

Bilag 1. Geologi og Pedologi, Repræsentativitet

GEUS: Ingelise Møller, Henrik Vosgerau

DJF: Bjarne S. Hansen, Mogens H. Greve, Svend Elsnab Olesen, Søren B. Torp.

Geologi.

På baggrund af de geologiske profilopmålinger, Jupiter boredatabasen samt georadarundersøgelser, vurderes undersøgelsesområdernes variation og forskellighed. I vurderingen er undersøgelsesområderne opdelt i landskabelementtyper. Endvidere vurderes det om undersøgelsesprofilerne er repræsentative for de respektive undersøgelsesområder og dermed også landskabelementtyper. Formålet hermed er at vurdere om landskabelementtyperne kan danne grundlag for opskalering af modelresultaterne vedr. pesticidudvaskning eller de simple jordegenskaber, som indirekte beskriver pesticidudvaskningen. Sluttelig beskrives udregninger af grundvandsdybden på grundlag af eksisterende datamateriale vedrørende grundvands- og terrænkoter.

Sedimentære facies. I udgravningerne, der knytter sig til fuldt program profilerne (profiler hvor der er gennemført det fulde undersøgelsesprogram), er sedimenterne inddelt i sedimentære facies, hvorfra der er udtaget prøver til måling af den hydrauliske ledningsevne. I figur 1.1 er vist typen af facies og den arealmæssige fordeling af disse opmålt på profilvægge i udgravninger inden for syv forskellige landskabelementtyper. Fordelingen baserer sig på en arealmæssig opmåling af de sedimentære facies i især C-horisonten, men i nogle tilfælde, hvis jordbundsudviklingen ikke har udvisket de sedimentære facies, også i B-horisonten.

I de tre udgravninger på Yoldiafladen domineres sedimenterne af finkornet sand, der er vandret lamineret (facies Sv) eller homogent (facies Sh). Sidstnævnte facies er i mange tilfælde udviklet ved marine organismers bioturbation af facies Sv, hvorved den oprindelige vandrette lamination er blevet udvisket. Den fine kornstørrelse, der dominerer sedimenterne i udgravningerne på Yoldiafladen, samt tilstedeværelsen af sedimentære strukturer i form af vandret lamination (facies Sv) og krydslamination (Sr), vidner om et roligt aflejningsmiljø, hvor sedimenterne blev aflejret fra suspension og bundstrømme i det marine aflejningsmiljø.

I udgravningerne på Weichsel moræneflader på Djursland og i Himmerland består sedimenterne af sandede, strukturløse blandingsbjergarter (facies Dmh), der repræsenterer morænesand afsat af gletschere. I alle udgravningerne er de sandede blandingsbjergarter grusede og indeholder sten og enkelte blokke. Matrix består hovedsagelig af mellemkornet sand med et silt- og lerindhold, der varierer lidt fra lokalitet til lokalitet. Enkelte lodrette sprækker ses i morænesandet ved Låstrup.

I udgravningerne på Weichselmoræneflader i Vendsyssel ses sandede, strukturløse blandingsbjergarter (facies Dmh), der repræsenterer morænesand afsat af gletschere. Morænesandet indeholder spredte gruspartikler og sten. Matrix domineres af svagt til stærkt leret, fint sand. Morænesandsaflejringerne er op til et par meter tykke og overlejrer på alle lokaliteterne smeltevandssand eller smeltevandsler. Lokaliteten ved Hellum skiller sig ud fra de to øvrige lokaliteter ved at morænesandet i dets øvre del stedvis er så leret, at der i realiteten er tale om stærkt sandet moræneler. Endvidere overlejres morænesandet ved Hellum af et tyndt lag smeltevandssand, hvilket ikke er tilfældet på de to øvrige lokaliteter, hvor morænesand udgør den øvre del af udgravningerne.

I alle udgravningerne på bakkeøerne er der sandede, strukturløse blandingsbjergarter (facies Dmh), der repræsenterer morænesand afsat af gletschere. Morænesandet er siltet, svagt gruset og indeholder enkelte sten, hvorimod lerindholdet varierer fra lokalitet til lokalitet (fra leret til stærkt leret). Sandet er hovedsageligt mellemkornet. Morænesandet i udgravningerne ved Hjortkær og Nr. Felding indeholder endvidere linser og striber af smeltevandssand. Enkelte lodrette sprækker ses i morænesandet ved Hjortkær. Ved lokaliteterne Astrup og Nr. Felding

overlejres morænesandet af mere velsorteret sand, der tolkes til at være flyvesand. I udgravningen ved Astrup er andelen af flyvesand ca. dobbelt så stor som andelen af morænesand.

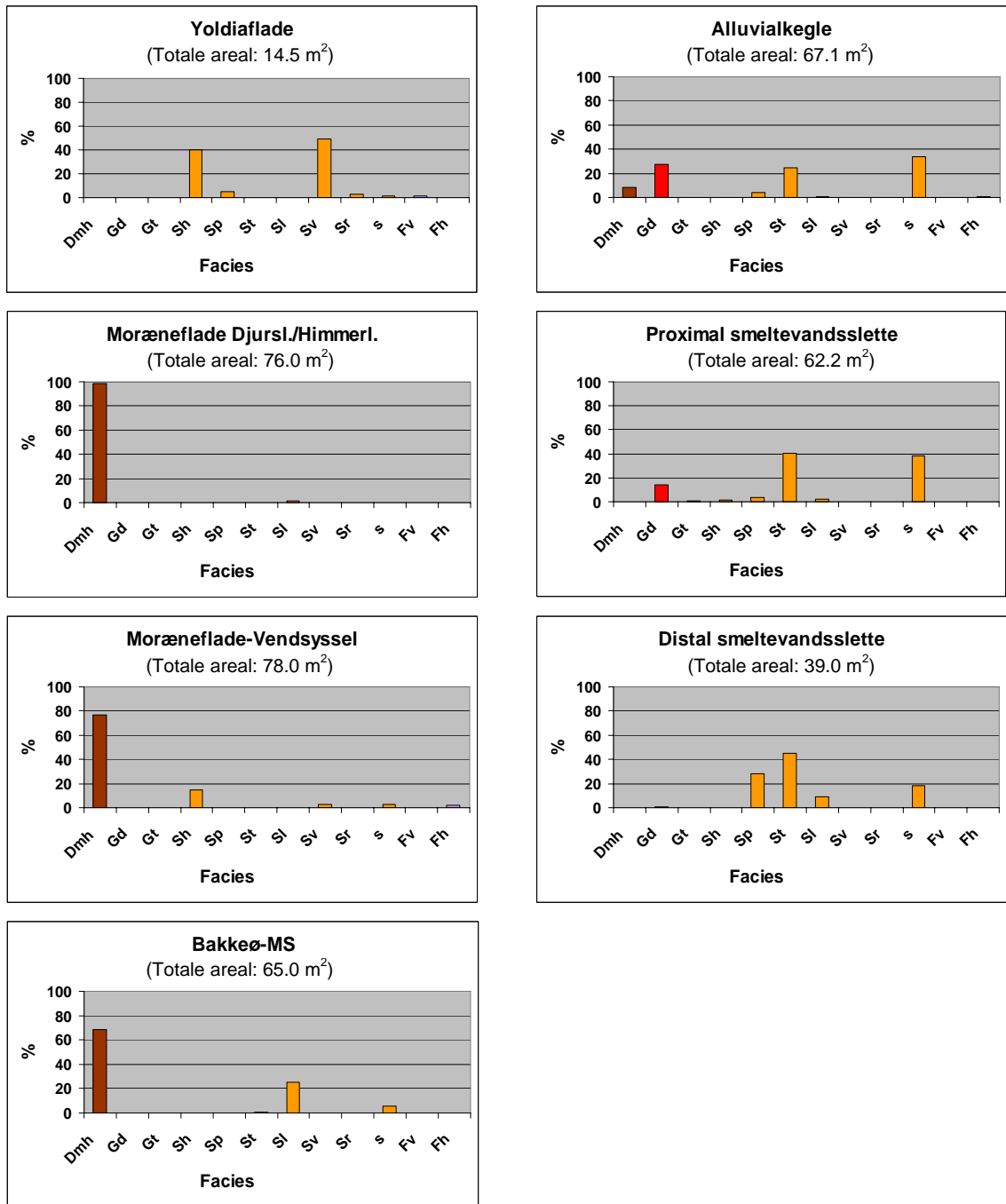
I udgravningerne på alluvialkeglerne domineres sedimenterne af homogent eller dårligt lagdelt grus (facies Gd) samt af mellem- og grovkornet sand, der er trug eller planart krydslejret (facies St og Sp). Den ene lokalitet (Frederiks) skiller sig dog ud ved, at den indeholder færre grusaflejringer og ved, at der forekommer flydejord i form af dårligt sorteret sand (facies Dmh) i udgravningens øvre del. Sedimenternes generelt grove kornstørrelse på de tre lokaliteter vidner om højt energiniveau i smeltevandsfloderne på aflejringsstidspunktet.

I udgravningerne på de proximale smeltevandssletter domineres sedimenterne af trugskrålejtret sand (facies St), der er mellem- og grovkornet og stedvis gruset. Klastunderstøttede gruslag, der er strukturløse (facies Gd), forekommer endvidere i alle udgravningerne. Sedimenternes generelt grove kornstørrelse på de tre lokaliteter vidner om højt energiniveau i smeltevandsfloderne på aflejringsstidspunktet.

På de distale smeltevandssletter er der kun opmålt sedimentære facies på to af lokaliteterne, da et højtstående grundvandsspejl ved Emmerske forhindrede, at udgravningen på denne lokalitet kunne laves så dyb, at sedimentære facies i C-horisonten kunne blotlægges. Sedimenterne på de to øvrige lokaliteter domineres af mellemkornet sand. Ved Simmelkær forekommer der dog også en del grovkornede sandlag. Ved Hogager er sandet hovedsageligt trugskrålejtret (facies St) med sættheder på op til 1 m, hvorimod planart skrålejtret sand (facies Sp) med sættheder på op til 40 cm dominerer i udgravningen ved Simmelkær. De planare og trugskrålejtrede sandaflejringer tolkes at være dannet af sandbanker, der hovedsageligt migrerede nedstrøms i flettede smeltevandsfloder.

Det fremgår af det ovenstående, at der er mindre variationer i typen og fordelingen af sedimentære facies i udgravningerne inden for de enkelte typer af landskabselementer. En sammenligning af udgravningerne på tværs af landskabselementtyperne viser, at udgravningerne adskiller sig fra hinanden med hensyn til typen og fordelingen af sedimentære facies, bort set fra, at morænesandet både inden for Bakkeøerne og Weichselmorænefladerne består af strukturløse, sandede blandingsbjergarter (figur 1.1). Klassifikationen af sandede blandingsbjergarter er dog mindre detaljerede end for vandtransporterede sedimenter og afspejler således ikke de variationer i ler- og siltindhold, og tilstedeværelsen af sandlinser og sprækker, der er konstateret i udgravningerne indenfor og mellem Bakkeøerne og Weichselmorænefladerne. For eksempel synes blandingsbjergarterne at være relativt finkornede i udgravningerne på morænefladerne i Vendsyssel, idet sandet her er finkornet, i modsætning til i udgravningerne indenfor de to øvrige typer landskabselementer med morænesand, hvor sandet hovedsageligt er mellemkornet. Da der på morænesandslokaliteterne også forekommer smeltevandssand og flyvesand, er den geologiske variation, med udgangspunkt i den geologiske sammensætning i udgravningerne, større inden for Bakkeøerne og Weichselmorænefladerne end inden for de øvrige typer landskabselementer.

Andelen af grovkornede sedimenter falder generelt fra alluvialkeglen over den proximale smeltevandsslette til den distale smeltevandsslette. Dette ses ved, at andelen af grusede facies falder i denne retning samt ved, at de sandede facies domineres af mellem- og grovkornet sand indenfor alluvialkeglen og den proximale smeltevandsslette i modsætning til den distale smeltevandsslette, hvor de sandede facies i udgravningerne domineres af mellemkornet sand.



Figur 1.1: Udbredelse af facies i opmålte profilvægge fra udgravninger inden for syv landskabsselementtyper. Fordelingen baserer sig på en arealmæssig opmåling (i m²) af de sedimentære facies fra C-horisonten og nogle tilfælde også B-horisonten. Dmsh: homogen, matrix-understøttet diamikt; Gd: homogen eller dårligt lagdelt grus; Gt: trugskrålejret grus; Sh: homogen sand; Sp: planar skrålejret sand; St: trugskrålejret sand; Sl: lavvinklet skrålejret sand; Sv: vandret lamineret sand; Sr: krydslamineret sand; s: sand hvori primære strukturer ikke kan erkendes på grund af jordbundsudvikling eller lignende; Fv: vandret lamineret ler og silt; Fh: homogen ler og silt.

Georadar. Georadarmetoden kan kortlægge den geologiske variation og sedimentære strukturer i de øverste 5-15 m af jorden (se fx. Møller 2001; Barlebo et al., 2002). Hvor dybt signalet trænger ned i jorden (penetrationsdybden) afhænger af aflejringeres lerindhold, kornstørrelse og sorteringsgrad således, at penetrationsdybden er størst i grovkornede aflejringer uden indslag af lerlag. Undersøgelserne viser, at det for sandede jordarter er muligt kvalitativt at vurdere den geologiske variabilitet med georadar. Ofte kan hele den umættede zone beskrives på denne måde, ligesom metoden kan danne grundlag for vurdering af variationen inden for og mellem de forskellige undersøgelsesområder. Georadarmetoden er også et redskab til korrelation mellem borer og udgravninger og til vurdering af deres repræsentativitet i forhold til omgivelserne. Georadarundersøgelser i sandede områder kan således give information om variationer i dybden og afbilde sedimentære strukturer ofte i hele den umættede zone.

På alle variabilitetsmarker og langs med de tilhørende profillinier samt på ca. halvdelen af de øvrige undersøgelsesmarker er der lavet georadarundersøgelser. Georadarundersøgelserne giver sammen med de udførte profilundersøgelser et overordnet billede af den geologiske sammensætning i den umættede zone. I det følgende er georadarundersøgelserne anvendt til at vurdere, hvor repræsentativt det enkelte fuldt program-profil er for den variationsmark, hvorpå profilet er beliggende, samt hvor repræsentativ variationsmarken er for den tilhørende profillinie. Hvor der er udført georadarundersøgelser på andre af et landskabselements undersøgelsesmarker, er disse inddraget i en vurdering af landskabselementets geologiske variabilitet.

I tabel 1.1 er der opstillet forskellige parametre til beskrivelse af georadarprofilerne, som er opnået ved kørsel med georadar på variationsmarkerne. Parameteren "penetration" angiver, i hvor stor dybde under terræn georadarsignalerne kan erkendes. Generelt gælder det, at penetrationsdybden falder jo mere finkornede sedimenterne bliver. Specielt er penetrationsdybden lille, hvis sedimenterne er lerede. Parameteren "amplitude" angiver, hvor kraftigt de målte refleksioner slår igennem. Kraftige amplituder angiver blandt andet markante lithologiske kontraster i de målte sediment. Parameteren "refleksion" angiver udseendet af de registrerede refleksioner; herunder deres kontinuitet og form.

På *Yoldiafladens* variationsmark ved Ulsted varierer penetrationsdybden fra 1–8 m.u.t., dog med to dominerende niveauer på henholdsvis 1,5–2 og 5–6 m.u.t. Variationen i penetrationsdybden kan betegnes som moderat til stor og angiver dermed, at sedimenternes tekstur varierer. Amplituden er svag til moderat, hvilket indikerer, at sedimenternes lithologiske kontraster er små. Refleksionernes kontinuitet er stor og angiver, at der findes lag, som har længder på over 200 m. I de øverste 1–2 m er refleksionerne subhorisontale, mens storskalabølgende strukturer ses i de dybere niveauer. På lille skala (5–10 m) er variationen i refleksionernes udseende lave, hvorimod refleksionernes bølgende strukturer på større skala gør, at variationen kan betegnes som moderat til stor på en stor skala (>100 m).

Refleksionsmønstrer med bølgeformede og hældende refleksioner indikerer, sammenholdt med de geologiske data, at sedimenterne er aflejret i migrerende banker i et kystnært miljø. Ved det sted, hvor udgravningen er placeret på Ulsted mark, er refleksionerne forstyrret, men de omkringliggende refleksioner indikerer, at stedet sandsynligvis udgøres af bankeformede aflejringer. Observationer i udgravningen viser, at sedimenterne domineres af finkornet sand

Lokalitet	Landskabsэлемент	Penetration (m u.t.)					Amplitude		Refleksion				
		Min.	Max	Profil	Dominerende	Variation	Styrke	Variation	Kontinuitet	Form	Særlige karakteristika	Variation Lille skala (5-10 m) Stor skala (>100 m)	
Ulsted	Yoldia flade	1	8	4 til 5	5 - 6, men også meget 1,5 - 2	moderat til stor	Svag til moderat	Lille på lille skala, moderat til stor på stor skala	Stor, nogle refleksioner kan følges mere end 200 m	Subhorisontale dominerer øverste 1-2 m. Derunder storskala bølget	Storskala bølget	Lille	Middel til stor
Stubkær	Alluvialkegle	4,5	9	7,5	hældende fra 4,5 (SV) - 7,5 (NØ)	Lille	Kraftig	Lille på stor skala, Større på lille skala	Hovedsagelig lille (10-15 m eller få meter) men op til 30-40 m i Ø-V orienterede profiler	Subhorisontale dominerer i stor grad, også hummocky præg a la profiltegning	Flimmeret udseende. GVS 2-4 m.u.t. ?	Moderat	Lille
Kølvrå	Proximal smeltevandsslette	9	10,5	ca. 9,5	ca. 9,5	Lille	Kraftig	Lille på stor skala, Større på lille skala	Blanding af lille 3-10 m, større 20-30 m, enkelte op til 100 m	Horisontale-subhorisontale refleksioner dominerer, også enkelte områder med svagt hældende refleksioner og områder med hummocky præg.	Et lidt flimrende udseende blandet med zoner med horisontale til subhorisontale refleksioner med kraftigere amplitude	Moderat	Lille
Simmelkær	Distal smeltevandsslette	5	10	ca. 7	6-7,5	Lille	Kraftig	Lille på stor skala, Større på lille skala	Blanding af lille 3-10 m (nogle hældende), større 20-30 m (mest horisontale)	Vekslende mellem zoner med horisontale-subhorisontale svagt bølgede refleksioner og zoner med hummocky præg.	Lidt flimrende udseende vekslende med horisontale refleksioner	Stor, hvor flimrende; lille hvor horisontale refleksioner	Lille
Astrup	Bakkeø - MS	1,5	6	6	ca. 2	Moderat	Svag	Lille til moderat på lille og stor skala	Et par kontinuerte refleksioner inden for de øverste 2 - 3 m (op til 100 m lange). Mange forholdsvis lange, svækkede, brudte refleksioner	Subhorisontale	Subhorisontale refleksioner der stedvis svækkes	Lille til moderat	Moderat
Sjørup	Weichsel moræneflade - Djursl./Himmerl.	2-2,5	9	4,5	3-4,	Middel til stor på stor skala, lille på lille skala	Svag til moderat	Moderat	Lille, pånær en enkelt gennemgående refleksion, der ligger i 3,5-4 m's dybde (muligvis grænsen mellem DS og underliggende MS)	Områder med subhorisontale refleksioner og områder med hummocky præg (opbrudte og hældende). Lidt kaotisk præg	Gennemgående og svage refleksioner, hvorunder signalet "dør"	Moderat	Moderat til stor

Tabel 1.1: Beskrivelse af georadarprofilerne opnået ved kørsel med et 100 MHz georadarsystem på de seks variationsmarker.

Langs med profillinien viser georadarprofilet bølgede strukturer adskilt af subhorizontale strukturer svarende til, hvad der ses på variationsmarken. Flere steder falder penetrationsdybden brat på flanken af bankestrukturerne, hvilket indikerer, at de sedimenter, som fylder lavningerne ud mellem bankerne, er mere lerede eller siltede. Enkelte steder er penetrationsdybden meget lav, hvilket indikerer, at der findes ler umiddelbart under terrænoverfladen. En af borerne, der indgår i profillinien, er beliggende i et sådant område med lav penetrationsdybde. Her viste boringen tilstedeværelsen af Senglaciale marint ler ned til 3 m.u.t.

Det kan konkluderes, at fuldt program-profilet på Ulsted mark sandsynligvis repræsenterer sandbanker, der ses som bølgeformede strukturer på georadarprofilerne og tolkes til hovedsageligt at være finkornet sand. Lavningerne mellem sandbankerne, repræsenteret ved de subhorizontale strukturer på georadarprofilerne, består sandsynligvis af lidt mere finkornede sedimenter. Endvidere er Ulsted mark i georadarmæssig henseende repræsentativ for profillinien. Fuldt program-profilet repræsenterer dermed omkring halvdelen af de områder, hvor der er kørt georadar på Yoldiafladen.

På *alluvialkeglens* variationsmark ved Stubkær varierer penetrationsdybden for et 100 MHz georadarsystem fra 4,5–9 m.u.t. jævnt stigende fra sydvest til nordøst. Generelt er variationen i penetrationsdybden lille. Amplituden er kraftig og indikerer dermed, at sedimenternes lithologiske kontraster er stor. Refleksionernes kontinuitet er hovedsagelig lille (fra få meter til 10–15 m). I de øst-vest orienterede georadarprofiler kan refleksionerne dog være op til 30–40 m lange. Subhorizontale refleksioner dominerer i stor grad, men en del steder får refleksionerne også et "hummocky" præg. Det er karakteristisk, at refleksionerne generelt danner et lidt "flimret" mønster. Variationen i refleksionsmønsteret er moderat på lille skala og lille på stor skala.

I udgravningen på marken veksler sedimenterne mellem strukturløse gruslag og skrålejrrede sandlag, hvoraf nogle kiler ud lateralt. Den observerede geologi er i god overensstemmelse med, at georadarundersøgelserne inden for marken viser refleksioner, der har kraftig amplitude og lille kontinuitet samt subparallel til hummocky-prægede forløb. Georadarsignalernes udseende ved fuldt program-profilet er repræsentativ for signalernes udseende i den øvrige del af marken.

I tilknytning til borerne, der indgår i profillinien, er der lavet georadarundersøgelser. Boringerne varierer i boreddybde fra 4–8,5 m u.t. og består af smeltevandsaflejringer, der varierer i kornstørrelse fra fint til grovkornet sand. Den groveste sandfraktion er ofte svagt gruset eller gruset og stedvis stenet. Der ses ingen systematisk variation i kornstørrelsesfordelingen i borerne ud langs profillinien. For eksempel er andelen af grove sandlag ikke større i den østlige og proximale del af alluvialkeglen end i den vestlige og mere distale del af keglen. Resultaterne af georadarundersøgelserne viser, at subhorizontale brudte refleksioner dominerer. Penetrationsdybden er generelt mellem 6 og 10 m.u.t. målt med et 200 MHz georadarsystem. Data optaget med et sådant system vil almindeligvis have penetrationsdybder, der er 1–3 m mindre end data optaget med et 100 MHz georadarsystem. Den laterale udstrækning af refleksionerne varierer typisk fra et par meter og op til omkring 20 m. Dog ses der på de fleste af georadarprofilerne også zoner med høj amplitude, hvor interne refleksioner kan nå længder på op til 50 m. Selve zonerne med forhøjet amplitude kan have flere 100 m's udstrækning og enkelte af dem danner relief på 4-5 meter. Hvor zonerne danner lavninger, ses der oven over dem typisk både subhorizontale og hældende refleksioner. Nærtliggende borer indikerer, at zonerne med forhøjet amplitude består af grusede, grovkornede sandlag og de overlejrende sedimenter af svagt grusede, fint og mellemkornede sandlag.

De store ligheder mellem alle georadarprofilerne viser, at fuldt program profilet og variationsmarken er repræsentativ for profillinien.

På *den proximale smeltevandsslettes* variationsmark ved Kølvrå varierer penetrationsdybden mellem 9,0 og 10,5 m.u.t. målt med et 100 MHz georadarsystem. Den dominerende penetrati-

onsdybde ligger på 9,5 m.u.t. og variationen i penetrationsdybde er generel lille. Amplituden er kraftig, hvilket indikerer, at sedimenterne har relativt store lithologiske kontraster. Refleksionernes kontinuitet veksler mellem lille (3–10 m) og moderat (20–30 m) og til stor (større end 100 m) for nogle enkelte refleksioner. Subhorizontale refleksioner dominerer. Der findes også enkelte hældende refleksioner og områder, hvor refleksionsmønstret har et "hummocky" præg. Det er karakteristisk, at georadarprofilerne har et lidt "flimrende" udseende vekslede med zoner med subhorizontale refleksioner med kraftigere amplitude. Variationen i refleksionsmønstret er moderat på lille skala (5-10 m) og lille på stor skala (> 100 m).

I udgravningen på marken ses skrålejrede, mellem- og grovkornede sandlag, hvoraf nogle kiler ud lateralt. I den øvre del af udgravningen ses endvidere et gennemgående gruslag, der er op til 60 cm tykt. Den observerede geologi er i fin overensstemmelse med, at georadarundersøgelserne inden for marken viser refleksioner, der har kraftig amplitude og forskellig kontinuitet, samt subhorizontalt eller "hummocky" forløb. Georadarprofilerne, som omkranser fuldt program profilet, har meget ens-udseende refleksionsmønstre og ligner også resten af georadarprofilerne på variationsmarken. Det må derfor konkluderes, at fuldt program-profil er repræsentativt for variationsmarken.

Boringerne langs profillinien varierer i boret dybde fra 3–5 m.u.t. og består af smeltevands-sand, der er fin- og mellemkornet. Grovkornede sandlag er kun konstateret i de to østligste boringer, hvor de udgør en mindre andel af de gennemborede sedimenter. Det er kun i den vestligste boring, at der er konstateret et enkelt tyndt lag af sand og grus. Der ses ingen klar systematisk variation i kornstørrelsesfordelingen i boringerne ud langs profillinien. Dog er andelen af grovkornede sandlag som nævnt større i den østlige del af den proximale smeltevands-slette, der har befundet sig tættere på gletscherporten, i forhold til i den vestligste del, der har befundet sig længere væk fra gletscherporten.

I tilknytning til boringerne, der indgår i profillinien, er der lavet georadarundersøgelser. Penetrationsdybden ligger mellem 4,5 og 9 m u.t. med en dominerende penetrationsdybde for alle lokaliteter på 7–8 m u.t. for georadarprofiler optaget med et 200 MHz georadarsystem. Refleksionernes kontinuitet er som på variationsmarken vekslede mellem lille (3–10 m) og moderat (20–30 m) og til stor (større end 100 m) for nogle enkelte refleksioner. Refleksionsmønstret domineres på flertallet af lokaliteterne af subhorizontale refleksioner. Derudover findes en del hældende og bølgede refleksioner samt zoner, hvor refleksionsmønstret har "hummocky" præg. I flere georadarprofiler er der enkelte refleksioner med kraftigere amplitude og en lateral udstrækning på mere end 100 m.

Der er store ligheder mellem alle georadarprofilerne optaget langs profillinien, hvilket viser, at der ikke er store laterale variationer i aflejringssmiljø og sedimenter langs profillinien. Variationsmarken ligger 7–10 km nordøst for de nærmeste profillinie-lokaliteter. Dog er der så store ligheder mellem profillinies georadarprofiler og variationsmarkens georadarprofiler, at man må antage, at fuldt program-profil og variationsmarken er repræsentativ for profillinien.

På den distale smeltevands-slettes variationsmark ved Simmelkær varierer penetrationsdybden målt med et 100 MHz georadarsystem mellem 5 og 10 m u. t. med den største penetrationsdybde i den østlige del af marken. Variationen i penetrationsdybde er dog generel lille. Amplituden er kraftig, hvilket indikerer, at sedimenterne har relativt store lithologiske kontraster. Refleksionernes kontinuitet veksler mellem lille (3–10 m) og moderat (20–50 m), hvor de mere kontinuerte refleksioner hovedsagelig er subhorizontale. Refleksionsmønstret veksler mellem zoner med subhorizontale refleksioner, som kan være svagt bølgeformede, og zoner, hvor refleksionsmønstret har et "hummocky" præg. I de øst-vest-orienterede liner dominerer subhorizontale refleksioner. Der findes enkelte vandrette refleksioner med kraftigere amplitude. Disse er dog ikke så kontinuerte som tilsvarende refleksioner på variationsmarkerne på den proximale del af smeltevands-sletten og på alluvialkeglen. Det er karakteristisk, at georadarprofilerne har et lidt "flimrende" udseende vekslede med zoner med subhorizontale reflek-

sioner med kraftigere amplitude. Variationen i refleksionsmønstrer på lille skala (5–10 m) er lav, hvor subhorizontale refleksioner dominerer, og moderat til stor, hvor det flimrende udseende dominerer. På stor skala (> 100 m) er variationen ringe.

I udgravningen på marken består sedimenterne af skrålejrrede sandlag, hvoraf enkelte er gennemgående i udgravningen, mens andre kiler ud. I enkelte af de skrålejrrede sandlag ses grusede foresets. Den observerede geologi er i fin overensstemmelse med, at georadarundersøgelserne inden for marken viser refleksioner, der har kraftig amplitude og forskellig kontinuitet, samt subhorizontale og "hummocky" forløb. Georadarprofilerne, som omkranser fuldt program-profilet, har meget ens-udseende refleksionsmønstre og ligner også resten af georadarprofilerne på variationsmarken. Det må derfor konkluderes, at fuldt program-profilet er repræsentativt for variationsmarken.

Boringerne langs profillinien varierer i boreddybde fra 3–5 m.u.t. og domineres af smeltevandsand, der er fint til mellemkornet og en del steder horisontalt lagdelt. I den østligste boring forekommer en del lag med smeltevandssand, der er gruset og stenet. I de to midterste boringer på profillinien forekommer enkelte lag med siltet smeltevandssand. Der ses ingen systematisk variation i kornstørrelsesfordelingen i boringerne ud langs profillinien. Dog er andelen af smeltevandssand, der er gruset og stenet som nævnt større i den østligste del af den distale smeltevandsslette, der har befundet sig tættere på gletscherporten, i forhold til i den vestligste del, der har befundet sig længere væk fra gletscherporten.

I tilknytning til boringerne, der indgår i profillinien, er der lavet georadarundersøgelser. Penetrationsdybden ligger mellem 5 og 10 m.u.t. med en dominerende penetrationsdybde på 7–8 m.u.t. for de to østlige lokaliteter og 9–10 m.u.t. for de to vestlige lokaliteter for georadarprofiler optaget med et georadarsystem med antenner med en centerfrekvens på 200 MHz. Refleksionernes kontinuitet er som på variationsmarken vekslende mellem lille (3–10 m) og moderat (20–50 m). På de vestlige lokaliteter er der tillige refleksioner med stor (> 100 m) kontinuitet. På to af lokaliteterne dominerer refleksionsmønstre med "hummocky" præg. Der findes også zoner med subhorizontale refleksioner, der kan have større kontinuitet. På de andre lokaliteter domineres refleksionsmønstrer af subhorizontale refleksioner og svagt hældende refleksioner med vekslende kontinuitet. Desuden findes der områder, hvor refleksionsmønstrer har "hummocky" præg. I flere af georadarprofilerne på de fleste af lokaliteterne er der zoner med enkelte refleksioner med kraftigere amplitude og stor lateral udstrækning.

Da de samme typer af refleksionsmønstre findes på alle profillinielokaliteter samt på variationsmarken, og der kun ses en variation i den arealmæssige fordeling af de forskellige refleksionsmønstre, kan det derfor konkluderes, at fuldt program-profilet og variationsmarken er repræsentativt for profillinien.

På *bakkeø-morænesands*-variationsmarken ved Astrup varierer penetrationsdybden fra 1,5–6 m.u.t. med en dominerende penetrationsdybde på godt 2 meter. Variationen i penetrationsdybden hen over marken er moderat. Amplituden er svag og indikerer dermed, at sedimenternes lithologiske kontraster er små. Der ses en dominans af forholdsvis lange, brudte refleksioner, der er subhorizontale og hvis amplitude stedvis svækkes. I 2 til 4 meters dybde ses mange steder en gennemgående refleksion. Variationen i refleksionsmønstrer er lille til moderat på lille skala og moderat på stor skala. På stor skala består variationen i, at der nogle enkelte steder ses en forholdsvis stor penetrationsdybde. På det sted hvor udgravningen, der indgår i fuldt program-profilet, er placeret, er penetrationsdybden forholdsvis stor og de nederste refleksioner har et forløb, der indikerer en kanallignende struktur med et relief på ca. 3,5 meter. Udgravningen viser, at der inden for de øverste 2 m.u.t. er en erosiv nedskæring i morænesand, og at den øverste blotlagte del af de sedimenter, som fylder lavningen ud, består af flyvesand. På georadarprofilet afspejler kanalfyldet sig som subhorizontale og "hummocky"-prægede refleksioner. I boringen, der er placeret lidt væk fra udgravningen, er der konstateret morænesand ned til 4 m.u.t., hvorunder følger moræneler og derunder smeltevandssand. Det

er sandsynligvis grænsen mellem morænesand og moræneler, der ses som en markant refleksion i en 2–4 meters dybde på de fleste af georadarprofilerne.

Om fuldt program-profilet gælder det, at boringen er repræsentativ for variationsmarken, hvorimod den kanallignende struktur, som refleksionerne indikerer ved udgravningen, kun er konstateret dette sted på marken. Udgravningen kan dermed ikke siges at være repræsentativ for variationsmarken.

Langs med den sydlige halvdel af profillinien er penetrationsdybden stor og amplituden kraftig, hvilket indikerer tilstedeværelsen af smeltevandssand. Det bekræftes af de to sydligste boringer, som viser, at der er smeltevandssand tilstede ned til henholdsvis minimum 5 m.u.t. og 8 m.u.t., hvor boringerne stopper. I den nordlige halvdel af profillinien er penetrationsdybden lille svarende til penetrationsdybden på variationsmarken. Boringerne viser, at den lille penetrationsdybde i området skyldes, at moræneler optræder tæt ved terrænoverfladen (1–4 m u.t.). Ovenover moræneler er der i to af boringerne, der indgår i profillinien, påvist morænesand, mens der i en enkelt boring er påtruffet smeltevandssand. Det er ud fra georadarprofilerne ikke muligt entydigt at afgøre, om det er morænesand eller smeltevandssand, der optræder terrænnært over moræneleren. Muligvis kan smeltevandssandet adskilles fra morænesandet ved, at det på georadarprofilerne har en lidt kraftigere amplitude.

Det kan konkluderes, at variationsmarken højst er repræsentativ for den nordlige del af profillinien, svarende til ca. halvdelen af profillinien. Det er dog også tvivlsomt, hvor repræsentativ variationsmarken er for denne del af profillinien, da det er vanskeligt at afgøre i hvor store områder, moræneler overlejres af smeltevandssand og ikke morænesand, som tilfældet er på variationsmarken. Hvor boringen, der indgår i fuldt program profilet, er ganske repræsentativ for variationsmarken og dermed dele af den nordlige halvdel af profillinien, forholder det sig anderledes med udgravningen. Denne er hverken repræsentativ for variationsmarken eller profillinien.

På bakkeøer er der yderligere udført georadarundersøgelser og lavet fuldt program-profiler ved lokaliteterne Nr. Felding og Hjortkær. Hver af disse lokaliteter er repræsenteret med to undersøgelsesmarker beliggende på henholdsvis morænesand og smeltevandssand. Desuden er der en smeltevandssandslokalitet ved Alle, hvor georadarprofilerne har markant anderledes refleksionsmønstre end observeret på de øvrige bakkeølokaliteter. Georadarprofilerne ved Nr. Felding og Hjortkær viser samme store variation i penetrationsdybder og refleksionsmønstre som observeret langs profillinien ved Astrup. Den største variation i bl.a. penetrationsdybde ses i områderne, hvor der er konstateret indslag af morænesand i boringerne og udgravningerne. Ved Nr. Felding og Hjortkær smeltevandssands fuldt profiler er der observeret en mindre variation i refleksionsmønstre samt penetrationsdybder. Disse områder vurderes til at være "rene" smeltevandssandsområder.

Da georadarundersøgelserne sammenholdt med de geologiske observationer viser, at der på bakkeø-lokaliteterne er en stor variation i de geologiske aflejringer både inden for de enkelte marker og markerne i mellem, er det ikke muligt at vurdere, hvor repræsentative de enkelte undersøgelsepunkter er for bakkeø-landskabslementerne.

På Weichsel morænesands-variationsmarken ved Sjørup varierer penetrationsdybden fra 2 – 9 m.u.t. med den dominerende dybde på 3-4 meter. Variationen i penetrationsdybde kan betegnes som lille på lille skala og middel til stor på stor skala. Amplituden er lille til moderat. Refleksionernes kontinuitet er lille på nær en enkelt gennemgående refleksion, der ses i 3,5 til 4 meters dybde. Refleksionerne er subhorizontale eller har "hummocky" præg. Variationen i refleksionsmønstret er moderat på lille skala og moderat til stor på stor skala. Penetrationsdybden og refleksionernes udseende ved fuldt program-profilet er repræsentativ for variationsmarken. Ved fuldt program-profilet er der konstateret morænesand ned til 1,6 m.u.t. og i et lag mellem 3 og 4 m.u.t. Derudover er der smeltevandssand til minimum 9 meters dybde.

Langs med profillinien er penetrationsdybden generelt lidt mindre end på variationsmarken. Endvidere er refleksionsmønsteret i lidt mindre grad præget af "hummocky" strukturer langs med profillinien sammenlignet med variationsmarken. Boringerne, der indgår i profillinien, viser, at sedimenterne hovedsageligt består af morænesand. Dette kan forklare den lidt mindre penetrationsdybde i forhold til variationsmarken, hvor morænesand kun findes som forholdsvis tynde lag, over og mellem lag af smeltevandssand. I den østlige del af profillinien danner refleksionerne stedvis bassinagtige strukturer, der har længder på 30 til 100 m og et relief på op til 3 m. Bassinfyldet er ofte karakteriseret ved subhorizontale refleksioner og ofte ses en lidt større amplitude og penetration end uden for bassinstrukturene. Bassinstrukturene ses i et område med en del dødishuller og det er derfor nærliggende at antage, at strukturerne repræsenterer udfyldning af sådanne huller med ferskvandssand.

Det kan konkluderes, at fuldt program profilet er repræsentativt for variationsmarken, men at variationsmarken ikke er videre repræsentativ for profillinien. Sidstnævnte skyldes, at variationsmarken kendetegnes ved forholdsvis tynde lag af morænesand over og mellem smeltevandssand, hvorimod profillinien karakteriseres ved, at morænesand er tilstede i en større dybde, samt at der langs dele af linien forekommer bassinudfyldninger.

Der er udført en georadarundersøgelse på Weichsel morænesandsundersøgelsesmarken Gammelkirke i Vendsyssel. Indenfor de 8 ha som georadarundersøgelsen dækker, er der en stor variation i penetrationsdybde fra 0,5 m til 6,5 m både med bratte og glidende overgange mellem ringe og god penetrationsdybde. Refleksionsmønsteret veksler mellem områder med meget få refleksioner, hvor der er meget ringe penetrationsdybde, områder med korte brudte primært subhorizontale refleksioner og områder med mere kontinuerte refleksioner med bassinagtige former. Georadarundersøgelsen viser, at der er meget stor geologisk variation på undersøgelsesmarken.

Sammenfattende viser georadarundersøgelserne, sammenholdt med de geologiske observationer i boringer og udgravninger, at den geologiske variation er lille inden for alluvialkeglen samt den proximale og distale del af smeltevandssletten, moderat til stor inden for Yoldiafladen, moderat til stor inden for morænesand og smeltevandssand på bakkeøen, samt moderat til stor inden for Weichsel morænefladen. Desuden har georadarprofilerne på alluvialkeglen og den proximale og distale del af smeltevandssletten mange ligheder bl.a. i refleksionsmønstre.

Georadarundersøgelserne viser, at fuldt program-profilet og variationsmarken er repræsentativ for store dele af profillinien inden for Yoldiafladen, alluvialkeglen, samt den proximale og distale del af smeltevandssletten, hvilket ikke er tilfældet indenfor de øvrige landskabselementer. Inden for bakkeøen og morænefladen består den umættede zone udover morænesand af kvartære jordarter som smeltevandssand, flyvesand, moræneler og sandsynligvis ferskvandssand, der lithologisk og dannelsesmæssigt er markant forskellige fra morænesand. Ved at anvende georadar sammen med boringer er det på bakkeøerne muligt at kortlægge denne variation og dermed at underindele bakkeøen i særegne områder med hensyn til den geologiske sammensætning i den umættede zone.

Geologisk information fra Jupiter boredatabasen. Jupiter boredatabasen er anvendt til at vurdere den geologiske sammensætning og variation i dybden (ned til 10 m.u.t.) inden for forskellige typer landskabselementer. I tabel 1.2 er angivet hvor mange boringer der indgår i vurderingen, og hvordan antallet af gennemborede metre fordeler sig procentvis på forskellige jordartstyper. Fordelingen er angivet i hele tal, og jordartstyper som udgør mindre end 1 % er udeladt. Dette medfører, at jordartstyperne indenfor de enkelte 2 m dybdeintervaller ikke i alle tilfælde giver 100%. Indenfor de enkelte typer landskabselementer er der kun udvalgt boringer, som på de kvartære jordartskort er beliggende på de typer jordarter, der er angivet i tabel 1.2. Eksempelvis indgår der på Yoldiafladen kun boringer, som er beliggende på senglacialt

saltvandssand (YS) eller senglacialt saltvandsgrus (YG). Områder med disse jordarter udgør indenfor Yoldiafladen 722 km² som angivet i tabel 1.2. I disse område findes der i Jupiter boredatabasen i alt 2556 borer, som indeholder oplysninger om hvilke jordartstyper, der er gennemboret. I områder, hvor der ikke eksisterer kvartære jordartskort (i 1:25.000), er det kvartære jordartskort (1:200.000) anvendt ved udvælgelsen af borerne.

Under "bakkeø" indgår Skovbjerg og Varde bakkeø; udstrækningen af områderne "Moræneflade-Djursland, Himmerland" og "Moræneflade-Vendsyssel" svarer henholdsvis til regionbetegnelserne "Djursland"- "Himmerland" og "Nordjylland". Under "alluvialkegle", "proximal-" og "distal-" smeltevandsslette" indgår arealer fra Karup og Tinglev hedeslette (ref. projektets data-rapporter).

Det fremgår af tabel 1.2 at variationen i dybden af fordelingen af jordartstyperne generelt ikke er stor inden for de enkelte typer landskaber. På Yoldiafladen stiger andelen af ler, mergel (L) med dybden, hvilket modsvares af et faldende sandindhold (S). På Bakkeø (DS, DG) stiger andelen af Oligocæne-, Miocæne, og Pliocæne aflejringer med dybden, hvorimod sandindholdet (S) falder med dybden. På Bakkeø (MS, MG) stiger andelen af smeltevandssand (DS) med dybden, hvilket modsvares af et faldende indhold af moræneler (ML) med dybden.

Landskabstyperne bakkeø og moræneflade er repræsenteret med flest forskellige typer jordarter og angiver dermed, at den geologiske variation er større indenfor disse end indenfor de øvrige typer landskaber. Andelen af morænesand (MS) er markant lille i de borer, som ifølge de kvartære jordartskort er beliggende på morænesand og -grus indenfor bakkeø og moræneflade. Dette må tilskrives unøjagtigheder i de kvartære jordartskort eller borebeskrivelserne som følge af vanskeligheder med at skelne morænesand fra smeltevandssand. Ligeledes ses det i tabel 1.2, at indenfor landskabselementet bakkeø er andelen af morænesand i de borer, der er beliggende på morænesand og -grus stort set ikke større end i de borer, der er beliggende på smeltevandssand og -grus. Derimod ses det, at andelen af moræneler (ML) og grus (G) er væsentlig mindre, og at andelen af sand (S) samt Oligocæne-, Miocæne, og Pliocæne aflejringer (KS, GL, GS) er væsentlig større i borerne beliggende på smeltevandssand og -grus frem for borer, som er beliggende på morænesand og -grus. Der knytter sig dog en usikkerhed til sammenligningen, idet antallet af borer beliggende på morænesand og -grus er lille i forhold til antallet af borer beliggende på smeltevandssand og grus. Ligeledes er der ved udvælgelsen af borer på Skovbjerg bakkeø anvendt jordartskort i målestok forhold 1:200.000, som er mere unøjagtige end jordartskortene i målestok forhold 1:25.000.

Unøjagtigheder i de kvartære jordartskort eller i borebeskrivelser må også formodes at ligge til grund for, at der i borerne udvalgt på moræneflader i Vendsyssel forekommer en forholdsvis stor andel Senglaciale (YS, YL) og postglaciale (HS, HL, HI) aflejringer. Forekomsten af disse jordartstyper er ikke i overensstemmelse med, at de ifølge de kvartære jordartskort overlejres af stratigrafisk ældre morænesand eller -grus.

Indenfor alluvialkeglen er andelen af smeltevandsgrus (DG) og grus (G) væsentlig større end indenfor den proximale- og distale smeltevandsslette. Fordelingen af jordarterne indenfor den proximale- og distale smeltevandsslette er forholdsvis ens.

Tabel 1.2. Fordelingen af jordartstyper med dybden indenfor forskellige landskabstyper baseret på geologisk information fra Jupiter databasen. DS: smeltevandssand; DG: smeltevandsgrus; DL: smeltevandsler; DI: smeltevandssilt; MS: morænesand; ML: Moræneler; S: sand; G: grus; L: ler; I: silt; YS: Senglacial saltvandssand; YL: Senglacial saltvandsler; YI: Senglacial saltvandssilt; HS: Postglacial saltvandssand; HL: Postglacial saltvandsler; HI: Postglacial saltvandssilt; K: kalk, kridt, kalksten; SK: Campanien-Maastrichtien skrivekridt, kalksten, mergelsten; KK: Danien kalksand-skalk; ZK: Danien kalk, kalk og flint; KS: Miocæn kvartssand; GL: Oligocæn, Miocæn-Pliocæn glimmerler; GS: Oligocæn-Miocæn-Pliocæn glimmersand.

Yoldiaflade (Jordartskort = YS eller YG; Areal: 722 km²)

Meter under terræn	DS %	DL %	S %	G %	L %	I %	YS %	YL %	HS %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	5	-	58	3	18	2	8	2	1	3894	2556	4
2-4	6	-	47	4	23	3	9	3	2	4208	2543	4
4-6	7	-	39	4	27	3	9	5	1	4064	2402	3
6-8	9	1	34	3	30	3	9	5	1	3811	2204	3
8-10	10	2	32	3	32	2	9	5	1	3692	2093	3

Alluvialkegle (Jordartskort = TS eller TG; Areal: 212 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	S %	G %	L %	KS, GL, GS %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	37	6	28	27	-	-	1755	1369	6
2-4	37	9	23	28	-	-	1911	1366	6
4-6	35	11	21	29	-	-	1905	1349	6
6-8	36	10	21	28	2	1	1884	1323	6
8-10	37	10	21	26	3	1	1854	1281	6

Proximal smeltevandsslette (Jordartskort = TS eller TG; Areal: 224 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	DL %	ML %	S %	G %	L %	KS, GL, GS %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	31	2	-	-	56	10	-	-	1634	1018	5
2-4	32	3	-	-	48	15	-	-	1755	1010	5
4-6	31	4	-	-	44	16	2	1	1736	962	4
6-8	30	4	-	1	45	13	3	3	1719	942	4
8-10	30	3	1	2	44	10	4	4	1659	906	4

Distal smeltevandsslette (Jordartskort = TS eller TG; Areal: 331 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	ML %	S %	G %	L %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	34	1	-	51	12	-	2614	1606	5
2-4	36	2	-	46	13	-	2823	1591	4
4-6	36	2	2	45	13	2	2816	1549	4
6-8	35	2	3	42	13	4	2740	1522	4
8-10	33	2	5	39	14	5	2571	1420	4

Tabel 1.2 fortsat

Bakkeø (Jordartskort = DS eller DG; Areal: 1318 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	DL %	MS %	ML %	S %	G %	L %	KS, GL, GS %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	22	-	-	1	3	59	2	7	3	9598	5664	5
2-4	23	-	-	1	4	47	2	10	10	10174	5651	5
4-6	23	-	1	-	4	42	2	10	14	10090	5591	5
6-8	22	1	2	-	4	40	2	10	19	9864	5416	4
8-10	21	-	2	-	3	39	2	9	22	9724	5280	4

Bakkeø (Jordartskort = MS eller MG; Areal: 64 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	DL %	DI %	MS %	ML %	S %	G %	L %	KS, GL, GS %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	20	-	1	1	2	19	29	12	13	-	317	220	3
2-4	23	-	2	-	2	22	23	12	14	-	340	220	3
4-6	27	1	1	-	2	17	24	12	12	1	329	210	3
6-8	31	1	2	1	1	12	27	13	10	2	326	202	3
8-10	34	2	1	1	2	9	29	12	9	2	320	196	3

Moræneflade -Djursland, Himmerland (Jordartskort = MS eller MG; Areal: 601 km²)

Meter under terræn	DS %	DG %	DL %	DI %	MS %	ML %	S %	G %	L %	K, SK, KK, ZK %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	33	2	1	1	7	12	27	6	7	2	2054	1786	3
2-4	34	3	1	1	6	12	22	6	7	4	2259	1770	3
4-6	38	4	2	1	4	11	20	6	8	4	2240	1713	3
6-8	40	4	3	2	3	10	19	6	7	5	2240	1636	2
8-10	41	4	3	1	2	9	20	6	6	5	2278	1610	2

Moræneflade-Vendsyssel (Jordartskort = MS eller MG; Areal: 15 km²)

Meter under terræn	DS %	DL %	DI %	MS %	ML %	S %	G %	L %	I %	YS %	YL %	HS %	HL, HI %	K, SK, KK, ZK %	Total antal meter	Antal boringer	Antal boringer pr km ²
0-2	12	-	-	3	5	42	7	18	-	9	2	2	-	-	55	46	3
2-4	18	2	-	2	2	32	4	17	-	9	3	3	-	9	65	46	3
4-6	16	5	-	-	3	24	3	14	7	6	6	4	-	12	67	45	3
6-8	18	3	-	-	3	20	3	13	11	9	6	-	3	12	68	44	3
8-10	18	7	3	-	3	18	3	18	2	11	6	-	1	11	71	44	3

Sammenligning af geologiske jordartskort og profiler. For at vurdere graden af overensstemmelse mellem oplysningerne i geologiske jordartskort og profiler er geologien fra den dybeste C-horisont (70-110 cm) i 844 profiler fra Den Danske JordprofilDatabase sammenlignet med jordarten på de geologiske kort i 1:25000. For områder uden detaljeret geologisk kortlægning er anvendt jordartskortet i 1:200.000. Sammenligningen fremgår af tabel 1.3.

Tabel 1.3. Sammenligning af den geo-genetiske information i 844 jordprofilers C-horisont med jordarten på de kvartærgeologiske kort (MS, ML, DS, TS og YS).

	Till	Smelte- vands- Aflejringer	Issø	Postglacial Ferskvand	Vind	Andre	I alt	Overens- stemmelse i %
Morænesand (MS)	12	5	2	3			17	71
Moræneler (ML)	346	53				13	412	84
Smeltevands- sand (DS)	87	168	1	4	5	5	270	62
Hedeslette (TS)	8	127	1	2	3	2	143	89
Yoldiasand (YS)	1	1					2	0

Tabel 1.3 viser, at overensstemmelsen mellem den genetiske information i den geologiske kortlægning og profiloplysningerne - med undtagelse af Yoldiasand med få observationer - er 71-89 %.

For at vurdere nøjagtigheden af den teksturelle information i de geologiske kort og profiler er der endvidere foretaget analyse af lerindholdet i C-horisonten i de 844 profiler for de samme kortlagte jordarter. Tabel 1.4 viser middel, median samt 25 og 75 % fraktiler i datamaterialet.

Tabel 1.4. Analyse af jordartens lerindhold i C-horisonten på de 844 jordprofiler beliggende i de geologisk kortlagte områder (MS, ML, DS, TS og YS).

	I alt	Middel	Q25	Median	Q75
Morænesand (MS)	17	8,8	7,0	10,0	11,0
Moræneler (ML)	412	15,9	10,0	16,0	20,0
Smeltevandssand (DS)	270	7,4	2,0	4,0	10,0
Hedeslette (TS)	143	3,6	2,0	2,0	4,0
Yoldiasand (YS)	2	6,5	2,0	6,5	11,0

Hvis der som udgangspunkt regnes med, at grænsen mellem sand og ler ligger på 12 % ler, viser tabellen, at middel- og medianværdier for alle fem jordarter er i overensstemmelse med kriteriet. For en del af profilerne for kortlægningsenhederne morænesand og smeltevandssand er lerindholdet over 12 % (profiler der ligger ud over Q75), mens en del af profilerne på moræneler har under 12 % ler.

Estimering af grundvandskoter og tykkelse af umættet zone. I forbindelse med vurdering af risiko for nedsivning af bl.a. pesticider til grundvandet er der behov for at kende tykkelsen af den umættede zone. Derfor er dybden til grundvand undersøgt. I de fleste tilfælde, hvor der er grundvand i flere niveauer, er grundvandsdybden angivet som dybden til det øverste grundvandsniveau. De fleste amtskommuner har udarbejdet kort med grundvandskurver på digital form. Denne kortlægning er imidlertid ikke landsdækkende og omfatter i de fleste tilfælde de primære, dybereliggende grundvandsreservoirer, der er relevante i forbindelse med vandindvinding. Da der tilsyneladende ikke foreligger tilstrækkelig kortlægning af det øverste grund-

vandsniveau, er det forsøgt at estimere landsdækkende værdier på grundlag af eksisterende datamateriale vedrørende grundvands- og terrænkoter.

Datamateriale. Der er anvendt terrænkoter fra højdemodellen med 25 m gridstørrelse fra Kort- og Matrikelstyrelsens (KMS') TOP10DK-dataset. Desuden er anvendt følgende datamateriale vedrørende vandstand:

1. Vandstandskoter i borer. Datamaterialet er fra Jupiter boredatabasen og omfatter ca. 97.000 vandstandspejlinger.
2. Dybde af gravede brønde. Dette datamateriale er fra Jupiter boredatabasen og omfatter oplysninger om ca. 17.500 brønde. Da bund af brønd og ikke vandstanden er registreret, antages grundvandskoten at være 1 m over bund af brønd.
3. Vandstandskoter i vandløb, grøfter og søer. Data er udtrukket fra KMS's TOP10DK-dataset. Datamaterialet omfatter i alt ca. 725.000 punkter fra vandløb, ca. 1.400.000 punkter fra grøfter (vandløb med bredde <2.5 m) og ca. 2.500.000 punkter fra søer fordelt over landet.
4. Desuden er der indlagt ca. 9.000 punkter med grundvandskote 0 langs kysterne.

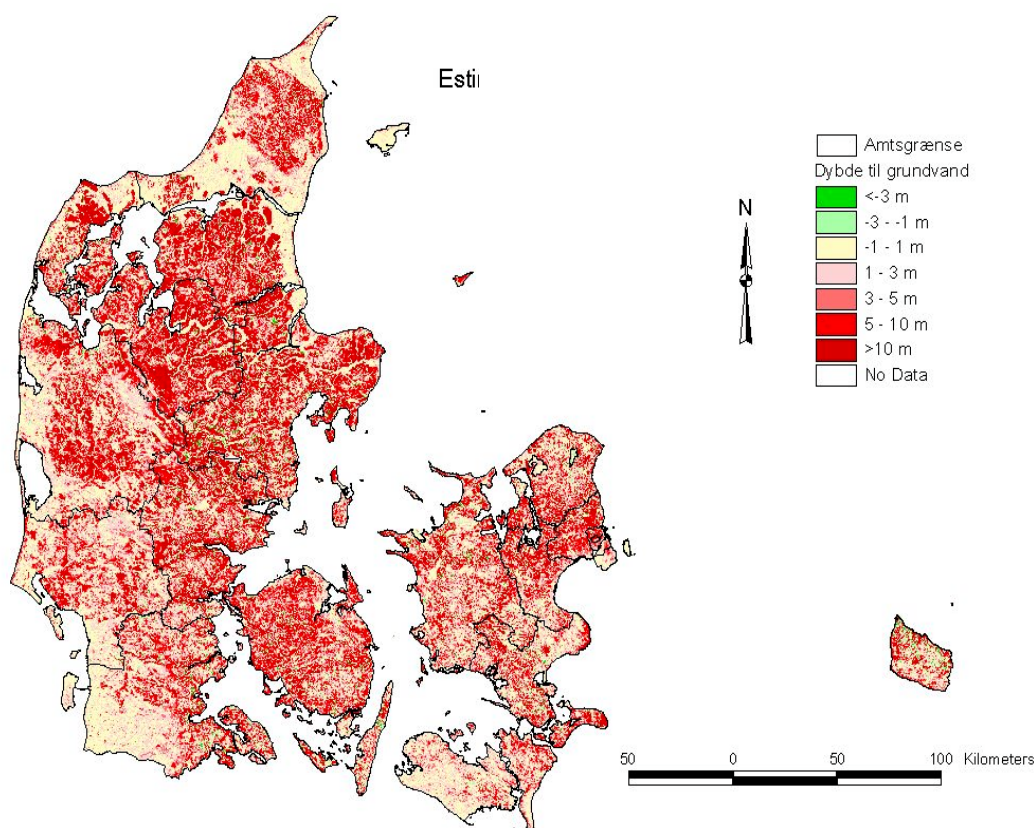
I et så omfattende datamateriale kan datafejl ikke undgås. Det har ikke været muligt, at foretage en egentlig fejlretning, men der er foretaget en grovsortering, idet observationer med registrerede grundvandskoter over 170 m (svarende til højeste terrænkote) eller under -5 m er udeladt. Grundvandskoter i intervallet 0 - -5 m er medtaget, fordi grundvandspotentialen kan være under 0 i inddæmmede områder. Desuden er vandstandskoter i vandløb, grøfter og søer, der afviger mere end 5 m fra terrænkoten i det tilsvarende grid i højdemodellen, udeladt.

Vandstanden i vandløb, søer og en del af vandstandspejlingerne i borer og brønde, dvs. langt størstedelen af datamaterialet, må antages at repræsentere det øverste grundvandsniveau. I en del tilfælde vil dette grundvandsniveau dog være temporært. F.eks. er de fleste mindre vandløb i lerjordsområder tørre i sommerperioden, dvs. at grundvandsstanden i denne periode er under vandløbsbunden.

Interpolering af vandstandsdata. På grundlag af ovennævnte data er grundvandsstanden interpoleret i et landsdækkende gridnet med 50 m gridstørrelse. Til interpolationen er anvendt kriging-metoden i programmet SURFER. Da der er usikkerhed på de enkelte målinger er anvendt en 'nugget-værdi', der betyder, at der kan være afvigelser mellem interpolationsfladen og observerede værdier. Der er anvendt en nugget-værdi på 5 m. Derefter er forskellen mellem målte og interpolerede vandstandskoter beregnet. Som forventet var der i en del tilfælde betydelige afvigelser mellem målte og interpolerede vandstandskoter, bl.a. fordi data i nogle områder stammer fra forskellige grundvandsmagasiner. Af andre årsager til afvigelse kan nævnes måleusikkerhed samt direkte datafejl, der ikke er fjernet ved den ovenfor nævnte grovsortering, at der ikke er taget hensyn til årstidsvariation i vandstand og at de interpolerede grundvandskoter gælder for centrum i de enkelte grid. Variationer i grundvandsstand indenfor de enkelte grid kan medføre afvigelser.

Sortering af vandstandsdata. En del af vandstandspejlingerne i borer og brønde repræsenterer dybereliggende grundvandsreservoirer. Disse pejlinger må forventes at ligge væsentligt under de interpolerede grundvandskoter. Grundvandspejlinger i borer og brønde, der er mere end 10 m, svarende til det dobbelte af den anvendte nugget-værdi, under de interpolerede værdier, antages at repræsentere dybereliggende grundvandsreservoirer. Differencen på 10 m er valgt på grundlag af variationen i differencen mellem målte og estimerede grundvandskoter. En del af grundvandspejlingerne fra dybere reservoirer er formodentlig mindre end 10 m under de interpolerede værdier. Den relativ store difference er valgt for at sikre, at stort set kun observationer fra dybereliggende reservoirer sorteres fra.

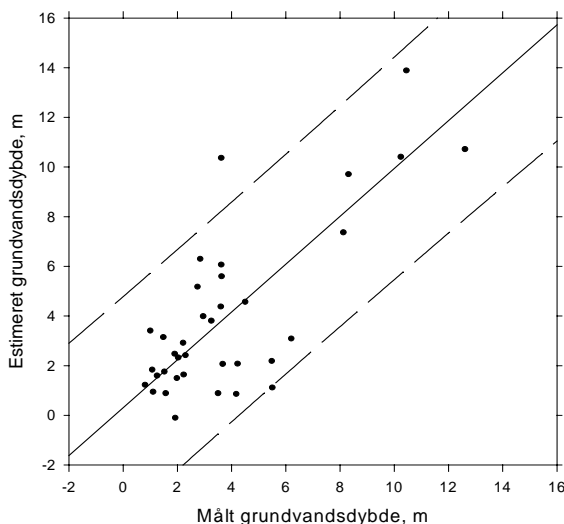
De således frasorterede observationer fra dybereliggende reservoirer indgik i den første interpolation. Derfor gentages beregningerne uden de frasorterede observationer. Derved udskilles nye observationer, der må antages at repræsentere dybere grundvandsreservoirer, og processen gentages. Ved 3. gentagelse af beregningerne var der kun få ændringer. Der var efter 3. gentagelse udskilt ca. 12.000 grundvandspejlinger fra borer og brønde med observeret grundvandsstand mere end 10 m under de interpolerede værdier. For et tilsvarende antal var den observerede grundvandsstand 5-10 m under de interpolerede værdier. Disse observationer antages at omfatte både øverste og dybereliggende grundvandsniveauer. Vandstandsobservationer fra borer og brønde mere end 5 m under de interpolerede værdier er derfor udeladt ved den endelige interpolation af det øverste grundvandsniveau, der som de øvrige udføres med kriging-metoden, men med en nugget-værdi på 2 m. Dybden til grundvandspejlet kan derefter beregnes som difference mellem terrænkoter og estimerede grundvandskoter. Der er anvendt terrænkoter fra den digitale højdemodel med 25 m gridstørrelse fra TOP10DK. Den estimerede dybde til øverste grundvand er vist i figur 1.2.



Figur 1.2. Estimeret dybde til øverste grundvand for både sand- og lerjorde.

Beregningsmetoderne og usikkerhed ved datamaterialet medfører naturligvis nogen usikkerhed på de estimerede grundvandsdybder. Det har bl.a. ikke været muligt at tage hensyn til årstidsvariationen i grundvandsstanden. Usikkerheden på terrænkoterne i højdemodellen er ifølge KMS $<0.9\text{ m}$ i fladt terræn og $<2\text{ m}$ i kuperet terræn. Usikkerheden på de estimerede grundvandskoter og de anvendte beregningsmetodes egnethed varierer antagelig med terrænform, geologi, jordtype mv. Usikkerheden er antagelig mindst i fladt terræn og med en permeabel undergrund. Derimod er metoden antagelig mindre egnet i kuperede morænelerområder, hvor det øverste grundvandsniveau, der ofte er temporært, antagelig i højere grad følger terrænet.

Der er en del mindre områder med estimeret grundvand over terræn, hovedsagelig i mindre lavninger. Ifølge vandløbstemaet fra Areal Informations Systemet er der vandløb i de fleste af disse lavninger, men der er ingen vandstandskoter fra TOP10DK. Manglende vandstandsdata i TOP10DK skyldes antagelig, at man ikke har kunnet bestemme vandstanden på grund af bevoksning omkring vandløbet.



Figur 1.3. Sammenligning af målt og estimeret grundvandsdybde på sandjordsarealer. Stiplede linier viser 95% prediktionsintervallet, dvs. regressionslinien ± 2 gange standardafvigelsen. I projektet er der ikke indsamlet tilsvarende oplysninger for lerjordsarealer, jævnfør figur 1.2.

I projektet er dybden til grundvandet blevet målt på et mindre antal lokaliteter indenfor sandjordsarealer. Målte og estimerede værdier er vist i figur 1.3. Regressionsberegningerne viser en standardafvigelse på ca. 1 m for disse målesteder, hvilket vurderes at være en rimelig præcision for det tidligt varierende grundvandsspejl.

Pedologi

Jordbundsudviklingen på Yoldiafladen er præget af de særlige geologiske og hydrogeologiske forhold, der er typiske for senglaciale marine aflejringer med højt grundvandsspejl. Den pedologiske udvikling er meget varierende afhængig af dræningsgraden samt lokaliteternes vegetations- og dyrkningshistorie, og hyppigst er de såkaldte sure brunjorder. Profilbeskrivelserne på de tre undersøgelsesmarker er i kvalitativ overensstemmelse med databaseoplysninger fra andre jordbundsprofiler indenfor landskabelementet.

På hedesletten (inkl. alluvialkegle, proximal og distal smeltevandsslette) er der udviklet karakteristiske podsolprofiler med akkumulering af humus og jern- og aluminiumoxider i B-horizonten (ref. Projektets datarapporter). Profilbeskrivelserne for de seks lokaliteter på Karup hedeslette og de tre på Tinglev hedeslette er i kvalitativ overensstemmelse med databaseoplysninger fra andre jordbundsprofiler indenfor samme landskabelement. Jordbundprofilernes modenhed og udviklingsdybde varierer en del, men svarer til, hvad man erfaringsvist kan forvente af pedologisk variation indenfor hedesletten. Variationen gør det ikke muligt at skelne mellem alluvialkeglen og de proximale og distale smeltevandssletter på pedologisk grundlag.

På bakkeøerne Skovbjerg og Esbjerg er der undersøgt pedologiske profiler for både morænesand (MS) og smeltevandssand (DS). Profilerne på morænesand er med deres naturlige lave lerindhold pedologisk karakteristiske ved at være i en moderat fase af podsoludvikling. Bakke-

øernes store jordbundmæssige og teksturelle variation må bedømmes som godt dækket for MS med de fundne lokaliteter, jf. Bilag 2, Tabel 2.1.

Den typiske pedologiske udvikling for DS på bakkeøerne er ligeledes podsolering. De fundne lokaliteter er repræsentative for DS, idet der er beskrevet jorde med forskellig dræningsgrad og udviklingsdybde.

Der er foretaget undersøgelser af Weichsel morænesand på moræneflader i Djursland, Himmerland og Vendsyssel. De beskrevne jorde har gennemgået en pedologisk udvikling, hvor forbruning ved forvitring og initial podsolering (brunsol til brunpodsol) er to karakteristiske udviklinger. Jordene er typiske ved, at der ikke har fundet lernedslemning sted, og at der ikke er naturligt kalk tilbage i jorden. Desuden er der beskrevet både veldrænedede og moderat dårligt drænedede jorde. Lokaliteterne må betegnes som typiske repræsentanter for morænesand i dette landskabselement.

Det kan konkluderes at de undersøgte lokaliteter generelt er typiske for de enkelte landskabselementtyper med hensyn til pedologisk udvikling og karakteristisk.

Litteratur

Møller, I., 2001: Geofysik i umættet zone: En vurdering af metoder og instrumentsystemers egnethed til kortlægning af den umættede zone. Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Rapport nr. 1, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljø- og Energiministeriet, 85 pp.

H.C. Barlebo, V. Ernstsen, P.R. Jacobsen, E. Nygaard, S. Torp, H. Vosgerau, I. Møller, M.H. Greve, B.V. Iversen, O. H. Jacobsen, F.P. Winther, L. Elsgaard, U.C. Brinch, C.S. Jacobsen, R. Juhler og S.E. Olesen, 2002. Undersøgelser- og analysemetoder anvendt i forbindelse med undersøgelser af sandlokaliteter: Hvilke metoder er anvendt, og hvilke overvejelser er gjort? Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, Rapport nr. 2, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Miljøministeriet, 62 pp.