog fundet indikation på, at det seneste isdække her var længere fremme end Hovedopholdslinjen.

Smeltevandssletterne i den vestlige del af området optræder i flere niveauer, hvorimellem der stedvist ses skarpe erosive grænser, som vidner om forskellige faser af afsmeltning og erosion.

Ved Sepstrup nord for Ansø lavningen er den øvre smeltevandsslette kegleformet og har sit toppunkt (omkring kote 100). Her har der efter alt at dømme været en større gletsjerport, hvorfra smeltevand fra tunneldalen er strømmet ud. Tilsvarende har der formodentlig været en gletsjerport ved munden af Matstrup dalen, hvor højtliggende terrasser indikerer, at smeltevandet her er løbet gennem tunneldalen mod nord.

Endnu en kegleformet smeltevandsslette, som hælder mod vest, træffes ved Store Bredlund syd for det kortlagte område, umiddelbart vest for Matstrup Dalen. Denne smeltevandsslette er formodentlig dannet på et senere tidspunkt ved et genfremstød fra SØ, idet der i en grusgrav på smeltevandssletten findes tegn på, at der her i en periode var kolde isfrie forhold efter hovedfremstødet, inden aflejring af de yngre smeltevandssedimenter.

I St. Hjøllund Plantage træffes en lavtliggende smeltevandsslette mellem kote 84 og 87. Kote-forholdene tyder ikke umiddelbart på, at der var tilstrømning fra Matstrup Dalen, da den blev dannet. Det forekommer i stedet muligt, at smeltevandet kom fra stagneret is beliggende i det dødisprægede landskab mod nord (i Skærbæk Plantage) og i den tilstødende lavning ved Ansø. Et endnu lavere sletteniveau (under kote 84 m) træffes syd-vestligst i området. Det udgør en nedre flade i St. Hjøllund Plantage indeholdende Vesterkær. Mod sydvest udgør det bunden i en erosionsdal øst for Storebjerg.

Øst for det kortlagte område tyder landskabsformerne flere steder på, at isen efter den begyndende tilbagesmeltning stødte frem igen. Nye undersøgelser ved Thorsø Bakker syd for Virklund indikerer, at isen her igen kom fra nordøst. Øst for smeltevandsdalen Lovdal antages isranden at være drejet mod syd og sydvest. Det foreslås, at denne israndslinje videre tangerer Saltendalen, øst for Ansø lavningen. At isen her lokalt har bevæget sig mod vestnord-vest, underbygges af terrænstriber i morænelandskabet syd for den foreslåede linje. Isranden vurderes at have passeret Saltendalen sydøst for Ansø, hvor dalen er domineret af relativt høje glaciale bakker og videre at have passeret Matstrup dalen ved toppunktet for smeltevandssletten ved Store Bredlund, hvor isen har givet anledning til smeltevandsstrømning mod vest. Israndslinjen følges videre mod sydvest til Hampen Bjerg, der tolkes som en randmorænebakke. Linjen indikerer således, at der efter fremstødet til hovedopholdslinjen her været genfremstød med isbevægelse fra NØ i nord og fra SØ i den sydlige del af området. Det er dog usikkert, om de to bevægelser har været samtidige.

Da isen mere permanent trak sig bort fra området drænede tunneldalene området i østlig retning, hvorved der bl.a. i Ansø Lavningen blev dannet en række lavere smeltevandsterrasser, som efter alt at dømme har relation til den senere afstrømning til Gudenå Systemet.

Langs Saltendalens sider ses en række smalle, skarpt nedskårne dale, kaldet spaltedale. De findes i serier af parallelle, buende dale nord for Salten Langsø og i Velling Skov nord for

Bryrup samt muligvis nord for Ansø i det kortlagte område. Dalenes placering langs flankerne af tunneldalen og deres indbyrdes parallelitet kunne tyde på, at de er dannet ved forkastninger relateret til dalesiderne. Relationer mellem spaltedalene og de omgivende erosionsdale indikerer, at spaltedalene kom før erosionsdalene. Således forekommer det mest sandsynligt, at spaltedalene langs Saltendalen er anlagt som følge af indsynkning i senglacial eller tidlig postglacial tid, muligvis som følge af aflastning af undergrunden. Præcisions-nivelementer foretaget af Geodætisk Institut tyder på, at denne proces fortsætter i dag.

Flyvesand findes udbredt i sandflader og klitter, der hæver sig over omgivelserne. Større flader af flyvesand findes især ved Vrads Sande og i den nordligste del af Mattrup dalen. Desuden findes mange steder et tyndt dække (< 1 m) af flyvesand på smeltevandssletterne mod vest. Alderen og dannelsen af områderne med tynde lag af flyvesand er ikke undersøgt nærmere, men der kan være tale om såkaldt Senglacialt dæk sand.

I St. Hjøllund Plantage og ved Sepstrup Sande findes to større område med lineære og parabel-formede klitter med mellemliggende afblæsningsflader. Overordnet synes de to klitfelter at være relateret til mundingerne af de to tunneldale i området, og formodentlig har smeltevandssand herfra været til kilde til klitsandet.

Klitternes opbygning og dannelse er nærmere undersøgt i et åbent profil i St. Hjøllund Plantage, der gennemskærer en klitryg. Profilet vidner om to adskilte perioder med sandflugt i området. En ældre periode dateret til omkring 8100 år før nu, hvor hovedparten af klitryggen blev dannet, og en yngre periode i historisk tid, hvor endnu et lag flyvesand blev lagt på klitten. I toppen af den nedre enhed af flyvesand ses en kraftig udviklet podsol jordbund, som indikerer, at der i postglacialtiden har været en lang periode uden sandflugt.

Referencer

- Allen, C.F.1870: De tre nordiske Rigers Historie. Fjerde bind, første afdeling. Gyldendal.
- Andersen, S. A. 1957: De jyske kildedale og deres problemer. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening Bind 13, Hæfte 5, s. 438-440.
- Bender H.1979: De kvartære aflejringer i et område omkring Them. Upubliceret specialeopgave. Aarhus Universitet pp. 1-87
- Clemmensen, L.B. 1997: Klitaflejringer. Geologisk Tidsskrift, hæfte 1, 1–30
- Dalsgaard, K, M. Mikkelsen, F. K. Mortensen, B. V. Odgaard, S. Torp and K. Y. Thomsen 2000: Bakkeølandskabet, hede og fygesand. I: Mellem hav og hede, edited by K. Dalsgaard. Aarhus University Press 2000.
- Ditlefsen, C. B. 2021: *Geologisk jordartskortlægning vest for Horsens*. (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport; Bind 2021, Nr. 74). GEUS.
- GEUS: [Den nationale boringsdatabase Jupiter](#)
- Gravesen, P., Pedersen S.A.S., Klint, K.E.S. & Jakobsen, P.R. 2006: Geologiske kort i Danmark -hvad viser de kvartærgeologiske kort. Geologisk Nyt 2/06 p 10-14.
- Hansen, K. 1975: The Salten Valley. A geomorphological analysis. Dansk geol. Foren., Årsskrift 1974. 5-23 pp.
- Harder, P. 1908: En Østjysk Israndslinie, og dens indflydelse på vandløbene. Danmarks Geologiske Undersøgelse. II række, nr 19. 259 p.
- Hartz, N. 1909: Bidrag til Danmarks tertiære og diluviale flora. Danmarks. Geologiske. Undersøgelse. Række 2, 20.
- Houmark-Nielsen, M. 2021: Istiden i det danske landskab. Lindhardt og Ringhof 391 p.
- Houmark-Nielsen, M. og Kjær, K., H. 2003: Southwest Scandinavia, 40–15 kyr BP: palaeogeography and environmental change. Journal of Quaternary Science 18(8):769 – 786
- Jakobsen, P.R. 2019: Den geologiske kortlægning af Danmark. Feltrapport 2019 for kortbladene 1214 I, 1214 IINØ, SØ, 1214 IV NØ, 1215 II NØ, SØ og SVGEUS RAPPORT 2019/ 34.
- Jakobsen, P.R. 2022: Morfologisk landskabskort. GEUS 2022.
- Jakobsen P.R. & Pedersen S.A.S. 2009: Fracture valleys in central Jylland – a neotectonic feature. Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin 17, pp. 33–36.

Jakobsen, P.R., Tougaard, L. og Anthonen K, 2021: Danmarks Digitale Jordartskort 1:25.000, version 6.0. GEUS Rapport 2021/68.

Kristiansen S.M., Kronborg C., & Dalsgaard K. 2009: Geochemistry of a buried paleosol of Eemian age at Asklev, Denmark. Geophysical Research Abstracts vol.11, EGU2009-7379-2.

Kolstrup, E., Grün, R., Mejdahl, V., Packman, S. & Wintle, A.G. 1990: Stratigraphy and thermoluminescence dating of Late Glacial cover sand in Denmark. Journal of Quaternary Science, Vol. 5. Issue 3, 1990.

Kronborg, C., Bender, H., og Larsen, G. 1978: Tektonik som en mulig medvirkende årsag til daldannelsen i Midtjylland. Danm. Geol. Unders. Årbog 1977.

Kronborg, C. 1983a: Glacialstratigrafien i Øst og Midtjylland. Upubliceret licentiatafhandling. Geologisk Institut, Aarhus universitet. Lokalitet Asklev: p 54-58.

Kronborg, C. 1983b: Preliminary results of age determination by TL of interglacial and interstadial sediments. PACT 9. Pp. 595-605.

Kronborg, C., Bender, H., Bjerre, R., Friberg, R., Jacobsen, H.O., Kristiansen, L., Rasmussen, P., Sørensen, P.R. & Larsen, G. 1990: Glacial stratigraphy of central and eastern Jutland. Boreas 19, 273-287

Larsen, G., Kronborg, C. og Bender H. 1979: Det midtjyske Søhøjland. Geologi. Amtsfredningskontoret. Aarhus Amt.

Lesemann, J.-E., Piotrowski, J. A. & Wysota, W. 2010: "Glacial curvelineations": New glacial landforms produced by longitudinal vortices in subglacial meltwater flows. Geomorphology (120), pp. 153-161.

Lesemann, J.-E., Piotrowski, J. A. & Wysota, W. 2014: Genesis of the 'glacial curvilinear' landscape by meltwater processes under the former Scandinavian Ice Sheet, Poland. Sedimentary Geology (312), pp. 1-18.

Matero, I.S.O., Gregoire, L.J., Ivanovic, R.F., Tindall, J.C., Haywood, A.M. 2017: The 8.2 ka cooling event caused by Laurentide ice saddle collapse. Earth and Planetary Science Letters 473, 205-214.

Milters K. 1935.: Landskabets udformning mellem Alheden og Limfjorden. D.G.U. II 56.

Milters. V. 1916: Spaltdale i Jylland. Danm. Geol. Unders IV. Rk. 1.3. 16pp.

Miljøstyrelsen 2020: Samling af geologiske modeller i Jylland. FOHM – Fælles offentlig hydrologisk model.

Nielsen, E.S. 2018: The GCL Landscape of Thorsø Hills, Denmark - A sedimentological and geomorphological investigation of glacial curvilineations. University of Aarhus, Dept. of Geoscience. Unpubl. Master thesis, June 2018

Oksbjerg, E, & Worsøe, E. 1996. Landskabs historie – Vradtz Herred. E. Egnarkiv – Them kommune.

Oksbjerg, E. 2000. Landskabet Isenbjerg-Them-Nr. Snede. Ikke publiceret rapport.

Olley, J. Caitcheon, G & Murray, A.1998: The distribution of apparent dose as determined by Optical Stimulated Luminescence in small aliquots of fluvial quartz: Implication for dating young sediments. Quaternary Science Reviews, Volume 17, Issue 11, p. 1033-1040.

Rasmussen, E.S. 2017: Sedimentology and sequence stratigraphy of the uppermost upper Oligocene – Miocene fluvio-deltaic system in the eastern North Sea Basin. GEUS 2017.

Rasmussen, E.S., Dybkjær, K. & Piasecki, S. 2006: Neogene fluvial and nearshore marine deposits of the Salten section, central Jylland, Denmark. Bulletin of the Geological Society of Denmark, Vol. 53, pp. 23–37

Rittenour, T.M., 2018: Dates and Rates of Earth- Surface Processes Revealed using Luminescence Dating, Elements, Vol. 14, no. 1, p. 21–26. In Luminescence Dating: Reconstructing Earth's Recent History, R. Smedley and A. Wintle (guest editors).

Sandersen, P.B.E. & Jørgensen, F. 2016: Kortlægning af begravende dale i Danmark. Opdatering 2010-2015. Bind 1 og 2. GEUS 2016.

Sandersen, P.B.E. & Jørgensen, F. 2022: Tectonic impact on Pleistocene and Holocene erosional patterns in a formerly glaciated intra-plate area. Quaternary Science Reviews Volume 293, 1 October 2022, 107681

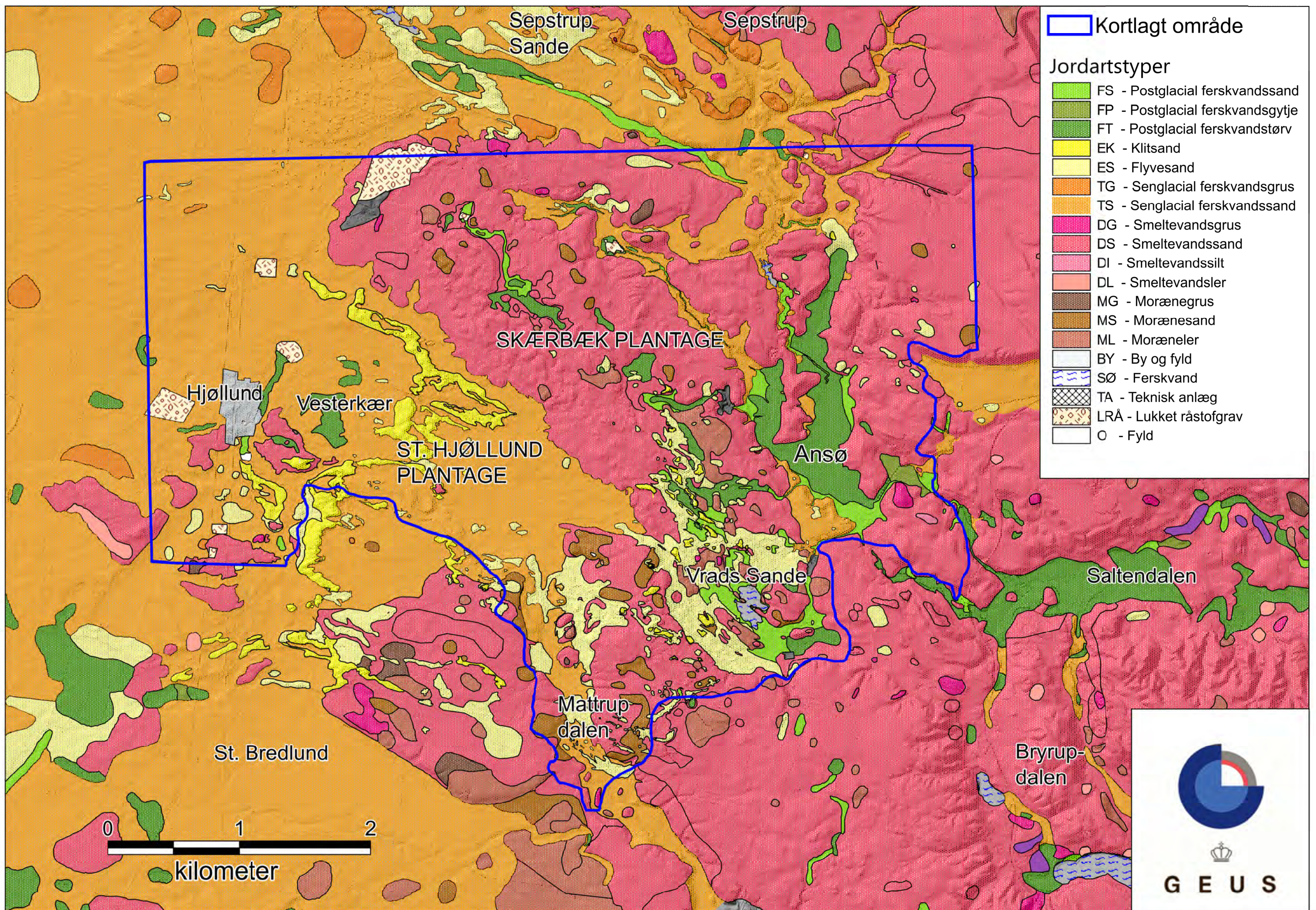
Smed, P. 1981: Landskabskort over Danmark. Geografforlaget 1981.

Sørensen, R. P. 1972: Iagttagelser i jyske indsande. Dansk geol. Foren. Årsskrift for 1971, pp. 5-26.

Ussing, N. V. 1903: Om Jyllands Hedesletter og Teorierne for deres dannelse. Overs. K. danske Vidensk. Selsk. Forh. 1903, No. 2, 99-165.

Ussing, N. V. 1907: Om Floddale og Randmoræner i Jylland. Overs. K. danske Vidensk. Selsk. Forhandling, 4. 161-213.

Bilag 1: Jordartskort



Sepstrup Sande

Sepstrup

SKÆRBÆK PLANTAGE

Hjøllund

Vesterkær

ST. HJØLLUND PLANTAGE

Ansø

Vrads Sande

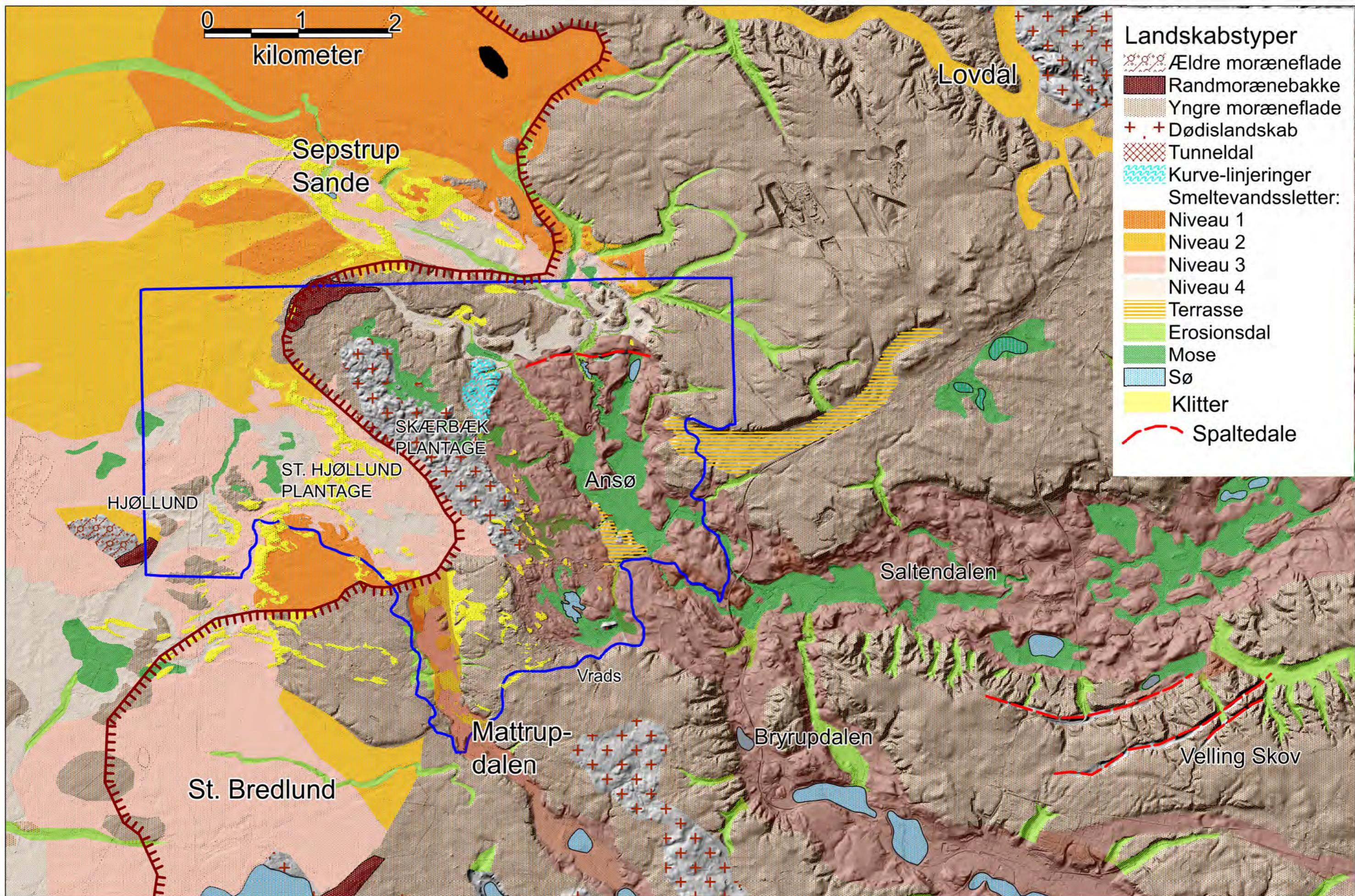
Saltendalen

Mattrup dalen

St. Bredlund

Bryrup-dalen

Bilag 2: Morfologisk kort

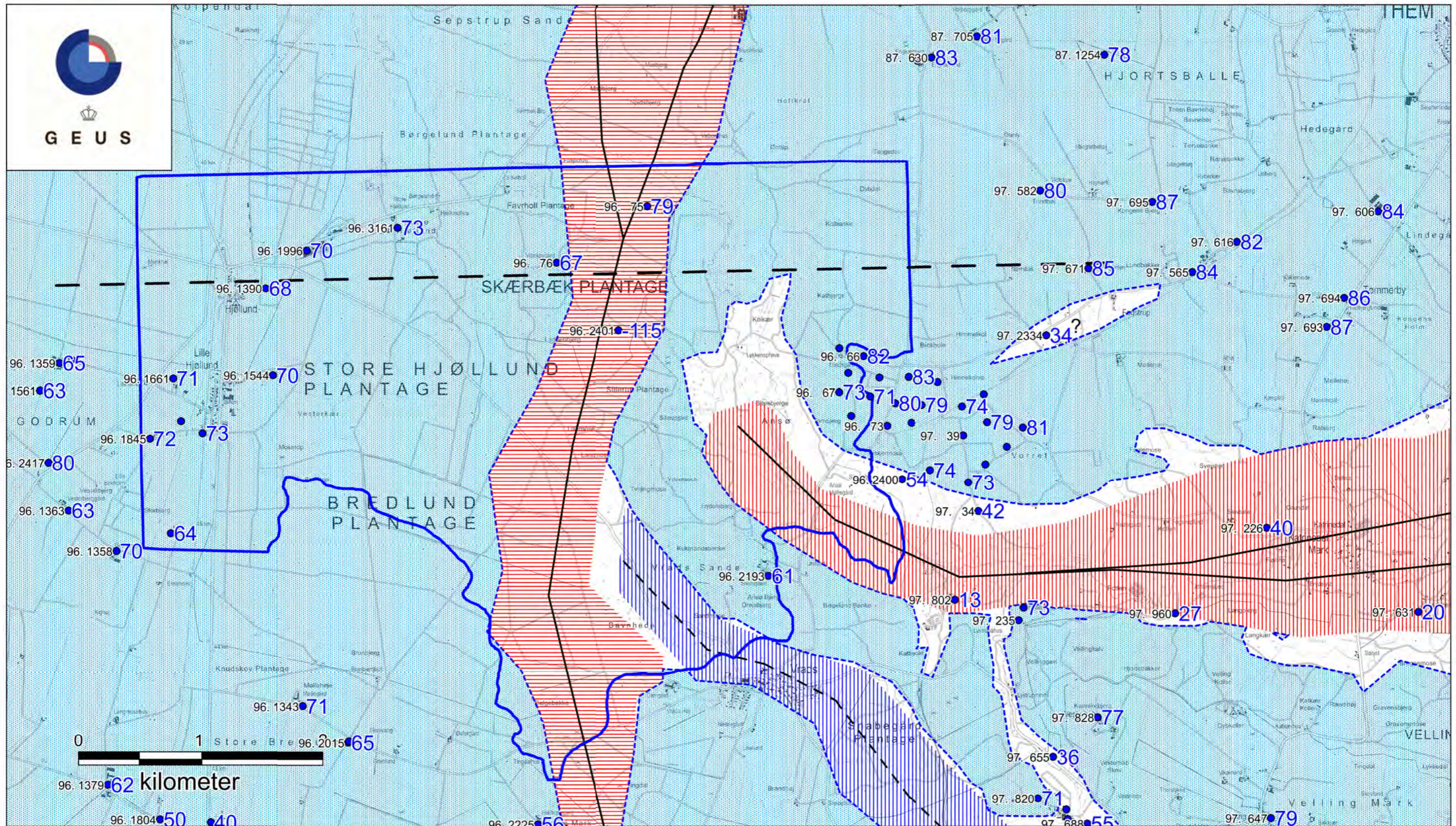


- Landskabstyper**
- Ældre moræneflade
 - Randmorænebakke
 - Yngre moræneflade
 - Dødislandskab
 - Tunneldal
 - Kurve-linjeringer
- Smeltevandssletter:**
- Niveau 1
 - Niveau 2
 - Niveau 3
 - Niveau 4
 - Terrasse
 - Erosionsdal
 - Mose
 - Sø
 - Klitter
 - Spaltdale

Kortlagt område

Hovedopholdslinjen (C)
-lokalt tolket forløb

Bilag 3: Prækvartær-fladen og de begravede dale



Prækvaltærfladen og de begravede dale

Kortlagt område



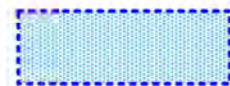
Boringer i prækvaltæret

DGU nr.

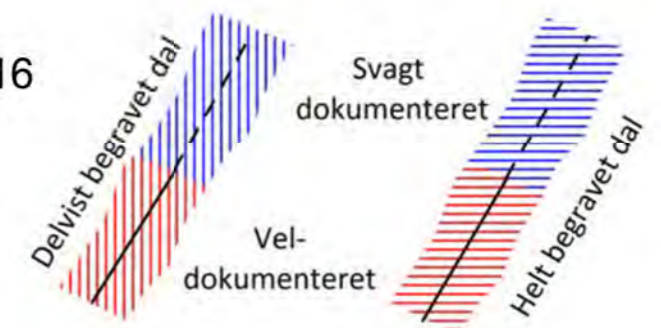
● **Topkote, Miocæn**

Begravede dale
efter Sandersen & Jørgensen 2016

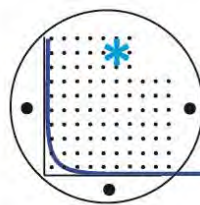
Højtliggende Miocæn,
overvejende over kote 65



Profilsnit i FOHM model



Bilag 4: OSL dateringer



Project: **Claus Ditlefsen, GEUS, DK**
Scientist: **St. Hjöllund Plantage, Vrads**
Report by: **Tammy Rittenour**

Project #: **385**

Report date: **January 5, 2022**

Final Luminescence Age Report

Table 1. Optically Stimulated Luminescence Age Information

Sample num.	USU num.	Depth (m)	Num. of aliquots ¹	Dose rate (Gy/kyr)	Equivalent Dose $\pm 2\sigma$ (Gy)	OSL age $\pm 1\sigma$ (ka)	Age Model ²
VR1	USU-3612	1.30	17 (27)	0.74 \pm 0.04	5.77 \pm 0.45	7.82 \pm 0.75	CAM
VR2	USU-3613	1.3	18 (23)	0.66 \pm 0.04	5.27 \pm 0.64	7.99 \pm 0.87	CAM
VR3	USU-3614	1.8	18 (22)	0.64 \pm 0.04	6.34 \pm 0.66	9.94 \pm 1.04	CAM
VR4	USU-3615	1.8	20 (26)	0.69 \pm 0.04	5.62 \pm 0.44	8.13 \pm 0.79	CAM
VR5	USU-3616	1.10	14 (26)	0.72 \pm 0.04	0.41 \pm 0.18	0.57 \pm 0.13	UL-CAM
VR6	USU-3617	1.10	12 (26)	0.76 \pm 0.04	0.50 \pm 0.15	0.65 \pm 0.11	UL-CAM

¹ Age analysis using the single-aliquot regenerative-dose procedure of Murray and Wintle (2000) on 2mm small-aliquots of quartz sand. Number of aliquots used in age calculation and number of aliquots analyzed in parentheses.

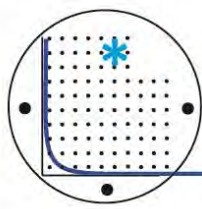
² Equivalent dose (D_E) calculated using the Central Age Model (CAM) or unlogged CAM (UL-CAM) of Galbraith and Roberts (2012).

Table 2. Dose Rate Information

Sample num.	USU num.	In-situ H ₂ O (%) ¹	Grain size (μ m)	K (%) ²	Rb (ppm) ²	Th (ppm) ²	U (ppm) ²	Cosmic (Gy/kyr)
VR1	USU-3612	2.07%	150-250	0.48 \pm 0.01	15.3 \pm 0.6	0.7 \pm 0.2	0.3 \pm 0.1	0.18 \pm 0.02
VR2	USU-3613	1.33%	150-250	0.42 \pm 0.01	14.0 \pm 0.6	0.7 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1	0.18 \pm 0.02
VR3	USU-3614	3.24%	150-250	0.41 \pm 0.01	13.2 \pm 0.5	0.6 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1	0.17 \pm 0.02
VR4	USU-3615	5.13%	150-250	0.47 \pm 0.01	14.8 \pm 0.6	0.6 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1	0.17 \pm 0.02
VR5	USU-3616	4.14%	150-250	0.49 \pm 0.01	15.8 \pm 0.6	0.6 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1	0.19 \pm 0.02
VR6	USU-3617	5.58%	150-250	0.52 \pm 0.01	17.9 \pm 0.7	0.7 \pm 0.2	0.2 \pm 0.1	0.19 \pm 0.02

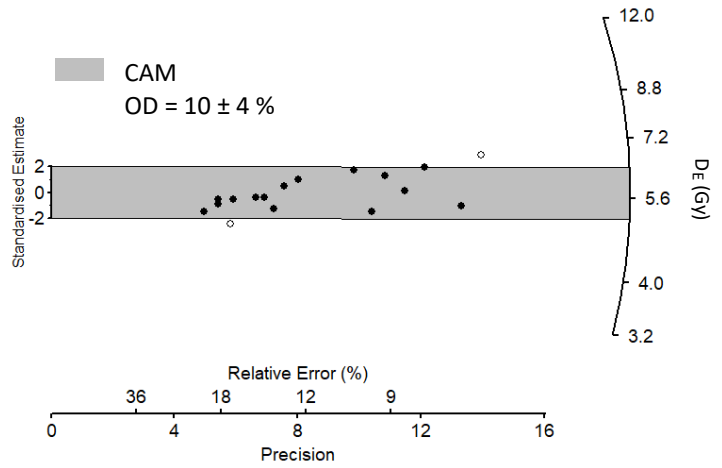
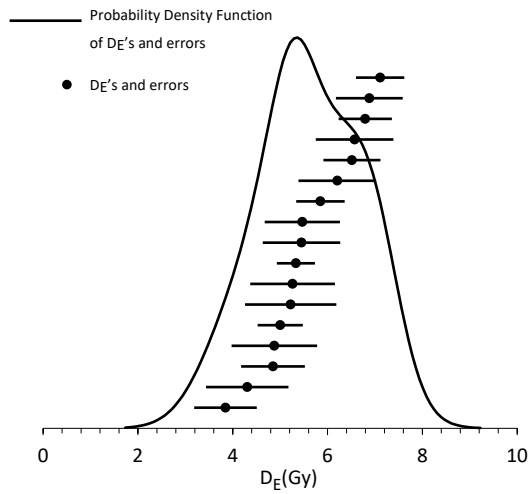
¹ Assumed 5.0 \pm 2.0% as moisture content over burial history in dose rate calculation.

² Radioelemental concentrations determined using ICP-MS and ICP-AES techniques; dose rate is derived from concentrations by conversion factors from Guérin et al. (2011).

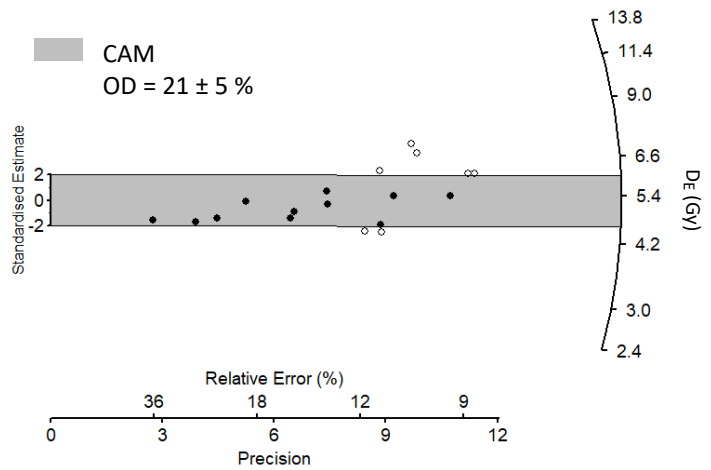
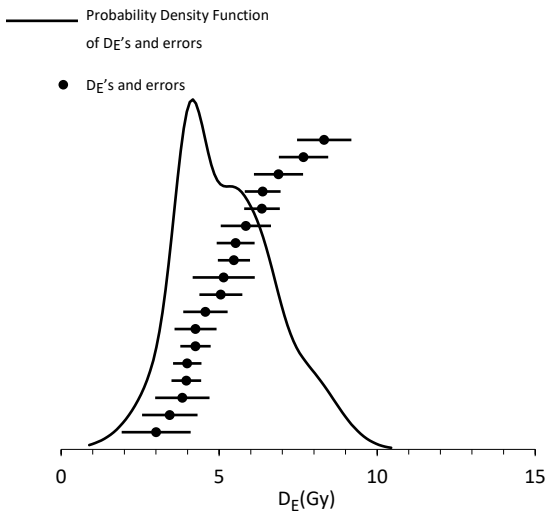


Equivalent dose (D_E) Distributions: Probability density function, radial plot, overdispersion (OD)

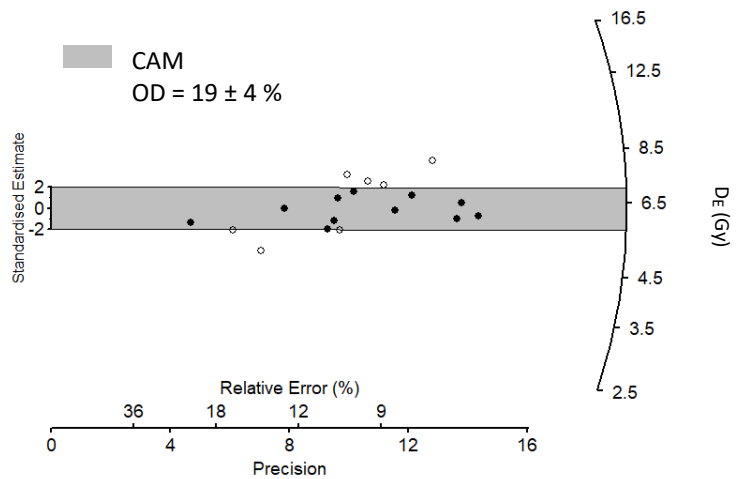
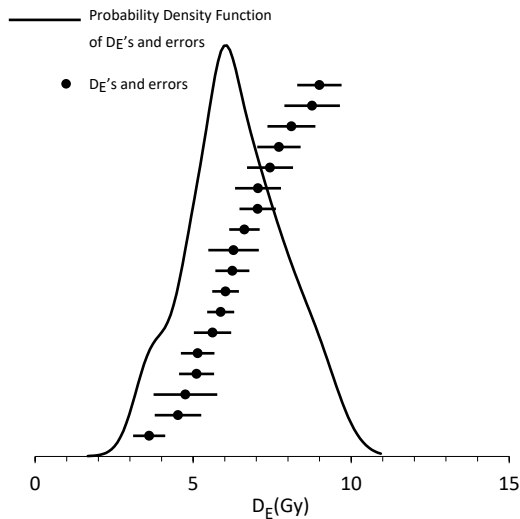
1. VR1, USU-3612

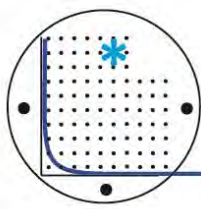


2. VR2, USU-3613



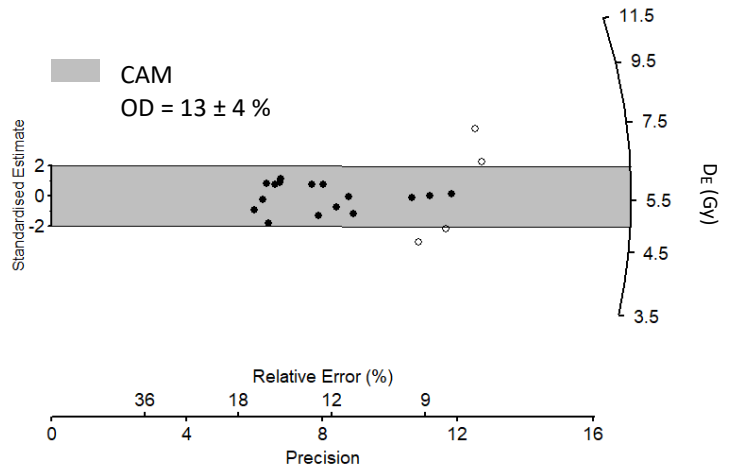
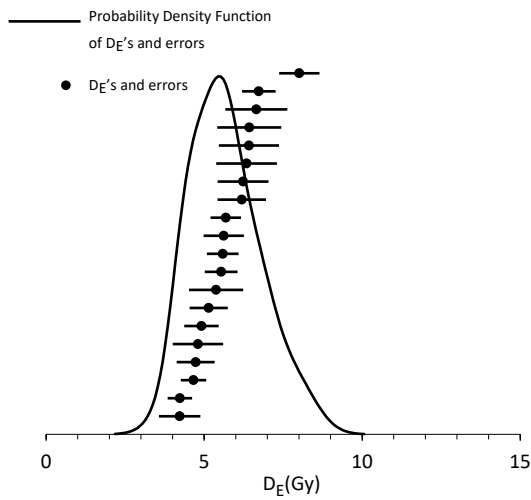
3. VR3, USU-3614



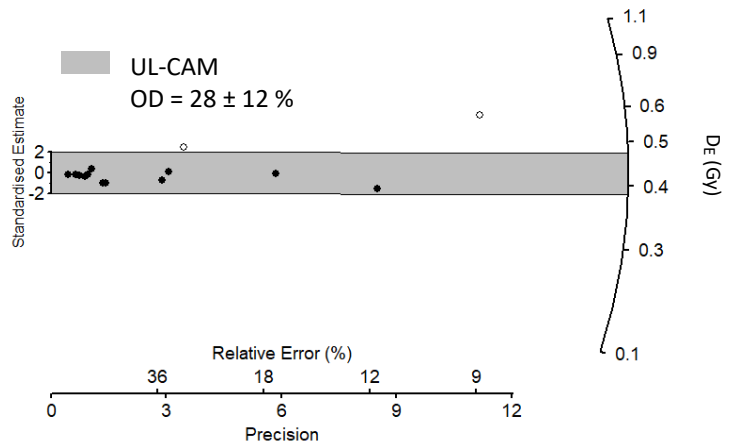
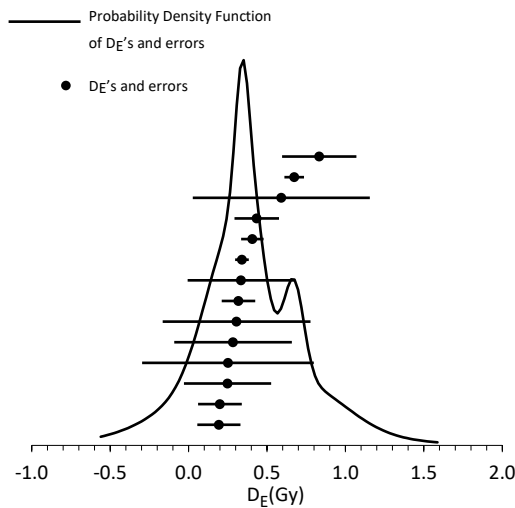


Equivalent dose (D_E) Distributions: Probability density function, radial plot, overdispersion (OD)

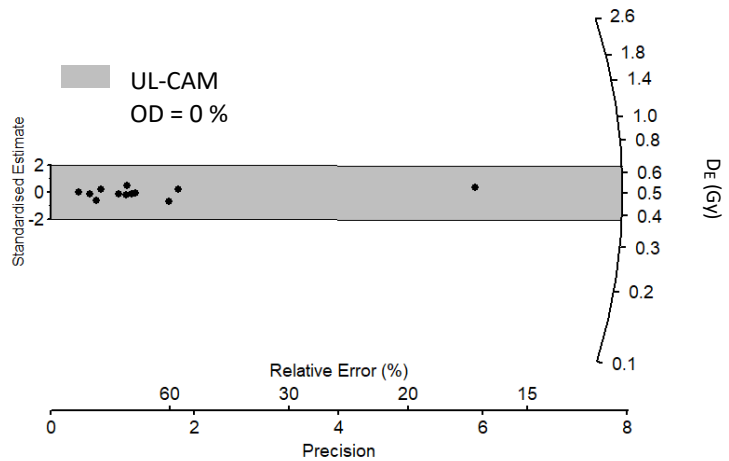
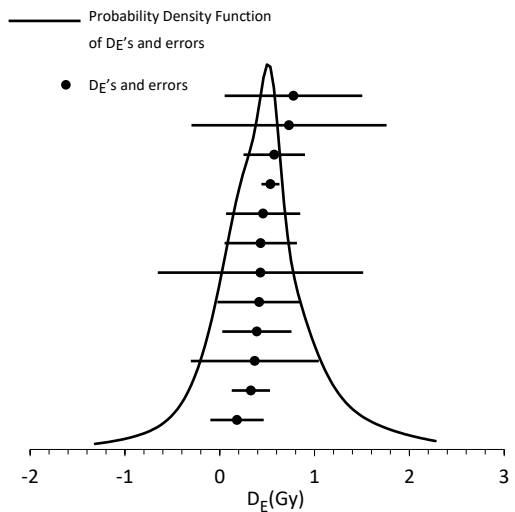
4. VR4, USU-3615

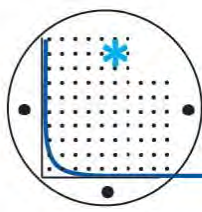


5. VR5, USU-3616



6. VR6, USU-3617





Procedures for sample processing and small-aliquot OSL age analysis:

All samples were opened and processed under dim amber safelight conditions within the lab. Sample processing for quartz optically stimulated luminescence (OSL) dating followed standard procedures involving sieving, HCl and bleach treatments, heavy mineral separation at 2.72 g/cm³, and acid treatments with HCl and HF to isolate the quartz component of a narrow grain-size range, 150-250 μm. The purity of the quartz samples was checked by measurement with infra-red stimulation to detect the presence of feldspar.

The USU Luminescence Lab follows the latest single-aliquot regenerative-dose (SAR) procedures for OSL dating of quartz sand (Murray and Wintle, 2000, 2003; Wintle and Murray, 2006). The SAR protocol includes tests for sensitivity correction and brackets the equivalent dose (D_E) the sample received during burial by irradiating the sample at five different doses (below, at, and above the D_E , plus a zero dose and a repeated dose to check for recuperation of the signal and sensitivity correction). The resultant data are fit with a linear or saturating exponential curve from which the D_E is calculated on the Central Age Model (CAM) or unlogged CAM (UL-CAM) of Galbraith and Roberts (2012). The OSL age is reported at 1σ standard error and is calculated by dividing the D_E (in grays, Gy) by the environmental dose rate (Gy/kyr) that the sample has been exposed to during burial. More details on OSL analyses and results are available upon request.

Dose-rate calculations were determined by chemical analysis of the U, Th, K and Rb content using ICP-MS and ICP-AES techniques and conversion factors from Guérin et al. (2011). The contribution of cosmic radiation to the dose rate was calculated using sample depth, elevation, and latitude/longitude following Prescott and Hutton (1994). Dose rates are calculated based on water content, sediment chemistry, and cosmic contribution (Aitken and Xie, 1990; Aitken, 1998).

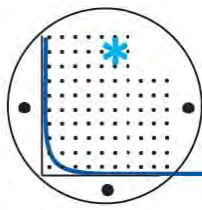
Under the collaborative agreement to analyze samples at the USU Luminescence Lab, please consider including Dr. Rittenour as a co-author on resultant publications. Contact me for additional information and help with describing the OSL technique when you plan your publication.

Dr. Tammy Rittenour
Director
USU Luminescence Lab
1770 N Research parkway, suite 123
North Logan, UT 84341

Professor
Department of Geosciences, Utah State University
4505 Old Main Hill
Logan, UT 84322-4505

tammy.rittenour@usu.edu

<http://www.usu.edu/geo/luminlab/>



References cited:

Aitken, M.J. 1998: An Introduction to Optical Dating: The dating of Quaternary sediments by the use of photon-stimulated luminescence. New York, Oxford University Press, 267 p.

Aitken, M.J., Xie, J., 1990. Moisture correction for annual gamma dose. *Ancient TL* 8 (2), 6-9.

Galbraith, R.F., Roberts, R.G., 2012. Statistical aspects of equivalent dose and error calculation and display in OSL dating: An Overview and some recommendations. *Quaternary Geochronology* 11, 1-27.

Guérin, G., Mercier, N., Adamec, G., 2011. Dose-rate conversion factors: update: *Ancient TL* 29, 5-8.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2000. Luminescence dating of quartz using an improved single aliquot regenerative-dose protocol. *Radiation Measurements* 32, 57-73.

Murray, A.S., Wintle, A.G., 2003. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability. *Radiation Measurements* 37, 377-381.

Prescott, J. R., Hutton, J.T., 1994. Cosmic ray contributions to dose rates for luminescence and ESR dating: *Radiation Measurements* 23, 497-500.

Wintle, A.G. Murray, A.S., 2006. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regenerative protocols: *Radiation Measurements*, v. 41, p. 369-391.