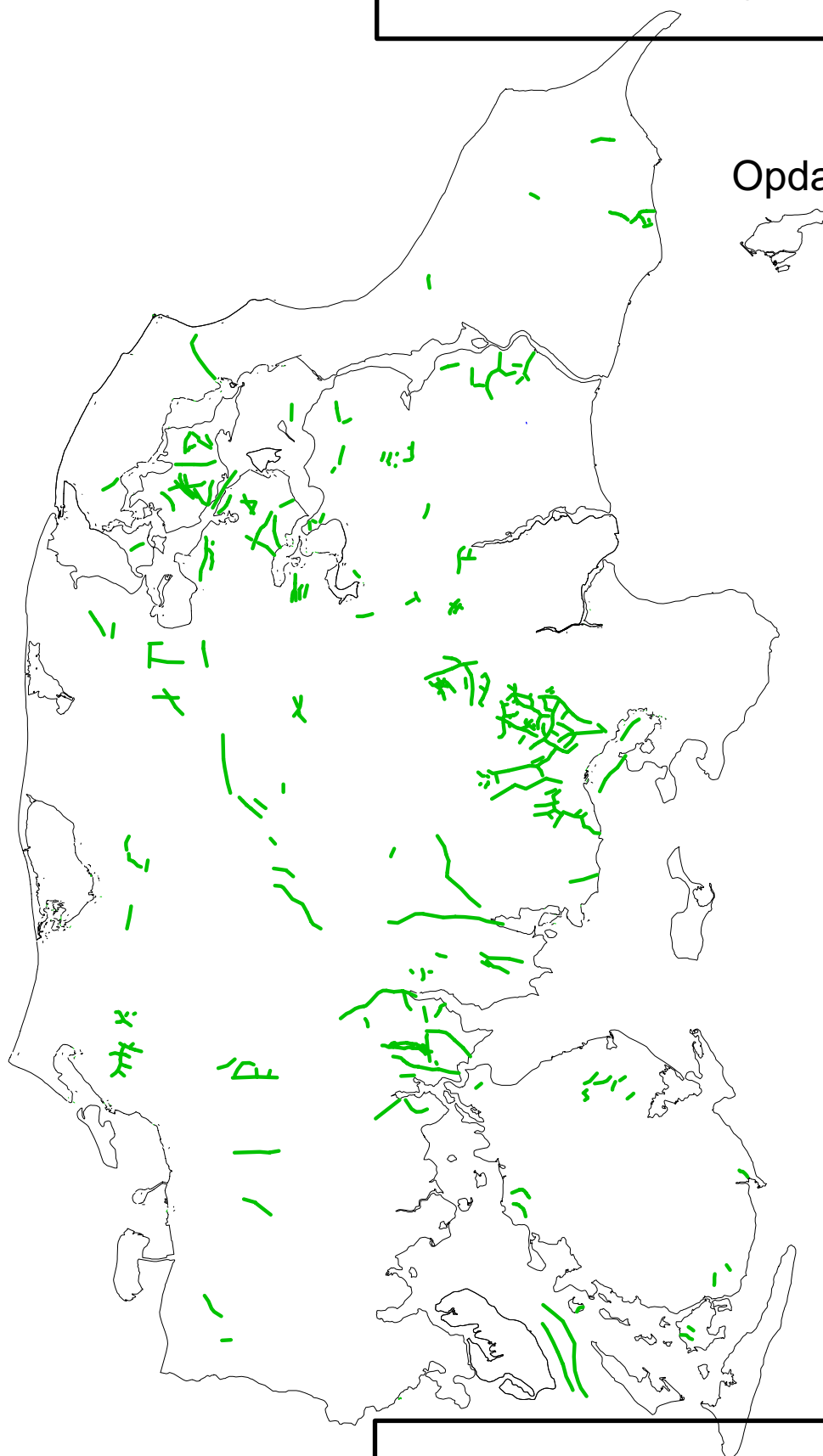


# Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn

Opdatering 2001-2002



Udarbejdet for:

Nordjyllands Amt  
Viborg Amt  
Århus Amt  
Ringkjøbing Amt  
Sønderjyllands Amt  
Ribe Amt  
Vejle Amt  
Fyns Amt

Udarbejdet af:

Peter Sandersen  
WaterTech a/s  
og  
Flemming Jørgensen  
Vejle Amt

"De jysk-fynske amters grundvandssamarbejde"  
April 2002

# Indholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>INDLEDNING.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>RESUME AF TIDLIGERE RAPPORTERS KONKLUSIONER.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DATAGRUNDLAG OG FREMGANGSMÅDE.....</b>	<b>5</b>
3.1	OMFANG AF OPDATERINGEN .....	5
3.2	DATAGRUNDLAG.....	5
3.3	METODE.....	5
3.4	DATAFORMIDLING.....	6
<b>4</b>	<b>KORTLÆGNING AF BEGRAVEDE DALE .....</b>	<b>7</b>
4.1	LOKALITETSBEKRIVELSER.....	7
4.2	AMTSVIS BEKRIVELSE .....	7
<b>5</b>	<b>FÆLLES TRÆK VED DE BEGRAVEDE DALE I JYLLAND OG PÅ FYN .....</b>	<b>15</b>
5.1	GEOGRAFISK UDBREDELSE.....	15
5.2	DIMENSIONER .....	16
5.3	INTERNE STRUKTURER .....	18
5.4	FYLD .....	19
5.5	GENERATIONER.....	27
5.6	SALTSTRUKTURER.....	28
5.7	FORKASTNINGER OG ANTIKLINALER .....	28
5.8	GRUNDEVANDSKEMISKE TRÆK.....	29
<b>6</b>	<b>RELATIONER MELLEM BEGRAVEDE DALE, NUVÆRENDE LANDSKAB OG DYBE FORKASTNINGER.....</b>	<b>31</b>
6.1	RETNINGSANALYSER.....	31
6.2	LANDSKABER OVER BEGRAVEDE DALE .....	39
<b>7</b>	<b>RELATIONER MELLEM ISBEVÆGELSESRETNINGER OG BEGRAVEDE DALE .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>MODEL FOR DANNELSEN AF BEGRAVEDE DALSYSTEMER I JYLLAND OG PÅ FYN .....</b>	<b>47</b>
<b>9</b>	<b>ANVENDELSE AF RESULTATER I PRAKSIS .....</b>	<b>51</b>
<b>10</b>	<b>KONKLUSION .....</b>	<b>55</b>
<b>11</b>	<b>LITTERATUR- OG REFERENCELISTE.....</b>	<b>57</b>

# Bilagsfortegnelse

- Bilag 1: Lokalitetsbeskrivelser
- Bilag 2: Begravede dales retningsfordelinger i udvalgte regioner
- Bilag 3: Begravede dales retningsfordelinger i de enkelte amter
- Bilag 4: Retningsfordelinger for dalkategorier
- Bilag 5: Topografiske dales retningsfordelinger i udvalgte regioner
- Bilag 6: Topografiske dales retningsfordelinger på Fyn
- Bilag 7: De dybtliggende forkastningers retningsfordelinger i udvalgte regioner
- Bilag 8: Retningsfordelinger for topografiske dale, begravede dale og dybe forkastninger
- Bilag 9: Alle rosetter for alle regioner for henholdsvis topografiske dale, begravede dale og dybe forkastninger
- Bilag 10: Israndsstillinger
- Bilag 11: Principskitse af terrænopdelingen i Vendsyssel
- Bilag 12: Topografiske dale i udvalgte områder i Vendsyssel udvalgt efter landskabstype
- Bilag 13: Terræn over begravede dale (eksempler)
- Bilag 14: Terræn over begravede dale (eksempler)
- Bilag 15: Terræn over begravede dale (eksempler)

# Appendixfortegnelse

- Appendix 1: Navngivning af GIS-tabeller
- Appendix 2: Udarbejdelse af rosetdiagrammer
- Appendix 3: Anvendte definitioner og signaturer i kortlægningen af begravede dale
- Appendix 4: Kortlægning af topografiske dale
- Appendix 5: Begravede dale udenfor det jysk-fynske område

## *Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn*

De jyske amters grundvandssamarbejde igangsatte i 1998 forprojektet ”Kortlægning af begravede dale i Jylland”, hvis formål det var at skitsere et overordnet billede af forekomsten af de begravede dale i Jylland og samtidigt give et bud på dannelseshistorien. I 2001 blev Fyns Amt tilknyttet projektet.

## *Dale og grundvand*

I grundvandssammenhæng er det vigtigt at kende begravede dales beliggenhed, da dalenes fyld bl.a. kan indeholde betydende grundvandsmagasiner, og da dalene andre steder kan gennemskære lerede dæklag og derved skabe mulighed for lækage af forurennet overfladevand til dybere magasiner. Dalenes placering og udformning er et resultat af flere fysiske faktorerers samspil, og kan disse faktorerers samspil belyses, vil dalsystemernes indbyrdes sammenhænge og dannelse kunne beskrives. Et større kendskab til de begravede dales forekomst vil have stor betydning i forbindelse med kortlægningen og administrationen af grundvandsressourcerne. Det er hensigten, at projektets resultater skal kunne bruges som arbejdsgrundlag og som støtte for tilrettelæggelse af fremtidige geologiske og geofysiske undersøgelser af grundvandsressourcerne i amterne.

## *Afrapporteringer*

Forprojektet blev afsluttet i december 1998 med en afrapportering af de kortlagte begravede dale og der blev påpeget mulige dannelsesmæssige sammenhænge mellem begravede dale, topografiske dale og dybe forkastninger (Sandersen & Jørgensen 1998). I 1999 besluttede de jyske amters grundvandssamarbejde at fortsætte arbejdet med kortlægningen af de begravede dale, og der blev igangsat en opdatering, hvis formål var at indsamle og vurdere de data, som løbende indhentes i forbindelse med hydrogeologiske undersøgelser. Første opdateringsrapport blev færdiggjort i september 2000 (Jørgensen & Sandersen 2000).

Opdateringerne er i lighed med forprojektet udført af Flemming Jørgensen, Vejle Amt og Peter Sandersen, WaterTech a/s, hvor Vejle Amt har haft den koordinerende rolle. Projektets følgegruppe har bestået af repræsentanter fra de enkelte amters grundvandsafdelinger.

## *Nærværende rapport*

Nærværende rapport formidler resultaterne af det seneste opdateringsprojekt. Rapporten består af en tekstdel og en bilagsdel. I forbindelse med afrapporteringen er data samt rapporten i PDF-format tilsendt amterne på CD-rom.

Da der i projektet løbende opsamles iagttagelser og løbende sker udbygninger af hypoteser og konklusioner vil det i et vist omfang være nødvendigt at resumere de tidligere opdateringers konklusioner. Alle detaljer kan naturligvis ikke gengives i denne rapport, og derfor vil der i den følgende tekst blive henvist til de tidligere rapporter. Samtidig er

det valgt at samle udvalgte kapitler fra de tidligere rapporter i appendikser bagest i denne rapport, da det forventes, at de tidligere rapporter ikke vil være til rådighed for alle læsere af nærværende rapport. Dele af disse kapitler vil være opdaterede i forhold til de tidligere rapporter.

## Resume af tidligere rapporters konklusioner

### *Tidligere konklusioner*

I det følgende opridses kort hovedkonklusionerne fra de tidligere rapporter fra henholdsvis 1998 og 2000. Der henvises til rapporterne for en mere udførlig beskrivelse.

#### **Vedr. begravede dale:**

- De begravede dale er primært dannet subglacialt af smeltevands-erosion og muligvis også i nogle tilfælde af iserosion
- Retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ, samt N-S og V-Ø er foretrukne
- Der er i visse regioner sammenfald med retninger af dybe forkastninger og topografiske dale.
- Dalenes bredder, dybder og interne opbygning er meget sammenlignelige i og udenfor det jyske område, hvilket tyder på fælles dannelsesmekanismer.
- Dalene er generelt ikke skabt på en gang, men er gradvist blevet eroderet ned og fyldt op igen ved forskellige begivenheder og i forskellige tracéer indenfor det overordnede dalforløb.
- Mange begravede dale er blevet ”genbrugt” flere gange under gentagne nedisninger.
- Dale med en retning på tværs af den seneste isbevægelsesretning er ofte blevet helt begravede, mens dale parallelt hermed lettere har kunnet blive genbrugt.
- Strukturelle bevægelser i undergrunden har direkte eller indirekte haft en indflydelse på daldannelsen i kvartæret.
- Der findes flere forskellige aldre og generationer af begravede dalsystemer og der er klare regionale forskelle i dalretningerne.
- Lokalt har saltstrukturer været styrende for beliggenheden af begravede dale.
- Der er klare regionale forskelle i dalretningerne.
- Der er i visse regioner sammenfald mellem retninger af topografiske dale og dybe forkastninger med retninger for de seneste isfremstød

#### **Generelt omkring dale:**

- Der er hyppigt sket dannelse af dale ovenpå eller i randen af saltstrukturer, ovenover antiklinaler eller over dybe forkastninger.
- De daldannende mekanismer kan således generelt forventes at have været gældende over en lang geologisk tidsperiode - blot har de forskellige mekanismers dominans varieret over tid og sted.
- De topografiske dales retninger må konkluderes at være et af de vigtigste redskaber til udpegning af mulige retningsforløb for begravede dale.



### 3.1 Omfang af opdateringen

#### *Udvidet område*

Foruden de jyske amter er data fra Fyns Amt nu med i kortlægningen, hvilket betyder et større samlet kortlægningsareal og dermed datagrundlag. Nye data er vurderet og udpegning af nye begravede dale er foretaget. Herudover er de tidligere kortlagte lokaliteter revurderet, og der er foretaget supplerende datavurderinger vedrørende de begravede dales fyld. Nye retningsanalyser er foretaget på baggrund af det forbedrede datagrundlag efter samme procedure som tidligere.

### 3.2 Datagrundlag

#### **Begravede dale**

#### *Boringer og geofysik*

Datagrundlaget for kortlægningen af de begravede dale har primært omfattet geofysiske undersøgelser i form af TEM-kortlægninger, MEP-data, seismiske data og boredata. TEM-data har været både traditionelle sonderinger, HM-TEM og PATEM ("slæbe-TEM"). De nye kortlægningsdata er stillet til rådighed af amterne. I enkelte tilfælde har der været tale om foreløbige data, som dog er vurderet anvendelige i kortlægningen. Boredata er primært PC-Zeus og basisdatakort, og hertil kommer enkelte nye boringer. PC-Zeus-data for hele Jylland og Fyn er stillet til rådighed for projektet.

#### **Topografiske dale**

#### *Topografiske kort*

De topografiske dale i kortlægningsområdet er optegnet på kort i målestokken 1:100.000 (digitale topografiske kort fra Kort- og Matrikelstyrelsen).

#### **Dybe forkastninger**

#### *Strukturelle elementer*

Til brug ved retningssammenligninger er de dybtliggende strukturelle elementer ved Top præ-Zechstein digitaliseret efter kort af Vejbæk og Britze fra 1994 (Skala 1:4.000.000).

### 3.3 Metode

#### *Datatolkning*

Ved kortlægningen foretages, på baggrund af de til rådighed værende data, en tolkning af, hvor der findes begravede dale. De begravede dale kategoriseres efter et specielt sæt definitioner. Definitionerne muliggør simplificering, således at de enkelte dale kan henføres til en bestemt gruppe, indtegnes på kort og derefter sammenlignes.

#### *Definitioner*

De anvendte definitioner på daltyper og dalkategorier er gengivet i appendix 3.

#### *Objektiv kortlægning*

Kortlægningen er søgt gjort så objektiv som muligt, og der er ikke foretaget interpolationer mellem kortlagte dalstykker eller foretaget ekstrapolationer, med mindre der har været data til rådighed. Kortlæg-

ningen af de begravede dale er sket uafhængigt af de topografiske dale, hvilket betyder, at der ikke er søgt støtte i de nuværende dale ved indtegningen.

*Signaturer*

Ved indtegningen af de begravede dale er der anvendt en række signaturer, og en gennemgang af disse signaturer kan ligeledes findes i appendix 3.

### **3.4 Dataformidling**

#### **GIS**

*MapInfo og ArcView*

Kortlægningens forskellige temaer er udarbejdet i MapInfo, og alle data og udarbejdede MapInfo-tabeller stilles til rådighed for de delta-gende amter, således at kortlægningen vil kunne bruges direkte. Da nogle amter anvender ArcView er MapInfo-tabellerne også gemt i ArcView-format. Filnavnene vil være de samme, men med forskellige extensions, da disse er forskellige for de to programmer.

Som grundlag/baggrund for kortlægningen er Kort- og Matrikelstyrelsens (KMS) digitale kort i 1:100.000 anvendt. Der videreformidles ikke digitale grundkort, da det er hensigten at brugeren benytter egne digitale grundkort.

Ved kortlægningen er dalene simplificeret og indtegnet som flader og linier i separate tabeller. De udarbejdede tabeller er tematisk opdelt, hvilket giver brugeren mulighed for at udtegne sine egne kort med ønskede temakombinationer.

En nærmere beskrivelse af de enkelte GIS-tabeller fremgår af appendix 1.

#### **Andre præsentationer**

*Rosetdiagrammer*

I appendix 2 er proceduren omkring fremstillingen af rosetdiagrammer i forbindelse med retningssammenligningerne gennemgået.

#### 4.1 Lokalitetsbeskrivelser

##### *I alt 110 lokaliteter*

Der er siden den seneste opdatering sket en stigning i antallet af lokaliteter med kortlagte begravede dale på ca. 80 % fra 60 i 2000 til nu 110. Siden projektets start og til nu er der tale om en stigning på ca. 115%.

##### *Revurderinger*

Der er foruden tilføjelse af nye lokaliteter sket en revurdering af de tidligere kortlagte begravede dale. Siden starten af projektet er der sket en erfaringsopsamling, som gør, at det er vurderet nødvendigt at vende tilbage til tidligere kortlagte dale og se med andre øjne på data. Dette har medført, at enkelte dale har ændret kategori, er justeret angående udbredelse og forløb, og at enkelte dale er fundet for svagt underbyggede og derfor er fjernet. De fleste lokalitetsbeskrivelser er derfor blevet opdateret og udvidet.

##### *Lokalitetsbeskrivelser*

I bilag 1, tabel 1, findes en liste over samtlige dale, hvor det er noteret hvorvidt der er sket en opdatering og hvorvidt der er udpeget nye dale, og i bilag 1 er alle beskrivelserne af de enkelte lokaliteter samlet. Alle de kortlagte dale er gengivet i bilag 1 på figurerne 1 til 17 i 1:200.000. Denne relativt store målestok er valgt for at gøre det muligt at gengive dalene i rapportens papirudgave på et overskueligt antal bilag og for at skabe et bedre overblik lokaliteterne imellem. En signaturforklaring til de indtegnede dale findes i appendix 3.

#### 4.2 Amtsvis beskrivelse

##### *Dale i de enkelte amter*

På baggrund af lokalitetsbeskrivelserne beskrives i det følgende generelle forhold omkring forekomsten af begravede dale i de enkelte amter. Der henvises generelt til lokalitetsbeskrivelserne i bilag 1.

##### *Nordjyllands Amt*

##### **Nordjyllands Amt**

Antallet af kortlagte begravede dale er relativt lavt i Nordjyllands Amt – specielt nord for Limfjorden. I store dele af amtet syd for Limfjorden ligger kalk- og kridtaflejringerne tæt under terræn, og disse aflejringer udgør her prækvartær overfladen. I boringer vil der derfor relativt let kunne iagttages kotemæssige variationer i prækvartær overfladen, og dermed begravede dale i kalk/kridt overfladen, såfremt der er tilstrækkeligt med boringer som anborer kalk eller kridt. Ved geofysiske undersøgelser (TEM og MEP) vil begravede dale, som er nederoderet i prækvartær overfladen, kun lade sig afsløre såfremt der er en modstandskontrast i form af lavmodstands dalfyld, eller hvis der ovenover kalken findes tertiært ler med lav modstand. Syd og sydvestligt i amtet kan der stedvist findes tertiært ler over kalken (se f.eks. Nj 1 og Nj 2) og kalken bliver mod syd mere dybtliggende, i modsætning til i Ålborgområdet, hvor det tertiære ler generelt er boreroderet og kalken ligger højt. Ved TEM-undersøgelser i den sydlige

og sydvestlige del af amtet kan salt grundvand i kalk- og kridtaflejringerne vanskeliggøre tolkningerne i områder med få boringer, men samtidig indirekte give værdifulde oplysninger om de strukturelle forhold i de dybe dele af lagserien (se Nj 11).

Et stykke nord for Limfjorden dykker de prækvartære aflejringer til store dybder, og de kvartære aflejringer tiltager i tykkelse. I Vendsyssel er der generelt tale om store lagtykkelser af relativt unge kvartære aflejringer og en meget stor del af disse er marine- eller brakvandsaflejringer fra Eem mellemistiden og fra Weichsel istiden. I lange perioder, hvor den resterende del af Danmark lå dækket af is eller var et landområde, har Vendsyssel udgjort et havområde. I Vendsyssel er der kun fundet ganske få begravede dale, og de mest bemærkelsesværdige er fundet ved Sæby (Nj 3). Som det fremgår af lokalitetsbeskrivelsen er dalene tolket at være dannet som subglaciale dale lige bag det aller sidste isdækkes rand, og dalene er efterfølgende udfyldt med senglaciale aflejringer og endelig dækket med postglaciale marine aflejringer. Dalene vil dermed være Vendsyssels yngste begravede dale dannet i forbindelse med et isdække. Den overvejende del af de aflejringer, som ligger indenfor dybdemæssig rækkevidde af boringer og geofysiske kortlægninger, vil være fra Eem og Weichsel. Da mange af de begravede dale i den resterende del af Jylland og på Fyn er tolket til at være dannet subglaciale, vil konklusionen være, at den unge lagserie i Vendsyssel sandsynligvis ikke vil kunne fremvise begravede dale i særligt stort antal. Med andre ord er det sandsynligt, at de begravede dale i Vendsyssel vil være unge, vil være begrænsede i antal og sandsynligvis kun vil repræsentere nogle få isfremstød. Dette står i kontrast til den resterende del af det kortlagte område, hvor der er ofte er tale om gamle dale, genbrug af dalstrøg og generelt stor tæthed af begravede dale.

### **Viborg Amt**

#### *Viborg Amt*

I Viborg Amt er der kortlagt et stort antal begravede dale, og der er tegn på at der generelt i amtet findes en meget stor tæthed af dale. Dalene fremtræder ofte meget tydeligt i MEP og TEM-kortlægninger, og ofte er der boringer til at bekræfte tilstedeværelsen. I Viborg Amt ligger den prækvartære overflade generelt højt, og aflejringerne er domineret af finkornede tertiære aflejringer, som ofte udgør en god elektrisk leder. De begravede dale er ofte nedskåret i denne overflade, og resultatet er en stor kontrast i modstandene. De tertiære aflejringer kan dog være sandede og siltede og stedvist vise sig at have højere modstande end forventet, hvilket kan give vanskeligheder m.h.t. bestemmelsen af grænsen mellem kvartær og tertiær, ligesom det i vandforsyningssammenhæng kan byde på overraskelser når højmodstandslag i boringer viser sig at være tertiær glimmersilt uden vand. Andre steder kan den tertiære lagserie udvise en modstandsmæssig gradvis udvikling opefter, hvilket betyder at de geofysiske metoder kan have svært ved at bestemme koten f.eks. toppen af fed tertiær ler (se eksempelvis Vi 19).

Ofte ses et netværk af meget tætliggende begravede dale (se f.eks. Vi 13 og Vi 7), med enten stor parallelitet eller tydelig tilstedeværelse af flere generationer af dale. De meget tætliggende dale kan udgøre en kompleks udfyldning af et bredere strøg nederoderet i den prækvartære overflade. Det ser ud til, at saltstrukturerne i amtet til en vis grad er styrende for placering og retning af nogle af de begravede dale. For eksempel ligger der en begravet dal i en antiklinal ovenover Mors saltstrukturen (Vi 12) og en meget bred og dyb dal er placeret midt mellem Mors og Batum saltstrukturerne (Vi 19).

Der er fundet hyppige forekomster af smeltevandssler og interglaciale aflejringer i bestemte koteintervaller i de begravede dale i amtet, hvilket underbygger tolkningen af, at mange dale har været åbne og til dels sammenhængende i tidligere interglaciale tider, og at de senere er blevet genbrugt i de efterfølgende glacialer og interglacialer.

### *Århus Amt*

#### **Århus Amt**

I Århus Amt er der – nærmere bestemt i området omkring Århus - fundet den største tæthed af begravede dale i hele det kortlagte område. Dette skyldes, at der i de seneste 10 år er foretaget en meget intens TEM-fladekortlægning i kombination med at der i området findes en god elektrisk leder, som danner en god kontrast i dybden. Den gode leder udgør i grove træk den nedre grænse for vandindvindingen i området. De begravede dale udgør et mere eller mindre sammenhængende netværk af retlinede dalsegmenter med foretrukne retninger. Der er stedvist fundet interglaciale aflejringer i dalene, som viser, at der har været tale om genbrug af dalstrøgene gennem lange tidsrum. Stedvist kan der være tvivl om dalfyldets art, idet der i flere borer er beskrevet tykke aflejringer med tertiære karakteristika. Det forventes, at der i stort omfang er tale om kvartært omarbejdede materialer, hvilket kan gøre geologiske korrelationer indenfor dalforløbet vanskelige.

Mod sydvest i amtet bliver tertiærlagserien generelt mere sandet, og den gode leder dykker til større dybde. Muligheden for kortlægning af begravede dale bliver derved mindre god. På Djursland ligger kalkaflejringerne højt, og den tertiære lagserie er borteroderet. Kortlægningen af begravede dale vil derfor være vanskeliggjort af manglen på en god leder under dalene, og kortlægning af begravede dale vil derfor bedst kunne foretages ved hjælp af borer, med mindre der internt i de kvartære aflejringer er tale om en tilstrækkelig lav modstand til at TEM eller MEP kan udskille dalfyldet fra omgivelserne. En kombination med seismik forventes at ville kunne udskille begravede dale.

### *Ringkjøbing Amt*

#### **Ringkjøbing Amt**

Selvom der i Ringkjøbing Amt er fundet relativt mange begravede dale forventes det, at tætheden af dalene i undergrunden er væsentlig større. At der findes et stort antal begravede dale begrundes dels i, at konventionelle seismiske data mange steder antyder tilstedeværelsen af dale, men også i, at der i boredata hyppigt ses store variationer i prækvartæroverfladen. Dette gælder stort set over hele amtet, men synes særligt ofte at forekomme i de vestlige dele af amtet. Dalenes

forløb kan kun i få tilfælde kortlægges alene på baggrund af boredata. Årsagen til dette er formentlig, at de lithologiske kontraster er små mellem hhv. tertiært sand og kvartært sand, hvilket kan medføre fejlbedømmelse af prøver. Fejlagtige prøvebeskrivelser vil særligt kunne forekomme i dalene, da der her ofte findes omløjet tertiært materiale, som stort set kan være umuligt at skelne fra faststående tertiær. Denne problemstilling gælder både for sandede og lerede aflejringer. Fejlbedømte prøvebeskrivelser forstyrrer billedet af dalene, og det er muligt, at dette er en af forklaringerne på, at dalene ikke i højere grad lader sig udkrystallisere i boredata. En anden forklaring kan være, at de begravede dales netværk i områder er for tætte og komplicerede til en detaljeret kortlægning. En enkelt generation af begravede dale med én overordnet retning vil være nemmere at kortlægge end flere forskellige, der krydser hinanden.

Ved hjælp af TEM-undersøgelser har det dog på en række lokaliteter kunnet lade sig gøre at kortlægge dalene. Dalene giver sig dels til kende som lavmodstandsstrukturer i sandede omgivelser, hvor dale er udfyldt med smeltevandsler og dels som højmodstandsstrukturer typisk nederoderet i glimmerler. Den godt ledende palæogene leroverflade, som let lader sig kortlægge med TEM, ligger stort set udenfor rækkevidde i hele amtet.

De fleste dale i amtet har retningerne N-S, V-Ø og NV-SØ. N-S retningen er bl.a. præsenteret ved lokaliteten Holstebro Nord (Ri 11), hvor alderen formodes at være Elster eller ældre. Det formodes endvidere, at tilstedeværelse af salthorste og forkastninger i undergrunden spiller en rolle for både placering og retning for nogle af dalene (f.eks. Ri 2: Lind - Høgild, Ri 7: Thyholm, Ri 11: Holstebro Nord, Ri 13: Holstebro Syd)

### **Ribe Amt**

#### *Ribe Amt*

Der er i Ribe Amt ikke kortlagt så mange dale til trods for at meget tyder på, at der findes tætte netværk af disse i undergrunden. At tætheden vurderes at være stor, skyldes primært de store variationer i prækvartæroverfladens højdeforhold, men også de vekslende forekomster af glacielle aflejringer. Således veksler tilstedeværelsen af marine Holstein-aflejringer meget fra sted til sted. Det er usikkert i hvilket omfang disse er aflejret i et udbredt havområde, eller om de er aflejret i fjordarme, som senere er blevet helt begravet. Hvis de er aflejret i et stort dækkende havområde, kan senere nederoderede dale også være ansvarlige for den vekslende forekomst. Glacialtektoniske hændelser kan dog også være skyld i den varierende geografiske fordeling af forekomsterne. Det er sandsynligt at Holstein-aflejringerne både findes i fjordarme og i større havområder, og at de ved senere hændelser er gennemoderet af yngre dalstrukturer. Derfor bliver det meget vanskeligt at afgrænse dalene alene ud fra boredata. Endvidere kan Holstein-leret let forveksles med tertiært glimmerler, hvilket generelt giver en vis usikkerhed når boredata skal vurderes. Fjorddalene er dannet tidligere end Holstein, og antages det, at de er opstået som subglacielle erosionsdale, er en mulig alder af dem Elster.

Når borerne betragtes i de nordøstlige egne af amtet bemærkes det, at der jævnligt forekommer steder med en dybtliggende prækvartær-overflade. Men det er heller ikke muligt at afgrænse disse dale, selvom prækvartær-overfladen her generelt ligger meget højt i lagserien. Årsagen til dette er bl.a., at de lithologiske kontraster er små mellem hhv. tertiært sand og kvartært sand. Dette er særligt udpræget i dalene, da der her erfaringsmæssigt forekommer meget omlejret tertiært materiale, som er svært at skelne fra faststående tertiær. Denne problemstilling gælder ligeledes for glimmerler. I området findes der i øvrigt meget glimmerler blandt de tertiære forekomster, og eventuelle interglaciale aflejringer i dalene er stedvist registreret. Billedet af dalene forstyrres også af glacialtektoniske hændelser, der mange steder sandsynligvis har påvirket lagserierne.

Sammenlignet med flere af de øvrige amter, er der i Ribe Amt ikke udført den samme mængde TEM-undersøgelser, som meget ofte er kilden til skitseringen af et dalforløb. Den godt elektrisk ledende palæogene leroverflade, der let lader sig kortlægge med TEM, ligger udenfor rækkevidde i amtet, men i stedet vil det formentlig være muligt at kortlægge de begravede dale i forbindelse med forekomsterne af smeltevandsler og det marine Holstein-ler. Dette kan enten ske når det optræder som fyld, eller når dalene er nederoderet i ler og fyldt op med sandede sedimenter. Det er også stedvist muligt at kortlægge begravede dale, hvor disse er nederoderet i tertiært glimmerler (som ved Rb 2 Varde Syd/Forumlund og Rb 3 Varde Nord) eller hvor dalen er fyldt op med smeltevandsler (som ved Rb 1 Holsted).

### **Vejle Amt**

#### *Vejle Amt*

Særligt i de østlige dele af Vejle Amt er der kortlagt mange dale. Flere af dalene kan ses direkte i boredata, mens resten er kortlagt med TEM-undersøgelser og seismiske undersøgelser. I de østlige dele ligger den godt ledende palæogene leroverflade højt i lagserien og kan nås med TEM-sonderinger. Dette giver gode muligheder for at kortlægge de nedre dele af disse. I de vestlige dele af amtet er der kun kortlagt få dale, hvilket primært er sket ved hjælp af boredata. Dalene, der er kortlagt alene ved hjælp af borerne, adskiller sig ofte fra omgivelserne ved at indeholde let genkendelige kvartære aflejringer som smeltevandsler og moræner. Geologien i de vestlige dele af Vejle Amt adskiller sig ikke væsentligt fra geologien i Ribe og Ringkjøbing amter, hvor det kan være vanskeligt at identificere begravede dale ved hjælp af TEM-undersøgelser. Der er dybt til den gode leder, og det er derfor mange steder ikke muligt at kortlægge denne. Siltede glimmerlersaflejringer udviser store variationer i ledningsevnen, hvilket yderligere vanskeliggør kortlægningen.

Der formodes at eksistere langt flere begravede dale i Vejle Amt end de kortlagte. Dette antydes i boredata da prækvartær-overfladens niveau varierer meget, ligesom de glacielle lag mange steder udviser store variationer. Nogle af variationerne kan dog også skyldes glacialtektoniske forstyrrelser. Desuden er der fundet begravede dale, som

ikke umiddelbart kan ses i boredata, ligesom der er fundet begravede dale, som ikke kan ses ved hjælp af TEM-undersøgelser.

En stor del af de kortlagte begravede dale i Vejle Amt har retninger mellem V-Ø og NV-SØ. Det ville være naturligt at antage, at disse tilhører samme generation, men dette er usikkert da nogle er helt begravede og nogle delvist begravede. Retningen N-S forekommer også i Vejle Amt og alle dale med denne retning er alle steder helt begravet.

### *Sønderjyllands Amt*

#### **Sønderjyllands Amt**

Der er i Sønderjyllands Amt ikke kortlagt så mange begravede dale til trods for, at meget tyder på, at der findes tætte netværk af disse i undergrunden. At tætheden er stor, bevidnes af både de konventionelle seismiske undersøgelser og af boredata. Meget ofte kan begravede dale anes i de øverste dele af seismikken, selvom denne for det meste er af dårlig kvalitet her. Linierne er i langt de fleste tilfælde ikke placeret tæt nok til en egentlig kortlægning af dalene. Til dette kommer, at boredata næsten over hele amtet udviser et kraftigt relief i prækvartæroverfladen. Mange steder findes dybe borer som ikke når prækvartæroverfladen, hvilket kan skyldes eksistensen af begravede dale. Desværre er det kun i enkelte tilfælde ud fra boredata og konventionelle seismiske data alene, muligt at få et detaljeret overblik over dalene. Dette skyldes bl.a., at mange boredata formentlig er fejlfortolkede, da de lithologiske kontraster i undergrunden er små, og at de begravede dales netværk i områder er for tætte og komplicerede til en egentlig kortlægning alene med disse data som grundlag.

Den godt elektrisk ledende palæogene leroverflade ligger overalt i Sønderjyllands Amt dybt, men i de østlige dele af amtet findes den dog i en dybde, der kan nås med høj-moment TEM. Det er muligt, at de nedre dele af dalene har skåret sig ned i denne overflade her, hvilket betyder at de så vil kunne identificeres. Som det f.eks. er set ved Bredebro, er det dog også muligt med TEM at kortlægge dale, der er nedskåret i miocæne leraflejringer, hvis dalene er udfyldt med sand og grus. I Sønderjyllands Amt er der endnu ikke kortlagt begravede dale, der er fyldt op med smeltevands- eller interglaciale aflejringer og som ses som lavmodstandsstrukturer. Sådanne må dog formodes at eksistere også her.

### *Fyns Amt*

#### **Fyns Amt**

I Fyns Amt er der indtil videre kun fundet et begrænset antal begravede dale, og det billede der tegner sig for det østjyske område hvad angår tæthed af begravede dale, er ikke tilsvarende fundet på Fyn. Tætheden af udførte geofysiske kortlægninger er dog heller ikke den samme. På Fyn ligger det ældre tertiære plastiske ler generelt højt, og der findes ikke som i Østjylland yngre tertiære lag med større sandandel ovenpå. Derfor er der gode muligheder for at kortlægge modstandskontraster mellem de kvartære og de tertiære aflejringer, da de tertiære aflejringer generelt har en meget lav modstand. Der er dog eksempelvis på Tåsinge (Fy 13) iagttaget ganske lave modstande af morænerne i de nedre dele af den kvartære lagserie, hvilket stedvist kan

gøre det vanskeligt af fastlægge overfladen af den plastiske ler. Det formodes, at de nedre moræners lave modstand skyldes en opblanding med tertiært ler.

Centralt på Fyn ligger kalkaflejringerne højt, og i TEM undersøgelser her er det muligt at kortlægge tykkelsen af det plastiske ler, topkoten for kalken og det salte grundvand i kalken. Med denne lagserie vil der være gode muligheder for, med TEM-metoden, at kortlægge begravede dale, der i de dybeste dele er nederoderet i tertiæret. Begravede dale, som kun findes i kvartæret derimod, vil kræve en målbar modstandskontrast mellem dalfyld og dalsider. Østover på Fyn stiger overfladen af kalken højere op, og eksempelvis ved Nyborg er der i boringer kortlagt en dal i kalken (Fy 5).



## 5

# Fælles træk ved de begravede dale i Jylland og på Fyn

### 5.1 Geografisk udbredelse

- Forekomst* Der er i kortlægningen fundet forekomster af begravede i de fleste områder af Jylland og Fyn. I alt er der p.t. blevet kortlagt 1023 km begravede dale mod 684 km ved den seneste afrapportering
- Komplicerede netværk* Begravede dale synes at forekomme i tætte og komplicerede netværk i undergrunden. Dalene træder frem i data på forskellig vis, men det er sandsynligvis langt fra alle dale, der ses. Nogle undersøgelsesmetoder kan kortlægge dale i områder, hvor andre metoder ikke kan, og selv om forskellige metoder er blevet anvendt i et givent område, er der ingen garanti for, at dalene er blevet identificeret. Den hyppige forekomst af begravede dale i hele området er i tråd med de mange fund af begravede dale i resten af det tidligere nedisede Nordeuropa, se appendix 5.
- Tæthed af begravede dale* Fordelingen af de kortlagte begravede dale er relativt ujævn. De største koncentrationer ses i Viborg Amt, Århus Amt og Vejle Amt, hvilket sandsynligvis ikke skyldes, at den reelle tæthed af begravede dale her er større. I stedet skyldes det formentlig, at der netop i disse områder findes højtliggende palæogene lerlag, som tydeligt fremtræder i TEM-data som en god elektrisk leder. En høj kotemæssig beliggenhed af en sådan kontrastrig aflejring betyder, at den bliver let at kortlægge fordi den findes indenfor rækkevidde fra jordoverfladen. Da de begravede dales nederste dele ofte skærer sig ned i den gode leder i disse områder, bliver dalene her lette at kortlægge med TEM-undersøgelser. Findes det palæogene ler dybere end ca. 150 meter kan det være vanskeligt at kortlægge dalene med standard TEM-undersøgelser. I sådanne tilfælde kræves der andre typer af modstandskontraster i de øverste 150 meter jordlag eller alternativt, anvendelse af høj-moment TEM. Da der er ideelle forhold for at benytte TEM-metoden i store dele af ovennævnte amter, er det i øvrigt også her metoden indtil videre har været anvendt mest intensivt.
- Regional fordeling* Kortlægningen giver altså ikke noget reelt billede af den regionale fordeling af begravede dale i Jylland og på Fyn. Seismiske undersøgelser i de områder, hvor der endnu ikke er kortlagt begravede dale, antyder, at de også her findes tæt beliggende. Det samme billede antydes i boredata. Her ses ofte meget vekslende lagserier, som i mange tilfælde vurderes at have årsag i tilstedeværelsen af begravede dale.
- Som det ses af kortlægningen er tætheden størst i området omkring Århus. Langt de fleste af dalene her er, som nævnt, identificeret i den palæogene lers overflade, men det er muligt, at der højere i lagserien findes flere begravede dale, som ikke er blevet kortlagt med de an-

vendte metoder, og at tætheden dermed er endnu større end angivet. Tætheden af begravede dale i Jylland og på Fyn er således stadig relativt ukendt, men det vurderes, at den i de fleste områder er mindst ligeså stor som i området omkring Århus. Tætheden vil dog afhænge af, hvor mange forskellige generationer af begravede dale, der er tilstede i de enkelte områder. Omkring Århus synes der at eksistere mindst 3 generationer.

*Afhængighed af underlag* Forekomsten og tætheden af begravede dale vil bl.a. være afhængig af underlagets hydrauliske egenskaber, muligheden for erosion af underlaget, tektoniske svaghedszoner i underlaget samt dets topografi. I kombination med isdækkets tykkelse, dets dynamiske forhold samt temperaturforholdene ved gletschersålen spiller ovennævnte forhold en væsentlig rolle for hvor, hvornår og hvordan det subglaciale smeltvand strømmer og eroderer (se tidligere rapporter og kap. 8). På baggrund af dette må der således forventes en vis geografisk fordeling af begravede dale i Jylland og på Fyn, men det har dog endnu ikke kunnet lade sig gøre at udlede konklusioner omkring forholdet mellem ovennævnte egenskaber ved underlaget og forekomster/fordeling af begravede dale. Dalene er øjensynligt nederoderet i alle slags sedimenter; fra kvartært og tertiært sand og ler til kridt og kalk.

## 5.2 Dimensioner

*Længder* Dalenes typiske længder er relativt dårligt belyst. De fleste dale kan i længderetningen blot følges indenfor de kortlagte områder, hvilket generelt vil sige ca. 3-10 km. Nogle steder, hvor dalene er kortlagt ved hjælp af eksisterende borer, kan de dog følges over strækninger på mere end 25 km. De kortlagte længder siger ikke noget om dalenes reelle længder, og det er enkelte steder muligt at dalene kan korreleres til hinanden, da de synes at ligge i forlængelse af hinanden. En sådan mulig korrelation kan gøres mellem Give-Brande (Ri 17, Ve 6), Avlum-Snebjerg (Ri 1), Skave (Ri 12), Rødding (Vi 10) og Sallingsund-Glyngøre (Vi 13), hvilket vil give en længde på mindst 117 km. Denne korrelation er dog usikker, fordi dalene fremtræder på forskellig vis i de forskellige områder. Andre dale synes derimod at være korte afsnørede fordybninger i underlaget, som ikke kan følges videre i længderetningen. Således kan nogle af dalene stoppe pludseligt med en stejl ende.

*Breder* Bredden af de begravede dale er ofte svær at bestemme præcist, fordi mange af dem ikke er kortlagt i deres fulde bredde. Når f.eks. en dal kun kan erkendes som en nedskæring i en god elektrisk leder kortlagt med TEM-sonderinger, er det ikke bredden ved dalskuldrene der ses, da disse erfaringsmæssigt befinder sig højere i lagserien, hvor der ikke nødvendigvis er modstandskontrast mellem fyld og dalsider. Således fremtræder mange dale smallere i kortlægningen end de i realiteten er. En anden vanskelighed, der er ved bestemmelse af dalbredder, er at gentagen erosion og dannelse af flere "dale i dale" gør, at de enkelte dale kan blive vanskelige at skelne fra hinanden. Mange steder har flere erosioner i samme overordnede tracé således skabt en struktur, der

fremtræder som ét bredt dalstrøg. Man kan dermed både tale om bredden af hele dalstrøget og bredden af de enkelte erosionsstrukturer. Fokuseres der på dalstrøgene har de fleste begravede dale bredder på mellem 1 og 2 km. Mange dale forekommer dog smallere i kortlægningerne (0,5-1 km), ligesom der også forekommer mange dale med bredder på mellem 2 og 4 km.

### *Dybder*

De kortlagte begravede dales dybder varierer mellem ca. 25 meter til over 300 meter. Meget små begravede dale med dybder på ca. 5 meter er fundet i Tyskland (Piotrowski et al. 1999) og eksisterer sandsynligvis også i Jylland og på Fyn, men på grund af de små dimensioner er de ikke umiddelbart mulige at kortlægge. Det er vanskeligt at drage generelle konklusioner om de begravede dales dybder, da den reelle dybde af de dybeste dale mange steder stadig er ukendte. Nogle af de dybeste dale er fundet i det sydlige Jylland, hvor f.eks. Holsted (Rb 1) viser dybder på mellem 300 og 400 meter, Vonsild (Ve 13) over 283 meter, Agtrup-Sdr. Bjert omkring 300 meter, Tøring-Horsens (Ve 7) omkring 300 meter og Abild (Sø 7) mellem 250 og 300 meter. Dybe dale er imidlertid også forekommende i det nordlige Jylland, men her er oplysninger om dybderne mere sparsomme. Konventionelle seismiske undersøgelser viser dog dale med dybder på mellem 200 og 300 meter i Nordvestjylland (f.eks. Ri 1 Avlum-Snebjerg og Ri 13 Holstebro Syd). Mange af dalene omkring Århus forekommer at være mellem 100 og 200 meter dybe, men en undtagelse fra dette er dalen ved Beder (År 3), som er over 200 meter dyb. Dalene i Nordjylland, der mange steder er nederoderet i kalk og kridt, synes ofte kun at være mellem 50 og 150 meter dybe, selvom dette dog også er usikkert på grund af varierende bundkote og få dybe boringer.

Der er flere steder set tegn på at forskellige dalgenerationer har forskellige dybder. Lokalitet Rb 2, Varde Syd/Forumlund viser eksempelvis 2 dalgenerationer, som har forskellig retning og samtidig markant forskellige dybder. Dybderne og udformningen af de enkelte dalgenerationer må dog forventes at variere fra område til område, da faktorer som underlagets beskaffenhed, isens tykkelse m.m. er væsentlige for, hvordan erosionen er sket.

De dybeste dele af de begravede dale varierer generelt mellem kote – 25 m og –250 m.

### *Hældning af flanker*

Hældningen af dalenes flanker er for det meste svært at bestemme præcist, da der ved brug af både TEM og seismik er usikkerheder i bestemmelsen af dybder på hældende lagflader. Med forbehold for disse usikkerheder er flankerne mange steder vurderet at være meget stejle – væsentligt stejlere end dalsider forekommer i det nuværende terræn. Dette understøttes også nogle steder af tætstående boringer, der er placeret indenfor og udenfor dalstrøg, og som viser store forskelle i dybden mellem dalskulder og dalbund/dalflanke. Det er i øvrigt ikke usandsynligt, at der forekommer meget stejle flanker i de jysk-fynske begravede dale, da lodrette eller næsten lodrette flanker er rapporteret fra blotninger i Tyskland (Eissmann et al. 1995, Piotrowski et al.

1999). Dalene her tolkes gennemgående at være dannet på samme måde som i Jylland og på Fyn (se tidligere rapporter og kap. 8).

Vurderet ud fra krydsende seismiske linier synes dalenes tværsnitsprofiler mange steder at være af U-form med stejle sider og nogenlunde flad bund. Der er dog også mange steder observeret begravede dale med en mere udpræget V-form.

### 5.3 Interne strukturer

#### *Kompleks opbygning*

Mange begravede dales interne strukturer er komplekst opbygget, hvilket tydeligt bevidnes af boredata og seismiske undersøgelser. Komplexiteten skyldes primært to forhold: Glacialtektoniske forstyrrelser og gentagen erosion/aflejring. En begravet dal er kun sjældent fyldt helt ud under samme hændelse og med samme type aflejring. På korte afstande kan fyldet ændre karakter fra f.eks. at være leret til at være sandet, ligesom vertikale ændringer i lagfølgen også er hyppige. Komplexiteten betyder, at det ofte kan være forbundet med vanskeligheder at kortlægge dalene både i længderetningen og i bredden. Sammenlignet med kvartære aflejringer udenfor dalene, ses der dog ofte relativt store mægtigheder af sammenhængende lagpakker, da der i de begravede dale på forskellige tidspunkter har været skabt rum for aflejring af tykke lagserier. I tilfælde, hvor der ikke er mulighed for at kortlægge selve afgrænsningen mellem hele dalen og dens underlag på grund af en manglende kontrast, kan det i stedet for ofte lade sig gøre at kortlægge interne erosionsstrukturer indenfor et større dalstrøg, såfremt der her er en modstandskontrast, som er fyldt ud med sådanne større lagpakker af fyld. Dette er typisk for interne lerudfyldte erosionskanaler i en generelt sandet fyldlagserie, eller sandudfyldte erosionskanaler i en generelt leret fyldlagserie.

#### *Erosion og aflejring*

Primært i seismiske undersøgelser, men også i visse TEM-undersøgelser, kan det ses at, de mange dale er dannet ved gentagne hændelser af erosion og aflejring. Dalene består af flere i hinanden nederoderede kanaler, som har været udfyldt med sedimenter imellem erosionshændelserne. Nogle af disse erosionskanaler er brede, andre er relativt smalle. Nogle har stejle sider andre har mindre stejle sider. Nogle kanaler er udfyldt med smeltevandssand og –grus, mens andre er udfyldt med silt og ler. Sidstnævnte kan f.eks. være finkornede smeltevandsaflejringer, lakustrine aflejringer eller interglaciale aflejringer. Ofte ses det, at materialerne i erosionskanalerne består af omlejrte materialer af f.eks. tertiær oprindelse. I TEM-undersøgelser ses erosionsstrukturene typisk som parallelt liggende lavmodstandsstrukturer og højmodstandsstrukturer. Forekomsten af disse kanalstrukturer medfører, at lithologien varierer meget mere på tværs af dalen end på langs af dalen. Eksempler på gentagen erosion og aflejring er: Hvalpsund Nj 12, Hobro Nj 14, Vinkel Vi 17, Midtmors-Vils Vi 13, Brabrand-dalen År 2, Holstebro Nord Ri 11, Klosterheden Ri 16, Hornsyld Ve 5, Tørring-Horsens Ve 7, Håstrup Ve 12, Vonsild Ve 13, Holsted Rb 1, Vorbasse Rb 5, Skjød År 9, Tinning År 10, Sønder-sø Fy 1.

## *Bundprofiler*

Mange begravede dale er dybere end både boringer og TEM typisk rækker, og der opnås derfor ikke noget egentligt billede af bunden i disse dale. Men der er dog flere eksempler på, at dalbunden træder tydeligt og troværdigt frem i mindre dybe dale. Dette kræver, at dalbunden befinder sig relativt højt i lagserien, og at den udgør en tydelig modstandskontrast i forhold til fyldet (f.eks. sand i fed tertiær ler), samt at TEM-sonderinger skal være udført i et tæt netværk. I sådanne tilfælde ses det flere steder, at der forekommer lavninger og tærskler langs dalbunden (eksempler: Hornsyld Ve 5, Børkop Ve 11, Håstrup Ve 12, Hvorslev Vi 16)

Begravede dale kan i flere tilfælde også på baggrund af deres fyldsedimenter følges i længderetningen gennem forskellige niveauer i lagserien. I TEM-middelmodstandskort ses f.eks. at højmodstandslegemer forløber ned i lavninger og op over tærskler igennem flere forskellige middelmodstandsintervaller. Sådanne dale er svære at erkende, fordi det samlede forløb først ses når flere intervaller betragtes samtidigt (eksempler: Sæby Nj 3, Rødding Vi 10, Breum-Jebjerg Vi 5, Skjød År 9, Erritsø-Almind Ve 2)

## *Glacialtektonik*

Glacialtektoniske forstyrrelser kan kun sjældent kortlægges med de metoder, der typisk benyttes i grundvandskortlægningen. Men at fyldet ofte er glacialtektonisk forstyrret ses ved, at der somme tider gennebøres opskudte flager af kalk og tertiært ler i dalene. Det kan være vanskeligt at skelne mellem originale tertiære sandede/silte-sedimenter og omlejrrede tertiære sedimenter i dalene, men fede palæogene leraflejringer samt kalkaflejringer som overlejrer kvartære aflejringer må kunne betragtes som værende dislocerede ved glacialtektoniske hændelser. De glacialtektonisk forstyrrede fyldsedimenter ses også i flere grusgrave i dalene (f.eks. Lyngå-Hår/Haldum Grusgrav (År 12), Thyholm (Ri 7) og Hornsyld (Ve 7)).

I nogle tilfælde er der i Vestjylland fundet flager af plastisk ler eller kridt/kalk blandt de kvartære aflejringer, på trods af at disse, i deres oprindelige position, er dækket af tykke lag af yngre tertiære aflejringer (f.eks. Rb 1 Holsted). Det kan sådanne steder tolkes, at flagerne er presset op fra bunden af dalstrukturer, der har gennemroderet Ungtertiæret og således er i kontakt med de palæogene aflejringer.

## **5.4 Fyld**

### *Fundne aflejringsstyper*

Med en enkelt undtagelse ovenpå Vejrum saltstrukturen (Ri 11), hvor der er påvist tertiære aflejringer som dalfyld, består fyldmaterialerne altid af kvartære aflejringer. Langt den største del af fyldsedimenterne udgøres af smeltevandsaflejringer og moræneaflejringer, mens en mindre del udgøres af interglaciale aflejringer.

Helt overordnet set synes der ikke at være nogen klar systematik i fordelingen af aflejringsstyper i dalene. I nogle områder præges dalene, eller måske rettere, de forskellige generationer af dale, af smelte-

vandssand og –grus, mens der i andre områder og i andre dalgenerationer forekommer meget smeltevandsler og –silt eller moræneler. De vertikale variationer af dalfyldet er også komplicerede og er efter alt at dømme ligeledes afhængige af den geografiske placering og af gentagne erosioner. Opbygningen af fyldet i begravede dale er et resultat af dannelseshistorien, som varierer fra dalgeneration til dalgeneration og fra område til område. I nogle områder forekommer der derfor store og velbeskyttede grundvandsressourcer i dalenes bund tilhørende bestemte generationer, mens der i andre områder primært er lerede sedimenter i bunden af dalene. Andre steder indeholder dalene så meget sand og grus, at der ikke gives nogen særlig beskyttelse af det dybeliggende grundvand, og sådanne dale kan tilmed danne hydraulisk kortslutning til velbeskyttet grundvand udenfor dalene.

#### *Beregninger på fyldtyper*

I det følgende vil dalenes fyldsedimenter blive belyst ved hjælp af beregninger foretaget på boringsoplysningerne i PC-Zeus (data fra 1999). Alle boringer med dybder på mere end 25 meter indenfor de kortlagte dale er valgt ud, og summerede tykkelser af forskellige grupper af lag i disse boringer er blevet sammenlignet. Laggrupperne er definerede som moræneaflejringer (ml, mi, ms og mg – i det følgende blot benævnt ml), finkornede smeltevandsaflejringer (dl, di) og grovkornede smeltevandsaflejringer (ds, dg) repræsenterende hhv. glaciale miljøer, proglaciale smeltevandsmiljøer samt sub- og proglaciale smeltevandsmiljøer. Beregningerne skal tages med forbehold idet vandforsyningsboringer ikke er placeret tilfældigt. Der vil være en vis overrepræsentation af de grove smeltevandsaflejringer, fordi boringerne i mange tilfælde er placeret på de steder, hvor der på forhånd har været kendskab til eksistensen af grundvandsmagasiner.

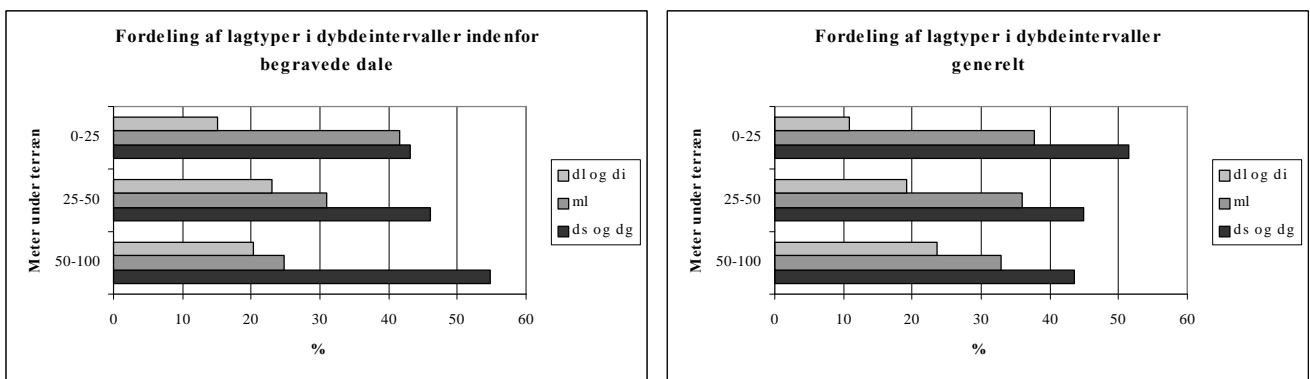
#### *Procentvis fordeling*

Med baggrund i ovenstående viser beregningerne, at der ud af den samlede mængde af moræneaflejringer, finkornede smeltevandsaflejringer og grove smeltevandsaflejringer findes:

- 32 % moræneaflejringer
- 18 % finkornede smeltevandsaflejringer
- 50 % grove smeltevandsaflejringer

i de begravede dale.

I figur 5.1 er forholdet mellem aflejringstyperne fordelt i 3 forskellige dybdeintervaller. Der ses en tydelig tendens til, at indholdet af moræneaflejringer blandt fyldet i dalene bliver mindre med dybden. Mellem 0 og 25 meters dybde er indholdet 41,5 %, mellem 25 og 50 meter er indholdet 30,9 % og mellem 50 og 100 meter er det 24,9 %. Modsat forholder det sig med de grove smeltevandsaflejringer. Her stiger indholdet fra 43,3 % mellem 0 og 25 meter til 46,2 % mellem 25 og 50 meter og 54,8 % mellem 50 og 100 meter. Forekomsten af smeltevandsler og -silt stiger fra 15,2 % mellem 0 og 25 meter til 23,0 % mellem 25 og 50 meter og falder derefter tilsyneladende igen til 20,4 % mellem 50 og 100 meter. At der ses et fald igen mellem 50 og 100 meter kan dog skyldes, at mange vandforsyningsboringer i finkornede smeltevandsaflejringer typisk er blevet stoppet et sted mellem 50 og 100 meter, fordi der ikke blev fundet vand. Man kan forestille sig, at hvis der bores i grove aflejringer, har der været et større incitament til at udføre en boring til mere end 100 meters dybde.



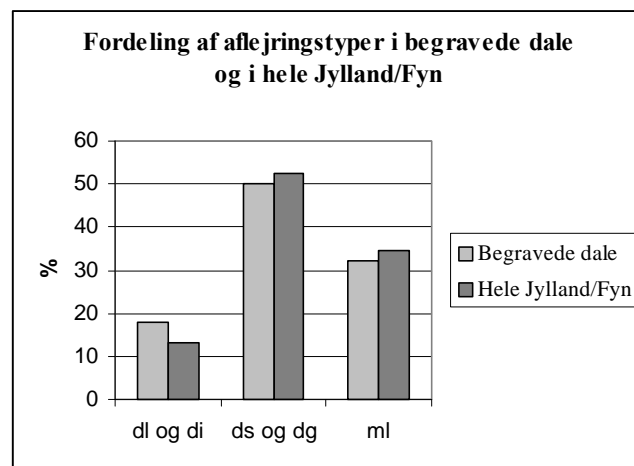
Figur 5.1: Forhold mellem sedimenttyper i forskellige dybdeintervaller i begravede dale og i hele det jysk-fynske område.

Hvis der ses bort fra ovennævnte usikkerhed, viser beregningerne altså at forekomsten af grundvandsmagasinerne stiger med dybden, mens der er en svag tendens til, at der generelt findes mere ler i de øvre dele af dalene. Dette er i udmærket overensstemmelse med den gængse opfattelse af fordelingen af fyldet i begravede dale.

På samme måde, som der er lavet beregninger for boringer indenfor dalene, er der også lavet beregninger for boringer med dybder på mere end 25 meter i hele Jylland/Fyn. Dette er gjort i et forsøg på at observere om aflejringerne i dalene adskiller sig fra aflejringer i den generelle jysk/fynske geologi. Det skal dog bemærkes, at der ikke kan gennemføres direkte sammenligninger mellem aflejringer udenfor dale og aflejringerne i dalene, fordi det kun er en meget lille del af den samlede forekomst af begravede dale, der p.t. er blevet kortlagt. Således vil en stor del af aflejringerne i gruppen der sammenlignes med (hele Jylland/Fyn) også bestå af fyldaflejringer i ukendte begravede dale, og dette vil udjævne eventuelle tendenser. Med andre ord kan

observerede forskelle i realiteten forventes at være større end sammenligningerne viser.

I figur 5.2 ses, at der findes lidt færre moræneaflejringer og grove smeltevandsaflejringer (2-3 %) i de begravede dale end i hele Jylland/Fyn generelt, mens mængden af finkornede smeltevandsaflejringer er ca. 5 % større. Forskellene er små, men kan ifølge ovennævnte forventes at være større. At der findes mindre mængder af smeltevandssand og -grus i dalene er overraskende idet begravede dale ofte fremhæves i forbindelse med grundvandsinteresser, men når der tales om grundvandsforhold, skal det holdes for øje, at sammenligningerne ikke tager højde for, at de kvartære sedimenter, der her sammenlignes, generelt er at finde til større dybder indenfor begravede dale end udenfor, hvor en sammenligning med prækvartære sedimenter derfor også er nødvendig. Endvidere viser det sig, hvis man ser på de enkelte af-



Figur 5.2: Forhold mellem sedimenttyper i begravede dale og i hele Jylland/Fyn.

lejrings typer for sig, at indholdet af smeltevandsgrus alene er hyppigere forekommende i dalfyldet end i Jylland/Fyn som helhed.

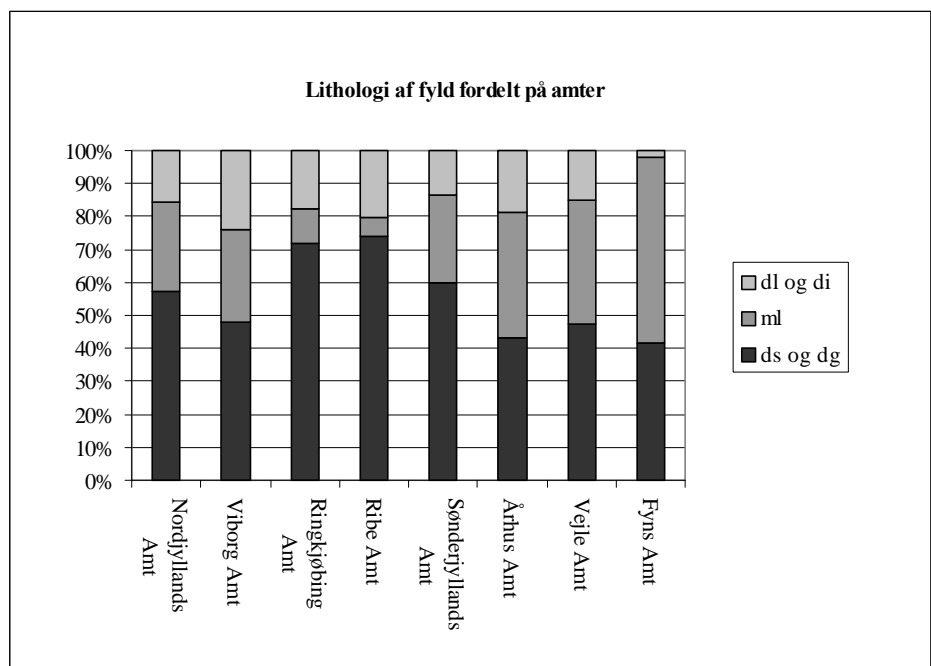
Betragtes den vertikale sedimentfordeling generelt i hele Jylland/Fyn (figur 5.1) ses det, at forekomsten af grove smeltevandsaflejringer bliver mindre med dybden i forhold til de 2 andre grupper af sedimenter. Således er der fundet større mængder grove smeltevandsaflejringer i dybder mellem 50 og 100 meter i de begravede dale end i hele Jylland/Fyn.

### Regionale forskelle

For at synliggøre, at der findes regionale forskelle i dalfyldet, er borerne indenfor de begravede dale opdelt amtsvist. Det ses i figur 5.3, at der er store forskelle amterne imellem. Store mængder moræneaflejringer findes primært mod øst i Fyns, Vejle og Århus amter. Særligt er dette gældende på Fyn, hvor moræneaflejringer udgør 56 % af fyldet i dalene. I de vestlige amter, Ribe og Ringkjøbing amter, er indholdet af moræner i dalene derimod meget lavt; hhv. 5 og 10 %. Denne fordeling af moræneaflejringer kunne se ud til, at være sam-

menfaldende med Hovedopholdslinien, idet der i amterne udenfor denne findes lave forekomster. Der er dog ingen umiddelbar logisk forklaring på dette sammenfald med Hovedopholdslinien, da mange af dalene menes at være dannet og fyldt ud tidligere end Weichsel (se tidligere rapporter og kap. 8).

De største mængder af smeltevandssand og –grus finder man i amter med et lavt indhold af moræneaflejringer, dvs. Ribe Amt og Ringkjøbing Amt. Her er indholdet hhv. 74 og 72 %. De laveste indhold findes i Fyns Amt, Århus, Vejle og Viborg amter med hhv. 42, 42, 47 og 48 %. Forekomsten af smeltevandsler og –silt er relativt jævn blandt amterne, bortset fra Fyns Amt, hvor det er bemærkelsesværdigt, at der kun findes 2 %.



Figur 5.3: Forholdet mellem sedimenttyperne fordelt på amter

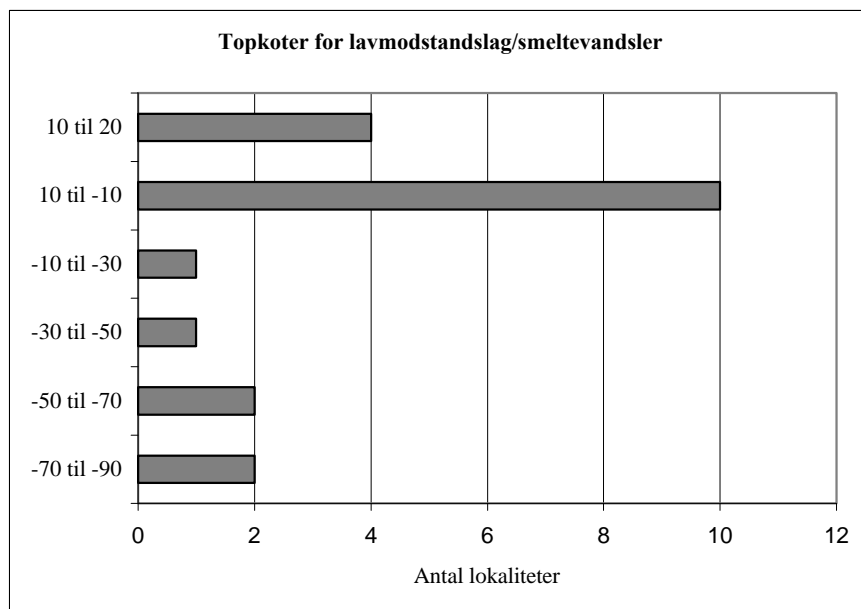
### Lavmodstandslag

Som ovenfor nævnt er smeltevandsler hyppigt forekommende som fyld begravede dale. Smeltevandsleret er typisk aflejret i søer, der har været helt eller delvist opdæmnet af isen, eller i fritliggende søer tæt på isfronten. Dale, der træder frem ved tilbagesmeltnings af isen, vil udgøre velegnede miljøer for aflejring af smeltevandsler, hvilket kan være en forklaring på den større forekomst heri. I en række TEM-kortlægninger har det, ifølge boringsoplysninger, været muligt at kortlægge sådanne begravede forekomster af smeltevandsler. Forekomsterne har elektriske modstande på mellem 10 og 40 ohmm, typisk omkring 25 ohmm. De udmærker sig oftest ved at have brede, jævne overflader og ved at blive smallere nedefter. Seismiske målinger på flere lokaliteter viser, at sådanne strukturer ofte er kanaludfyldninger i begravede dale.

Forekomsterne af udbredte lagpakker af smeltevandsler og lavmodstandslag svarende til smeltevandsler findes på ca. 20 lokaliteter. En

opgørelse over koten for overfladen af disse (topkoterne) ses i figur 5.4. Det viser sig, at halvdelen af lokaliteterne har topkoter, der befinder sig nær kote 0 meter, og at mange af disse findes i Nordjyllands Amt, Viborg Amt og Ringkjøbing Amt. På 4 lokaliteter findes topkoten mellem kote 10 og 20 meter, og alle disse findes på eller tæt ved Mors. Derudover findes der også udbredte aflejringer af smeltevandsler på større dybde, men topkoterne for disse forekommer at være mere spredt.

Populationen af topkoter omkring kote 0 meter kunne tyde på, at mange af søerne, hvori leret er aflejret, er blevet opfyldt samtidigt, og at der har været hel eller delvis hydraulisk kontakt mellem disse. Muligvis har de begravede dale fungeret som fjordarme i et mere eller mindre marint miljø, som er blevet tilført materiale fra en tilbagesmelten- de gletscher. På lokaliteten Ri 11 (Holstebro Nord) er en lavmodstandsstruktur med topkote omkring kote 0 meter blevet påvist at være interglacialt marint Holstein (i følge Karen-Louise Knudsen, Århus Universitet), og det er muligt, at flere af lavmodstandslagene i regionen i realiteten er Sen Elster ler og Holstein interglaciale aflejringer. Meget af det formodede smeltevandsler fra dalene har mørke farver, men det er sjældent, at der er fundet fossilrester heri, hvilket betyder, at det normalt ikke er blevet forsøgt dateret. I Sydvestjylland, hvor der også forekommer begravede dale delvist udfyldt med Holstein-aflejringer (Rb 2, Rb 6, Rb 7, Rb 8 og Rb 9), har det i et enkelt tilfælde kunnet lade sig gøre at kortlægge dette som lavmodstandslag (Rb 2).



Figur 5.4: Fordeling af koter for overfladen af lavmodstandslag/smeltevandsler

At topkoterne på eller omkring Mors findes 10 til 20 meter højere kan muligvis skyldes efterfølgende lokal hævnning af området. Andre for-

klaringer kan være, at smeltevandsaflejringerne i de begravede dale her er af en anden alder og generation, eller at netop disse dale har eksisteret som aflukkede søer uden hydraulisk kontakt med de omgivende miljøer.

#### *Dale i mellemistider*

Ligesom der findes åbne dale i landskabet i dag er det sandsynligt, at der har eksisteret dale i tidligere mellemistider. I bunden af dale samles vand, og der dannes vandløb, søer og fjorde med aflejring af sedimentter til føge. Dalene er i de fleste tilfælde under senere istider blevet overskredet af gletschere, og det interglaciale fyld er i nogle tilfælde herved blevet helt eller delvist begravet. På denne måde er det sandsynligt, at forekomsten af interglaciale aflejringer er særligt hyppige i begravede dale. I praksis vurderes dette også at være tilfældet, da der ved gennemgangen af aflejringerne i dalene meget ofte er konstateret forekomster af sådanne eller forekomster af aflejringer, der kunne være af interglacial oprindelse. Interglaciale aflejringer eller formodede interglaciale aflejringer er konstateret på omkring 25 % af de beskrevne lokaliteter.

#### *Interglaciale aflejringer og begravede dale*

Sammenhængen mellem interglaciale aflejringer og begravede dale kan i nogle tilfælde føre til, at dalstrøg kan identificeres. Et eksempel på dette er lokaliteten Ve 11 (Børkop), hvor forekomsterne har skabt basis for en egentlig kortlægning af et stykke af en begravet dal. I andre tilfælde har det været muligt, at danne sig et indtryk af en mulig udbredelse og retning af en begravet dal (f.eks. Vi 20, Ve 8, Ve 13, Rb 9). De hyppigst fundne interglaciale sedimentter i de begravede dale er marint ler, ferskvandstørv og – gytje og kiselgur (diatomit).

#### *Tertiært glimmerler og interglaciale aflejringer*

Det marine ler er normalt mørkt brunt eller sort og indeholder i ikke-forvitret tilstand ofte skalfragmenter. Det har desuden mange steder et indhold af glimmer og kan derfor let forveksles med glimmerler. Særligt når det interglaciale ler befinder sig i en begravet dal, som har skåret sig ned i omkringliggende lag af glimmerler, kan der ske en forveksling, fordi glimmerleret forventes at komme i det niveau, hvor dalfyldet befinder sig. Omlejring af glimmerler i dalene har også fundet sted, hvilket blot komplicerer fortolkningerne yderligere. Det vurderes, at mange dales eksistens er blevet overset pga. af vanskelighederne med at skelne mellem interglaciale aflejringer, tertiært glimmerler og omlejringer deraf. I flere tilfælde er der fundet kvartære aflejringer nedenunder lag, som har været tolket som flager af glimmerler, men som ved en nærmere gennemgang efter al sandsynlighed består af enten interglaciale aflejringer eller omlejret glimmerler (f.eks. Vi 20, Ve 6 og Ri 17). De marine aflejringer tilhørende begravede dale er bl.a. fundet omkring Vejle-Brande-Horsens (Ve 7, Ve 11 og Ve 6, Ri 17), omkring Århus (År 3, År 8), på Mors (Vi 13) og ved Holstebro (Ri 11).

Ferskvandsaflejringerne består af ler, silt, sand, tørv, gytje og kiselgur. De synes primært at forekomme i de begravede dale i de sydlige og østlige dele af Jylland og muligvis også på Fyn. Kiselguren er en let og porøs jordart, som i mange tilfælde er let genkendelig fordi den er

grå eller hvid, men ofte forekommer den at være brun eller sort, specielt umiddelbart efter den er kommet op til jordoverfladen i forbindelse med boreprocessen. Kiselguren er fundet som fyld i begravede dale i Fredericia-Vejle-Horsens området (Ve 4, Ve 7, Ve 11).

I flere tilfælde er der i én og samme begravede dal fundet flere forskellige typer af interglaciale sedimenter. Som et eksempel kan nævnes Børkop (Ve 11), hvor der er fundet kiselgur, ferskvandstørv, -gytje, -ler og -sand samt marint ler.

### *Datering af interglaciale aflejringer*

Ved hjælp af hhv. foraminiferanalyser og pollenanalyser er det muligt stratigrafisk at datere de marine og de limniske aflejringer. Forekomsterne af interglaciale aflejringer blandt dalfyldet kan derfor i nogle tilfælde fortælle noget om de forskellige begravede dales minimumsaldre. Alene tilstedeværelsen af interglaciale aflejringer i dalfyldet viser, at de pågældende dale har eksisteret før den seneste mellemistid, Eem.

I det følgende fremhæves nogle af de lokaliteter, hvor dalfyldet er blevet stratigrafisk dateret med rimelig stor sikkerhed. Litteraturhenvisninger kan ses i lokalitetsbeskrivelserne.

### *Eem*

Aflejringer, som ved hjælp af bl.a. pollen- og foraminiferanalyser er vurderet at stamme fra **Eem** mellemistid, er fundet på følgende lokaliteter:

- Brabranddalen (År 2) – ved Stavtrup og Årslev – marine aflejringer
- Tørring-Horsens (Ve 7) – ved Bækkelund i Horsens - ferskvandsaflejringer
- Vorvadsbro-Lund (Ve 8) – ved Lund - ferskvandsaflejringer
- Rødding (Sø 3) - ferskvandsaflejringer

### *Saale*

Aflejringer, som formodes at stamme fra næstsidste istid, **Saale**, er bl.a. fundet på følgende lokaliteter:

- Lyngå-Hår (År 12) – Haldum Grusgrav – moræner og sand
- Hornsyld (Ve 5) – ved Åstrup - moræner
- Thyholm (Ri 7) – Flovlev Sandgrav – smeltevandssand og moræner
- Børkop (Ve 11) – Rands og Vejlbj – ferskvandsaflejringer

### *Holstein*

Aflejringer, som ved hjælp af bl.a. pollen- og foraminiferanalyser er vurderet at stamme fra næstsidste mellemistid, **Holstein**, er fundet på følgende lokaliteter:

- Hadsten (År 8) – ved Hadsten by – marine aflejringer
- Holstebro Nord (Ri 11) – Sir Gårde – marine aflejringer og ferskvandsaflejringer
- Børkop (Ve 11) – Rands og Vejlbj – ferskvandsaflejringer og marine aflejringer
- Sydvestjylland (Rb 6, Rb 7, Rb 8 og Rb 9) – marine aflejringer

### *Elster*

Aflejringer, som formodes at stamme fra 3. sidste istid, **Elster**, er bl.a. fundet på følgende lokaliteter:

- Hadsten (År 8) – ved Hadsten by – smeltevandsler
- Thyholm (Ri 7) – Flovlev Sandgrav – smeltevandsler og moræneler
- Holstebro Nord (Ri 11) – Sir Gårde – smeltevandsler

Endelig skal det nævnes, at en moræneenhed, der sandsynligvis er ældre end Elster, er blevet beskrevet ved lokaliteten Lyngå-Hår (År 12), Haldum Grusgrav.

### *Kvartære dale*

Ovennævnte aldre, som altså skal opfattes som værende minimumsaldre for dannelsen af dalene, suppleres på ingen af de pågældende lokaliteter af aldre på de aflejringer de er nederoderet i. Dog vides det, at de på flere af lokaliteterne er nederoderet i prækvartære formationer, og således kan der for disse siges, at de er dannet på et tidspunkt i tiden fra Tertiær til den pågældende alder af fyldet. På flere lokaliteter vides det dog, at dalene foruden, at de i de nedre dele er nederoderet i prækvartære sedimenter, også er nederoderet i kvartære sedimenter i de højere niveauer. I mange af dalene er der også påvist interne erosionsstrukturer i de kvartære sedimenter (dal i dal dannet ved gentagen erosion og aflejring), og sammenholdt med teorien om, at mange af dalene er skabt af subglacial smeltevandserosion (se tidligere rapporter og kap. 8), må dalene primært antages at være dannet i kvartærperioden og ikke tidligere.

### *Tertiære dale*

Det kan dog ikke afvises, at der kan have eksisteret dale i prækvartæroverfladen før de første isoverskridelser i Kvartær. Floder og et fald i havniveauet må have medført dannelse af erosionsdale i terrænet, men sådanne erosionsdale har ikke kunnet påvises på nogle lokaliteter. En påvisning af tertiære dale kræver, at dalfyldet med sikkerhed består af tertiære aflejringer.

## **5.5 Generationer**

### *Dalgenerationer*

Ved en lang række lokaliteter er der fundet flere forskellige generationer af begravede dale (f.eks. Hobro (Nj 14), Durup (Vi 11), Breum-Jebjerg (Vi 5), Bjerringbro (Vi 8), Hvorslev (Vi 16), Vammen-Tjele (Vi 2), Håstrup (Ve 12), Bjergby – Øster Jøby (Vi 17), Vonsild – Agtrup (Ve 1, 13), Holstebro Syd (Ri 11), Århus området (År 1, 2, 3, 9, 10, 11, 12), Varde Syd – Forumlund (Rb 2)). Dalene findes i forskellige dybder og med forskellige retninger og kan derfor krydse hinanden i forskellige niveauer. Dette betyder, at alle dalene ikke er dannet ved samme hændelser og på samme tid.

### *Foretrukne retninger*

Dalgenerationerne træder tydeligt frem i rosetterne, der er udarbejdet på baggrund af dalenes retninger og længder ud fra de optegnede centerlinier (se kap 6). På rosetten for hele Jylland/Fyn er de forskellige generationer ikke særligt tydelige fordi populationer fra de enkelte delområder i en vis grad udvisker hinanden. Men hvis man ser på rosetterne for delområderne for sig, ses de forskellige generationer i fle-

re tilfælde tydeligt. F.eks. kan 3 eller måske 4 populationer udledes af rosetten fra Sydvestjylland (N-S, V-Ø, NV-SØ og måske NNØ-SSV). På baggrund af retningspopulationerne kan det ses, at der som minimum findes 3-5 generationer af begravede dale over det meste af Jylland/Fyn. Antallet af generationer vurderes dog at være højere, da dale fra forskellige generationer men med samme retning er vanskelige at skelne fra hinanden på grund af genbrug/reakivering af daltracéer.

#### *Aldersrelationer*

På nogle af de ovennævnte lokaliteter er det muligt, at se hvilke dal-generationer, der blev dannet først, og hvilke der blev dannet sidst (Nj 14, Vi 5, Vi 8, Vi 2, Ve 12, Vi 17 og Ri 11). Sådanne aldersrelationer mellem dalene kan i TEM-undersøgelser afgøres, hvis dalene f.eks. har forskellige fyldsedimenter med forskellige elektriske modstande. Dette vil resultere i, at den yngste dals fyld vil kunne følges på tværs af ældre dalstrukturer, når disse krydser hinanden i samme niveau. To dale, der krydser hinanden i forskellige niveauer kan under gode kortlægningsforhold derimod begge erkendes i deres respektive niveauer. Den højest beliggende dal er her den yngste.

Eksemplerne på steder, hvor relationer mellem ældre på dale kan erkendes, er stadig relativt få. Dette betyder, at der endnu ikke kan opnås et sikkert billede af, hvilke generationer der er unge, og hvilke der er gamle. Dog ser det ud til, at N-S generationen er relativt gammel, hvilket også bekræftes af tilstedeværelsen af Holstein-sedimenter i den N-S-gående begravede dal nord for Holstebro (Ri 11). Endvidere er der forhold der tyder på, at der findes en endnu ældre dalgeneration med retningen NV-SØ. På to lokaliteter, hvor dale har denne retning er der ligeledes fundet Holstein-sedimenter (Børkop, Ve 11 og Hadsten, År. 8).

### **5.6 Saltstrukturer**

#### *Dale ved saltstrukturer*

Begravede dale forekommer i nogle tilfælde i forbindelse med eksistensen af saltstrukturer. Dalene kan forløbe mellem saltstrukturerne, men også i eller over sprækkezoner ovenpå strukturerne. Der er både kortlagt dale på langs, på tværs og i mellem aflange salthorste. Eksempler på begravede dale over/ved salthorste er følgende: Lønnerup Fjord (Vi 9), Mors-lokaliteterne (Vi 12, Vi 13 og Vi 17), Breum-Jebjerg (Vi 5), Thyholm (Ri 7), Sallingsund-Glyngøre (Vi 19), Limfjorden, vest for Løgstør (Nj 8), Holstebro Nord (Ri 11), Holstebro Syd (Ri 13), Gundestrup – Giver (Nj 9), Urhøje Plantage (Nj 10).

### **5.7 Forkastninger og antiklinaler**

#### *Dale ved forkastninger og antiklinaler*

På seismiske linier kan der nogle gange iagttages forkastninger eller antiklinaler umiddelbart under begravede dale. På landseismik kan det dog ofte være svært at se både begravede dale og dybereliggende strukturer. I de fleste tilfælde er det kun muligt, at erkende de dybtliggende strukturer på et enkelt tværgående profil, men under den NV-SØ-gående dal på lokaliteten Holstebro Syd (Ri 13) ses en forkastning

under hele dalens kortlagte forløb på en række forskellige seismiske profiler. Det er muligt at dalens beliggenhed har været styret af denne forkastning i undergrunden. På følgende lokaliteter ses eksempler på dale over forkastninger og antiklinaler: Bredebro (Sø 1), Tørring-Horsens (Ve 7), Lind-Høgild (Ri 2), Kattegat ved Mariager Fjord (Ar 5), Brabranddalen (År 2), Løgstør (Nj 11) og Håstrup (Ve 12).

## **5.8 Grundvandskemiske træk**

### *Brunt vand*

Muligvis som et resultat af de hyppige forekomster af interglaciale aflejringer i de begravede dale, er der i flere tilfælde fundet brunt vand eller bruntvandspåvirket grundvand heri. Dette er bl.a. tilfældet i Ribe Amt i forbindelse med forekomsten af Holstein-aflejringerne (Bruun-Petersen 1987), men også i Vejle Amt er der på det seneste fundet svagt bruntvandspåvirket vand i flere begravede dale.



## 6

# Relationer mellem begravede dale, nuværende landskab og dybe forkastninger

## 6.1 Retningsanalyser

### *Begravede dale*

De kortlagte begravede dales retninger er plottet i rosetdiagrammer med det formål at se, om der er bestemte retninger, der skiller sig ud. Dalenes centerlinier repræsenterer de begravede dales længde og retning, og kan derfor anvendes ved vurderinger af foretrukne dalretninger. I forhold til den seneste opdatering er der nu tale om at den samlede længde af begravede dale er øget med ca. 50%, hvilket skyldes at identifikation af nye dale i Jylland samt at Fyn nu indgår i kortlægningsområdet.

I lighed med tidligere er retningerne plottet for hele det kortlagte område og for et antal udvalgte regioner. De 7 regioner er:

- Vendsyssel
- Himmerland
- Nordvestjylland
- Østjylland
- Sydvestjylland
- Sydøstjylland
- Fyn

I forhold til tidligere er regionernes indbyrdes afgrænsninger blevet justeret en smule, og blandt andet er region Himmerland blevet udvidet på bekostning af Vendsyssel regionen.

Antallet af begravede dale er nu så stort, at der ligeledes er udarbejdet rosetter for hvert enkelt amt.

### *Topografiske dale*

For de topografiske dale gælder, at data er udvidet med det fynske område, men herudover er der ikke sket ændringer i datasættet. Datasættet er i forhold til tidligere udvidet med ca. 10% hvad angår den samlede længde af vektorerne.

### *Forkastninger*

For forkastningsdata er det kortlagte område udvidet med det fynske område og de indre farvande mellem Jylland og Fyn. For at øge datamængden er der ligeledes inddraget data i en smal zone rundt om kortlægningsområdet. Der indgår derfor nu en væsentlig større mængde data end tidligere.

I forbindelse med databehandlingen af forkastningsdata er der tidligere i projektet opstået en fejl, som har medført at rosetterne ikke er blevet plottet præcist. Årsagen til fejlen kendes ikke, men formodes op-

stået i forbindelse med udvælgelsen af deldata. Proceduren er nu ændret, således at alle udvælgelser af data sker direkte i MapInfo og ikke som før via databaseprogrammet Access.

I det følgende gennemgås rosetterne for de 3 datasæt hver for sig og herefter foretages en sammenstilling. Det er for denne opdatering valgt at gøre beskrivelserne af retningsfordelingerne så kortfattede som muligt, og i så høj grad som muligt lade rosetterne tale for sig selv. Der anvendes ikke præcise retningsangivelser for de foretrukne retninger, men i stedet mere overordnede retningsangivelser med henvisning til verdenshjørnerne.

### Foretrukne retninger for begravede dale

#### *Rosetter*

Rosetterne for de begravede dale er vist i bilag 2. Rosetten for det samlede datasæt er vist øverst til venstre, og de enkelte regioners rosetter er vist til højre.

#### *Rosetter for regionerne*

For det samlede datasæt skiller retningerne omkring V-Ø, NV-SØ og N-S sig ud. I *Vendsyssel* dominerer retningerne V-Ø og NV-SØ, men det skal bemærkes, at datasættet er meget lille. *Himmerland* viser derimod en foretrukket retning mellem N-S og NNØ-SSV. Sidstnævnte retning er også dominerende i *Nordvestjylland*, men her ses også en foretrukket retning omkring NV-SØ. For både *Himmerland* og *Nordvestjylland* kan der ses en mindre dominerende retning mellem V-Ø og VSV-ØNØ. For *Østjyllands* vedkommende dominerer retninger mellem V-Ø og SV-NØ, fulgt af retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ. Retninger omkring N-S er meget svagt repræsenteret. I *Sydvestjylland* er de 3 foretrukne retninger, som kunne ses i det samlede datasæt, meget flot repræsenteret (V-Ø, NV-SØ og N-S). Retninger omkring NØ-SV er meget svagt repræsenteret. For *Sydøstjyllands* vedkommende dominerer de 2 retninger V-Ø og NV-SØ, hvilket er meget lig rosetten for *Sydvestjylland*, dog med den markante forskel at retningerne omkring N-S er fraværende. For *Fyn* ses de 2 retninger NØ-SV og NV-SØ, hvor den førstnævnte er dominerende. Retninger omkring NØ-SV kan også ses i rosetten for *Østjylland*, men generelt for det jysk-fynske område er denne retning svagest repræsenteret. Den samlede dallængde på *Fyn* er dog lille.

#### *Rosetter for amterne*

På bilag 3 er rosetter for de enkelte amter vist. For *Nordjyllands Amt* består rosetten i store træk af data fra regionerne *Vendsyssel* og *Himmerland*, og resultatet er en dominans af N-S til NNØ-SSV retninger og med V-Ø som næsthyppigste retning. Sammenlignes *Nordjyllands Amt* med *Viborg Amt*, ses det, at der i *Viborg Amt* også haves en NV-SØ-retning. Rosetten for *Nordvestjylland* og for *Viborg Amt* er meget ens. I rosetten for *Århus Amt* ses retninger mellem V-Ø og SV-NØ og retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ. En tydelig retning ca. N-S er dog forholdsmæssigt svagere repræsenteret. For *Vejle Amts* vedkommende ligger de foretrukne retninger omkring V-Ø og NV-SØ, hvilket svarer godt til rosetten for hele *Sydøstjylland*. For *Ribe Amt* ses en markant dominans af V-Ø retninger, og en mindre dominerende ret-

ning ca. NNØ-SSV. I *Ringkjøbing Amt* kan der ses retninger omkring N-S og NV-SØ, svarende til rosetten for *Sydvestjylland*. Rosetten for *Sønderjyllands Amt* er præget af meget af de lange begravede dale øst for Als, og dalene på "fastlandet" med retninger mellem V-Ø, og NV-SØ træder derfor ikke tydeligt frem på rosetten. Datamængden er begrænset.

*Rosetter for dalkategorier* På bilag 4 er der vist rosetter for *delvist* og *helt begravede dale*, og her er det tydeligt, at de *delvist begravede dale* fortrinsvist grupperer sig omkring V-Ø retninger, mens retninger omkring N-S dominerer for de *helt begravede dale*. For de *helt begravede* ses også dale med retninger omkring V-Ø, men disse retninger er meget svagt repræsenteret for de *delvist begravede dale*.

På bilag 4 er også vist kategorierne *svagt dokumenterede* og *veldokumenterede dale*, og her ses en nogenlunde tilsvarende fordeling som for de *helt* og *delvist begravede dale*. De *veldefinerede dale* har en overrepræsentation af V-Ø retninger, mens de *svagt definerede dale* primært grupperer sig omkring N-S retninger.

*Sammenligning med opdateringen fra 2000*

I forhold til opdateringen i 2000, er retningsbilledet for alle kortlagte dale mere tydeligt skilt ud i de 3 overordnede retninger V-Ø, NV-SØ og N-S. Rosetterne for *Vendsyssel/Himmerland*, *Nordvestjylland* og *Østjylland* viser ikke markante ændringer, og der er ikke ændringer i de foretrukne retninger. For *Sydvestjylland* er retningen N-S nu tydeligt markeret og for *Sydøstjyllands* vedkommende er retninger omkring NV-SØ kommet til.

Rosetterne for de *delvist* og *helt begravede dale* og for de *svagt dokumenterede* og *veldokumenterede dale* er billedet stort set uændret i forhold til den foregående opdatering. Det er stadig således, at de *delvist begravede dale* stort set aldrig forløber N-S, men at de i stedet findes med V-Ø retninger. De *helt begravede dale* findes med retninger både omkring V-Ø og N-S, og med opdateringen ses nu også flere retninger omkring NV-SØ.

I lighed med den foregående opdatering gælder, at dale med retninger omkring N-S ofte er *svagt dokumenterede*, mens dale omkring V-Ø ofte er *veldokumenterede*.

### **Foretrukne retninger for topografiske dale**

*Rosetter*

Rosetterne for de topografiske dale er vist i bilag 5. Rosetten for det samlede datasæt er vist øverst til venstre, og de enkelte regioners rosetter er vist til højre.

*Rosetter for regionerne*

For det *samlede datasæt* ses en tydelig dominans af retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ, og herudover kan der udskilles foretrukne retninger mellem V-Ø og SV-NØ. Retninger omkring N-S er svagest repræsenteret. I *Vendsyssel* ses NV-SØ som en meget dominerende foretrukket retning, og V-Ø ses som en mindre dominerende retning.

For *Himmerlands* vedkommende er retninger omkring N-S dominerende og i lighed med *Vendsyssel* ses en V-Ø retning, som dog ikke er så markant. For *Nordvestjylland* ses en dominerende retning omkring NNØ-SSV, men generelt er nordlige retninger (mellem NV-SØ og NØ-SV) dominerende. For *Østjylland* ses 2 foretrukne retninger, hvor VSV-ØNØ er dominerende, og herefter kommer retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ. *Sydvestjylland* domineres tydeligt af retninger omkring VNV-ØSØ. For *Sydøstjyllands* vedkommende er NV-SØ dominerende og herefter ses 2 underordnede retninger omkring V-Ø og NØ-SV. For *Fyn* er retninger mellem VNV-ØSØ og NV-SØ dominerende og næsthyppigst er retninger omkring NØ-SV. Rosetterne for *Fyn* og *Sydøstjylland* har meget store ligheder.

#### *Rosetter for Fyn*

For *Fyn* er der foretaget en opdeling i 4 delområder, henholdsvis mod NV, NØ, SV og SØ. For de topografiske dale indenfor hvert delområde er der udarbejdet en separat roset. Disse rosetter er alle vist på bilag 6. På *NV-Fyn* er retninger omkring VNV-ØSØ altdominerende. Dette er også gældende på *SV-Fyn*, men her ses også retninger omkring NØ-SV. *SØ-Fyn* er domineret af retninger omkring ØNØ-VSV samt en mindre dominerende NV-SØ retning. På *NØ-Fyn* dominerer NV-SØ og cirka vinkelret her på ses en mindre dominerende retning (NØ-SV). Den samlede roset for *Fyn* ser med andre ord ud til at kunne splittes op i delområder med varierende retninger. For *NV-*, *NØ-* og *SV-Fyn* ligger retningsdominansen mellem VNV-ØSØ og NV-SØ, mens den for *SØ-Fyn* ligger omkring ØNØ-VSV.

### **Foretrukne retninger for forkastninger**

#### *Rosetter*

Rosetterne for de dybe forkastninger er vist i bilag 7. Rosetten for det samlede datasæt er vist øverst til venstre, og de enkelte regioners rosetter er vist til højre.

#### *Rosetter for regionerne*

Rosetten for alle data for undersøgelsesområdet viser en entydig foretrukken retning omkring NV-SØ. Denne retning går igen for *Vendsyssels*, *Østjyllands*, *Sydvestjyllands* og *Fyns* vedkommende. For disse regioner er NV-SØ retningen altdominerende. For *Himmerlands* vedkommende ses NV-SØ retningen også men her er N-S retningen hyppigst. For *Nordvestjylland* overskygges NV-SØ retningen af retninger mellem N-S og NØ-SV. For *Sydøstjylland* ligger hovedparten af retningerne mellem NV-SØ og NNV-SSØ. I grove træk er det således kun *Nordvestjylland* og *Himmerland*, der afviger fra den generelle NV-SØ dominans, og i disse områder ses dominerende retninger mellem N-S og NØ-SV.

### **Indbyrdes retningssammenhænge**

#### *Alle data*

Hvis man betragter de 3 rosetter for alle data (se bilag 8), kan det ses, at retningen NV-SØ går igen i alle 3 datasæt. For de *topografiske dale* og for *forkastningerne* er denne retning den mest dominerende, mens retningen hos de *begravede dale* dog overgås i hyppighed af en V-Ø retning. Denne V-Ø retning ses også hos de *topografiske dale*, men

ikke i *forkastningerne*. Ved *forkastningerne* ses en skævhed i rosetten mod en N-S retning. N-S ses også i de *begravede dale*, men ikke i de *topografiske dale*, hvor denne retning er svagest repræsenteret. Retninger omkring NØ-SV er svagest repræsenteret i de *begravede dale* og i *forkastningerne*, men dette billede genfindes ikke i de *topografiske dale*, hvor retninger omkring NØ-SV er relativt hyppigt forekommende.

*Alle data fra regionerne*

Hvis man i stedet sammenligner de 3 datasæt indenfor hver region, ses et langt større sammenfald i de foretrukne retninger (se bilag 9):

**Vendsyssel:** Her er NV-SØ retningen meget tydelig i de *topografiske dale* og i *forkastningerne*. Denne retning kan også genfindes i de *begravede dale*, hvor der også ses en V-Ø retning. Alt i alt en god overensstemmelse mellem de 3 datasæt.

**Himmerland:** Her dominerer retninger omkring N-S i alle data. Retninger omkring NV-SØ, og V-Ø ses også i nogle af datasættene. Overensstemmelsen mellem de 3 datasæt, hvad angår N-S retningerne er meget god.

**Nordvestjylland:** Her dominerer retninger omkring NNØ-SSV i alle data, og herefter ses retninger omkring NV-SØ. Overensstemmelsen mellem datasættene er meget god. Rosetterne ligner rosetterne fra Himmerland regionen.

**Østjylland:** Rosetterne for de *topografiske dale* og for de *begravede dale* viser begge en dominans af retninger omkring VSV-ØNØ og herefter en retning omkring VNV-ØSØ til NV-SØ. *Forkastningerne*, derimod viser kun en NV-SØ retning. Fælles for alle 3 datasæt er, at retninger omkring N-S kun er svagt repræsenteret.

**Sydvestjylland:** De *topografiske dale* viser dominans af retninger mellem V-Ø og NV-SØ, og denne dominans kan også ses i de *begravede dale*, hvor der dog er tale om 2 adskilte populationer henholdsvis V-Ø og NV-SØ. De *begravede dale* viser også en tydelig N-S retning, som er svagt repræsenteret i de øvrige datasæt. Retningen NV-SØ er meget tydelig i både *begravede dale* og i *forkastninger*.

**Sydøstjylland:** Retninger omkring NV-SØ til NNV-SSØ er hyppigt forekommende i de 3 datasæt og hernæst kommer retninger omkring V-Ø. For de *topografiske dale* ses en retning ca. omkring NØ-SV, hvilket er en retning, som er meget svagt repræsenteret i de to andre datasæt. Der er god overensstemmelse hvad angår retningerne omkring NV-SØ til NNV-SSØ, samt i nogen grad V-Ø.

**Fyn:** Retningen NV-SØ er dominerende i alle 3 datasæt. Herefter kommer retninger omkring NØ-SV, som kan ses i de *topografiske dale* og i de *begravede dale*, men ikke i *forkastningerne*. Der er en meget god overensstemmelse hvad angår NV-SØ for alle 3 datasæt, mens retningen NØ-SV er meget tydelig i begge daldatasæt.

## Vurderinger af retningsammenhænge

- Sammenfald af retninger* Som det kunne ses af det foregående, er der tale om mange tydelige sammenfald af foretrukne retninger for de topografiske dale, de begravede dale og for de dybe forkastninger – både hvad angår det samlede billede af data og for de enkelte regioner. Specielt når regionsdata sammenlignes, er retningsammenfaldene tydelige. I forhold til den foregående opdatering er retningsammenfaldene blevet meget tydeligere. De tidligere fremsatte hypoteser om, at der er tale om en række fælles faktorer, som har haft indvirkning på dannelsen af begravede dale og nuværende topografiske dale, er således blevet styrket.
- Strukturelle rammer* Forkastningsretningerne omkring NV-SØ er generelt dominerende i det jysk-fynske område, bortset fra i Nordvestjylland og Himmerland, hvor det er retninger omkring N-S, der dominerer. Det norsk-danske bassin ligger under Midtjylland med en omtrentlig NV-SØ-lig længderetning, Ringkøbing-Fyn højderyggen ligger syd for med en retning mellem VNV-ØSØ til NV-SØ. I Nordjylland krydses området af Sorgenfrei-Tornquist Zonen, som er præget af forkastningsretninger omkring N-S.
- Tektonisk indflydelse* Der synes ikke at være tvivl om, at de strukturelle rammer gennem en geologisk set lang periode har været med til at styre daldannelsen og landskabsdannelsen i det danske område. Det er velkendt, at de tektoniske rammer har haft væsentlig indflydelse på sedimentationen i tiden før kvartæret. For Kvartærets vedkommende kan der tilsyneladende også ses en indflydelse fra strukturerne i undergrunden, og spørgsmålet er, på hvilken måde indflydelsen sker. Er det gamle inaktive svaghedszoner, som let lader sig erodere, der er afgørende, eller er der i løbet af kvartæret forekommet aktive tektoniske bevægelser, som har kunnet spille ind. Eller måske begge dele? Med nuværende undersøgelses resultater synes det nu muligt at komme tættere på en forklaring ved at analysere det nuværende terræn nøjere.
- Tektonik i Vendsyssel* Hvis der ses på topografien i Vendsyssel, kan man ud fra rosetten på bilag 5 se, at den dominerende retning for de topografiske dale er NV-SØ. Denne retning er ikke den man ville forvente, hvis man vil forklare landskabsudviklingen i Vendsyssel med udgangspunkt i de seneste isfremstød i regionen, som var omkring øst- og nordlige retninger (se bilag 6). Den dominerende dalretning omkring NV-SØ ville ideelt set kræve isfremstød fra andre retninger, hvis man går ud fra, at dale fortrinsvist dannes parallelt med isbevægelsen. Hvis man tager de topografiske dale fra Vendsyssel og inddeler dem i 3 grupper for henholdsvis det glacielle landskab, den senglacielle Yoldia havbund og Stenalderhavets havbund (se bilag 11) og plotter disse i rosetdiagrammer (se bilag 12), ses det, at NV-SØ retningen stadig forekommer i de 3 datasæt. Det vil sige, at de 3 landskabstyper, som er adskilt i tid, udviser samme foretrukne dalretninger. Hævningen af Vendsyssel efter istiden er sket omkring en NV-SØ gående akse, og selv denne

hævning ville ideelt set frembringe et landskab med erosionsdale i sydvestlig retning og ikke vinkelret på, som er det der ses.

#### *Tektoniske bevægelser*

Der er således tegn på, at en overordnet påvirkning spiller ind, og her er det nærliggende at pege på tektoniske bevægelser langs NV-SØ gående forkastninger under Vendsyssel. Forkastninger, som har været aktive gennem store dele af Kvartæret og i hvert fald siden sidste del af Weichsel og tilsyneladende så sent som i Stenalderen. Det formodes, at der er tale om reaktivering af ældre forkastninger, og at reaktiveringen har medført, at blokke i undergrunden har bevæget sig i forhold til hinanden. Lykke-Andersen & Borre (2000) har ved præcisionsnivelementer i Nordjylland påvist, at der er blokke i undergrunden i Sorgenfrei-Tornquist Zonen, som den dag i dag bevæger sig i forhold til hinanden.

#### *Aktiv tektonik og daldannelse*

Som det har været nævnt tidligere, forventes der ikke at være en stor tæthed af begravede dale i Vendsyssel, og derfor har de tektoniske bevægelser sandsynligvis ikke nogen stor betydning for dannelsen af begravede dale i denne region. Men en naturlig antagelse må være, at aktiv tektonik i kvartæret ikke kun er begrænset til Vendsyssel, og at aktiv tektonik derfor vil kunne have indflydelse på dannelsen af topografiske dale og begravede dale i hele det danske område.

#### *"Terræridser"*

Som beskrevet i den foregående rapport findes der et større område nordvest for Århus, hvor der i det nuværende terræn kan ses et stort antal meget smalle og retlinede "ridser", som skærer tværs gennem landskabet. Ridserne har ingen direkte relation til landskabsformerne og må nødvendigvis være meget unge. Ved Skjød og ved Grundfør findes der netværk af ridser i terrænet og ved TEM-kortlægninger i områderne (se lokalitet År 1 og 9) er der fundet markante begravede dale med tilsvarende retninger. Ved Hvorslev, længere mod nordvest, hvor der findes den tydeligste forekomst af terræridser, forventedes det derfor, at der i lighed med områderne ved Skjød og Grundfør også ville kunne findes begravede dale med retninger svarende til ridserne i terrænet. Dette er nu bekræftet ved nye geofysiske undersøgelser (se lokalitet Vi 16). Under og parallelt med terræridserne ved Hvorslev ligger meget markante begravede dale. Terræridserne fortsætter sydover mod Hammel, og det er nærliggende at tro, at de begravede dale fortsætter i samme retning. Hoveddalen ved Hvorslev er meget bred og dyb.

#### *"Spaltdale"*

Terræridserne ved Hvorslev er tidligere beskrevet af blandt andre Milthers (1916), der tolkede dem som tektoniske spaltdale opstået i Senglaciertiden. Som nævnt i Larsen & Kronborg (1994) er der senere fremsat alternative forklaringer, hvoraf f.eks. en peger på muligheden for at dannelsen skyldes dødis, en anden at det kan være frostspalter, og en tredje at dalene repræsenterer naturlig dræning fremkommet ved udskridning. Terræridsernes sammenhæng med begravede dale er dog nu så tydelig, at hypoteser omkring dannelsen må tage udgangspunkt i den dybe undergrund. At terræridserne findes over et større

område viser, at det ikke blot er et lokalt fænomen. Terrænridserne og de begravede dale må være nært knyttet til hinanden.

### *Dale og tektonik*

Hvis man kombinerer iagttagelserne af de topografiske dale og de begravede dale i regionerne, det nuværende terræn i Vendsyssel og terrænridserne i Midtjylland, er der tydelige tegn på at tektoniske bevægelser i undergrunden har forekommet helt op i postglacial tid. Hvis der ses på Skjød, Grundfær og Hvorslev, er der i alle tilfælde tale om en dominans af N-S gående terrænridser og N-S gående begravede dale. De begravede dale er her helt begravede, og det er tydeligt, at disse dale ikke hører til blandt de yngste. Det betyder, at formodentlig meget gamle dale er associeret med meget unge landskabselementer. Milthers' formodning om, at de smalle dale er af tektonisk oprindelse ser ud til at passe ind i en større sammenhæng og betegnelsen "spaltdale" er dermed passende. Sammenhørigheden mellem de begravede dale og terrænridserne i området må have eksisteret over en stor del af kvartæret, og specielt ved Hvorslev viser ridsernes placering, retning og udseende, at der i hvert fald langs dalens vestside er sket bevægelser i undergrunden i seneglacial eller måske postglacial tid. Det formodes, at sådanne bevægelser har fundet sted med mellemrum i løbet af kvartæret, og at indflydelsen på terrænet har været direkte. Bevægelserne formodes sket langs forkastninger, som har forplantet sig helt til jordoverfladen, og områderne omkring disse forkastninger vil alt andet lige være lettere at erodere end det omkringliggende. Gentagne reaktiveringer af forkastningerne gennem kvartæret kan derved tænkes at have skabt let eroderbare zoner, hvis placering har ligget mere eller mindre fast – dikteret af placeringen af de aktive forkastninger.

### *Tektonik i Midtjylland*

Bevis for tektoniske bevægelser og medfølgende landskabsdannelse i seneglacial tid eller senere er f.eks. fundet ved Brande (Lykke-Andersen et al. 1996), og der er herudover en lang række lokaliteter i Danmark, hvor en lignende sammenhæng sandsynligvis kan findes.

### *"Postglacial rebound"*

Den landhævning der er iagttaget i Danmark siden isens tilbagesmeltning er kendetegnende for overgangen mellem en istid og en mellemistid, hvor underlaget aflastes for isens vægt, og der søges genoprettet en fysisk ligevægt. Der er tale om en velkendt cyklus, hvor isens vægt deformerer jordens kappe indtil en ligevægt mellem is og undergrund midlertidigt indstilles, og senere, når isen forsvinder, hæves undergrunden atter, og den oprindelige ligevægt opnås (postglacial rebound). Denne cyklus er gentaget mange gange i Skandinavien i løbet af kvartæret, hvilket ikke alene må have haft stor indflydelse på erosionsmønstret, men det må også forventes, at have medført en betydelig tektonisk aktivitet. Disse mekanismer er genstand for intensiv forskning, og beskrives i f.eks. Stewart et al. 2000, hvori der med reference til nyere forskning blandt andet konkluderes:

- "Postglacial rebound" opfattes nu generelt som en potentiel mekanisme til deformation af jordens skorpe, og tektonisk aktivitet er ikke kun begrænset til området dækket af iskappe, men også flere hundrede kilometer udenfor.

- Horisontale bevægelser i jordens skorpe, som er induceret af de gentagne iskappers vægtpåvirkning, tiltager ud fra isdækkets center og er størst ved isdækkets rand.
- I Skandinavien er den nuværende tektoniske aktivitet koncentreret omkring randen af det tidligere isdække, hvorimod der under isens bortsmeltning fortrinsvist er forekommet jordskælv omkring centret for rebound.
- I områder dækket af iskapper var den tektoniske aktivitet langt større lige efter isens bortsmeltning end i dag.
- Grundfjeldsområder som Skandinavien og Østcanada er gennemsat af gamle forkastningszoner, hvoraf mange synes optimalt orienteret for reaktivering i det nuværende stress-regime, så derfor vil påvisning af postglaciale forkastninger være en ganske effektiv måde at identificere potentielle tektonisk aktive zoner.

#### *Aktiv kvartær tektonik*

Det ser således ud til, at mekanismerne omkring postglacial "rebound" har medført, at Skandinavien i kvartæret kan betragtes som et ganske tektonisk aktivt område. Og med baggrund i nærværende kortlægning vurderes det, at dannelsen af begravede dale og topografiske dale i mange tilfælde er nært sammenknyttet med reaktiveringer af eksisterende forkastninger som følge af postglacial "rebound". De tektoniske bevægelser er relateret til tyngdepåvirkninger fra iskapperne, og denne tektonik er derfor af en anden karakter end den tektonik, som skyldes bevægelserne mellem kontinentalpladerne. Gennem mange millioner år er det dette stress-regime, som har påvirket den geologiske udvikling i det danske område, men i kvartæret er denne tektonik efter alt at dømme overpræget af påvirkningen fra iskapperne.

#### *Daldannelsen*

Som det fremgik af afsnit 5.7, så er der flere eksempler på tilstedeværelse af begravede dale over forkastninger, men selvom de strukturelle forhold vurderes at have haft stor indflydelse på daldannelsen generelt igennem kvartæret, vurderes påvirkningen næsten udelukkende at være indirekte. Det vil sige, at forkastninger i undergrunden reelt kun har været med til at *styre* hvor vandets og isens erosion har fundet sted. Kun steder, hvor f.eks. begravede dale er dannet ovenover saltstukturer, kan der være tale om, at bevægelse i undergrunden direkte har skabt dale ved grabendannelse. Andre tegn på at bevægelser i undergrunden har været den primære faktor i daldannelsen kendes ikke. De mest betydningsfulde faktorer i selve daldannelsen er iskapperne og deres smeltevand.

## **6.2 Landskaber over begravede dale**

Som beskrevet i det foregående, er der en række sammenfald mellem foretrukne retninger for de begravede dale, topografiske dale og forkastninger. Terrænidserne nordvest for Århus er i den forbindelse kort beskrevet. For terrænidserne gjaldt, at det var muligt at udpege områder med stor sandsynlighed for tilstedeværelse af begravede dale, og samtidig var det muligt at pege på begravede dales foretrukne retninger ud fra retningerne af terrænidserne. Sammenhængene mellem

topografi og undergrund, som er beskrevet i det foregående, vil kunne medføre, at det er muligt at udpege andre landskabselementer, som er associeret til begravede dale. En landskabsanalyse vil derfor kunne være med til at udpege tilstedeværelsen af begravede dale.

I det følgende beskrives kort en række eksempler på landskabstyper ovenpå begravede dale, som afviger fra det generelle terrænmønster i området.

### Eksempler

#### *Sørækker og aflange terrænelementer*

Der er flere eksempler på at der over begravede dale kan findes aflange terrænelementer. De mest tydelige - terrænridserne nordvest for Århus - er allerede beskrevet tidligere i denne rapport og i opdateringsrapporten fra 2000. Lokalteterne er År 1 (Grundfår), År 9 (Skjød) og Vi 16 (Hvorslev). Ved Follerup nordvest for Fredericia (Ve 9) kan der, parallelt med den N-S gående helt begravede dal, ses omtrent N-S gående terrænelementer, som løber parallelt med den underliggende begravede dal (se bilag 13). Mod vest ses en snæver, retlinet topografisk dal med afløbsløse søer og mod øst en markant N-S gående skrænt.

Lignende eksempler kan ses andre steder, hvor rækker af søer i forlængelse af hinanden ligger med samme retning som den begravede dal nedenunder. Søerne er ofte afløbsløse. Et eksempel er ved NJ 9, Gundestrup-Giver, hvor der kan ses 2 parallelle sørækker, som løber N-S (se bilag 13). Sørækken mod øst er den tydeligste. Den underliggende begravede dal har samme retning. Ved Urhøje Plantage (Nj 10) kan der også ses en tydelig sørække, men her afviger retningen fra retningen af den begravede dal.

I Brabrand, parallelt med den nuværende Brabranddal, findes en meget markant dal, som ligger højt i terrænet og har U-formet relief (se bilag 14). Dalen (Langdal) adskiller det uregelmæssigt bakkede landskab mod syd fra et nordfor liggende mere roligt og plateauagtigt landskab. Dalens placering er langs den begravede dals nordflanke (År 2).

Ved Øster Lyby på Salling (Vi 5) (se bilag 14) er der dannet 2 topografiske dale langs kanten af 2 begravede dale. På bilag 14 ses centerlinierne for de begravede dale markeret med sort streg og retningen af de topografiske dale markeret med trekanter.

#### *Uregelmæssigt relief*

Stedvist over begravede dale kan der ses et uregelmæssigt terræn med aflange terrænelementer. Eksempelvis ved Erritsø-Almind (Ve 2), hvor retningen nogenlunde svarer til retningen af den underliggende begravede dal (se bilag 15).

Ved Assens (Fy 13) kan der ses et uregelmæssigt relief over den begravede dal sydvest for byen.

### *Bakker over begravede dale*

Et interessant fænomen er tilstedeværelsen af bakker over begravede dale. Ved Hvorslev (Vi 16), Grundfær (År 1), Urhøje (Nj 10), Gundestrup-Giver (Nj 9) og Lundby Hede (Nj 6) udgør bakker over de begravede dale områdernes højeste dele. Ved Hvorslev og Grundfær hvælves terrænet over de centrale dele af dalen, mens der ved Urhøje, Gundestrup-Giver og Lundby Hede (se bilag 15) er tale om et højtliggende uregelmæssigt relief.

### *Kildedale*

På lokaliteter, hvor en nuværende topografisk dal gennemskærer en begravet, sandfyldt dal på tværs, kan der dannes kildedale ved placeringen af den begravede dal. Dette vil kunne ske, hvis jordlagene i den begravede dal er mere vandførende end de omkringliggende jordlag. Et eksempel på dette er ved Erritsø Almind (Ve 2). Den begravede dal gennemskæres mod øst af den yngre Elbodalen, og her er der dannet tydelige kildedale ind i landet parallelt med den begravede dal (bilag 15).

### **Årsagssammenhænge**

Årsagerne til at terrænet over begravede dale i mange tilfælde afslører tilstedeværelsen af dalene kan bl.a. skyldes:

### *Sedimentforskelle*

Hvis den begravede dal indeholder aflejringer, som kornstørrelsesmæssigt adskiller sig fra de omkringliggende aflejringer, kan forskellig overfladeerosion udmønte sig i forskelle i kurvemønstrene. Hvis en begravet dal, som er nederoderet i sand, indeholder lerede aflejringer, vil senere erosion af det omkringliggende sand kunne medføre, at der kan ses en bakke over dalen (en erosionsrest). Man kan ligeledes forestille sig, at hvis der under nedisningens sidste fase er dannet isdæmmede søer stedvist ovenover den begravede dal, vil resultatet kunne være bakker i dalens længderetning.

Forskellig afdræning af aflejringerne udenfor og over den begravede dal vil kunne medføre forskellig erosion og dermed give forskellige kurvemønstre. Sedimentforskelle vil også kunne medføre forskellig plantevækst og dermed forskelle i erosionsmønstre.

### *Differentiel kompaktering*

En begravet dal der er udfyldt med aflejringer, som efterfølgende kan kompakteres, kan medføre at dalfyldet sætter sig i forhold til omgivelserne og dermed skaber en lavning i hele eller dele af dalforløbet. Terrænforskyvninger langs dalsiderne vil være sandsynlige.

### *Bevægelser i undergrunden*

Bevægelser i undergrunden langs dalsiderne eller under dalen kan skabe deformationer i overfladen eller skabe svage zoner i sedimenterne. Det er denne mekanisme, som tænkes at være ansvarlig for terrænriderne ved Hvorslev, Skjød og Grundfær (se tidligere beskrivelse). Afhængig af tidspunktet og intensiteten af disse bevægelser kan det terrænmæssige resultat være udviklet forskelligt. På de omtalte lokaliteter er der tale om meget sene hændelser, da ridsene ses tydeligt i det glaciære terræn. Ældre hændelsers udtryk i terrænoverfladen kan

*Delvis udfyldning  
af dalene*

være langt mindre tydelige og indirekte. Hvis de mekanismer, som blev omtalt i kap 6 er gældende for det jysk-fynske område (aktiv tektoniks indflydelse på daldannelsen igennem hele kvartæret), vil der sandsynligvis kunne findes mange terræneffekter heraf over de begravede dale. Det er muligt, at det hvælvede terræn over de begravede dale ved Hvorslev og Grundfør også har baggrund i bevægelser i undergrunden.

Såfremt en begravet dal kun delvist udfyldes, så vil dalforløbet i sigens natur kunne ses i terrænet.

## Relationer mellem isbevægelsesretninger og begravede dale

### *Isbevægelsesretninger*

Da flertallet af de kortlagte begravede dale menes at være dannet ved subglacial erosion parallelt eller omtrent parallelt med isbevægelsesretningen (se de tidligere rapporter samt kapitel 8), er det nærliggende at fokusere på hvornår og fra hvilke retninger gletschere menes at have overskredet Jylland og Fyn. Dette vil evt. kunne give et bedre overblik over hvornår de forskellige dalgenerationer er dannet. Som omtalt i kapitel 5 og 6 findes der forskellige generationer af begravede dale, kendetegnet ved at have forskellige retninger, og det formodes, at disse kan henføres til forskellige isfremstød/isoverskridelser igennem flere istider.

### *Isoverskridelser*

Igennem kvartærtiden har Jylland og Fyn været dækket af gletschere gentagne gange. Gletscherne overskred området mindst 3-4 gange i alle de seneste 3 istider, som er Weichsel, Saale og Elster. Der er kun sparsomme oplysninger om isoverskridelser af området fra tidligere istider end disse. Gletscherne kom fra skiftende retninger mellem N og SSØ, og det kan således forventes, at de har dannet subglaciale dale med stort set alle retninger.

### *Dale og isfremstød*

På grund af et endnu sparsomt datagrundlag, er det dog vanskeligt at korrelere dalgenerationerne til de forskellige kendte isfremstød. Det har stadig kun relativt få steder været muligt at aldersrelaterer dalgenerationerne til hinanden, hvilket er vigtigt for at en korrelation med isfremstødene kan gennemføres. Det skal også nævnes, at det primært er isfremstødene i den sene del af Weichsel, der er et forholdsvis indgående kendskab til, når det gælder de regionale isbevægelsesretninger. For ældre isfremstød kendes stort set kun de overordnede isbevægelsesretninger.

### *Fabricanalyser*

Datamateriale fra Århus Universitet er blevet stillet til rådighed for dette projekt af Allan Kragelund, Afd. for SedimentGeologi. Datamaterialet omfatter 352 fabric-analyser udført i forbindelse med den glacialstratigrafiske forskning under ledelse af Christian Kronborg. Fabric-analyserne er fra Midt-, Øst- og dele af Nord- og Nordvestjylland, hvilket betyder, at det kun er en del af det jysk-fynske område, der er dækket af disse data. Fabric-analyser udføres i de enkelte gletscheres moræneaflejringer, og fortæller noget om, i hvilken retning gletscheren bevægede sig. Fabric-analyserne er områdevist blevet sammenholdt med retningerne af de begravede dale, men det har vist sig, at datamaterialet ikke er stort nok til, at der på regionalt niveau kan drages nogle egentlige konklusioner deraf.

### *Korrelationer*

I det følgende vil der i stedet for blive omtalt nogle mere overordnede forsøg på korrelationer mellem nogle af dalgenerationerne og de kendte isfremstød. Foruden fabric-analyserne i det midt-, nord- og

østjyske vil der blive henvist til andre glacialstratigrafiske undersøgelser udført i Syddjylland og på Fyn.

Det seneste isdække var den Ungbaltiske Is, som bevægede sig fra SØ op over Fyn og dækkede de kystnære østjyske områder. Det må formodes, at denne is har efterladt sig subglacialt dannede dale, som ikke er begravede eller kun er delvist begravede. Topografiske dale med retninger omkring NV-SØ ses da også meget tydeligt i rosetterne for Sydøstjylland og Fyn (bilag 5).

NV-SØ retningen, der for både topografiske og begravede dale går igen i de fleste regioner, kan dog ikke alle steder forklares ved den Ungbaltiske Is' virke. En eller flere tidligere gletschere fra SØ-lige retninger må have dækket det meste af Jylland. Ældre baltiske isfremstød kendes da også fra tidligere dele af Weichsel, Saale og formodentlig Elster (Houmark-Nielsen 1987, 1999, Larsen og Kronborg 1994).

Det næstnyeste og bedst kendte isdække over Jylland og Fyn var Nordøstisen, som nåede til Hovedopholdslinien. Ifølge fabricanalyserne kom denne is primært fra NNØ-lige retninger i det nordlige Jylland, ØNØ-lige retninger i Østjylland (Larsen og Kronborg 1994) og NØ-lige retninger i Sydøstjylland og på Fyn (Houmark-Nielsen 1987). Ovennævnte retninger ses i rosetterne for de topografiske dale i alle områderne bortset fra Vendsyssel (bilag 5). På Fyn og i Sydøstjylland, som har været dækket af den Ungbaltiske Is er NØ-SV-retningen overprøvet af en anden foretrukket retning fra SØ til NV, men dalene med NØ-SV-retninger er tilsyneladende i nogen grad blevet bevaret som topografiske dale. Både på Fyn og i Sydøstjylland ses også NØ-SV retninger i rosetterne for de begravede dale, hvilke kunne tolkes at stamme fra Nordøstisen. I Østjylland, Himmerland og Nordvestjylland ses der også foretrukne retninger blandt de begravede dale, der kunne stamme fra NØ-isen, selvom der naturligvis skal tages højde for, at retningspopulationerne også kan stamme fra ældre isfremstød fra NØ. Daltracéerne vil jo som nævnt i kapitel 5, 6 og 8 blive søgt genbrugt af gletschere fra samme retninger. Nordøstlige isoverskridelser kendes nemlig desuden fra Saale, Elster og muligvis Cromer-complexet (Houmark-Nielsen 1987, Kragelund 2001, Larsen og Kronborg 1994).

En af de formodede gamle generationer af begravede dale er N-S retningen. Da der er fundet Holstein-sedimenter i en af dalene fra denne generation tolkes det, at den er dannet i Elster eller tidligere. Kragelund og Kronborg (2001) beskriver en moræneaflejring (Sdr. Thise Till) af Elster alder aflejret af en gletscher, der er kommet fra nordlige retninger i Nord- og Østjylland. Denne moræneenhed kan muligvis korreleres til moræner fundet sydligere i Jylland, og i Tyskland som også er aflejret fra nordlige retninger (Sjørring og Frederiksen 1980, Houmark-Nielsen 1987, Ehlers et al. 1984). Det er altså en mulighed at Elster-isfremstødet fra nord, der aflejrede ovennævnte sedimenter, har dannet de N-S-gående begravede dale. Efterfølgende kan disse be-

gravede dale være blevet genbrugt under senere isfremstød fra nordlige retninger. Nordfra kommende gletschere kendes også fra Saale og Weichsel (Houmark-Nielsen 1987, Larsen og Kronborg 1994).

Som omtalt i kapitel 5 er der på enkelte lokaliteter fundet dale fra en mulig NV-SØ-generation, der bliver gennemskåret af N-S-rettede dale. Dermed er det muligt, at der findes en endnu ældre generation af begravede dale, som har en foretrukken retning NV-SØ. Dette er imidlertid usikkert, da der som nævnt også kan eksistere flere yngre N-S generationer, hvilket betyder, at den gamle NV-SØ-generation muligvis ikke er så gammel alligevel. På to lokaliteter (Hadsten År 8, Børkop Ve 11) er der dog fundet Holstein-aflejringer i NV-SØ-rettede dale, hvilket taler for en høj alder.

Der er, som det ses af teksten, stadig store usikkerheder i korrelationerne mellem dalgenerationerne og den kendte glacialstratigrafi. Men efterhånden som der opnås et bedre kendskab til aldersrelationerne mellem de begravede dales generationer, bliver det i langt højere grad muligt at udføre sådanne korrelationer, og dermed opnå en større og mere sikker viden om dalgenerationernes aldre.



## Model for dannelsen af begravede dalsystemer i Jylland og på Fyn

### *Subglacial dannelse*

Selve daludformningen tolkes at være sket under istidernes gletschere, hvor smeltevand under stort tryk strømmede ud mod israndene. Dette antages ud fra følgende: Den kvartære alder af dalfyldet samt den kvartære alder af erosionerne viser, at dalene er dannet i kvartærtiden. Gentagne erosionsaktivitet fra skiftende retninger tyder endvidere på, at dalene er dannet af gletschere, der overskred området fra skiftende retninger. Ujævnt bundrelief og forekomsten af dale med pludseligt afsnørede ender indikerer at dannelsen primært er sket ved subglacial smeltevandserosion under tryk.

### *Hyppige erosioner*

På steder, hvor smeltevandet eroderede sig ned i underlaget, dannedes således dalstrukturer, som senere er blevet begravet. Det er den generelle opfattelse blandt forskere internationalt, at denne subglaciale smeltevandserosion skete ved at små kanaler gradvist eroderede sig ned i underlaget og/eller ved at store udladninger af smeltevand, som gentagne gange ophobede sig i lommer længere inde under gletscheren uderoderede dalene (se appendix 5). I Jylland og på Fyn viser både seismiske profiler og TEM-undersøgelser, at mange af dalene består af mindre kanaler/dale, der er gentagne gange eroderet ned i hinanden, hvilket stemmer godt overens med teorien om, at dalene er dannet under de ovennævnte forhold.

### *Glacial erosion*

At mange af dalene er skabt ved gradvis erosion i mindre kanaler medfører, at der samtidigt må have været gletscheris i de øvrige dele af dalene. Forekomster af moræner i bunden af mange dale tyder da også på dette. Det samme gør den glacialtektoniske aktivitet dybt i dalene. I enkelte eksempler er der også observeret meget brede erosioner i de begravede dale. Disse erosioner kan muligvis være opstået ved glacial erosion ved gletschersålen, og således har en vis glacial erosion i dalene sandsynligvis også medvirket til daldannelsen. Dalene har altså ikke eksisteret som store hulrum mellem isen og dens underlag. Isen har i stedet for fyldt dalstrukturerne ud efterhånden som smeltevandserosionen gradvist er sket i bunden af dalene.

### *Genbrug af dale*

Det subglaciale smeltevand vil altid søge mod et lavere hydrostatisk trykforhold, som indirekte er afhængigt af isens tykkelse (Shreve 1972). Isens tykkelse bliver mindre mod isranden, og vandet søger således i samme retning som isbevægelsen. Underlagets topografi spiller imidlertid også en rolle for, hvilken vej vandet finder mod isranden, og det har vist sig, at det søger at strømme i de laveste dele af terrænet (Shreve 1985). De laveste dele af terrænet er meget ofte dale, som muligvis allerede eksisterede i landskabet før dette blev dækket af gletscheren. Dale har derfor en tendens til at blive genbrugt af subglaciale smeltevandsstrømme, og hvad det eventuelt medfører af fornyet erosion og yderligere uddybning. På nogle af de undersøgte lokaliteter er der således fundet dale, der formodes at have været aktive som smeltevandstracéer gennem flere istider. Da vandet overordnet søger

den korteste vej mod isranden forekommer et sådant ”genbrug” af dale mest sandsynligt, hvis isbevægelsen sker parallelt med de eksisterende dale, og forestiller man sig gentagne isoverskridelser fra samme retninger, kan dalene derfor blive benyttet som smeltevandstracéer flere gange. Eksisterende dale med retninger mere eller mindre vinkelret på isbevægelsesretningen er kun i mindre grad blevet benyttet/genbrugt af subglaciale smeltevand, hvilket medfører, at dalene i mange tilfælde er blevet begravet under isoverskridelsen. Dette betyder, at dale med anderledes retninger end den seneste isoverskridelse i højere grad er blevet begravet, mens dale parallelt hermed i højere grad er blevet bevaret. N-S retningen, som forekommer i store dele af området ses næsten altid at være helt begravet (se bilag 4), og dette stemmer dermed godt overens med, at de seneste isdækker primært bevægede sig i andre retninger (se kapitel 7).

### *Dalfyld*

Efter at være blevet dannet, er nogle dale muligvis blevet begravet igen under den samme gletscher, og har således aldrig eksisteret som en topografisk dal. Andre dale er blevet blotlagt som topografiske dale imellem isoverskridelserne, men kan her være blevet fyldt op af aflejringer af forskellig art (f.eks. smeltevandsler og interglaciale aflejringer, som omtalt i kapitel 5). Således vil mange dale have været begravet når den efterfølgende isoverskridelse er sket. På trods af dette synes dalstrukturene alligevel at være blevet genbrugt, hvilket må skyldes andre forhold end topografien. Det formodes, at disse forhold skal findes i forskellene mellem sedimenterne i dalene og udenfor dalene. Muligvis er daludfyldningerne lettere at erodere i end de omgivende sediment, fordi de ikke har været trykpåvirket af en gletscher. Også forskelle i hydrauliske egenskaber i underlaget indenfor og udenfor dalene kan muligvis forklare den tilsyneladende øgede erosion i daltracéerne.

*Tektoniske svaghedszoner* En anden årsag til, at det subglaciale smeltevand har fundet vej samme sted gentagne gange, kan også være, at der i undergrunden under dalene findes svaghedszoner, hvori vandet let har kunnet erodere. Svaghedszoner kan være opstået ved tektonisk aktivitet langs forkastninger, og disse kan være blevet yderligere aktiveret af iskappernes tyngdepåvirkning op gennem kvartæret (se kap. 6). I samspil med de øvrige faktorer formodes svaghedszonerne derfor også, at have spillet en rolle for, hvor den subglaciale smeltevandserosion har fundet sted. Svaghedszonernes beliggenhed og retning har altså efter alt at dømme været medbestemmende for, hvor dalene er blevet dannet og hvilken retning dalene har fået. At der er en sammenhæng mellem dybtliggende strukturelle elementer og dale (begravede såvel som topografiske) er vist i kapitel 6, ligesom der er fundet forkastninger under dale på flere lokaliteter (se kap. 5)

### *Tertiære dale*

Måske har svaghedszonerne i undergrunden allerede fra slutningen af tertiærtiden påvirket overfladeerosionen. Floderne, der formodes at have eroderet sig ned i landskabet på denne tid, har sandsynligvis også til en vis grad ladet sig styre af de undergrundstektoniske rammer. De efterfølgende gletscheres subglaciale smeltevand kan have benyttet

disse allerede eksisterende dale, hvorved de er blevet uddybet/omformet. Der er dog endnu ikke fundet direkte vidnesbyrd om eksistens af dale med en prækvartær alder

#### *Kompliceret samspil*

Beliggenheden af, og til en vis grad også retningen af de begravede dale er altså bestemt af et kompliceret samspil mellem de undergrundstektoniske rammer, gletschernes dynamik, topografien og underlagets lithologi. Selve erosionen og udformningen af dalene ser derimod ud til primært at være sket subglacialt under istidens gletschere.

#### *Netværk af dale*

De begravede dale er dannet i mere eller mindre sammenflettede netværk, som hver især har foretrukne retninger. De foretrukne retninger optræder områdevist og er primært bestemt af de regionale isbevægelsesretninger og sekundært af svaghedszoner i undergrunden og de topografiske forhold. Istidernes gletschere har imidlertid overskredet Jylland/Fyn fra skiftende retninger mellem NNV og SSØ, og isoverskridelser med retninger, der afviger meget fra de tidligere isoverskridelser og dermed også fra de allerede eksisterende dale, har skabt nye begravede dale på tværs af de eksisterende i stedet for at have "genbrugt" disse. Således er der dannet flere forskellige generationer af begravede dale, som i nogle tilfælde kan skelnes fra hinanden fordi de udviser forskellige foretrukne retninger. Generationerne kan kun sjældent skelnes fra hinanden, når de er skabt af gletschere fra samme retning, fordi det subglaciale smeltevand herfra har søgt at "genbruge" eksisterende dalstrukturer. At flere dal-dannelsesgenerationer har "genbrugt" den samme daltracé ses på lokaliteter, hvor der er fundet interglacialt fyld i delvist begravede dale, som menes at have fungeret som subglaciale erosionsdale under den seneste istid.



*Dale og grundvand*

Begravede dales betydning for grundvandsressourcens forekomst og strømningsmønstre er stor. Dels fordi begravede dale må påregnes at eksistere i mere eller mindre tætte netværk i undergrunden i alle områder af Jylland/Fyn og dels fordi dalene gennemskærer oprindelige lagdelinger og derved kan skabe kortslutninger mellem forskellige grundvandsmagasiner. Andre steder kan dalene bevirke, at salt grundvand trænger op i højere lag og andre steder kan lerudfyldte dale virke som barrierer for grundvandets strømnings.

*Vandindvinding og dale*

Mange kildepladser er placeret med indvinding fra dybtliggende magasiner i begravede dale, og her er det naturligvis nødvendigt at kende dalens udbredelse og retning for at kunne kortlægge indvindingsoplandet. Men dalene er normalt ikke blot store ensformige sandfyldte kanaler i undergrunden. De består derimod ofte af mange forskellige kanaler nederoderet i hinanden og skiftevis fyldt op med morænesedimenter, sand, grus, silt, ler og interglaciale sedimenter. Det er derfor kun nogle af kanalerne, der indeholder vand, hvilket betyder, at også dalenes interne strukturer skal kendes for at oplandet skal kunne kortlægges. I nogle tilfælde, hvor en sand- og grusfyldt kanal er mere eller mindre indkapslet i siltede og lerede sedimenter, kan indvindingsoplandet findes på langs med dalen. Hvis der et sted opstrøms i dalen herefter haves hydraulisk kontakt med de omkringliggende sedimenter udenfor dalen, kan det betyde at oplandet pludselig drejer væk fra dalen i skarpe vinkler og følger de ”normale” veje.

*Grundvandsressourcer*

I efterforskningen efter nye grundvandsressourcer har kendskabet til de begravede dale ligeledes en stor betydning. Meget ofte giver dalene nemlig mulighed for at finde vand på store dybder, hvor der ellers ikke forekommer brugbare grundvandsressourcer. I sådanne tilfælde skal man for det første naturligvis have en viden om hvor dalene findes, og dernæst skal eventuelle ressourcer indeholdt i dalene identificeres. For at finde ud af disse ting, er det normalt ikke nok blot at udføre undersøgelser. Det er også nødvendigt at vide noget om, hvordan dalene er dannet, hvordan de kan være opbygget, og hvilke retninger og dimensioner de må antage. Denne viden skal sammenholdes med undersøgelsesresultaterne, før optimale geologiske modeller kan opbygges og således før de bedste kildepladser kan udpeges.

**Praktisk anvendelse af resultater**

Der vil i det følgende blive omtalt nogle eksempler på hvordan og hvornår allerede opnået ny viden og fremtidig forbedret viden om begravede dale kan benyttes direkte i praksis:

*Direkte aflæsning på kort og interpolation og extrapolation på kortet:*  
De begravede dales tilstedeværelse og udbredelse kan aflæses direkte i denne kortlægning. Men der skal tages højde for, at der findes mange

dale, som endnu ikke er blevet kortlagt. Ud fra de begravede dale, kan man interpolere mellem dalsegmenter, og man kan extrapolere de kortlagte dalsegmenter i deres længderetninger. Således opnås sandsynlige vurderinger af, hvor der findes flere begravede dale i de enkelte områder.

*Anvendelse af områdevis foretrukne retninger:*

Ud fra kendskabet til hvilke generationer og foretrukne retninger der findes af begravede dale i det lokale og regionale område, kan man til en vis grad forudsige retningen, eller de mulige retninger, af en begravet dal, der måske blot formodes at eksistere, fordi en enkelt boring viser dybtliggende kvartære aflejringer.

*Anvendelse af terrænanalyse:*

Foretrukne retninger i terrænet har vist sig også at eksistere blandt de begravede dale, hvorved man kan få en formodning om en retning af en mulig begravet dal. Mange dale er delvist begravede, og ud fra en regional viden om hvilke retninger af topografiske dale der typisk har begravede dale nedenunder sig, kan sådanne i nogen grad udpeges. Endelig har det vist sig, at der ovenover helt begravede dale kan eksistere aflange terrænformer, så som "spaltdale", tunneldale, mindre erosionsdale, skrænter, bakker og rækker af lavninger. Identifikation af sådanne terrænformer kan være med til at udpege begravede dale.

*Brug af viden om dalenes interne strukturelle opbygning:*

Når der udarbejdes geologiske modeller i områder med begravede dale er det gavnligt at vide, hvordan de dale man arbejder med typisk er opbygget. Spørgsmål, der er relevante at kunne besvare og som også mange steder på nuværende tidspunkt allerede kan besvares, kan f.eks. være: Er dalenes indre opbygget af kanalstrukturer, således at grundvandets strømningsmønster måske kan forventes at følge en smal korridor pålangs af dalen? Er der glacialtektoniske forstyrrelser i dalene, og hvordan forekommer de? Kan bunden af dalen forventes at have huller og tærskler, har dalen stejle sider, og hvor dyb kan den forventes at være? Kan dalen have relation til en svaghedszone i undergrunden med deraf følgende fare for saltvandsindtrængning i de dybere dele?

*Brug af viden om dalenes lithologiske opbygning:*

Ligeledes kan det være en hjælp, at kende noget til de typiske lithologiske forhold vedrørende de begravede dales fyld når geologiske modeller udarbejdes. Spørgsmål, der er relevante at kunne besvare og også mange steder på nuværende tidspunkt allerede kan besvares, kan f.eks. være: I hvilke daltyper og dalgenerationer og i hvilke områder kan man forvente, at begravede dale indeholder sand og grus i bunden, og hvornår indeholder de ler? Hvor og hvornår kan man forvente, at de begravede dale indeholder sand og grus fra top til bund og samtidigt gennemskærer beskyttende lerlag? Hvornår findes der omlejrte tertiære sedimentter i dalene, som let kan forveksles med dalbunden, og som så kan betyde, at en boring bliver stoppet før den når eventu-

elle grundvandsmagasiner på større dybder i dalen? Hvornår findes der brunt vand i dalene og hvornår gør der ikke?

*Brug af viden om dalgenerationernes aldre:*

I det fleste områder af Jylland/Fyn findes der flere generationer af begravede dale, som krydser hinanden. Kendskabet til aldersrelationerne mellem disse dalgenerationer medfører, at det er muligt at forudsige, hvilken dalgeneration fyldaflejringer der gennemskærer og har bortroderet andre dales fyldaflejringer. Dette har f.eks. betydning når grundvandets strømningsmønstre vurderes, da yngre krydsende begravede dale kan virke som strømningsbarrierer i ældre dale. Endvidere fortæller en dals alder også noget om, hvor højt i lagserien dens flanker skal findes, og dermed op til hvilket niveau den har en ”forstyrrende virkning”.

*Brug af viden om aktiv tektonik ved sårbarhedsvurderinger:*

Kortlægningens resultater tyder på, at tektonisk aktivitet i Kvartærtiden – sandsynligvis i form af reaktivering af forkastninger i undergrunden - har medført dannelse af talrige svaghedszoner i jordlagene og dermed har haft indflydelse på dannelsen af begravede dale og topografiske dale. Det må derfor forventes at jordlagene omkring disse svaghedszoner vil være gennemsat af forkastninger eller sprækker, og at mange af disse vil gå helt til terræn. Sådanne forkastninger og sprækker vil kunne skabe en sekundær porøsitet i jordlagene og dermed udgøre mulige transportveje for forurenende stoffer. Dette kan have betydning i forbindelse med vurderinger af grundvandets sårbarhed.

*Planlægning af undersøgelser:*

Ved planlægning af undersøgelser er det meget ofte relevant at tage højde for eventuelle forekomster af begravede dale. Valget af metoden man vil anvende, skal tilpasses de geologiske forhold, og her spiller det ind, om man vil fokusere på at kortlægge dalene eller på at kortlægge andre geologiske forhold. Dalene træder ikke altid tydeligt frem i forskellige slags undersøgelsesmetoder. De mest anvendelige metoder til kortlægning af begravede dale er generelt TEM og seismik, men det endelige valg af metode vil bl.a. afhænge af dalenes dimensioner, dalfyldet og dalenes underlag. Det vil sige, at det er vigtigt at have et vist kendskab til de pågældende begravede dale allerede inden en undersøgelse igangsættes.



*Kortlægning af  
begravede dale*

Denne kortlægning af begravede dale er udført for de jysk-fynske amter i regi af De jysk-fynske Amters Grundvandssamarbejde. Kortlægningens formål er at identificere og lokalisere forekomster af begravede dale samt at belyse fælles karakteristika ved disse. Kortlægningen og dens følgeresultater kan benyttes som et led i amternes kortlægning af grundvandsressourcer og deres sårbarhed. Selve lokaliseringen af de enkelte dale kan umiddelbart benyttes i arbejdet, mens følgeresultaterne kan anvendes mere indirekte i tolkninger og analyser.

*Dale og grundvand*

Forekomsten af begravede dale er væsentlig større og mere kompliceret end tidligere antaget, og da dalene mange steder har stor betydning for grundvandstrømningen, grundvandsressourcen og dennes sårbarhed, er det vigtigt at få et optimalt kendskab til dalene.

*1023 km dale kortlagt*

Der er på nuværende tidspunkt kortlagt 1023 km begravede dale i Jylland og på Fyn, men dette tal kan ikke tages som udtryk for, hvor mange der reelt eksisterer, fordi det endnu kun er en lille del af området, der er dækket med brugbare og tætliggende data. Endvidere vurderes det, at det ikke er alle dale, der kan identificeres i de gennemførte kortlægninger bl.a. pga. mangel på målbare jordlagskontraster. Kortlægningen viser derfor en skæv fordeling af begravede dale i forskellige områder af Jylland og Fyn.

*Datagrundlag*

Datagrundlaget for kortlægningen har primært været TEM, seismik og boringer.

*Vigtigste resultater*

Begravede dale er blevet kortlagt på 110 forskellige lokaliteter, og det er fælles geologiske karakteristika fra disse lokaliteter, der ligger til grund for kortlægningens følgeresultater. I det følgende listes de vigtigste af disse resultater op:

- Begravede dale i Jylland og på Fyn er typisk mellem 50 og 300 meter dybe og mellem 0,5 og 4 km brede.
- Dalsiderne kan være stejle.
- Dalene har ofte afsnørede ender og indeholder lavninger og tærskler i længderetningen.
- Dalene er nederoderet i alle slags sedimenter; fra kridt og kalk til ler, silt og sand.
- Dalene er nederoderet i både kvartære og tertiære aflejringer.

- Dalene er ofte komplekst opbygget af flere på hinanden følgende erosionsstrukturer, som er opstået ved gentagen erosion og aflejring i en overordnet daltracé. Ofte ses fyldaflejringerne også at være glacialtektonisk forstyrrede.
- Fyldet i de begravede dale består altid af kvartære aflejringer. Der er mest moræner i de øvre dele af dalene og mest sand og grus i de nedre dele. Der er store regionale variationer i fordelingen af fyldsedimenter.
- Der forekommer ofte smeltevandsler i begravede dale, ligesom der hyppigt er konstateret interglaciale sedimenter blandt dalfyldet. Smeltevandsler og interglaciale sedimenter ses ofte som lavmodstandslag (i TEM) omkring kote 0 meter.
- Dalene menes at være dannet i Kvartær under nedisningerne. Der er fundet aflejringer fra de seneste 3 istider og 2 mellemistider i dalene.
- Dalene er primært dannet under istidernes gletschere, hvor smeltevand har eroderet sig ned i underlaget under stort tryk.
- Der findes flere generationer af begravede dale. Nogle af disse kan skelnes fra hinanden fordi de har forskellige foretrukne retninger. Der findes mindst en gammel N-S generation og en gammel NV-SØ generation.
- Dale i terrænet parallelt med isbevægelsesretningen er fortrinsvist blevet bevaret, mens dale vinkelret herpå i højere grad er blevet begravet under isoverskridelser.
- Saltstrukturer har stedvist haft indflydelse på beliggenheden af begravede dale.
- Der er flere steder fundet forkastninger under begravede dale.
- Retningsanalyser i udvalgte regioner viser tydelige sammenhænge mellem foretrukne retninger for forkastninger, begravede dale og topografiske dale. Retningssammenhænge peger på, at tektoniske bevægelser har haft indflydelse på retning og beliggenhed af begravede dale.
- En del af de tektoniske bevægelser, som vurderes at have påvirket dalenes beliggenhed og retning, formodes at skyldes reaktivering af gamle forkastninger som en effekt af iskappernes trykpåvirkninger af undergrunden.
- Terrænanalyser kan afsløre eksistensen af begravede dale i undergrunden.

Referencelisten indeholder referencer fra både 98-rapporten, 2000-rapporten og denne rapport.

**Andersen, S.Th. (1965)**/ Interglaciale og interstadiale i Danmarks Kvartær. Meddr. Dansk Geol. Foren., 15(4), pp. 486-504.

**Binzer, K. & Stockmarr, J. (1994)**/ Prækvartæroverfladens højdeforhold. Målestok 1:500.000. DGU, 1994.

**Boulton, G. S., & Hindmarsh, R. C. A. (1987)**/ Sediment deformation beneath glaciers: Rheology and geological consequences. *Journal of Geophysical Research*, 92(B9), 9059-9082.

**Cameron, T. D. J., Stoker, M. S., & Long, D. (1987)**/ The history of Quaternary sedimentation in the UK sector of the North Sea Basin. *Journal of the Geological Society*, London, 144, 43-58.

**Cameron, T. D. J., Laban, C., & Schüttenhelm, R. T. E. (1989a)**/ Upper Pliocene and Lower Pleistocene stratigraphy in the Southern Bight of the North Sea. In J. P. Henriot, & G. de Moor, (Eds.), *The Quaternary and Tertiary Geology of the Southern Bight, North Sea* 97-110. University of Ghent.

**Dijke, J. J. van, & Veldkamp, A. (1996)**/ Climate-controlled glacial erosion in the unconsolidated sediments of northwestern Europe, based on a genetic model for tunnel valley formation. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, 327-340.

**Ehlers, J., & Linke, G. (1989)**/ The origin of deep buried channels of Elsterian age in north-west Germany. *Journal of Quaternary Science*, 4(3), 255-265.

**Ehlers, J., Meyer, K.-D., & Stephan, H.-J. (1984)**/ Pre-Weichselian glaciations of north-west Europe. *Quaternary Science Reviews*, 3, 1-40.

**Ehlers, J., & Wingfield, R. (1991)**/ The extension of the Late Weichselian/Late Devensian ice sheets in the North Sea Basin. *Journal of Quaternary Science*, 6, 313-326.

**Eissmann, L., Litt, T., & Wansa, S. (1995)**/ Elsterian and Saalian deposits in their type area in central Germany. In J. Ehlers, S. Kozarski, & P. Gibbard, (Eds.), *Glacial deposits in north-east Europe* 439-464. Rotterdam: Balkema.

**Espersen, T. B. (1994)**/ En reflektionsseismisk undersøgelse i den centrale del af Limfjorden. Spec. ved Maringeologisk Afd., Geol. Inst., A.U. 1994.

**Frost, R. T. C. (1977)**/ Tectonic patterns in the Danish region (as determined from comparative analysis of magnetic, landsat, bathymetric and gravity lineaments). Geol. in Mijnbouw, 56, 4, pp. 351-362.

**Galon, R. (1965)**/ Some new problems concerning subglacial channels. Geographia Polonica, 6, 19-28.

**Gripp, K. (1964)**/ Erdgeschichte von Schleswig-Holstein . Neumünster, Wachholtz.

**Gripp, K. (1975)**/ 100 Jahre Untersuchungen über das Geschehen am Rande des nordeuropäischen Inlandeises. Eiszeitalter und Gegenwart, 26, 31-73.

**Grube, F. (1979)**/ Übertiefe Täler im Hamburger Raum. Eiszeitalter und Gegenwart, 29, 157-172.

**Grube, F. (1983)**/ Tunnel valleys. In J. Ehlers, (Ed.), Glacial deposits in north-west Europe 257-258. Rotterdam: Balkema.

**Halkjær & Pedersen (1996)**/ MEP – en ny geoelektrisk metode til geologisk detailkortlægning. Vandteknik nr. 8, p. 443-447.

**Halkjær, M. & Auken, E. (1998)**/ TEM-metoden – erfaringer fra danske kortlægninger. Geologisk Nyt 1/98., p. 12-14.

**Hansen, J. M. (1994)**/ Læsø's tilblivelse og landskaber – om øen der rokker og hopper. DGU, 56. pp.

**Hansen, J. M. & Håkansson, E. (1980)**/ Thistedstrukturens geologi – et "neotektonisk" skoleeksempel. DGF Årsskrift for 1979, pp. 1-9.

**Hansen, K. (1971)**/ Tunnel valleys in Denmark and northern Germany. Bulletin of the Geological Society of Denmark, 20, 295-306.

**Houmark-Nielsen, M. (1987)**/ Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. Bull. geol. Soc. of Denmark, vol. 36, pp. 1-189.

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

**IGCP (1996)**/ Base of Quaternary deposits of the Baltic Sea depression and adjacent areas. Neogeodynamica Baltica Project No. 346.

**Joon, B., Laban, C., & Meer, J. J. M. van der (1990)**/ The Saalian glaciation in the Dutch part of the North Sea. *Geologie en Mijnbouw*, 69, 151-158.

**Karabanov, A. K., Ludwig, A. O., & Schwab, B. G. (1996)**/ Base of Quaternary deposits of the Baltic Sea depression and adjacent areas, 1:1.500.000. *Neogeodynamica Baltica* Project No. 346.

**Kleman, J. (1994)**/ Preservation of landforms under ice sheets and ice caps, *Geomorphology*, 9, pp. 19-32.

**Knudsen, K. L. (1976)**/ Die Holstein-interglazialen Foraminiferen-Faunen von Wacken (West Holstein) und Hamburg-Hummelsbüttel. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 27, 206-207.

**Kort & Matrikelstyrelsen**/ Topografisk Atlas, 1:100.000.

**Kragelund, A. (2001)**/ Atlas over Mellemjyske tills. Petrografi, tekstur og isbevægelser. Upubliceret specialeopgave. Aarhus Universitet.

**Kragelund A. og Kronborg, C. (2001)**/ Kort over isbevægelsesretninger. Upubliceret kortmateriale.

**Kronborg, C., Bender, H. & Larsen, G. (1978)**/ Tektonik som en mulig medvirkende årsag til daldannelsen i Midtjylland. *DGU Årbog 1977*, pp. 64-76.

**Laban, C. (1995)**/ The Pleistocene glaciations in the Dutch sector of the North Sea: A synthesis of sedimentary and seismic data . Doctoral thesis, University of Amsterdam.

**Larsen, F. & Kjøller, C. (2000)**/ Historien om Beder-magasinet på den anden måde. ATV-møde om beskyttelse af grundvandsressourcen. D. 25. maj 2000

**Larsen, G. & Kronborg, C. (1994)**/ *Geologisk Set. Det mellemste Jylland*. Geografforlaget, 272 p.

**Lykke-Andersen, H. (1981)**/ Indications of neotectonic features i Denmark. *Z. Geomorph. N. F., Suppl.*, 40, pp. 81-85.

**Lykke-Andersen, H. (1988)**/ *Viborgegnens Geologi*. Viborg Leksikon 6.

**Lykke-Andersen, H. (1995)**/ Neotektonik i Danmark. Danmarks geologi fra Kridt til i dag. In: *Aarhus Geokompender nr. 1*. pp. 19-31.

**Lykke-Andersen, H. (1995)**/ Om tunneldalenes natur. *GeologiskNyt* 3/95.

**Lykke-Andersen, H., Madirazza, I. & Sandersen, P. B. E. (1996)/** Tektonik og landskabsdannelse i Midtjylland. Geologisk Tidsskrift, hæfte 3, pp. 1-32.

**Lykke-Andersen, H. & Borre, K. (2000)/** Aktiv tektonik i Danmark - der er liv i Sorgenfrei-Tornquist Zonen. GeologiskNyt 6/00.

**Madirazza, I. (1968a)/** An interpretation of the Quaternary morphology in the Paarup salt dome area. DGF, 18, 2, pp. 241-243.

**Madirazza, I. (1968b)/** Mønsted and Sevel salt domes, north Jutland, and their influence on the Quaternary morphology. Geol. Rundschau, 57, 3., pp. 1034-1066.

**Madirazza, I. (1980)/** Postglaciale bevægelser i området ved Fjerritslev saltstruktur. DGF Årsskrift for 1979, pp. 11-14.

**Miljøstyrelsen (1995)/** Overvågning af grundvandsressourcen baseret på nye geofysiske metoder. Foreløbig udgave.

**Milthers, V. (1916)/** Spaltdale i Jylland. DGU IV. Rk

**Nye, J. F. (1972)/** The mechanics of glacier flow. Jour. of Glaciology, vol 2, p. 82-93.

**Pedersen, F. F. (1993)/** Slæbegeoelektrik – hvordan er grundvandet beskyttet?. Vandteknik nr. 2, s. 59-63.

**Petersen, K. (1990)/** Estimering af saltstrukturers vertikale bevægelser belyst ved eksempler fra det danske Bassin herunder Batum Salt-diapirens betydning for den kvartære morfologi. Unpubl. spec. Geologisk Institut, A.U. 1990

**Piotrowski, J. A. (1994)/** Tunnel-valley formation in northwest Germany - geology, mechanisms of formation and subglacial bed conditions for the Bornhöved tunnel valley. Sedimentary Geology, 89, 107-141.

**Praeg, D. (1996)/** Morphology, Stratigraphy and Genesis of Buried Elsterian Tunnel-Valleys in the Southern North Sea Basin . Unpublished Doctoral Thesis, University of Edinburgh.

**Salomonsen, I. (1993)/** Quaternary buried valley systems in the eastern North Sea. Unpublished PhD thesis, University of Copenhagen.

**Salomonsen, I. (1995)/** Origin of a deep buried valley system in Pleistocene deposits of the eastern central North Sea. In: Michelsen, O. (Ed.). Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Symposium on : Marine Geology. Geology of the North Sea and Skagerrak, Århus University, 1993. DGU Serie C, Nr. 12.

**Salomonsen, I., & Jensen, K. A. (1994)/** Quaternary erosional surfaces in the Danish North Sea. *Boreas*, 23, 244-253.

**Sandersen, P. & Jørgensen, F. (1998)/** Kortlægning af begravede dalsystemer i Jylland - et forprojekt. Udarbejdet for "Det jyske grundvandssamarbejde".

**Shreve, L., R. (1972)/** Movements of water in glaciers. *Journal of Glaciology* vol. 11, p. 205-214.

**Shreve, L., R. (1985)/** Esker characteristics in terms of glacier physics, Katahdin esker system, Maine. *Geol. Soc. of Am. Bull.* vol.. 96, p. 639-646.

**Schwab, G. von, & Ludwig, A. O. (1996)/** Zum Relief der Quartärbasis in Norddeutschland. Bemerkungen zu einer neuen Karte. *Zeitschrift für geologische Wissenschaften*, 24 (3/4), 343-349.

**Sjørring, S. og Frederiksen, J. (1980)/** Glacialstratigrafiske observationer i de vestjyske bakkeøer. *DGF Årsskrift* 1979, 63-77.

**Smed, P. (1995)/** Tunneldale - er dannet af smeltevand under isen. *Geologisk Nyt* 1&2/95.

**Sorgenfrei, Th. & Berthelsen, O. (1954)/** Geologi og vandboring. *DGU*, 3 Rk., 31, 106 pp.

**Stewart, I., Sauber, J. & Rose, J. (2000)/** Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. *Quaternary Science Reviews* 19 (2000) 1367-1389.

**Ter-Borch, N. (1987)/** Kalkoverfladens struktur. Skov- og Naturstyrelsen og DONG.

**Thomsen, S. (1997)/** Kortlægning af dybtliggende grundvandsmagasin i Danmark. Afsluttende rapport okt. 1997.

**Ussing, N. V. (1903)/** Om Jyllands hedesletter og teorierne for deres dannelse. Oversigt over Det Kongelige danske Videnskabernes Selskab Forhandlinger, 2, 99-152.

**Ussing, N. V. (1907)/** Om floddale og randmoræner i Jylland. Oversigt over Det Kongelige danske Videnskabernes Selskab Forhandlinger, 4, 161-213.

**Vejbæk, O. V. (1997)/** Dybe strukturer i danske sedimentære bassiner. *Geologisk Tidsskrift*, hæfte 4, pp. 1-31.

**Vejbæk, O. V. & Britze, P. (eds.) (1994)**/ Top pre-Zechstein (two way travel time and depth), geological map of Denmark 1:750.000. DGU Kortserie, 45, 9 pp.

**Wingfield, R. (1989)**/ Glacial incisions indicating Middle and Upper Pleistocene ice limits off Britain. *Terra Nova*, 1, 538-548.

**Wingfield, R. (1990)**/ The Origin of Major Incisions within the Pleistocene Deposits of the North Sea. *Marine Geology*, 91, 31-52.