

# Kortlægning af begravede dale i Danmark

Opdatering 2010 – 2015

Peter B. E. Sandersen og Flemming Jørgensen

Bind 1: Hovedrapport







# Kortlægning af begravede dale i Danmark

Opdatering 2010 – 2015

Peter B. E. Sandersen og Flemming Jørgensen

Bind 1: Hovedrapport



**GEUS**

# **Kortlægning af begravede dale i Danmark**

## **– opdatering 2010-2015**

### **BIND 1: Hovedrapport**

Særudgivelse

Omslag: Henrik Klinge Pedersen

Repro: GEUS

Oplag: 100

November 2016

ISBN 978-87-7871-451-0 (Hovedrapport)

ISBN 978-87-7871-452-7 (Lokalitetsbeskrivelser)

Pris: 900.- kr. samlet

Rapporten består af i alt 2 bind og kan hentes gratis på nettet: [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)

© De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS  
Øster Voldgade 10  
DK-1350 København K.  
Telefon: 38142000  
E-post: [geus@geus.dk](mailto:geus@geus.dk)

*Udarbejdet i samarbejde med Naturstyrelsen, Miljø- og Fødevareministeriet. GEUS er ansvarlig for de geologiske tolkninger i nærværende projekt, som i visse tilfælde kan afvige fra tolkningerne i den afgiftsfinansierede grundvandskortlægning, udført af og for Naturstyrelsen. Ligeledes indeholder rapporten alene GEUS' anbefalinger til fremtidige kortlægninger og kortlægningsmetoder. Kortmateriale anvendt i denne rapport: [www.kortforsyningen.dk](http://www.kortforsyningen.dk)*

# Indholdsfortegnelse

<b>1.</b>	<b>Indledning</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Datagrundlag, arbejdsgange og definitioner</b>	<b>5</b>
2.1	Datagrundlag og arbejdsgange.....	5
2.2	Definitioner for begravede dale.....	5
2.2.1	Daltype .....	6
2.2.2	Dalkategori .....	6
2.2.3	Signaturer.....	7
2.3	Topografiske dale.....	8
2.4	Værktøjer.....	9
2.5	Formidling.....	10
2.5.1	GIS.....	10
2.5.2	Andre præsentationer.....	10
<b>3.</b>	<b>Kortlægning af begravede dale</b>	<b>13</b>
3.1	Status for kortlægningen af begravede dale.....	13
3.2	Tolkning af begravede dale i data.....	14
<b>4.</b>	<b>Kortlægningsresultater</b>	<b>15</b>
4.1	Fælles træk ved begravede dale i Danmark.....	15
4.1.1	Geografisk udbredelse .....	15
4.1.2	Dimensioner, form og netværk.....	19
4.1.3	Interne strukturer i dalene .....	22
4.1.4	Dalfyld.....	23
4.1.5	Interglaciale aflejringer og dalenes aldre .....	24
4.1.6	Orienteringer af begravede dale .....	27
4.1.7	Dal-generationer.....	31
4.2	Sammenligning af lineament-orienteringer.....	36
4.2.1	Betragtninger over datasættenes forskellighed .....	37
4.2.2	Topografiske dale.....	41
4.2.3	Forkastninger.....	42
4.2.4	Sammenligninger af orienteringer i delområderne.....	42
4.2.5	Overordnet sammenligning af orienteringer samt relationen til geologien .....	48
4.3	Begravede dale ved større geologiske strukturer.....	50
4.3.1	Saltstrukturer .....	50
4.3.2	Forkastninger og antiklinaler .....	50
<b>5.</b>	<b>Begravede dales oprindelse</b>	<b>53</b>
5.1	Tunneldale.....	53
5.2	Dannelsesproces .....	54
5.3	Underlagets indflydelse på daldannelsen .....	58
5.4	Dannelse af dalgenerationer og genbrug af dale .....	59

5.5	Diskussion af faktorer med indflydelse på tunneldalenes orienteringer.....	60
<b>6.</b>	<b>Anvendelser af dalekortlægningen</b>	<b>69</b>
6.1	"Best practise": Kortlægningsmetoder og -procedurer .....	69
6.1.1	Anbefalede kortlægningsmetoder .....	69
6.2	Begravede dale og grundvandsressourcer.....	76
6.2.1	Grundvandsressourcer og detailkortlægning af begravede dale.....	76
6.2.2	Grundvandsmodellering i områder med begravede dale .....	77
6.3	Brug af kortlægningens resultater.....	78
6.3.1	Direkte aflæsning på kort samt interpolation og extrapolation på kortet .....	79
6.3.2	Anvendelse af analyser af foretrukne orienteringer og analyser af terrænet ....	79
6.3.3	Brug af viden om dalenes interne strukturelle opbygning.....	80
6.3.4	Brug af viden om dalenes litologiske opbygning.....	80
6.3.5	Brug af viden om dalgenerationernes aldre .....	80
<b>7.</b>	<b>Modellering og visualisering af begravede dale i 3D</b>	<b>81</b>
7.1	Baggrund.....	81
7.2	Datagrundlagets og geologiens betydning for modellering af begravede dale .....	82
7.3	Modelleringskoncept for begravede dale.....	83
7.3.1	Modellering af erosionsflader .....	83
7.3.2	Bearbejdning af flader .....	84
7.3.3	Voxeludfyldning .....	86
7.4	Eksempler på 3D modellering af begravede dale.....	86
7.4.1	Eksempel 1: Tønder .....	86
7.4.2	Eksempel 2: Kasted .....	87
<b>8.</b>	<b>Begravede dale udenfor det danske område</b>	<b>91</b>
<b>9.</b>	<b>Sammenfatning og konklusioner</b>	<b>97</b>
<b>10.</b>	<b>Referencer</b>	<b>101</b>

# 1. Indledning

Begravede dale udgør underjordiske geologiske strukturer, som stort set kan findes overalt i det danske område. De begravede dale er typisk omkring ½-2 km brede og med dybder, der kan nå omkring 400 meter. Langt de fleste begravede dale er dannet som tunneldale under kvartærtidens nedisninger ved at smeltevand under højt tryk har eroderet render i underlaget under isdækket. Dalene er helt eller delvist fyldt op igen af sand, grus og ler, og nogle af dalene kan i dag delvist ses i det nuværende terræn, mens langt de fleste er helt begravede, uden spor på overfladen. Dalene er hyppigst forekommende i den øvre del af lagserien, som er dannet under istiderne (den kvartære lagserie), men mange dale er også eroderet dybt ned i de underliggende aflejringer fra før istiderne.

Geologisk kortlægning af de begravede dale er vigtig primært i forhold til grundvandsressourcerne, fordi dalfyldt kan udgøre vigtige grundvandsmagasiner, hvoraf mange er meget dybtliggende og dermed beskyttede overfor overfladenær forurening. Da dalene er eroderet ned i den eksisterende lagserie, kan de dog være årsag til kortslutninger mellem overfladenære og dybe grundvandsmagasiner, hvorved forurening fra overfladen vil kunne transporteres uhindret ned til dybereliggende lag. Hertil kommer, at dal-erosionen kan have fjernet lerede lag, der ellers ville have haft en naturlig beskyttende effekt på det dybe grundvand. Tilstedeværelsen af begravede dale har også en stor indflydelse på grundvandsstrømningen i undergrunden, hvor sand- og grusfyldte dale på den ene side kan fungere som storskala dræn, og lerfyldte dale på den anden side kan virke som barrierer for grundvandsstrømningen.

Vigtigheden af at kende de begravede dales forekomst i grundvandssammenhæng medførte, at de jyske amter i 1998 igangsatte projektet "Kortlægning af begravede dale i Jylland". Dalenes forekomst, indbyrdes sammenhænge og dannelse skulle kortlægges - indledningsvist i Jylland, senere tilføjedes Fyn og fra 2007 blev kortlægningsområdet udvidet til hele det danske område. Hvor det tidligere var amterne og de statslige miljøcentre, der fik kortlægningen gennemført, er det i dag Naturstyrelsen. Formålet med projektet har fra starten været, at resultaterne løbende skulle kunne bruges som administrativt arbejdsgrundlag og som støtte for tilrettelæggelse af fremtidige geologiske og geofysiske undersøgelser af grundvandsressourcerne.

Siden projektstarten i 1998 er der foretaget en række projekt-opdateringer. Rapporten fra 1998 (Sandersen & Jørgensen 1998) var projektets første og udgjorde afrapporteringen af "forprojektet", hvis formål var at skitsere et overordnet billede af forekomsten af begravede dale og samtidig give et bud på dalenes dannelsehistorie. Rapporterne fra 2000 (Jørgensen & Sandersen 2000a), fra 2002 (Sandersen & Jørgensen 2002a), 2004 (Jørgensen & Sandersen 2004), 2006 (Sandersen & Jørgensen 2006) og fra 2009 (Jørgensen & Sandersen 2009a), er alle opdateringer, hvor nye data er bearbejdet, og hvor de tidligere resultater blev holdt op mod det opdaterede billede af dalene. Nærværende rapport udgør den syvende projektrapport. Udover rapporten er der sket en opdatering af projektets web-sted ([www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)). Alle kortlægningens rapporter kan hentes i PDF-format fra hjemmesiden, og herudover kan alle projektets lokalitetsbeskrivelser udsøges geografisk og downloades separat.

Da projektet har været i gang over en længere årrække, og da der undervejs er foretaget en lang række forskelligartede analyser, vil dele af projektrapporten bære præg af en vis grad af resumé af tidligere resultater eller rumme henvisninger til de tidligere rapporter. Det er dog tilstræbt, at nærvæ-

rende 2015-opdatering i lighed med 2009-opdateringen, kan stå alene og læses uafhængigt af de tidligere rapporter.

I projektet er der gennem alle årene arbejdet efter den samme overordnede 3-delte procedure:

- 1) Kortlægning af den geografiske forekomst af begravede dale (GIS-kort)
- 2) Beskrivelser af dale-forekomst og geologi ved de enkelte dallokaliteter
- 3) Samlede analyser af kortlægningens resultater

I det første trin af kortlægningen danner eksisterende data fra grundvandskortlægningen i form af geofysiske undersøgelser og borerer grundlaget for en 2D-kortlægning af de enkelte dales geografiske udbredelse. Der har været anvendt samme GIS-signaturer (se kapitel 2) såvel i rapporterne som på websiden, og brugerne har således kunnet bruge de nye opdateringer direkte som erstatninger for tidligere versioner. Denne procedure er også anvendt i denne opdatering. De udarbejdede GIS-tabeller kan frit downloades fra [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk).

I andet trin af kortlægningen beskrives lokaliteterne for de kortlagte dale. Lokalitetsbeskrivelsen indeholder en overordnet geologisk udredning af lokaliteten, en beskrivelse af de udpegede begravede dale, samt en beskrivelse af det faglige grundlag for udpegningen. For hver lokalitetsbeskrivelse gives også en liste over referencer til data, tidligere undersøgelser og litteratur. Lokalitetsbeskrivelserne er navngivet efter 7 geografiske områder, som refererer til de oprindelige Miljøcenter-områder: Ålborg (AAL), Århus (AAR), Ringkøbing (RIN), Ribe (RIB), Odense (ODE), Roskilde (ROS) og Nykøbing (NYK). Det er – på trods af at det nu er Naturstyrelsen, der står for kortlægningen – valgt at bibeholde disse geografiske grupperinger, da lokaliteternes præfix er bestemt af de geografiske områder. Lokalitetsbeskrivelserne har fået et "facelift", hvor der på flere af de nyeste er indsat figurer med udvalgte visualiseringer af fladekort eventuelt suppleret med vertikale profilsnit. De ældre lokalitetsbeskrivelser er ikke i samme grad som de nye tilpasset den nye standard, men vil dog omfatte et lokalitetskort. Alle gamle lokaliteter, hvor der er tilkommet nye, betydende data, er gennemgået i denne afrapportering og opdateret såvel i GIS-tabeller som i lokalitetsbeskrivelser. Lokalitetsbeskrivelserne er samlet i Bind 2 af denne rapport og kan frit downloades på projektets hjemmeside enten som en samlet PDF-fil eller som separate filer for de enkelte lokaliteter ([www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).

Tredje trin af kortlægningen udgøres af de sammenfattende beskrivelser og analyser af kortlægningen som helhed. I dette trin foretages sammenfatninger af resultater, sammenlignende analyser og der uddrages generelle konklusioner.

Kortlægningens resultater er samlet i nærværende rapport og opdelt i to: Bind 1: Hovedrapport og Bind 2: Lokalitetsbeskrivelser. De to bind kan downloades på projektets hjemmeside ([www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)). Teksten i hovedrapporten vil – for at skabe sammenhæng med resultaterne fra de foregående opdateringer – indeholde mange referencer til tidligere rapporter og til de artikler, som er udgivet sideløbende med projektet. Projektrapporterne kan downloades fra websiden og kopier af artiklerne kan rekvireres ved henvendelse til forfatterne.

Projektarbejdet er gennem årene udført af Flemming Jørgensen og Peter Sandersen, og i nærværende opdatering har Anders Juhl Kallesøe og Anne-Sophie Høyer Christensen ydet værdifulde bidrag i forbindelse med opdatering af lokalitetsbeskrivelserne.

## 2. Datagrundlag, arbejdsgange og definitioner

### 2.1 Datagrundlag og arbejdsgange

Datagrundlaget for kortlægningen har primært omfattet geofysiske undersøgelser i form af TEM-, MEP, PACES-kortlægninger, seismik og gravimetri samt boredata. Ved dale-kortlægningen er der som oftest taget udgangspunkt i områder, hvor der er foretaget TEM/SkyTEM-kortlægninger, da disse bidrager med et fladedækkende datasæt, som giver et rumligt billede af undergrunden.

De nye kortlægningsdata er stillet til rådighed af Naturstyrelsen – primært i form af digitale data fra GERDA-databasen og sekundært i form af rapporter i PDF-format. Der er gennem de seneste år løbende foretaget dataudtræk fra både GERDA-databasen og fra Jupiter-databasen. Dette er typisk sket hver gang en lokalitet er udarbejdet. Medio 2015 blev der imidlertid foretaget et samlet udtræk af TEM/SkyTEM-data fra GERDA og boredata fra Jupiter. Herudover er der under arbejdet med de enkelte lokaliteter blevet downloadet mange andre typer data fra de to databaser. Dette gælder f.eks. seismiske data og log-data fra GERDA. Men også supplerende boreoplysninger fra Jupiter er blevet downloaded (f.eks. brøndborerrapporter og diverse analyseresultater). Desuden er der i et vist omfang downloadet information om grundvandskemi fra Jupiter. Fra Naturstyrelsens hjemmeside og fra Rapportdatabasen er der især blevet downloaded rådgiverrapporter. Herudover er der fra forskellige kilder indsamlet rapporter, bøger, kortmateriale og artikler, som kunne bidrage til de geologiske udredninger. Der er altid indsat fuld reference til kilderne i de enkelte lokalitetsbeskrivelser. I nogle tilfælde er der inddraget specifik, ikke-publiceret viden fra konkrete personer. I disse tilfælde er der refereret til personen med "navn, personlig meddelelse".

Geoscene 3D ([www.i-gis.dk](http://www.i-gis.dk)) er i de senere år benyttet i forbindelse med tolkningsarbejdet og selve kortlægningen af dalene er sket i MapInfo. Kortlægningen er sket med 1 cm-kort (1:100.000) som baggrund ([www.kortforsyningen.dk](http://www.kortforsyningen.dk)).

Der er foruden kortlægningen af de begravede dale foretaget en kortlægning af topografiske dale, og til dette er også anvendt Geodatastyrelsens 1 cm-kort, og desuden kurveplaner fra Top10-DK. Til brug ved sammenligninger af orienteringer af dale og dybe forkastninger er der brugt resultater fra tidligere nationale kortlægninger (se afsnit 4.1.6).

### 2.2 Definitioner for begravede dale

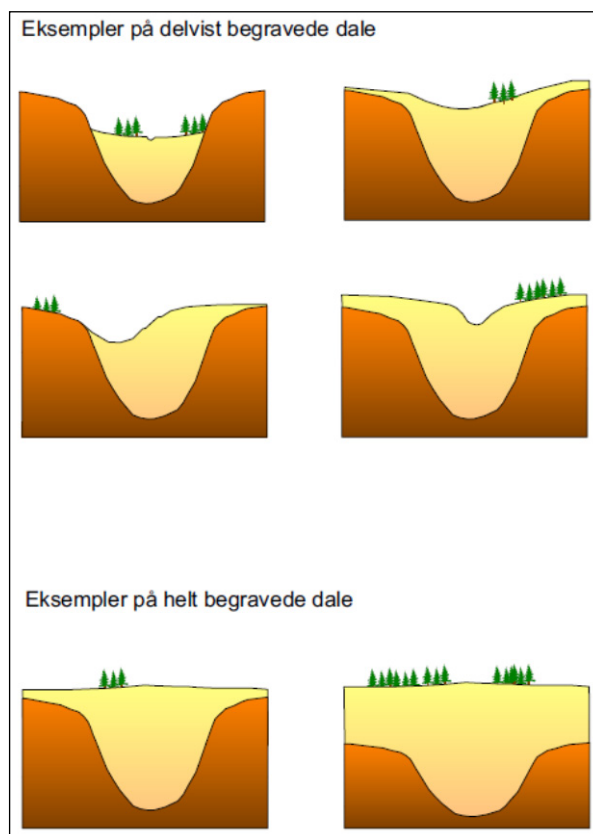
Ved kortlægningen af de begravede dale foretages der ud fra de forhåndenværende data en tolkning af, hvor der findes begravede dale. De begravede dale kategoriseres efter et specielt sæt definitioner, som muliggør en opdeling i bestemte daltyper og dalkategorier:

## 2.2.1 Daltype

En begravet dal defineres overordnet som en *aflang fordybning eller depression, som helt eller delvist er udfyldt med yngre aflejringer.*

Heraf:

- **Helt begravet dal:** En *helt begravet* dal er helt udfyldt med yngre aflejringer og kan ikke erkendes i det nuværende terræn.
- **Delvist begravet dal:** En *delvist begravet* dal er delvist udfyldt med yngre aflejringer og kan i et vist omfang erkendes i det nuværende terræn. Det vil sige, at der ved *delvist begravede* dale er tale om helt eller delvist sammenfald mellem forløbet af en begravet dal og en eller flere topografiske dale.



Figur 2.1: Skitser af helt og delvist begravede dale

Ovenstående definitioner er illustreret på Figur 2.1, hvor skitser af *helt begravede* dale og *delvist begravede* dale er vist. En begravet dal kan således i den ene yderlighed være en ung dal med en begrænset mængde ungt sediment i bunden, og i den anden yderlighed være en gammel, dybtliggende fordybning, som fuldstændigt er dækket af yngre jordlag.

Bredden af en begravet dal afgrænses i kortlægningen ved toppen af dalskuldrene. I tilfælde af, at data ikke entydigt viser dette punkt, angives bredden så vidt muligt langs det øverste niveau, hvor dalen kan erkendes i data.

## 2.2.2 Dalkategori

Den sikkerhed, hvormed dalene er bestemt, afhænger af, hvor god dokumentationen er. I nogle tilfælde er der så mange data, at både orientering og udbredelse af dalen er fastlagt og veldokumenteret. I andre tilfælde er dalene svagere dokumenteret, hvor den overordnede orientering er fastlagt, men hvor den præcise udbredelse og lokale udformning af dalen ikke er tydelig. Kan en dals orientering ikke bestemmes, eller kan en given struktur ikke verificeres som en dal ved hjælp af f.eks. boringer, inkluderes den ikke i kortlægningen. Dette betyder, at meget usikkert forløbende dale og strukturer, som ikke med sikkerhed udgør dale, ikke kommer til at få indflydelse på de samlede konklusioner.

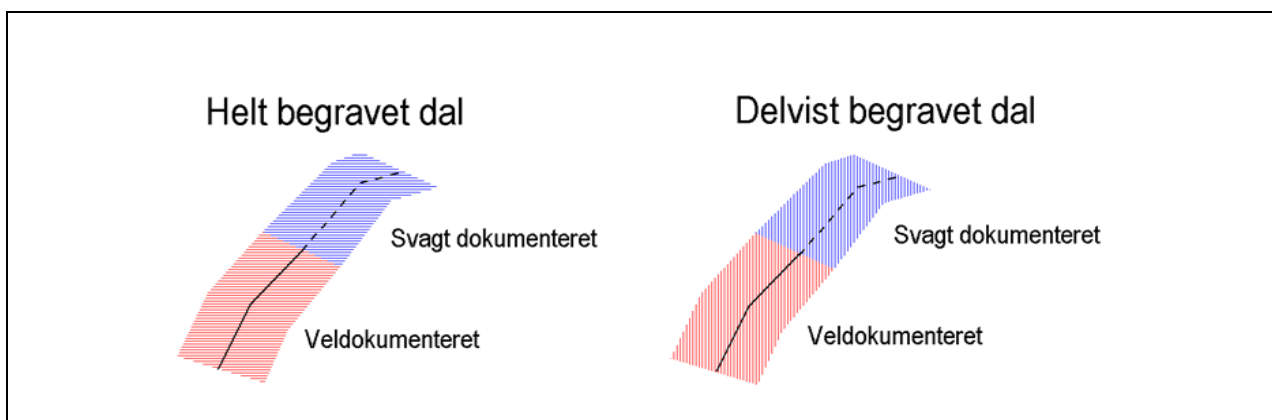


De begravede dale kategoriseres som henholdsvis:

- **Veldokumenterede dale:** Dale kategoriseres som *veldokumenterede*, når kortlægningen af dalene kan ske på baggrund af en stor datatæthed, når data er anvendelige til kortlægning af de begravede dale, og når forskellige, uafhængige datasæt understøtter hinanden. I enkelte tilfælde, hvor en begravet dal fremtræder meget tydeligt i ét datasæt, kan dalen dog blive kategoriseret som *veldokumenteret*. Den lokale udbredelse og orientering af dalene er kortlagt.
- **Svagt dokumenterede dale:** Dale kategoriseres som *svagt dokumenterede*, når der er lille datatæthed, når data er mindre anvendelige til formålet, og hvis der ikke findes forskellige datasæt, der kan understøtte hinanden. Den overordnede orientering og udbredelse af dalen skal dog kunne kortlægges.

### 2.2.3 Signaturer

De kortlagte begravede dale er tildelt signaturer, som matcher ovenstående definitioner, således at visualisering kan ske på forskelligt kortmateriale. De valgte signaturer er vist i Figur 2.2.



Figur 2.2: Signaturer for kortlagte begravede dale

Dalene illustreres med en skravet polygon, som angiver dalenes *udbredelse*, *type* og *kategori* kombineret med en centerlinje.

*Helt begravede* dale markeres med vandret skravering, mens *delvist begravede* dale markeres med lodret skravering. I kombination med skraveringen angiver farven, om der er tale om *veldokumenterede* dale (røde) eller *svagt dokumenterede* dale (blå).

Dalenes orienteringer markeres af *centerlinjer*, som indtegnes med sort streg i dalenes længderetning på de steder, hvor dybden er størst. Centerlinjerne indtegnes som et eller flere retlinede forløb:

- Centerlinjerne kan indtegnes forskudt fra midten af dalens skravering, hvis dalen er asymmetrisk.

- Der kan indtegnes flere centerlinjer indenfor et bredere dalstrøg, hvis der for eksempel findes flere dale nederoderet i et større dalstrøg.
- Hvis en yngre, begravet dal gennemskærer en ældre, begravet dal, tegnes centerlinjen for den ældre dal ikke helt ud til den yngre dals centerlinje.
- Hvis to begravede dale krydser hinanden i 2 separate niveauer, tegnes centerlinjerne ind som krydsende linjer.
- Hvis to krydsende dale har samme dybde, og hvor dalenes fyld ikke afviger fra hinanden, tegnes dalenes centerlinjer helt ud til hinanden.

For at kunne skelne *veldokumenterede* og *svagt dokumenterede* dale ud fra centerlinjerne alene, er der valgt henholdsvis en fuldt optrukket og en stiplet linje.

Signaturerne viser således i kombination:

- Dalens kortlagte, horisontale udbredelse (skraveret polygon)
- Om dalen er *helt* eller *deltvist begravet* (skraveringsens type)
- Dalens orientering (centerlinjens orientering)
- Om dalen er *veldokumenteret* eller *svagt dokumenteret* (skraveringsens farve og centerlinjens type)

Det skal understreges, at signaturerne kun anvendes for de dele af de begravede dale, som er dækket af en tilstrækkelig mængde data til at kunne placere dalene i en af ovennævnte kategorier. Det betyder eksempelvis, at kortlægningen kan vise dalsegmenter, som ligger i forlængelse af hinanden uden at der er indtegnet en indbyrdes forbindelse. Dette skyldes, at der i de mellemliggende områder ikke er data til en kortlægning.

## 2.3 Topografiske dale

Længde og orientering af alle større topografiske dale i Danmark er indtegnet i MapInfo som vektorer i dalenes bund. Dalene er for Jylland og Fyns vedkommende indtegnet på KMS-kort i 1:100.000. Denne relativt store skala bevirker, at kun topografiske dale over en vis størrelse tages i betragtning. I forbindelse med de tidligere opdateringer er der, for at få flere detaljer med, indtegnet topografiske dale på baggrund af kort i 1:25.000 i et antal lokale områder (se Jørgensen & Sandersen 2000). For Sjælland, Lolland, Falster og Bornholms vedkommende er de topografiske dale vektoriseret på baggrund af kurveplaner i Top10-DK. Dette er sket for at få flere detaljer med på specielt Lolland, og fordi kurveplanen giver større sikkerhed i vektoriseringen, da andre kort-temaer ikke forstyrrer billedet (f.eks. byer og skove). Det betyder således, at detaljeringsgraden for de indtegnede vektorer i Østdanmark er større end for Vestdanmark.

Vektorerne er indtegnet langs bunden af de topografiske dale som rette linjestykker. De topografiske dale kan have hældende bundkote eller kan have ujævnt bundrelief og indeholde fjord, sø eller mose. Ækvivalensen for højdekurvene på de topografiske kort er 2,5 og 5 meter for henholdsvis kort i skala 1:25.000/Top10-DK og 1:100.000.

Der er indtegnet vektorer for topografiske dale, der:

- kan identificeres på baggrund af kurveforløb på topografiske kort
- udgør en aflang fordybning i terrænoverfladen

- er længere end ca. 400 m på kort i 1:100.000
- er længere end ca. 100 m på kort i 1:25.000/Top10-DK

## 2.4 Værktøjer

Ved kortlægningen er der benyttet en række digitale værktøjer. Efter udtræk fra databaserne er data viderebearbejdet i GeoScene 3D. Boredata er importeret direkte til GeoScene 3D, mens geofysiske data i nogle tilfælde er bearbejdet inden import i GeoScene 3D. Denne bearbejdning er primært sket for 1D geofysiske data, og heraf udgør TEM-data langt størstedelen. Bearbejdningen er i nogle tilfælde foretaget i Aarhus Workbench, men i de fleste tilfælde i et specialudviklet program til formålet kaldet ODW Gridder. I Aarhus Workbench er der foretaget udtræk af middelmodstandskort samt forskellige varianter af kort over den "gode elektriske leder". I ODW gridder er ovennævnte kort ligeledes udarbejdet, men med ODW Gridder kan man desuden prioritere og kombinere geografisk overlappende datasæt, således at det altid er de bedste data med den højeste kvalitet, der bliver anvendt i kortproduktionen. Der bliver desuden produceret 3D resistivitetsgrids automatisk, og disse grids kan direkte importeres i GeoScene 3D.

I GeoScene 3D er resistivitetsgrids blevet benyttet ved samtolkning med boredata samt eventuelt andre data, såsom seismiske data. Ligeledes er geofysiske 1D modeller blevet visualiseret enkeltvist i det omfang, der har været behov for det. De enkelte lokaliteters geologiske forhold er blevet analyseret ved hjælp af visualisering af data på profiler og horisontale kort. Her er de grundlæggende geologiske tolkninger blevet foretaget.

Sideløbende med disse tolkninger er dalenes horisontale udbredelse blevet kortlagt i MapInfo. Fra ODW Gridder er det muligt at eksportere MapInfo tab-filer, som dermed direkte kan åbnes i MapInfo. Her er tolkningerne blevet sammenholdt med andet relevant geologisk kortmateriale samt LiDAR højdedata. På dette grundlag er de geologiske tolkninger blevet suppleret, og de endelige afgrænsninger af dalene er indtegnet.

I lokalitetsbeskrivelserne er der vist en række kort og profiler. Disse kort og profiler er under kortlægningsarbejdet udtrukket fra hhv. MapInfo og GeoScene 3D.

I forbindelse med analyser af dale og lineamenters foretrukne orienteringer er der anvendt software udviklet af Rod Holcombe ([www.holcombe.net.au](http://www.holcombe.net.au)). De anvendte programmer er: *GeoMapVector*, som udtrækker vektordata fra MapInfo og beregner længde og vinkel fra nord for hver vektor, samt *GeOrient 9*, hvor i de udtrukne data er plottet som roset-diagrammer. Begge programmer er udviklet af Dept. of Earth Sciences, Univ. of Queensland, Australien.

## 2.5 Formidling

### 2.5.1 GIS

Kortlægningens forskellige temaer er udarbejdet i MapInfo, og alle data og udarbejdede MapInfo tabeller stilles til rådighed på projektets hjemmeside, således at kortlægningens resultater kan bruges direkte af alle interesserede. MapInfo tabellerne stilles også til rådighed i ArcGis Shape-format.

De digitale grundkort (KMS 1:100.000 kort) videreformidles ikke. Det er hensigten at brugeren benytter egne digitale grundkort (f.eks. [www.kortforsyningen.dk](http://www.kortforsyningen.dk)).

Ved kortlægningen er de begravede dale, som ovenfor nævnt, simplificeret og indtegnet som flader og linjer i separate tabeller. Den tematiske opdeling af de udarbejdede tabeller giver brugeren mulighed for at udtegne egne kort med ønskede temakombinationer.

MapInfo-tabellerne for indtegnede flader og linjer er listet herunder:

- **ce\_sd.tab:** Centerlinjer for de *svagt dokumenterede* dale; stiplede linjer
- **ce\_vd.tab:** Centerlinjer for de *veldokumenterede* dale; fuldt optrukne linjer
- **fl\_hb\_sd.tab:** Udbredelsen af *helt begravede, svagt dokumenterede* dale; vandret blå skravering
- **fl\_hb\_vd.tab:** Udbredelsen af *helt begravede, veldokumenterede* dale; vandret rød skravering
- **fl\_db\_sd.tab:** Udbredelsen af *delvist begravede, svagt dokumenterede* dale; lodret blå skravering
- **fl\_db\_vd.tab:** Udbredelsen af *delvist begravede, veldokumenterede* dale; lodret rød skravering

De topografiske dale og de dybtliggende forkastninger er kortlagt i følgende GIS-tabeller:

- **topodale.tab:** Alle kortlagte topografiske dale på kort i 1:100.000 (se afsnit 4.2.2)
- **Forkastninger\_Samlet\_Reduc.tab:** Dybe forkastninger i den danske undergrund (se afsnit 4.2.3)

Alle tabeller er udarbejdet i projektionen EUREF89.

### 2.5.2 Andre præsentationer

#### 2.5.2.1 Rosetdiagrammer

Til brug for sammenligninger af de indtegnede vektorers orienteringer, er der udarbejdet en række rosetdiagrammer (se kap. 4.1.6 og 4.2). Centerlinjerne for de kortlagte begravede dale, de topografiske dale og forkastningerne udtrykker orientering og længde, og disse to værdier indgår som input til udarbejdelsen af rosetdiagrammerne.

I MapInfo er der udvalgt de vektordata, som skal plottes, og herefter er vektorenes længder og orienteringer beregnet. Efter beregningerne plottes rosetdiagrammerne. Ved plot i rosetdiagrammer er der konsekvent anvendt en inddeling på 10°, således at orienteringerne er delt op i 18 intervaller fra 0° til 180°. Inden for hvert interval summeres dalenes længder, hvorefter denne længde angives i % af den totale længde af dale i hele rosetten. Herved bliver der taget hensyn til længderne af de enkelte vektorer, og en lang vektor vil få større vægt end en kort vektor.

### **2.5.2.2 Webside**

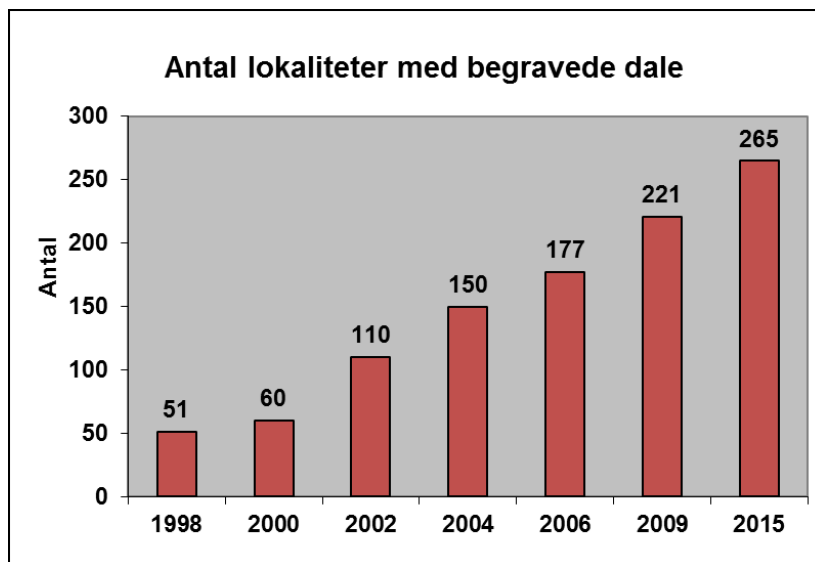
Som supplement til nærværende rapport er der udarbejdet en webside på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk). Hensigten med hjemmesiden er at gøre GIS-filer og rapporttekst og lokalitetsbeskrivelsene let tilgængelige via nettet. På hjemmesiden kan der – foruden den seneste afrapportering – hentes PDF-kopier af alle rapporter siden projektets start. Lokaltetsbeskrivelserne findes dog kun i den seneste, opdaterede version. De enkelte lokalitetsbeskrivelser kan hentes separat ved udsøgning på kort.



### 3. Kortlægning af begravede dale

#### 3.1 Status for kortlægningen af begravede dale

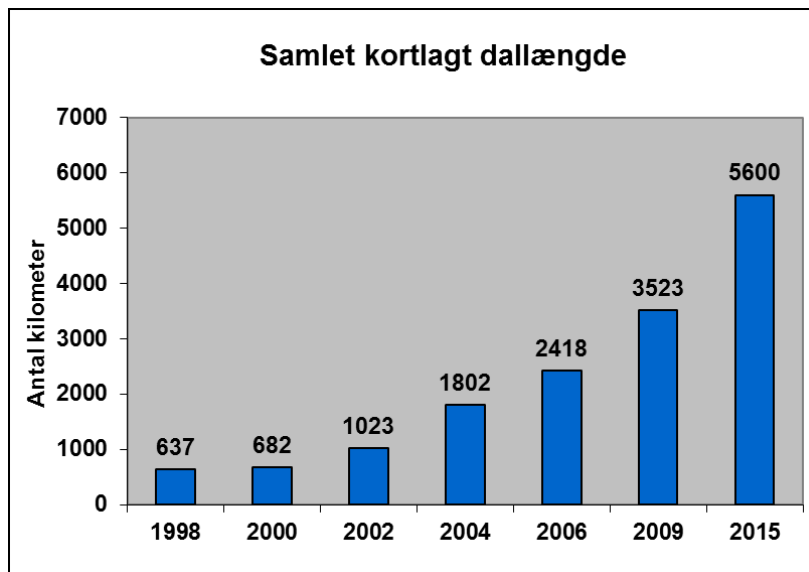
Der er siden den seneste opdatering i 2009 sket en stigning i antallet af lokaliteter med kortlagte begravede dale på 20 %; fra 221 stk. til 265 stk. (Figur 3.1). Den samlede længde af kortlagte begravede dale er siden 2009 steget fra 3.523 km til 5.600 km svarende til en samlet stigning på 59 % (Figur 3.2). Grunden til at der er sket en større relativ stigning i den samlede kortlagte dallængde sammenlignet med antallet af dallokaliteter er, at lokaliteterne er blevet større og nu inkluderer flere dale. Dette skyldes primært at grundvandskortlægningsområderne er blevet større, og således at der er blevet mulighed for at samle flere begravede dale under hver enkelt lokalitet. For nogle lokaliteters vedkommende er der sket en sammenlægning med nabolokaliteter, hvilket har betydet, at der nu er et mindre antal lokalitetsnumre, der er udgået. Disse fremgår af dalelisterne i rapportens Bind 2.



**Figur 3.1: Udviklingen i antal lokaliteter med begravede dale (1998-2015)**

Der er foruden tilføjelse af nye lokaliteter sket en revurdering af data ved mange af de tidligere kortlagte lokaliteter, og de eksisterende lokalitetsbeskrivelser er derfor blevet opdateret. Herudover er der på flere eksisterende lokaliteter tilkommet nye data, der har givet anledning til indtegning af nye dale eller justering af de eksisterende.

I rapportens Bind 2 (Bilag 1) findes lister over samtlige lokaliteter, og det er her i noteret, hvorvidt der er tale om nye lokaliteter, eller hvorvidt der er sket en opdatering af en eksisterende lokalitet. Alle de kortlagte dale er vist på oversigtskort i Bind 2 (Bilag 1), hvorpå polygoner angiver placeringen af de enkelte dal-lokaliteter (skala 1:200.000). Denne målestok er valgt for at gøre det muligt at vise dale- ne i rapportens papirudgave på et overskueligt antal kort og for at skabe et bedre overblik lokalite- terne imellem. I Bind 2 findes også selve lokalitetsbeskrivelserne for de enkelte lokaliteter.



**Figur 3.2: Udviklingen i den samlede kortlagte dallængde (1998-2015)**

### **3.2 Tolkning af begravede dale i data**

Under arbejdet med kortlægning af begravede dale er der opnået en lang række erfaringer med, hvordan begravede dale kan identificeres i forskellige typer af data. I den forrige rapport er der givet en grundig beskrivelse af dette og der henvises derfor til denne (Jørgensen & Sandersen 2009a). Beskrivelsen er primært opdelt i erfaringer mht. boredata, TEM-data og seismiske data.

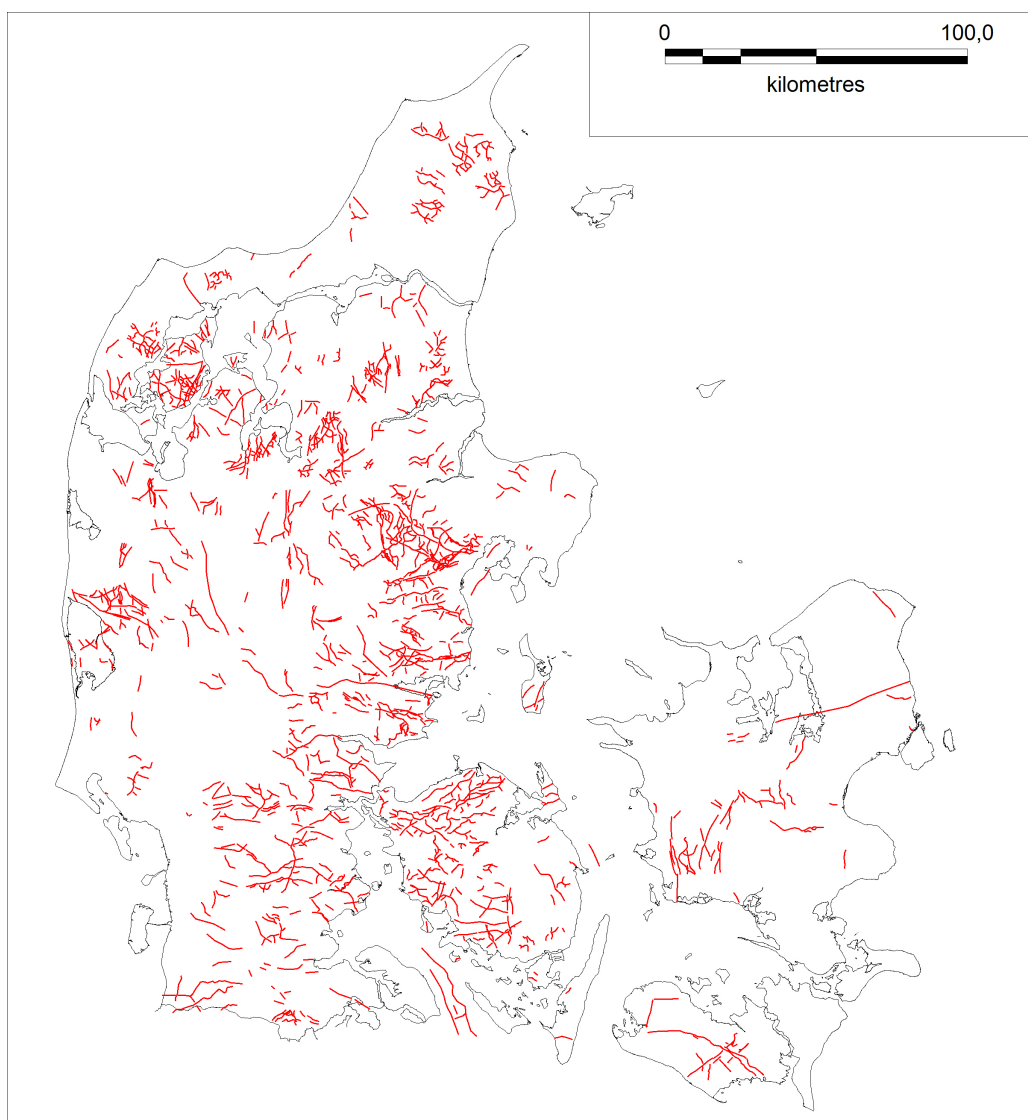


## 4. Kortlægningsresultater

### 4.1 Fælles træk ved begravede dale i Danmark

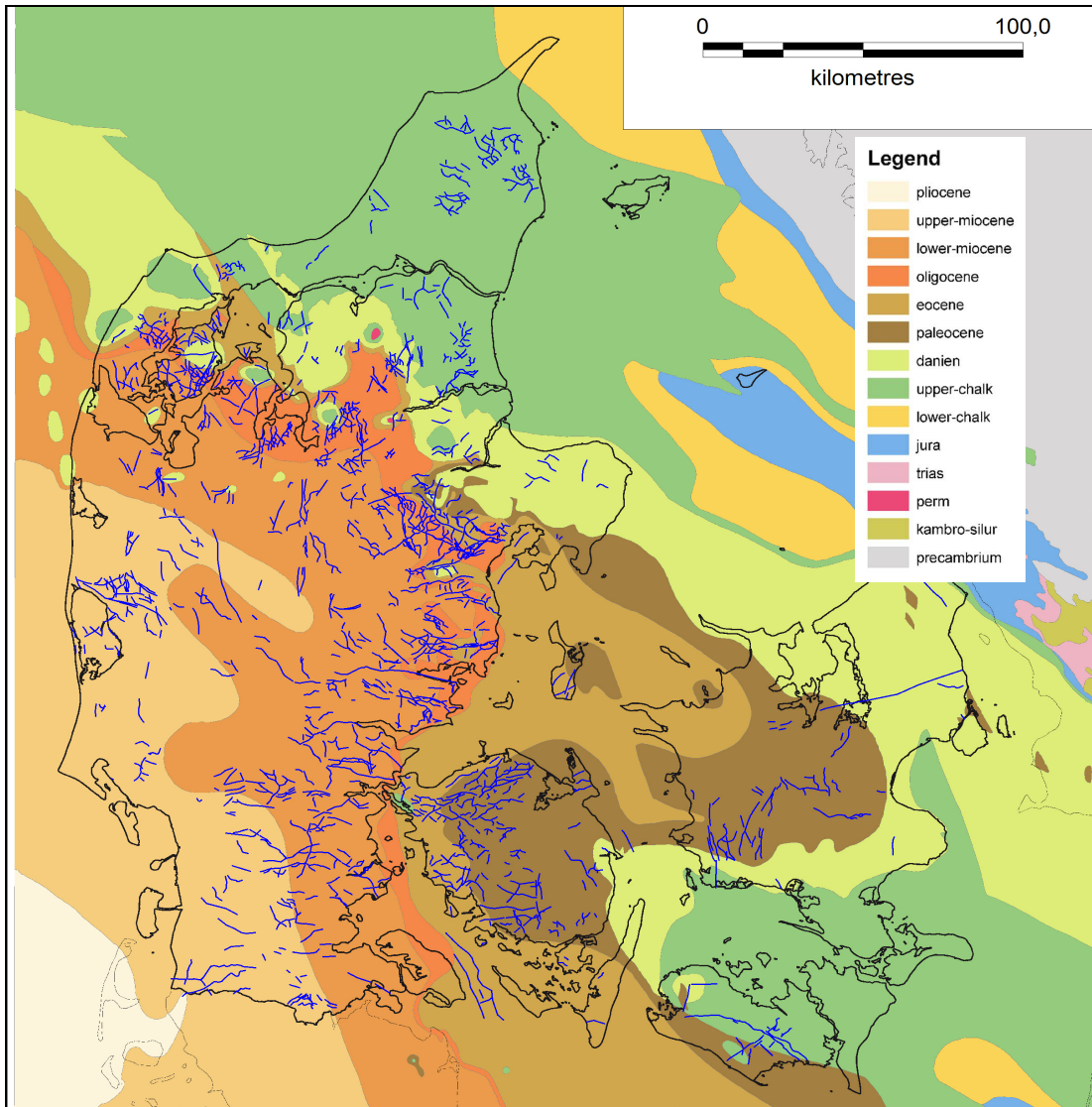
#### 4.1.1 Geografisk udbredelse

En beskrivelse af dalenes udbredelse, som følger herunder, blev også præsenteret i forrige rapport (Jørgensen & Sandersen 2009a), men da 2015-opdateringen har 59 % flere begravede dale, er det fundet relevant med en opdatering af teksten og de tilhørende konklusioner. Det tidligere billede bekræftes i store træk, og der er føjet flere detaljer til. Enkelte elementer er dog udeladt i forhold til den forrige opdatering.



Figur 4.1: Alle kortlagte begravede dale vist med centerlinjer.

Kortlægningen af begravede dale viser, at der forekommer et stort antal begravede dale i undergrunden under hele Danmark (se Figur 4.1). 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 f.eks. van der Vegt et al. 2012).

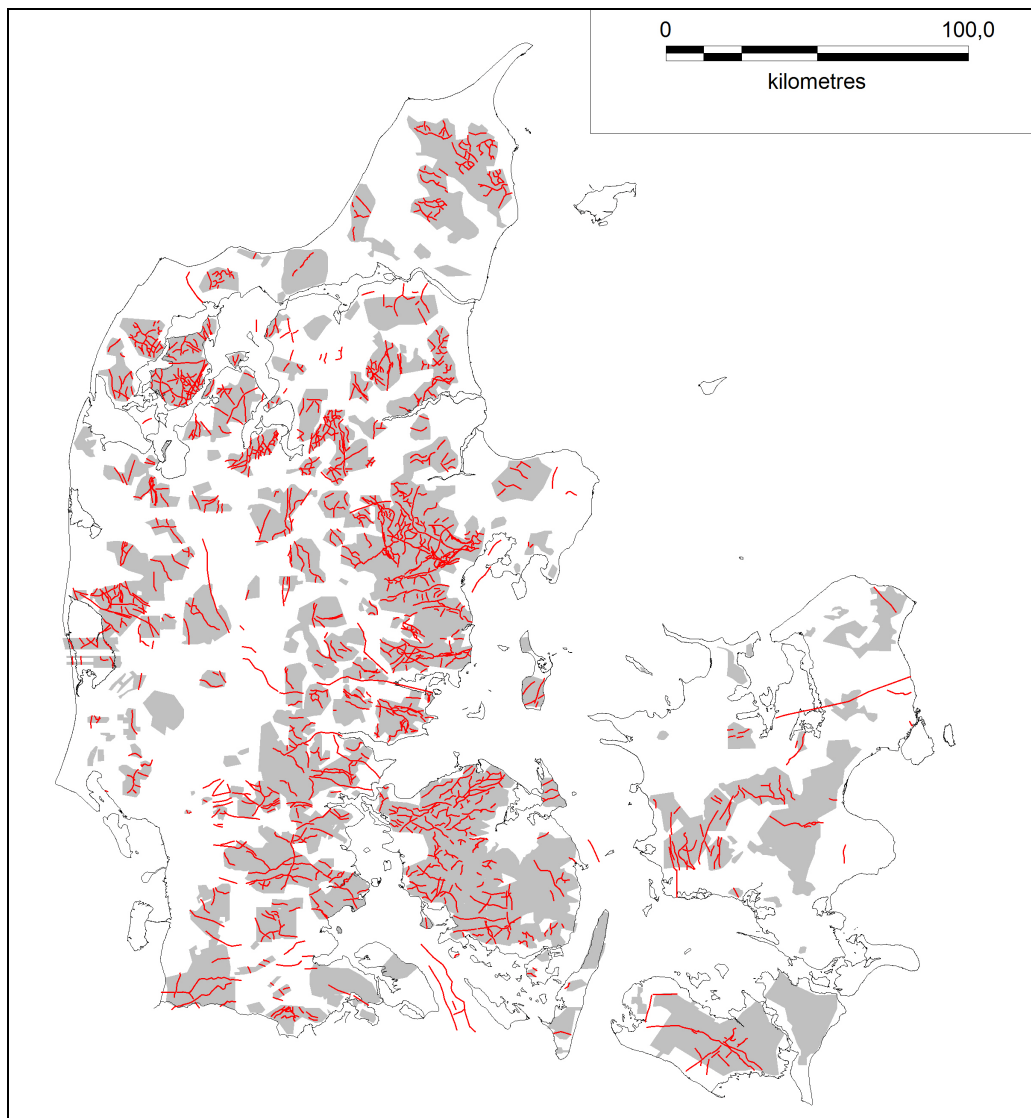


**Figur 4.2: Kortlagte begravede dale med baggrundskort der viser lithologien af prækvartær-overfladen. Prækvartærkortet er modificeret efter Håkansson & Pedersen 1992.**

De kortlagte begravede dale er geografisk set ikke jævnt fordelt. De største koncentrationer ses umiddelbart i de østlige dele af Syd- og Midtjylland, på Vestfyn, i Nordvestjylland og i dele af Vestjylland. Desuden ses relativt store koncentrationer i Vendsyssel og på Vestsjælland. Modsat ses der meget få dale på store dele af Sjælland, på Østfyn, på Djursland og i dele af Midtjylland.

Sammenlignes dalkortet med undergrundens beskaffenhed i form af den prækvartære lithologi (Figur 4.2), er det iøjnefaldende, at der forekommer flere begravede dale i områder, hvor det palæogene ler (Oligocæn, Eocæn, Palæocæn) ligger højt i lagserien. Dette kan skyldes en fordeling af dalene, som er kontrolleret af naturlige faktorer. En sandsynlig forklaring er, at det højtliggende palæogene ler fremprovokerer erosion af dale mellem gletcher og underlag (se diskussion i kap. 5.3 og f.eks. Sandersen & Jørgensen 2012). Ses der nærmere på fordelingen sammenholdt med prækvar-

tærkortet, ses der endvidere en tendens til, at der er færre begravede dale i områder, hvor der forekommer lag fra Kridt og Danien i Prækvarteroverfladen. En undtagelse er Vendsyssel, hvor kalken ligger dybt, og hvor der forekommer tykke lerede lag i den kvartære lagserie ovenpå. Der er også en tendens til, at der er store lokale koncentrationer af dale i de områder af Vestjylland, hvor der forekommer tykke, lerlag i den øvre del af miocænet (ved Ringkøbing og Tønder). Det er også blevet vist, at der forekommer færre dale i dele af de dele af Midtjylland, hvor miocænet primært består af sand (se kap. 5.3 og Sandersen & Jørgensen 2012). Alt i alt kan det konkluderes, at der er flere dale i områder med lerede lag i lagserien sammenlignet med områder, hvor der enten er sand eller kalk i lagserien.



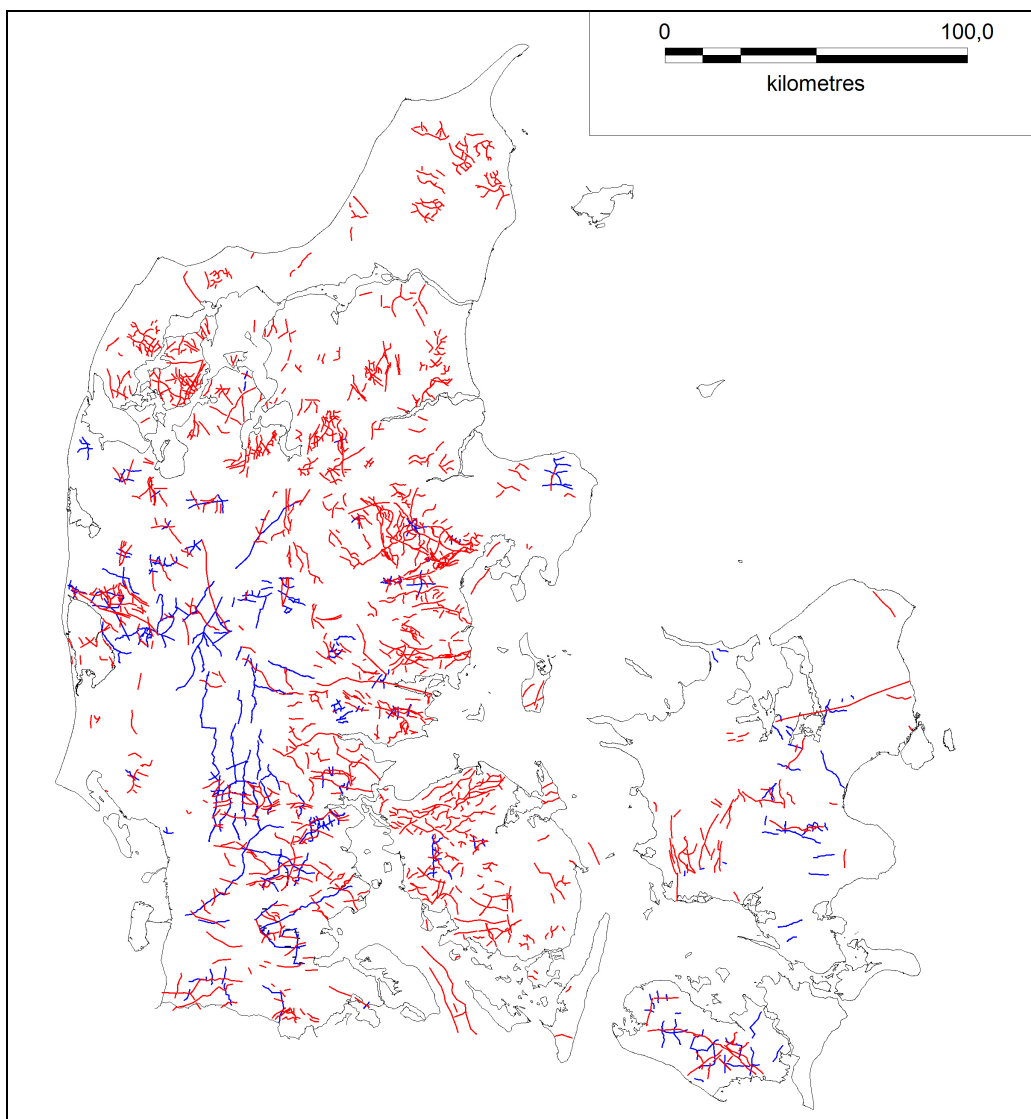
**Figur 4.3: Centerlinjer for alle begravede dale og områder, hvor der er udført fladedækkende TEM-kortlægninger (grå polygoner).**

Fordelingen af dale, som den fremgår af Figur 4.2, er ikke kun naturlig, men også bestemt af andre faktorer. Datadækningen spiller en betydelig rolle, og i Figur 4.3 ses dalene sammen med de områder, der er blevet kortlagt med TEM-metoden. Der ses en tydelig sammenhæng mellem antallet af begravede dale og udførte TEM-kortlægninger. Det er tydeligt, at der er blevet kortlagt flest dale i områder, hvor der er gennemført fladedækkende TEM-kortlægninger. Dale er kun i mindre omfang

kortlagt alene med f.eks. seismik (Figur 4.4) og/eller boringer. TEM-metoden har sin primære force i områder, hvor ler befinder sig relativt højt i lagserien, og begravede dale er derfor lettere at kortlægge i sådanne områder. Metoden er derfor også mest benyttet her.

Kortlægningen giver altså ikke et fyldestgørende billede af den regionale fordeling af begravede dale. Seismiske undersøgelser i nogle af de områder, hvor der ikke er kortlagt begravede dale ved fladedækkende undersøgelser så som TEM, antyder, at begravede dale også her findes i stort antal. Men dalene kan generelt ikke korreleres mellem de seismiske linjer; heller ikke når boredata tages i betragtning (Jørgensen & Sandersen 2009b).

I mange områder antydes forekomsten af tætliggende netværk af begravede dale også i boredata. Her kan meget vekslende lagserier eller forekomst af interglaciale lag ofte pege på tilstedeværelse af begravede dale (se kapitel 4.1.5).



**Figur 4.4: Centerlinjer for alle begravede dale (røde streger) sammen med udførte seismiske linjer (blå streger).**

Endvidere forventes det, at der også i de områder, der er kortlagt med TEM, findes flere begravede dale end det har kunnet lade sig gøre at kortlægge. Ofte er der ikke kontraster nok i data til, at dalene bliver opløst. I andre tilfælde er datatætheden for lav, og dalene for små til at blive opløst. Daltætheden forventes derfor, at være større end kortet viser – også indenfor de TEM-kortlagte områder.

Ved forskellige seismiske undersøgelser i dele af Midtjylland, Sjælland og Falster er der imidlertid også fundet områder, hvor der tilsyneladende kun forekommer meget få begravede dale. Seismik kan, som den eneste undersøgelsesmetode, udelukke forekomsten af dale med rimelig sikkerhed. Dette kræver imidlertid en god datakvalitet og gælder kun for dale med en vis dybde. Ifølge seismikken er tætheden og antallet af begravede dale derfor ujævn med mange dale i nogle områder og få eller ingen dale i andre områder. Forekomsten af områder med få eller ingen dale er dog begrænset, og en tæthed af begravede dale som omkring Århus må forventes i store dele af landet.

Når den forventede tæthed af begravede dale sammenholdes med underlagets lithologi, ser det ud som om der forekommer færre dale i områder, hvor underlaget har en relativ høj hydraulisk ledningsevne. Dette gælder for områder med tykke lagpakker af miocænt sand og områder med opsprækket Danien. Forekomsten og tætheden af begravede dale formodes derfor bl.a. at være afhængig af underlagets hydrauliske egenskaber (se kapitel 5.3 og Sandersen & Jørgensen 2012).

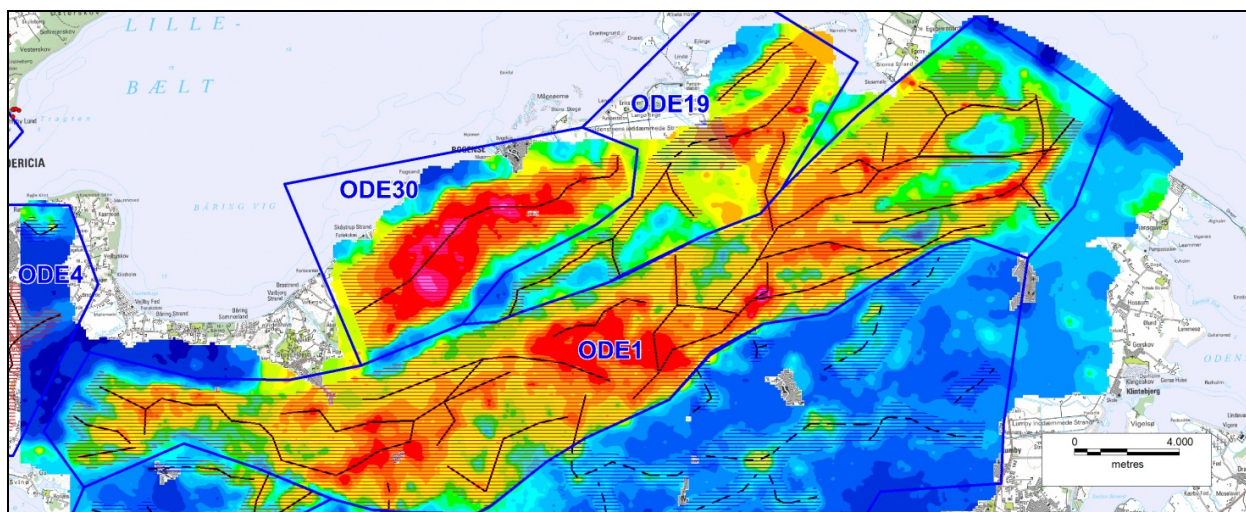
For at dale bliver medtaget i dalkortlægningen er det en betingelse, at orientering og udbredelse af dalene kan ses i data indenfor de enkelte kortlægningsområder. Der er derfor ikke udført subjektive korrelationer af dale mellem kortlægningsområder. Kortet over dalene skal derfor opfattes som et "minimumskort", hvor kun "sikre" dale er medtaget. Kortet udgør dermed et grundlag for videre fortolkning af dale udenfor de datadækkede områder. Boredata sammenholdt med landskabsanalyser, regionale foretrukne orienteringer og øvrige karakteristika ved begravede dale, vil her kunne supplere kortet med tolkninger af mulige begravede dalstrukturer. Ved dette arbejde skal der dog udvises forsigtighed, idet dalene kan stoppe pludseligt og være meget korte. Da dalene ikke som normale erosionsdale har jævne fald mod afløbsbassiner, kan der desuden ikke tages udgangspunkt i, at dalene skal kunne følges/interpoleres over længere strækninger.

#### **4.1.2 Dimensioner, form og netværk**

De begravede dales typiske længder er vanskelige at karakterisere, idet de fleste dale i længderetningen kun kan følges indenfor de TEM-kortlagte områder. De længste kortlagte dale er Sønderdalen på Sjælland (ROS2), Nakskov-Nysted-dalen på Lolland (NYK1), Søndersødalen på Fyn (ODE1) (se Figur 4.5) og Tørring-Horsens-dalen (AAR33) med samlede kortlagte længder på hhv. 46, 41, 41 km og 38 km. Nogle steder er det muligt, at dalene mellem to lokaliteter kan korreleres til hinanden, da de synes at ligge i hinandens forlængelse. En sådan sandsynlig korrelation er mellem de N-S-gående dale ved Bording (RIN15), Thorning (AAR45) og Viborg Syd (RIN53). Denne dal vil have en længde på minimum 41 km. En anden mulig korrelation er mellem dalene på lokaliteterne Give-Brande (RIB15, RIN17), Avlum-Snejbjerg (RIN1), Skave (RIN12), Spøttrup (RIN33) og Salling-sund-Glyngøre (RIN37), hvilket vil give en længde på mindst 117 km. Denne korrelation er dog ret usikker, fordi dalene fremtræder på forskellig vis i de forskellige områder, og fordi der er stor afstand mellem lokaliteterne. I modsætning til disse lange dale synes mange dale derimod at udgøre korte, afsnørede fordybninger i underlaget, som ikke kan følges over lange distancer. Enkelte steder er



dalene således kortlagt i deres helhed, begge ender inklusive. Dette er tilfældet flere steder i Vendsyssel, hvor dalene kun har længder på 5-10 km.



**Figur 4.5: Lokalitet ODE1 Søndersø – Nr. Åby**

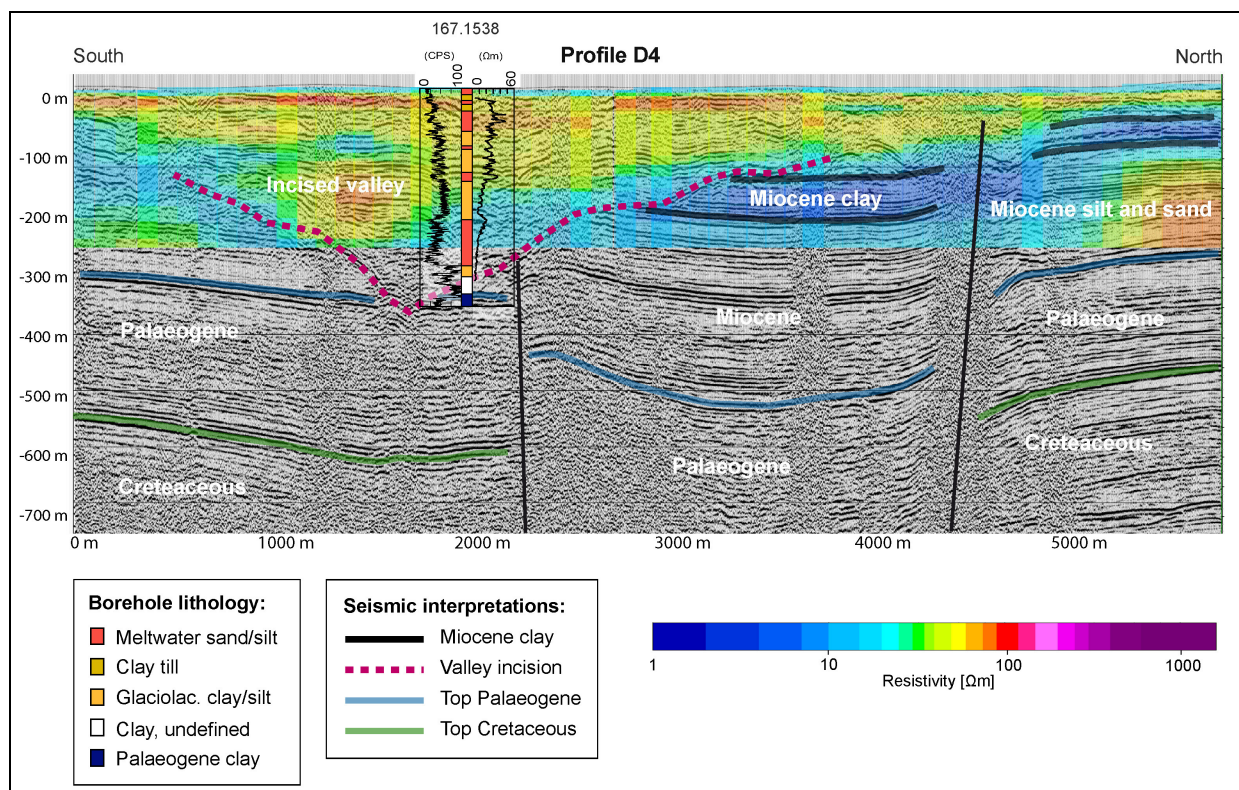
De begravede dales bredder er generelt også svær at bestemme præcist. Dette skyldes at mange dale ikke er kortlagt i deres fulde bredde. Mange dale kan nemlig kun ses i dele af lagserien, og således kan dalens øverste dele, hvor bredden er størst, ikke nødvendigvis ses. Derfor fremtræder mange dale i kortlægningen smallere, end de i realiteten er. En anden problematik omkring bestemmelsen af dalbredder er, at gentagen erosion med dannelse af flere dale på langs, oveni hinanden gør, at de enkelte dale er vanskelige at skelne fra hinanden. Således kan flere erosioner i samme overordnede tracé skabe en struktur, der fremtræder som ét bredt dalstrøg, der er bredere end de enkelte dalstrukturer. Den typiske bredde af såvel begravede dale som åbne tunneldale ligger mellem 500 og 1250 m, men der findes også en del dale med bredder på op til omkring 3,5 km. Denne analyse blev foretaget for de danske dale i 2006 (Jørgensen og Sandersen, 2006). Det bredeste dalstrøg i den nuværende kortlægning udgøres af Søndersødalene på Fyn (ODE1), som er omkring 6 km på det bredeste sted (se Figur 4.5). Her består dalstrøget af adskillige interne dalerosioner, så den opmålte bredde repræsenterer ikke en egentlig bredde af en enkelt dalenhed.

Dybden af de kortlagte begravede dale varierer mellem ca. 25 meter til over 300 meter. Meget små begravede dale med dybder på ca. 5 meter er fundet i Tyskland (se Figur 8.3), og sådanne findes sandsynligvis også i Danmark, men på grund af de små dimensioner er disse ikke blevet kortlagt. Det er endvidere vanskeligt at drage generelle konklusioner om de begravede dales dybder, da den reelle dybde af de dybeste dale mange steder stadig er ukendt. De dybeste dale er fundet i Jylland, hvor f.eks. Holsted (RIB1) viser dybder på mellem 300 og 350 meter, Gjerndrup (RIB2) op til 320 m, Vonsild (RIB19) omkring 300 meter, Agtrup-Sdr. Bjert (RIB11) omkring 300 meter, Tørring-Horsens (AAR33) omkring 300 meter og Abild (RIB30) mellem 250 og 300 meter (se Figur 4.6). Konventionelle seismiske undersøgelser viser også forekomster af dale med dybder på mellem 200 og 300 meter ved lokaliteterne Avlum-Snejbjerg (RIN1) og Holstebro Syd (RIN13). Den dybeste dal, der er kortlagt, er Møgeltønder (RIB31). Den er ifølge en grundvandsseismisk linje omkring 400 m dyb. Den dybeste dal, som er verificeret med en boring, er Viborg Syd (RIN53), som minimum når ned i kote -294 m. Dette ses i en undersøgelsesboring, som ikke når dalbunden i en dybde af 357 m.

Mange af dalene omkring Århus forekommer at være knap så dybe, som de ovenfor nævnte. Disse er 100 og 200 meter dybe, dog med en enkelt undtagelse, idet Beder (AAR3) er over 200 meter dyb. Bortset fra dalene i Vendsyssel, som i nogle tilfælde er over 200 m dybe, er dalene i Nordjylland og på Sjælland noget mindre dybe (under 150 meter). Årsagen til dette kan være, at mange af disse er nederoderet i kalk og kridt. Også dalene på Fyn synes at have mindre, maksimale dybder. Selvom de maksimale dybder på Fyn generelt er usikre, er det ret sikkert, at de dybeste dale her ikke når meget længere ned end omkring 150 m under terræn.

De begravede dales sider kan være meget stejle - også stejlere end det kan ses på tunneldale i terrænoverfladen. Dalene kan være U-formede med stejle sider og flad bund, men der findes også V-formede begravede dale. Dalsidernes præcise hældning kan normalt ikke bestemmes præcist i geofysiske data.

Et særligt forhold ved begravede dale er, at deres længdeprofiler er ujævne med lavninger og tærskler i længderetningen og ofte ender brat. Der ses normalt ikke en jævn hældning mod et udløb eller et bassin. Dalene udtrykker sig meget forskelligt i data. Ofte ses blandinger af forskellige former som f.eks. pæreformer, smalle kædeformer, tærskler, V-form og U-form inden for samme dalstrøg. Dette skyldes formentlig, at de kortlagte dalstrøg består af flere dalgenerationer, som gradvist frembringer et kompliceret billede med blandede dalformer.



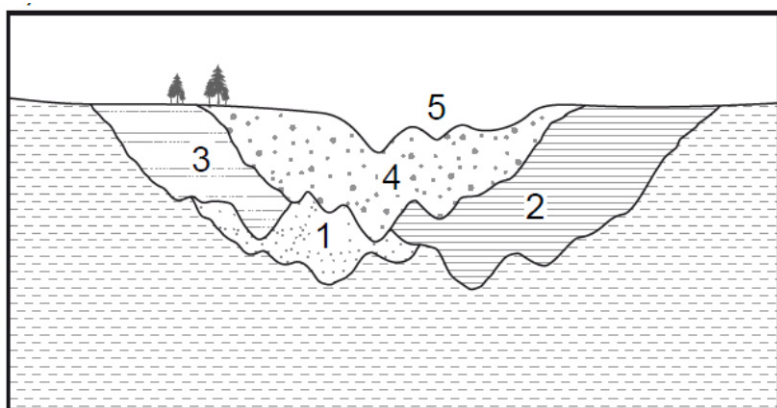
**Figur 4.6: Tolket seismisk profilinje på tværs af den begravede dal ved Abild (RIB30 Abild) (Jørgensen et al. 2012).** På det seismiske profil ses en tydelig erosion ned til dybere niveauer end kote -350 m og boring DGU nr. 167.1538 bekræfter dalens eksistens. Resultater fra en SkyTEM-kortlægning er vist med farver ovenpå seismikken. Der ses god overensstemmelse mellem seismikken og SkyTEM'en. Dalen er på dette sted sammenfaldende med Tøndergraven, der viser sig som tydelige forkastninger, men dette er dog ikke generelt gældende. Der ses indikationer på glacialtektonisk deformation af dalens fyld (f.eks. omkring 2800 m).

Et andet typisk træk ved dalene er, at de ofte er retlinede eller har en svagt buet form. Nogle gange kan dalene dog have pludselige skarpe knæk. Det er relativt sjældent, at dalene udviser mere slyngede forløb.

I forrige opdatering (Jørgensen & Sandersen 2009a) er der givet en mere uddybende beskrivelse af forskellige dalformer med tilhørende figurer.

### 4.1.3 Interne strukturer i dalene

Langt de fleste begravede dale er dannet ved erosion af underlaget. Dalenes bund udgøres dermed af erosionsflader, der gennemskærer ældre lag. At der er tale om erosionsstrukturer ses ofte tydeligt i seismiske data (se f.eks. Figur 4.6). Dalenes interne strukturer er ofte meget komplekse. De er kun sjældent homogent opbygget og udfyldt med samme type aflejring fra side til side og fra top til bund. Komplexiteten skyldes primært tre forskellige forhold: Gentagne erosion/aflejring, glacialtektoniske forstyrrelser og faciesvariationer. Den gentagne erosion viser sig ved, at flere dale ofte er eroderet ned oveni hinanden (Figur 4.7). Disse erosioner er blevet udfyldt med sedimenter mellem erosionshændelserne. Dermed fås aflange strukturer internt i det overordnede dalstrøg med store variationer både horisontalt og vertikalt i dalene.



Figur 4.7: Skitse af begravet dal med i alt 5 gentagne erosioner. Fra Kehew et al. (2012).

Bredden og formen af erosionsstrukturene varierer meget, men også fyldet i erosionsstrukturene varierer. Nogle er f.eks. udfyldt med smeltevandssand og -grus, mens andre er udfyldt med smeltevandsler, moræneler og evt. interglaciale aflejringer.

Som for mange andre sedimenter i den øvre del af lagserien kan fyldet i de begravede dale også være blevet glacialtektonisk deformeret. Dette kan give en endnu større kompleksitet både på tværs og på langs med dalene. Ved glacialtektonisk deformation vil det normalt være hele dalstrukturen inklusive de omgivende lag, der er blevet deformeret. Dette kan betyde, at dalene er svære at identificere og kortlægge. De deformerede lag bliver kun sjældent opløst med de geofysiske metoder, men at fyldet er glacialtektonisk forstyrret ses ofte ved, at der gennembøres flager af bl.a. kalk og tertiært ler i dalene eller at lagserien viser tegn på repetition.



Også faciesvariationer bidrager til kompleksiteten i dalene. Da dalene er udfyldt i subglaciale såvel som i proglaciale miljøer ofte i umiddelbar nærhed af gletscheren, er aflejningsmiljøerne karakteriseret ved at være meget dynamiske. De hyppige variationer i de glacielle aflejningsmiljøer betyder, at aflejningssekvenserne i dalene vil kunne skifte meget hurtigt både vertikalt og horisontalt. Mange steder ses dog også relativt stabile aflejningsmiljøer i dalene. Dette er tilfældet, når udfyldningen af dalene er sket mere distalt i forhold til gletscheren – f.eks. i lakustrine/issø-miljøer af en vis størrelse og i marine miljøer (se kapitel 5 for beskrivelse af dalenes oprindelse).

I forrige opdatering (Jørgensen & Sandersen 2009a) er der givet en mere uddybende beskrivelse af interne strukturer med tilhørende figurer.

#### **4.1.4 Dalfyld**

En karakteristik af fyldet i de begravede dale er gennemgået i detalje i Sandersen & Jørgensen (2006) og Jørgensen & Sandersen (2009a). I det følgende gives en opdatering og en sammenfatning heraf.

Da langt størstedelen af de begravede dale er eroderet og udfyldt i kvartæret, består deres fyld af kvartære sedimenter, se Kap. 5. Fyldsedimenterne består primært af varierende typer af smeltevandsaflejringer og moræneaflejringer, mens en mindre del består af interglacielle aflejringer.

En statistisk opgørelse over alle boredata fra begravede dale i 2006 viser, at der findes 30 % moræneaflejringer, 18 % finkornede smeltevandsaflejringer og 52 % grove smeltevandsaflejringer i de begravede dale. Der ses en tydelig tendens til, at indholdet af moræneaflejringer blandt fyldet i dalene bliver mindre med dybden. Modsat forholder det sig med både de grovkornede og finkornede smeltevandsaflejringer. Her stiger indholdet med dybden. Sammenlignes der med boredata udenfor dalene, ses der her at være nogenlunde samme mængde grove smeltevandsaflejringer som indenfor dalene, mens der ses en tendens til, at der forekommer mindre moræneler og flere finkornede smeltevandsaflejringer i dalene end udenfor dalene.

Opgørelsen påviste også regionale forskelle i dalfyldet. Således forekommer der en relativ større andel af moræneaflejringer i Østjylland og på Fyn, mens der i Vestjylland forekommer en større andel af grove smeltevandsaflejringer i dalene. I de begravede dale øst for Storebælt ses også en stor forekomst af moræneler i dalene, og i dale nedskåret i kalk og kridt ses desuden ofte moræneaflejringer med meget højt indhold af kalk/kridt. Endelig viste opgørelsen, at forekomsten af smeltevandsler og -silt er størst i de nordlige og vestlige dele af Jylland, hvor andelen når op på omkring 25 % af dalfyldet.

Den ovenfor beskrevne geografiske fordeling af fyldet har muligvis en sammenhæng med prækvartærets beskaffenhed; sand mod vest og ler/kalk mod øst. Dalfyldets karakter afspejler til en vis grad de omgivende aflejrings beskaffenhed.

Finkornede smeltevandsaflejringer, såsom smeltevandsler og -silt er, som ovenfor nævnt, hyppigt forekommende som fyld i begravede dale i de nordlige og vestlige dele af Jylland. Smeltevandsleret er typisk aflejret i isopdæmmede søer eller i fritliggende søer tæt på isfronten. Dale, der træder frem ved tilbagesmeltning af isen (se om dannelse af begravede dale i Kap. 5), vil udgøre velegnede bas-

siner for aflejring af smeltevandsler. Dette formodes at være årsagen til den forøgede forekomst af smeltevandsler i de begravede dale.

Ved TEM-kortlægning er det ofte muligt at kortlægge forekomster af smeltevandsler og marint ler i de begravede dale (se eksempler i forrige rapport; Jørgensen & Sandersen 2009a). Disse lertyper har typisk elektriske modstande på mellem 10 og 40 ohmm. Dalene med smeltevandsler og marint ler udmærker sig ved at vise jævne interne lagflader, og ved at blive smallere nedefter. I forrige rapport blev der lavet en analyse af forekomsterne af både smeltevandsler, marint ler og interglacialt ler i de begravede dale. Størstedelen af forekomsterne har deres overflade omkring kote 0 m, men i mange af dalene ses lerets overfladekoter også at ligge højere – helt op til kote +45 m.

Fordelingen af lerlagenes overfladekoter viser en foretrukket population omkring kote 0 m. Dette kunne tyde på, at der mellem aflejningsbassinerne har været hydraulisk kontakt. Det er sandsynligt, at der for denne populations vedkommende primært er tale om marint ler aflejret i fjordarme, der har fået tilført materiale fra tilbagesmeltende gletschere. Forekomsterne i højere niveauer udgøres sandsynligvis primært af sø-aflejringer, som også har fået tilført materiale fra tilbagesmeltende gletschere.

Det er også karakteristisk for de begravede dale, at de meget ofte indeholder omlejrrede sedimenter, som kan være svære at skelne fra det oprindelige sediment. F.eks. har leret dalfyld, som f.eks. smeltevandsler eller interglacialt ler mange steder et stort indhold af glimmer og kan derfor let forveksles med tertiært glimmerler. Omlejring af tertiært glimmerler i dalene har i vidt omfang fundet sted, hvilket gør prøvebeskrivelser og tilhørende tolkninger komplicerede. Det vurderes, at mange begravede dale overses pga. af sådanne vanskeligheder med at skelne mellem glaciale og interglaciale leraflejringer, tertiært glimmerler og omlejringer heraf. Ofte er der i borer i begravede dale 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.

#### **4.1.5 Interglaciale aflejringer og dalenes aldre**

Emnet ”interglaciale aflejringer i dalene samt tolkninger af dalenes aldre” er blevet grundigt beskrevet i forrige rapport. Her følger en opdatering baseret på nye data og en opsummering af hovedtrækkene.

Helt eller delvist åbne dale har i mellemistiderne kunnet udgøre aflejningsbassiner, hvori både marine sedimenter og ferskvandssedimenter har kunnet aflejres. Under efterfølgende istider er de aflejrrede interglaciale sedimenter blevet begravet og er derved i nogle tilfælde blevet bevaret. Interglaciale aflejringer er derfor særligt hyppige i begravede dale, og ved gennemgangen af dalfyldet er der konstateret interglaciale aflejringer på 20-25 % af lokaliteterne. Denne andel kan meget vel være større, da interglaciale aflejringer, som ovenfor beskrevet, ofte kan overses i boreprocessen eller ved prøvebeskrivelsen.

De hyppigst fundne interglaciale sedimenter er marint ler, ferskvandstørv og gytje samt kiselgur (diatomit). Marine aflejringer i begravede dale er fundet mange steder i landet. Det marine ler er normalt

mørkt brunt eller sort, og indeholder i ikke-forvitret tilstand skalfragmenter. Ferskvandsaflejringerne består af ler, silt, sand, tørv, gytje og kiselgur.

Ved hjælp af hhv. foraminiferanalyser og pollenanalyser kan aflejringerne nogle gange stratigrafisk dateres. Sådanne dateringer kan give information om begravede dales minimumsaldre. I det følgende oplystes nogle af de lokaliteter, hvor dalfyldet er blevet stratigrafisk indplaceret. Dette gælder også for glaciale aflejringer indplaceret stratigrafisk ved hjælp af fingrusanalyser og lumincensdatering. Litteraturhenvisninger kan ses i lokalitetsbeskrivelserne.

Aflejringer fra Weichsel-istiden eksisterer i eller over begravede dale overalt i landet, men i Vendsyssel er dalfyldet og de omkringliggende aflejringer dateret og indplaceret internt i den kvartære stratigrafi (Knudsen et al. 2009, Larsen et al. 2009, Krohn et al. 2009, Sandersen et al. 2009) (Se AAL3, AAL15, AAL18, AAL19, AAL20 og AAL24). Dalene er her dannet i Sen Weichsel for ca. 18 til 20.000 år siden (Sandersen et al. 2009) og er udfyldt indenfor samme tidsrum (Krohn et al. 2009). Dalfyldet udgøres af sandede, siltede og lerede issøaflejringer.

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

- Brabrand-Harlev-Galten (AAR2) – ved Stavtrup og Årslev – marine aflejringer
- Tørring-Horsens (AAR33) – ved Bækkelund i Horsens - ferskvandsaflejringer
- Vorvadsbro-Lund (AAR34) – ved Lund - ferskvandsaflejringer
- Broager (RIB3) – Cyprina-ler
- Rødding (RIB26) - ferskvandsaflejringer
- Bevtøft – Over Jerstal (RIB37) – Cyprina-ler
- Tønder-Jejsing (RIB40) – marint ler
- Vejen By (RIB48) – ferskvandsaflejringer
- Fåborg-Egebjerg (ODE3) – marine aflejringer over dal (Horne-Brændegård Sø-dalen)
- Helnæs (ODE7) – Cyprina-ler over dalen
- Nr. Åby (ODE28) – Cyprinaler
- Haarby (ODE35) – Cyprina-ler i dal (Voldtofte-dalen)
- Haarby (ODE35) – Cyprina-ler over dal (Jordløse-dalen)

Aflejringer, som er stratigrafisk henført til næstsidste istid, Saale, er bl.a. fundet på følgende lokaliteter:

- Århus Nord (AAR1) – Sabro-Ødum-dalen - moræneler
- Lyngå-Hår (AAR12) – Haldum Grusgrav – moræneler og sand
- Lyngå-Hår (AAR12) – Volstrup Skov – moræneler og smeltevandssand
- Hornsyld (AAR32) – ved Åstrup - moræneler
- Samsø Syd (AAR46) – moræneler
- Thyholm (RIN7) – Flovlev Sandgrav – smeltevandssand og moræneler
- Broager (RIB3) – ”Det blanke ler”
- Børkop (RIB17) – Rands og Vejlbj – ferskvandsaflejringer
- Bevtøft – Over Jerstal (RIB37) – ”Det blanke ler”
- Helnæs (ODE7) – ”Det blanke ler” over dalen
- Assens (ODE13)
- Vejen By (RIB48) – moræneler

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

- Midtmors-Vils (AAL27) – Vils – marine aflejringer
- Hadsten (AAR8) – ved Hadsten by – marine aflejringer
- Holstebro Nord (RIN11) – Sir Gårde – marine aflejringer og ferskvandsaflejringer
- Klejtrup (RIN40) – Hostrup Ler, marin, øverst i dalen, 2 boringer
- Forumlund (RIB2) – marine silt- og sandaflejringer
- Børkop (RIB17) – Rands og Vejlbj – ferskvandsaflejringer (kiselgur) og marine aflejringer
- Vonsild (RIB19) – marint ler
- Løgumkloster (RIB50) – marint ler, Tornskov-boringen
- Arrild (RIB55) – marint ler
- Vejen By (RIB48) – marint sand og ler (ikke biostratigrafisk dateret)

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

- Hobro (AAL14) – moræneler, smeltevandaflejringer
- Ålestrup (AAL34) – smeltevandssler
- Hadsten (AAR8) – ved Hadsten by – smeltevandssler
- Thyholm (RIN7) – Flovlev Sandgrav – smeltevandssler og moræneler
- Holstebro Nord (RIN11) – Sir Gårde – smeltevandssler
- Navntoft (RIN25) – moræneler, smeltevandaflejringer
- Ørslev Kloster (RIN45) – smeltevandssler
- Løgumkloster (RIB50) – marint sand og ler, Tornskov-boringen
- Arrild (RIB55) – marint ler, Sen Elster
- Assens (ODE13)

Aflejringer, der formodes at være ældre end Elster er fundet på følgende lokaliteter:

- Navntoft (RIN25) – moræneler, smeltevandssand
- Lyngå-Hår (AAR12) – Haldum grusgrav – moræneler
- Tinning (AAR10) – Solkær – smeltevandssand
- Hobro (AAL14) – moræneler, smeltevandaflejringer

I Vendsyssel har det, som ovenfor nævnt, kunnet lade sig gøre at tidsfæste alderen ret præcist, da forskellen i tid mellem alderen af fyldet og alderen af de omgivende lag er meget lille. Men Vendsyssels geologiske forhold er specielle, da lagserien her er ung og tyk, og det er kun her, at det har kunnet lade sig gøre at tidsbestemme daldannelsen så præcist. Minimumsalderen for en dal er bestemt af alderen af fyldet og maximumsalderen er bestemt af alderen af de underliggende lag. De underliggende lag er i mange tilfælde enten tertiære lag eller ikke-aldersbestemte kvartære lag. På de fleste lokaliteter kan en dannelse i kvartæret dog påvises, da dalene er delvist nederoderet i glaciale lag. Da majoriteten af dalene er dannet ved subglacial smeltevandserosion (se Kap. 5) vil dalene - i sagens natur - være dannet under de kvartære nedisninger.

Der har dog muligvis eksisteret dale i prækvartæret før de første isoverskridelser i Kvartær. Floder og et fald i havniveauet kan have medført dannelse af regulære erosionsdale, men sådanne erosionsdale har ikke kunnet påvises i denne kortlægning. De er sandsynligvis blevet bortroderet ved den omfattende glaciale erosion, der gennem kvartæret har fjernet store dele af den øvre tertiære og nedre kvartære lagpakke. Derimod er der kortlagt enkelte begravede dale, som er tolket at være

anlagt ved tektonisk indsynkning (RIN11, ODE11, ODE16, NYK1, RIB35, RIB51, RIB52, RIB53). Nogle af disse dale kan være anlagt før kvartæret, men meget tyder på, at glaciale processer senere har uddybet flere af dalene.

## **4.1.6 Orienteringer af begravede dale**

### **4.1.6.1 Indledning**

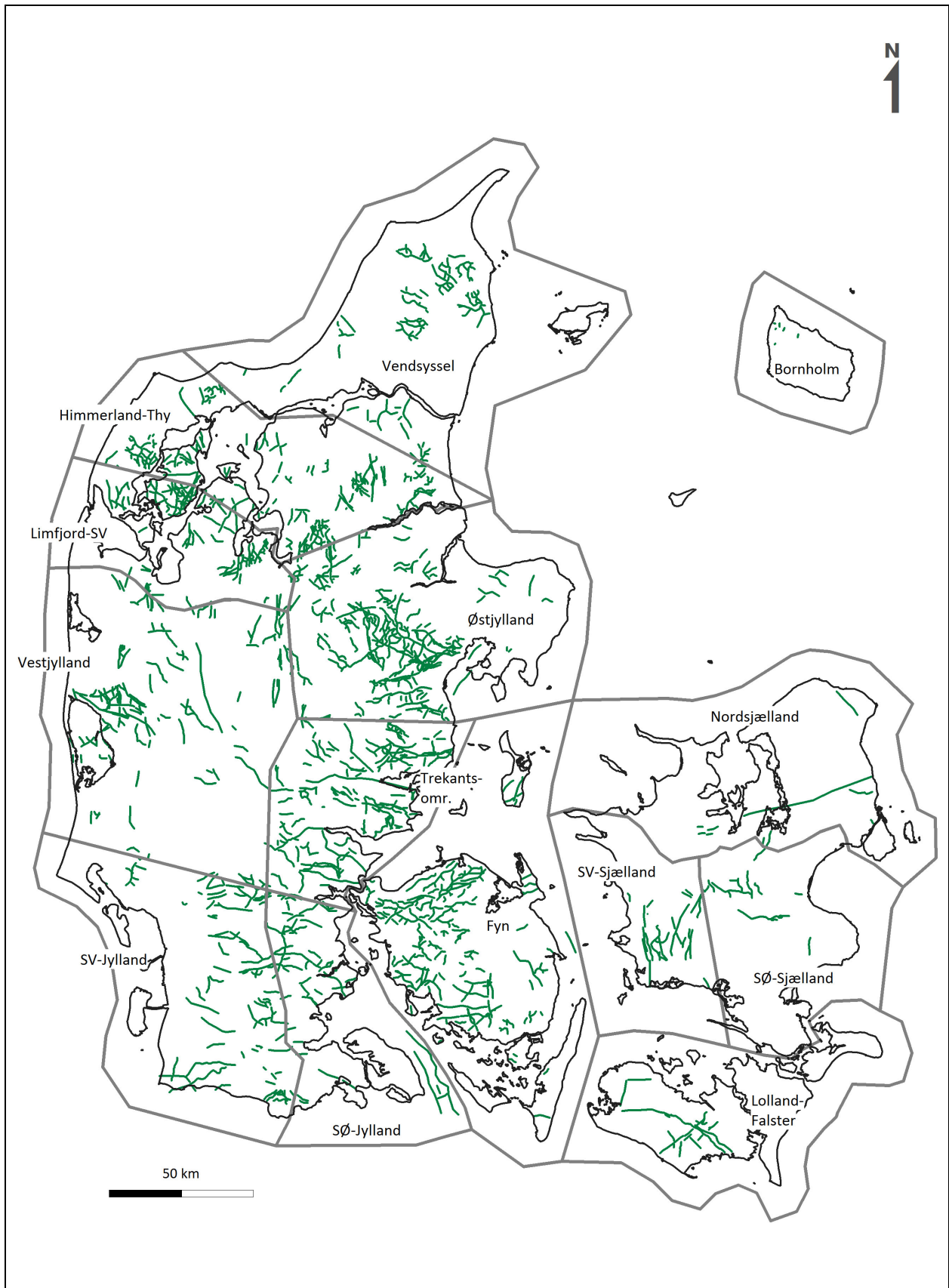
Fra kortlægningsprojektets start har det været tydeligt, at de begravede dale har haft foretrukne orienteringer i forskellige dele af landet, og at de tendenser, som kunne ses i starten af projektet blev forstærket efterhånden som nye data kom til. Indenfor de enkelte lokaliteter, har der typisk kunnet ses to – og i enkelte tilfælde flere – dominerende dalorienteringer. Nærtliggende lokaliteter kunne vise samme tendenser, men ofte har der kunnet ses store forskelle i de foretrukne dalorienteringer lokaliteterne i mellem. Analyser af dalorienteringerne har været et fast tema i de tidligere udarbejdede dalerapporter.

Mønstrene i dalenes foretrukne orienteringer kan have forskellige årsager, men undersøgelserne tyder på, at der er tale om en kompleks dannelseshistorie, hvor forskellige faktorer har været i spil, og hvor udfaldet i høj grad har været dikteret af, hvor – rent geografisk – daldannelsen skete, og på hvilket tidspunkt. I de tidligere dal-rapporter er dalenes dannelseshistorie diskuteret – herunder de faktorer, som sandsynligvis har været afgørende for det billede af dalerosioner, som vi ser i dag. Et grundigt kendskab til de begravede dales foretrukne orienteringer er afgørende for at kunne forudsige forekomsten af dale i nye kortlægningsområder, men bestemt ligeså afgørende for forståelsen af dalenes dannelse.

### **4.1.6.2 Datagrundlag**

Datagrundlaget for analyserne af dalenes orienteringer er de kortlagte dales centerlinjer (Figur 4.8). For alle centerlinjer er der foretaget en beregning af længde og vinkel regnet fra nord.

For at analysere de forskellige foretrukne orienteringer af dalene er der sket en opdeling af Danmark i 14 delområder, som det ses i Figur 4.8. Disse delområder er en opdateret version af de tidligere anvendte delområder. Inddelingen er dels ren geografisk, dels baseret på topografi og geologi. Eksempelvis udgør Hovedopholdslinjen grænsen mellem områderne i det midt- og sønderjyske, mens Fyn og Lolland-Falster er rene geografiske opdelinger. Der er gennem kortlægningens forløb eksperimenteret med flere forskellige områdeinddelinger baseret på forskellige geografiske, topografiske eller geologiske faktorer, men de valgte delområder har vist sig bedst at afspejle forskellene i de foretrukne orienteringer.



Figur 4.8 Kortlagte begravede dale illustreret ved dalenes centerlinjer (grøn streg).

I forhold til 2009-opdateringen (Jørgensen & Sandersen 2009a) er der sket følgende justeringer i delområderne:

- Delområdet Vendsyssel er udvidet længere mod syd for at inkludere området over Sorgenfrei-Tornquist Zonen (STZ, Vejbæk & Britze 1994).
- Delområdet Himmerland er slået sammen med Thy, som udgjorde den nordlige del af det tidligere "NV-Jylland"-delområde, for at lade området ligge parallelt med STZ.
- Den sydlige del af det tidligere "NV-Jylland"-delområde hedder nu "Limfjord-SV".
- Midt- og Sønderjylland var tidligere opdelt i to delområder, men dette er nu opsplittet i 4 delområder i håb om at kunne udskille flere detaljer end tidligere i det opdaterede og større datasæt.
- Delområdet Nordsjælland udgør tre tidligere delområder, som er lagt sammen grundet en begrænset datamængde.
- Lolland, Falster og Møn er slået sammen til et delområde grundet en begrænset datamængde.
- Delområderne på Bornholm er slået sammen til et delområde grundet en begrænset datamængde.

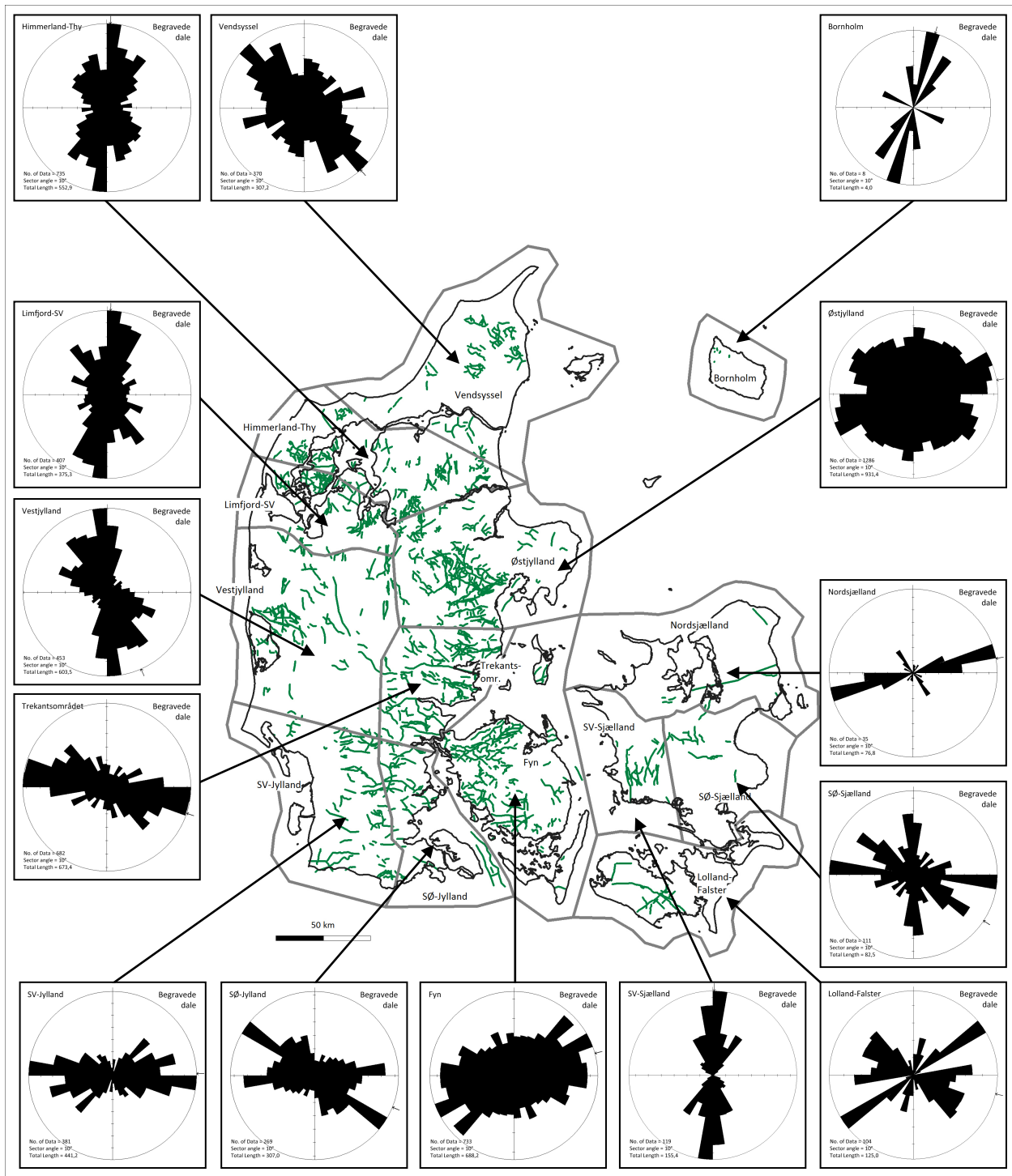
Centerlinje-vektorerne er efterfølgende plottet i rosetdiagrammer for hvert af disse delområder, som det ses i Figur 4.9. Der er ikke udført avanceret statistik på data, da der ofte er tale om bi- eller polymodale datasæt, hvor udtræk af individuelle populationer vil være meget tidskrævende og ligge udenfor de umiddelbare rammer for projektet. I stedet gennemgås rosetdiagrammerne i det følgende kvalitativt, hvor fokus ligger på beskrivelser af de overordnede trends i data. Udførelse af avanceret statistik vil dog være en god måde at kunne uddrage flere detaljer fra datasættet og derved opnå en mere sikker bestemmelse af gennemsnitsværdierne for de enkelte foretrukne orienteringer og den tilhørende statistiske usikkerhed.

#### 4.1.6.3 Analyse af dal-orienteringer

På trods af, at der er tilkommet mere end 50 % dal-kilometer i forhold til sidste opdatering, er billedet af de foretrukne orienteringer ikke nævneværdigt ændret, men det større datasæt og de justerede delområder giver stedvist en mere tydelig opdeling.

I delområde *Vendsyssel* er der en dominerende dal-orientering omkring NV-SØ, som stort set er uændret i forhold til tidligere, på trods af at området er udvidet mod syd og sydvest. Denne orientering kan genfindes i delområderne *Himmerland-Thy* og i *Limfjord-SV*, men her er den helt dominerende orientering N-S til NNØ-SSV. Det er således bemærkelsesværdigt, at der sker et skift i den dominerende dalorientering på mellem 45 og 60 grader, når man bevæger sig fra Vendsyssel og sydover.

Hvis vi ser på den vestlige del af Jylland viser delområdet *Vestjylland* et billede, som stort set er det samme som for *Limfjord-SV* og *Himmerland-Thy*, nemlig en dominerende orientering omkring N-S og mindre dominerende orienteringer omkring NV-SØ. Men hvis vi går fra delområde *Vestjylland* og mod syd til delområde *SV-Jylland*, sker der et ganske dramatisk skift; den dominerende orientering drejer fra NNØ-SSV til Ø-V, hvilket er et skift på omkring 90 grader. Begravede dale med N-S orientering er stort set fraværende i SV-Jylland.



**Figur 4.9 Orienteringer af begravede dale. Rosetdiagrammerne viser den summerede dal-længde (centerlinjer) indenfor 10-graders intervaller. Den totale længde er angivet i km.**

Generelt for den vestlige del af Jylland gælder det således, at dalene skifter fra N-S orientering i nord og til en Ø-V orientering i syd.

Sammenligner man *SV-Jylland* med *SØ-Jylland*, ser man, at der i *SØ-Jylland* også findes en NV-SØ orientering. Dette billede ses også på nogenlunde samme vis i *Trekantområdet*.



For delområde *Østjyllands* vedkommende ses et noget utydeligt billede, hvor der forekommer at være flere foretrukne orienteringer. Den mest dominerende er VSV-ØNØ og tilsyneladende kan der også udpeges en ca. VNV-ØSØ orientering. Ser man nærmere på dalene indenfor området ses det, at der lokalt er tale om tydeligt foretrukne dalorienteringer, men når området betragtes samlet, udvises de klare tendenser. Det er bemærkelsesværdigt, at der er tydelig forskel mellem delområde *Østjylland* og alle omkringliggende delområder – på nær måske delområde *Fyn*, hvor VSV-ØNØ-orienteringen dominerer. På *Fyn* ser det også ud til, at der er en foretrukken orientering omkring Ø-V, som også kunne findes i *SV- og SØ-Jylland*.

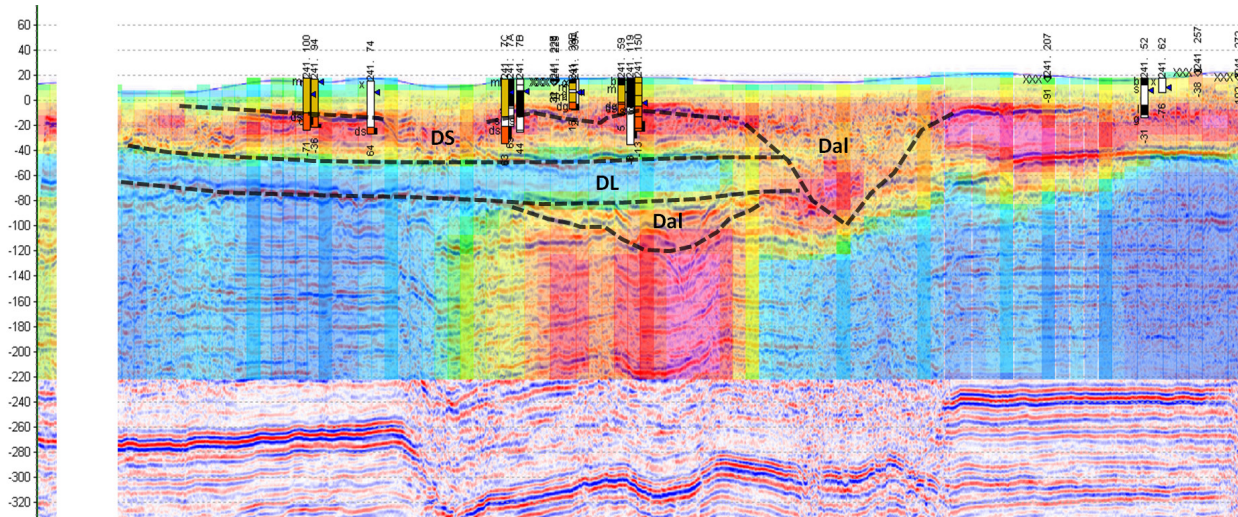
*Nordsjælland* er domineret af Ø-V orienteringer, *SV-Sjælland* af N-S orienteringer, mens *SØ-Sjælland* synes at være en blanding af de to orienteringer - samt en orientering omkring NV-SØ. *Lolland-Falster* har to foretrukne orienteringer, Ø-V til NV-SØ og SV-NØ, hvor sidstnævnte ikke kan genfindes på Sjælland. Denne orientering ser ud til at svare til den dominerende orientering på *Fyn*. Det skal dog bemærkes, at datasættets størrelse på Sjælland er meget begrænset, og rosetterne skal derfor tages med forbehold. For Bornholm gælder også, at datasættet er meget lille; der ses en foretrukken orientering på NNØ-SSV.

Sammenfattende kan det siges, at der i hovedparten af delområderne ses 1-2 ganske markante foretrukne orienteringer og i et par områder tre eller måske flere foretrukne orienteringer. På tværs af flere delområder ses ofte helt eller delvist sammenfald mellem de foretrukne orienteringer, men det er tydeligt, at der på tværs af delområderne stedvist er tale om endog meget store forskelle i orienteringerne. Overordnet er det tydeligt, at det ikke er tilfældigheder, der styrer hvor dannelsen af de begravede dale sker, og hvilken orientering de får.

#### **4.1.7 Dal-generationer**

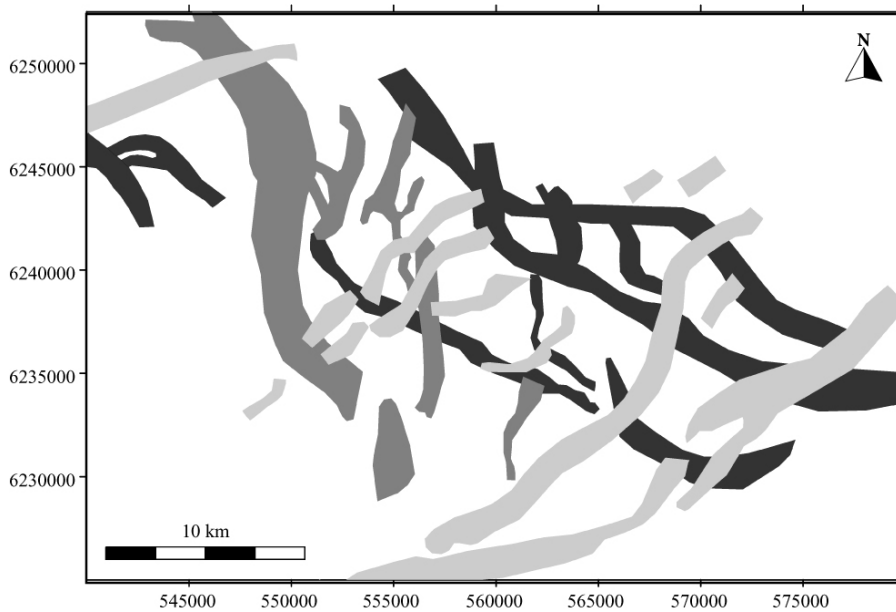
Ved mange lokaliteter er der fundet flere forskellige generationer af begravede dale. De enkelte generationer er ikke dannet samtidigt, og det ser heller ikke ud til, at dalene indenfor hver generation nødvendigvis er dannet ved én og samme erosionshændelse. Dalene har forskellige orienteringer og findes i forskellige dybder, og det betyder derfor, at de kan krydse hinanden i forskellige niveauer. Dalene forekommer ofte i netværk bestående af forskellige krydsende generationer.

På en række af de kortlagte lokaliteter er det muligt at se, hvilke dalgenerationer, der blev dannet først, og hvilke der blev dannet sidst. Dette kan i nogle tilfælde tydeligt ses i seismik, hvor dalene forekommer i adskilte stratigrafiske niveauer (se Figur 4.10). I TEM data kan sådanne relative aldersrelationer mellem dalene ses, hvis dalene f.eks. har 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 (som det ses for seismiske data i Figur 4.10). Den højest beliggende dal er her den yngste.

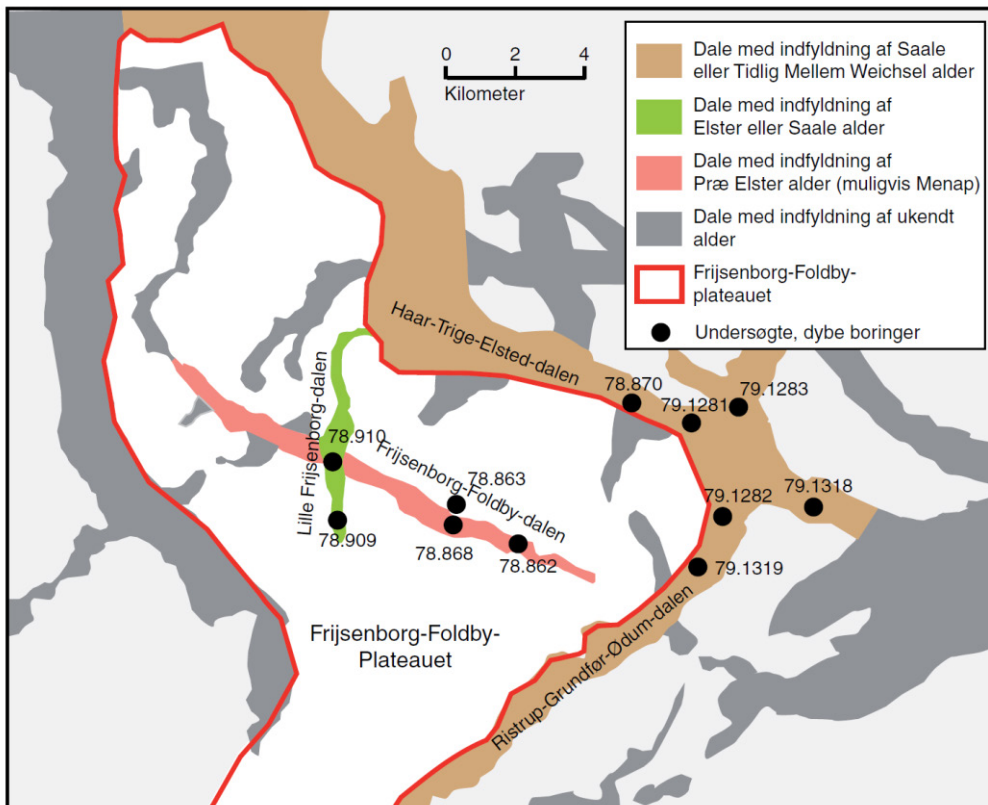


**Figur 4.10** Eksempel på begravede dale adskilt af et lag af smeltevandsler. Dalene hører derfor til to forskellige generationer. Eksemplet er fra NYK1 Nakskov-Nysted.

I Århus-området findes der eksempelvis mindst tre generationer af begravede dale, som er udpeget på baggrund af TEM-data (Figur 4.11); SØ-NV-generationen er ældre end NØ-SV-generationen, og her i mellem ses en N-S-generation. Genbrug af dalstrøg har dog højst sandsynligt været tilfældet.



**Figur 4.11:** Tre generationer af begravede dale nordvest for Århus. Mørke dale er ældst; lyse dale er yngst. Fra Jørgensen & Sandersen 2006.

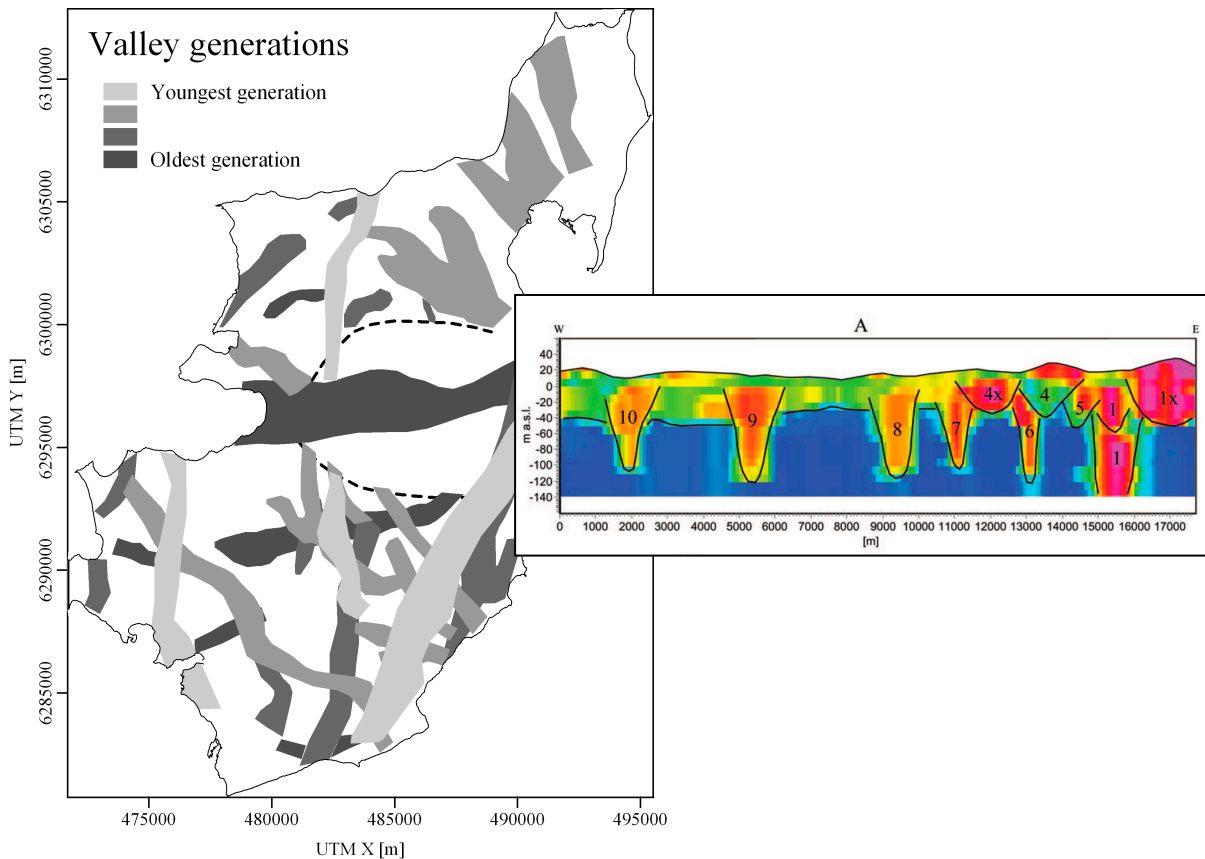


**Figur 4.12: Datering af tre dal-generationers fyld på baggrund af fingruspetrografi NV for Århus. Fra Sørensen et al. 2006.**

Nogle af dalene nordvest for Århus er af Sørensen et al. (2006) dateret ved hjælp af fingruspetrografi (Figur 4.12). Forfatterne bemærker, at der godt kan være forskel på, hvornår dalerosionen er dannet og alderen på dalfyldet, da genbrug af daltraceén kan have fundet sted.

På Mors (Figur 4.13) er udpeget 4 generationer af begravede dale. Aldersforholdene mellem disse kan i enkelte tilfælde erkendes, hvor dalene skærer hinandens fyld. Heraf tolkes det, at ØNØ-VSV generationen er ældst. Denne efterfølges af en N-S-generation, som senere er blevet eroderet af SØ-NV-generationen. Øverst finder man endnu en N-S-generation, som i dette område repræsenteres af en dal med lavmodstandslag indeholdende marint Holstein. Ud fra denne tolkning, vil samtlige dale i området være ældre end Holstein Interglacial (se lokalitet AAL27 Midtmors-Vils).

I Midtjylland ses på lokaliteterne Thorning (AAR45), Bording (RIN15), Avlum-Snebjerg (RIN1), Klejtrup (RIN40) og Hvorslev (AAR31) brede og dybe N-S-gående begravede dale, som sandsynligvis tilhører samme generation. Hvis dette er tilfældet, skiller denne generation sig ud fra de andre generationer af dale i området ved at bestå af brede og dybe begravede dale. Denne dalgeneration blev beskrevet under analyserne af de begravede dales orienteringer (afsnit 4.1.6) og udmærkede sig ved at være dominerende i Vest- og NV-Jylland. Da N-S dalene er dominerende på begge sider af Hovedopholdslinjen, ofte er helt begravede, og da der i nogle af dalene er fundet interglaciale aflejringer (f.eks. AAR40 Klejtrup dateret til Holstein Interglacial), peger det på, at N-S generationen er gammel.



**Figur 4.13: Forskellige dalgenerationer på Mors. Profiet til højre er beliggende V-Ø på den sydlige del af øen. Fra Jørgensen & Sandersen 2005.**

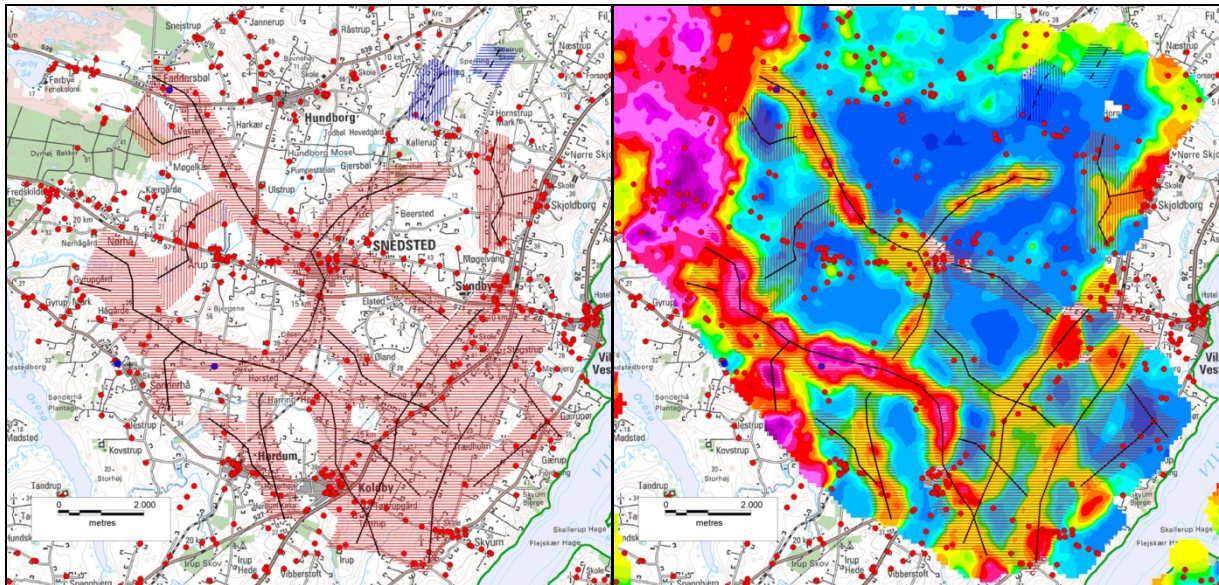
Ved lokalitet AAL43 Nr. Vorupør – Snedsted er der kortlagt et tæt netværk af begravede (se Figur 4.14). Dalene er overvejende helt begravede og er fra ca. 600 m og op til 1½ km brede, men nogle dale ligger så tæt, at de reelt udgør et samlet dalstrøg på 2½-3 kilometers bredde. Dalenes dybde når ned til kote -100 m; stedvist sandsynligvis mere. Dalenes orienteringer er overvejende SØ-NV eller NØ-SV, og i flere tilfælde ses det tydeligt i kryds mellem to dale, at dalenes aldre er forskellige; eksempelvis syd for Snedsted, hvor en SØ-NV orienteret dal skærer en NØ-SV orienteret dal (se Figur 4.14). Førstnævnte dale er derfor yngst og sidstnævnte ældst. Lignende eksempler kan ses i andre koteintervaller. Modstandskontrasterne mellem de skærende dale skyldes litologiske forskelle i dalfyldet.

Dalgenerationerne kan tydeligt ses i rosetterne, som er udarbejdet på baggrund af dalenes orienteringer i de enkelte delområder (se afsnit 4.1.6).

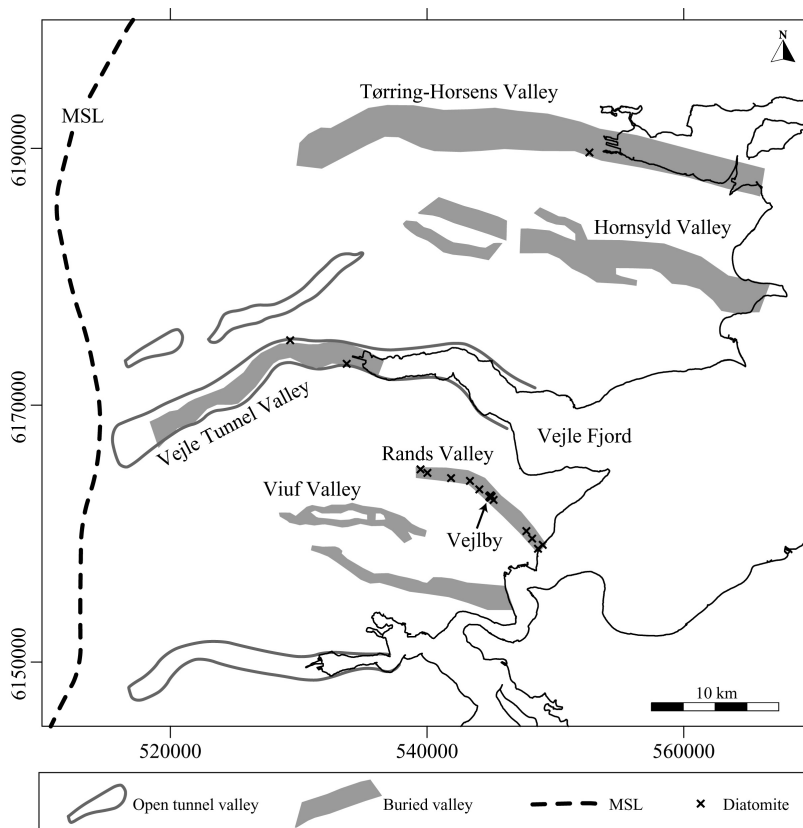
Alene på baggrund af de forskellige populationer i rosetterne kan det ses, at der findes flere generationer af begravede dale over det meste af landet. Antallet af generationer er dog sandsynligvis meget højere end det antal, som umiddelbart kan uddrages af kortlægningen, da de begravede dale i meget høj grad har været udsat for genbrug/reaktivering. Eksisterende dalstrøg er ved efterfølgende isfremstød brugt som afløbsvej for smeltevand under isen, og derved kan gamle dale atter blive eroderet og udfyldt med yngre aflejringer. Et eksempel på dette er en række markante dale i Kolding-Vejle-Horsens-området (Figur 4.15). Her findes Rands-dalen, som indeholder nøglelokaliteten for diatomé-gytje fra Holstein interglacial/tidlig Saale. Forlængelsen mod NV og V under Vejlbj viser også diatomégytje i flere borer. Flere andre begravede dale i regionen viser sammenlignelige



dalorienteringer (markeret med grå farve på Figur 4.15), og fund af diatomegytje i flere andre dale peger også på, at der er tale om samme dalgeneration, som nødvendigvis må være ældre end Holstein. Men da flere af dalene i området også er repræsenteret ved markante tunneldale i det nuværende landskab (se Figur 4.15; "open tunnel valleys"), peger det på, at nogle af de gamle dale er blevet genbrugt – i det mindste i Weichsel.



**Figur 4.14: Lokaltet AAL43 Nr. Vorupør-Snedsted.** Til venstre: Oversigtskort med signaturer for de begravede dale. Til højre: TEM middelmodstandskort fra kote -25 til -30 m.



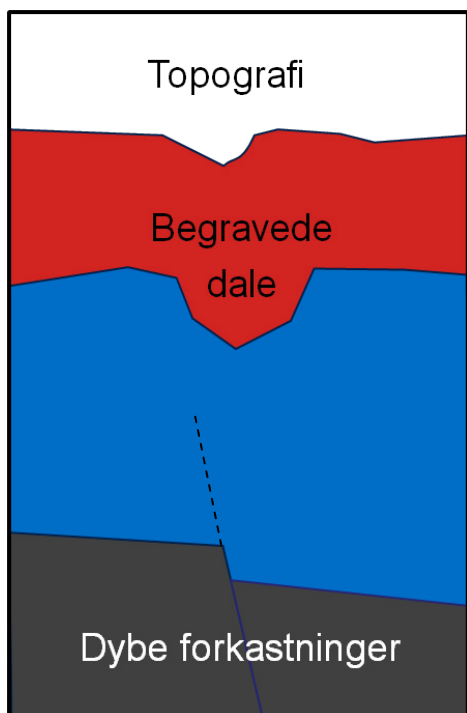
**Figur 4.15: Et eksempel på genbrug af ældre dalforløb.** Se tekst. Fra Jørgensen & Sandersen 2006.

## 4.2 Sammenligning af lineament-orienteringer

Ved at sammenligne foretrukne orienteringer af de kortlagte begravede dale med orienteringer af topografiske dale i det nuværende terræn og forkastninger i den dybe del af undergrunden, vil eventuelle sammenhænge kunne påpeges. Hvis der kan påvises et sammenfald mellem orienteringerne af topografiske dale og begravede dale, kan det pege på fælles faktorer, der har påvirket erosionen. Ses der sammenfald mellem dale – såvel topografiske som begravede – og forkastninger i undergrunden, kan det være et tegn på, at daldannelsen igennem tiden har været påvirket af strukturelle svaghedszoner eller egentlige bevægelser i de dybereliggende dele af undergrunden (Figur 4.16). Disse sammenhænge kan hjælpe med til udredningen af dannelsen af begravede dale i det danske område, og på den måde øge vort kendskab til dalenes forekomst i den danske undergrund.

Det er derfor – i lighed med de foregående opdateringer – valgt at udføre analyser af foretrukne orienteringer for såvel de dybtliggende forkastninger som for de topografiske dale i det danske område.

Vektoriseringen af de topografiske dale er sket i 3 tempi: Jylland i 1998 (Sandersen & Jørgensen 1998), Fyn i 2002 (Sandersen & Jørgensen 2002) og for Sjælland, Lolland-Falster og Bornholm (Jørgensen & Sandersen 2009a). Vektoriseringen er sket ved at indlægge vektorer i bunden af erosionsdale og lavninger i det nuværende terræn, som de fremstår på topografiske KMS-kort i 1:100.000 (Jørgensen & Sandersen 2000) og i Top10-DK (Jørgensen & Sandersen 2009a). De vektoriserede topografiske dale kan ses på Figur 4.17 og Figur 4.18, hvorpå rosetdiagrammerne for delområderne også er vist. Der er ikke sket ændringer af de indtegnede vektorer i forhold til den seneste opdatering.



For forkastningernes vedkommende er der ved de foregående opdateringer anvendt digitaliseringer af forkastningerne ved Top præ-Zechstein, som de er kortlagt af Vejrbæk og Britze (1994). Disse forkastninger repræsenterer de dybeste forkastninger, som er kortlagt i det danske område. Rationalet bag anvendelse af disse i dalekortlægningens vurderinger har været, at hvis der kunne ses en sammenhæng mellem orienteringerne for disse meget dybe strukturer og orienteringerne for de begravede/topografiske dale, ville eventuelle korrelationer kunne tildeles mere vægt end hvis der var tale om mere overfladenære strukturer. Fordi sammenhænge mellem de tre datasæt efter flere års kortlægning synes at være blevet stadig tydeligere, er det i denne opdatering besluttet at inkludere kortlagte forkastninger længere oppe i lagserien.

**Figur 4.16: Sammenligninger af orienteringer (se tekst).**

Forkastninger fra følgende kortlægninger indgår derfor nu i datasættet for forkastningerne:

- Top Kalk (Ter-Borch 1991)
- Basis Kalk (Japsen & Langtofte 1991a)
- Top Trias (Japsen & Langtofte 1991b)
- Top Zechstein (Britze & Japsen 1991)
- Top præ-Zechstein (Vejrbæk & Britze 1994)

Disse forkastninger er vist på Figur 4.19, hvor der dog er sket sletning af vektorer for forkastninger, som vurderes at krydse mere end en af fladerne – det vil sige, hvor den samme forkastning åbenlyst er repræsenteret i flere flader, er der kun medtaget én samlet forkastningsvektor. For fladerne Basis Kalk, Top Trias og Top Zechstein dækker kortlægningen kun den vestlige/nordvestlige del af Danmark. Det skal understreges, at der er tale om digitalisering af kortmateriale i skala 1:400.000-1:750.000, hvorfor en vis usikkerhed i rosetdiagrammerne må påregnes.

#### 4.2.1 Betragtninger over datasættenes forskellighed

For at undersøge nærmere, om der er årsagssammenhænge i de foretrukne orienteringer for de tre datasæt, er det nødvendigt at se på variationerne i de analyserede lineamenter for Danmark som helhed såvel som for delområderne indbyrdes. Ved sammenligninger af de forskellige datasæt er der forskellige forhold, der indledningsvist skal tages i betragtning:

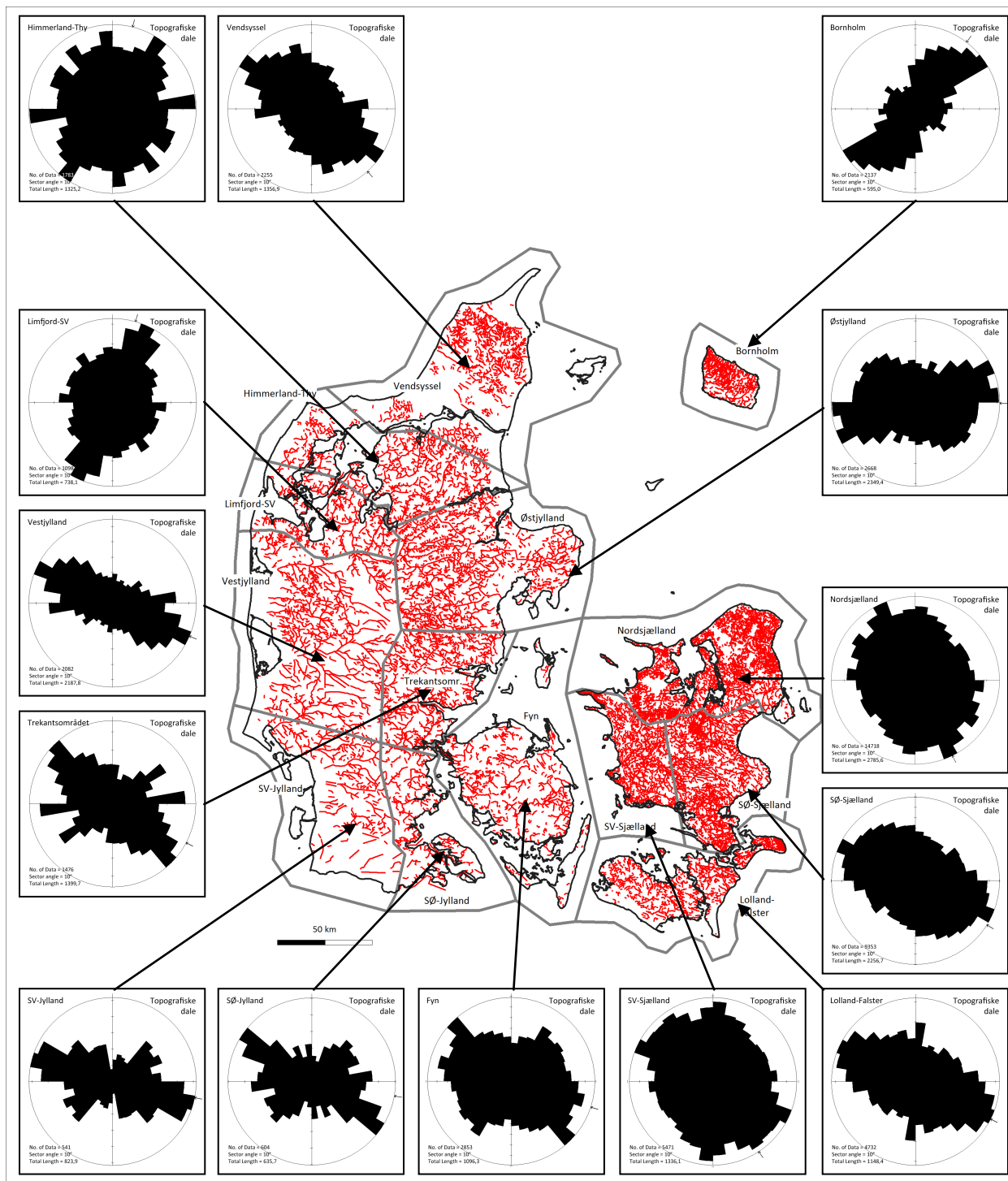
- De tre lineament-datasæts oprindelse er meget forskellig.
- Datasættene repræsenterer orienteringer af geologiske elementer, som er meget forskellige.
- Datasættene er kortlagt i forskellig skala, hvilket betyder, at f.eks. forkastningsdatasættet kun omfatter lineamenter, som mindst er ca. 5 km lange, mens datasættet for de topografiske dale inkluderer erosionsdale ned til 200-300 m. De begravede dales lineamenter repræsenterer typisk dale, som er mere end 1 km lange.
- Det har stor betydning, i hvilken skala data er genereret. Dette er tidligere eksemplificeret ved detailundersøgelser af topografiske dale i forbindelse med opdateringen fra 2000 (Jørgensen & Sandersen 2000). Her kunne der ses variationer i de foretrukne orienteringer for de topografiske dale afhængig af, hvilken skala af topografiske kort, der blev anvendt. Eksempelvis kunne et tydeligt mønster udviskes eller det indbyrdes størrelsesforhold mellem de foretrukne orienteringer ændres, hvis skalaen blev ændret fra 1:100.000 til 1:25.000. Hvis der anvendes en stor skala (f.eks. 1:25.000 i stedet for 1:100.000), vil der, i områder med store topografiske variationer, typisk kunne være tale om mange, korte sidedale til de større ådale, og disse vil kunne give en dominerende dalorientering vinkelret på orienteringen for områdets store dale. Lignende resultater og konklusioner er f.eks. nået af Scheiber et al. 2015 fra analyser af LiDAR-data i Norge.
- Der er ved vektoriseringen af de topografiske dale i dale-projektet anvendt samme kortskaala (1:100.000), men for Jylland og Fyns vedkommende er baggrundsmaterialet topografiske kort, og for Sjælland og øernes vedkommende er det kurvematerialet fra Top10-DK, hvilket vil give en vis forskel i resultatet

Alle datasæt er – uanset karakter – behandlet ens og plottet i samme type rosetdiagram med samme egenskaber. På grund af datasættenes forskelligartethed er det kun de overordnede trends, som beskrives i det følgende, og de foretrukne orienteringer vil derfor kun referere til verdenshjørner og ikke til specifikke middelværdier målt i vinkler.

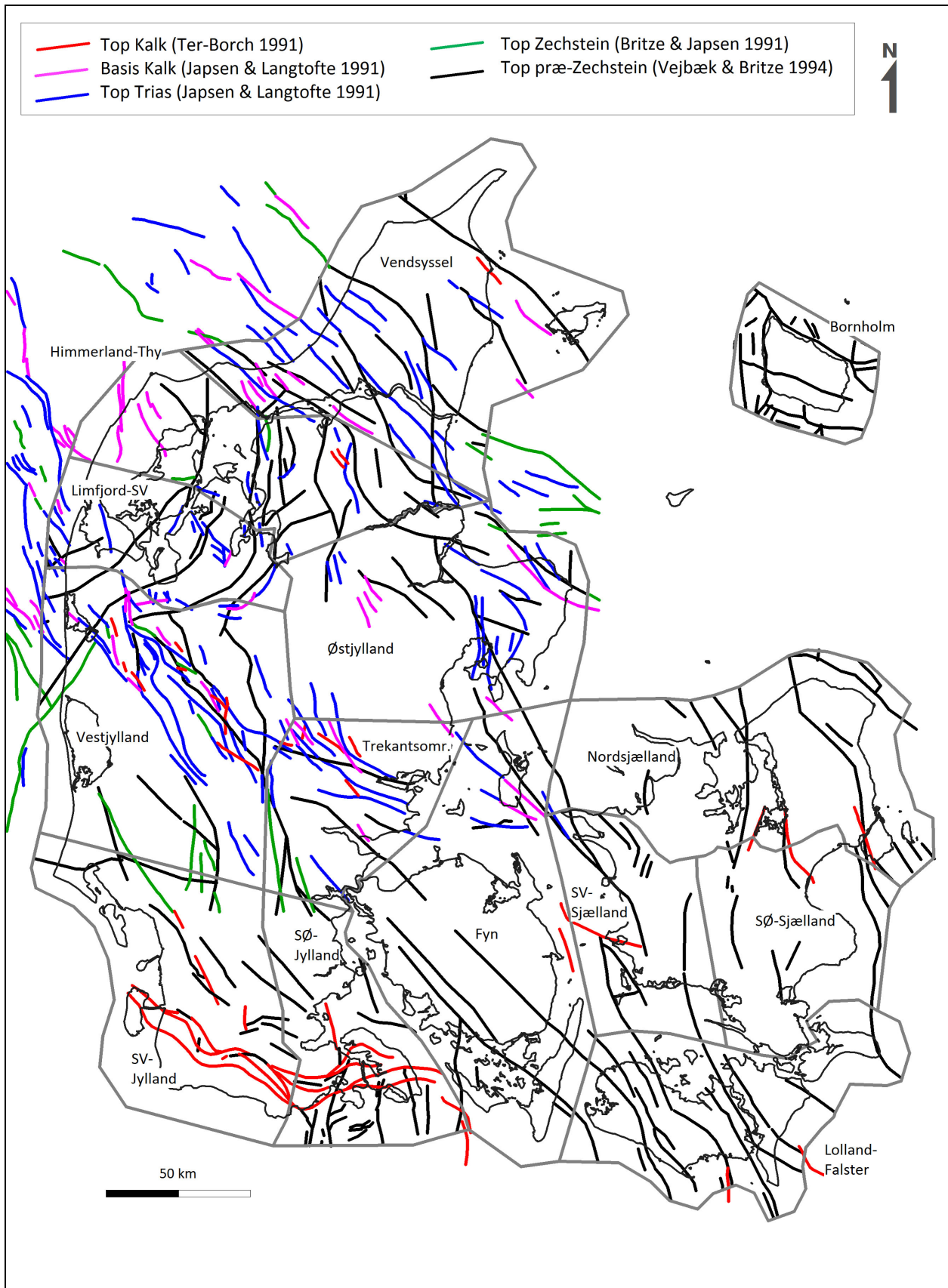


Figur 4.17 Centerlinjer for topografiske dale (kortlagt i 1:100.000)

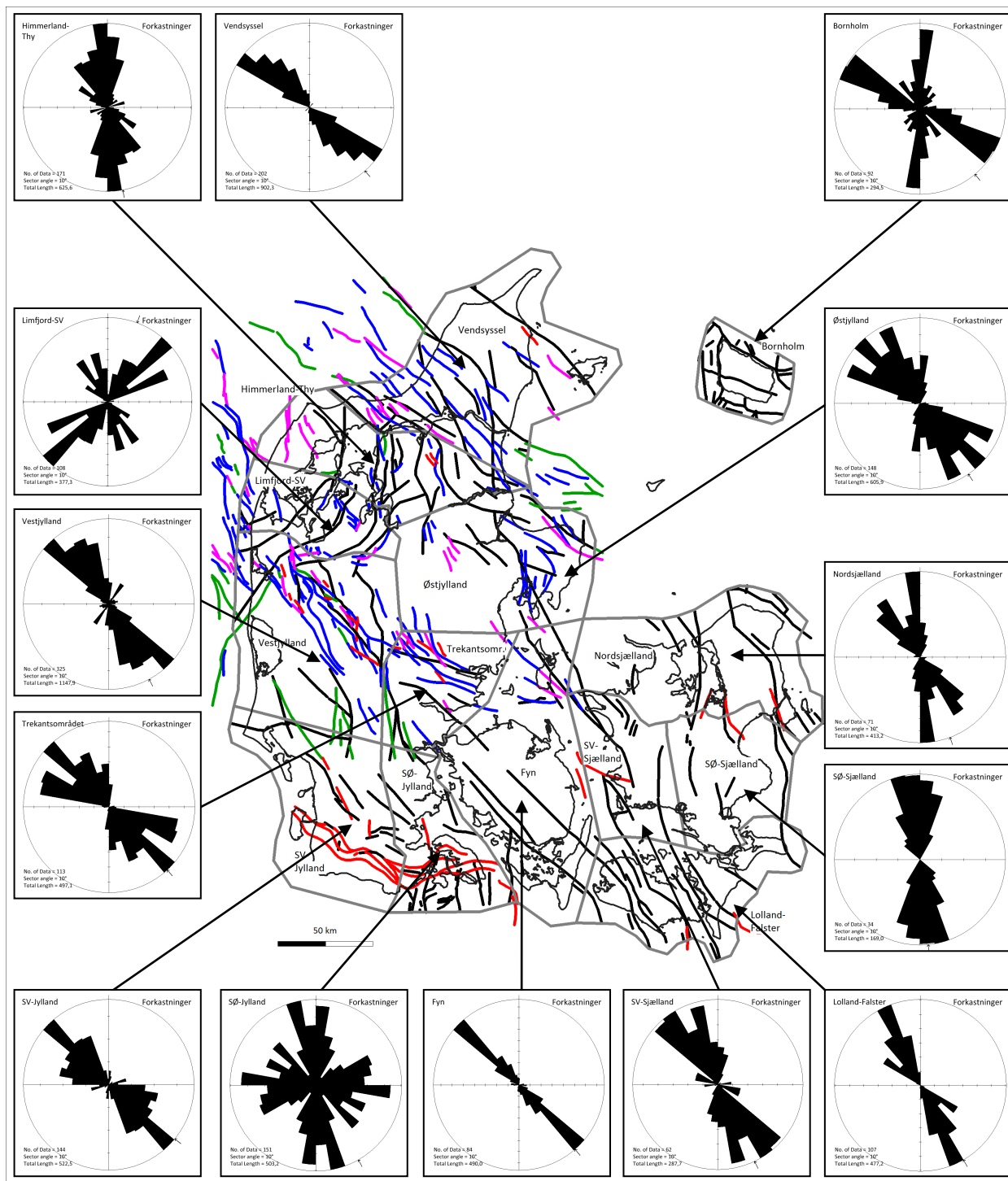




Figur 4.18 Orienteringer af topografiske dale



Figur 4.19 Forkastninger kortlagt i den dybe del af lagserien



Figur 4.20 Orienteringer af dybe forkastninger

## 4.2.2 Topografiske dale

For de topografiske dales vedkommende viser rosetterne et stort set uændret billede i forhold til opdateringen fra 2009 på trods af ændringerne af delområderne:

Der ses en markant forskel mellem *Vendsyssel* og *Himmerland-Thy/Limfjord-SV*. *Vendsyssel* har en entydig dominans af NV-SØ orienteringer, *Limfjord-SV* har en tydelig NNØ-SSV dominans, og *Himmerland-Thy* – geografisk set midt imellem - synes at have en blanding af de to orienteringer. Ser man derimod på *Limfjord-SV* og delområde *Vestjylland* lige mod syd, ses et ca. 90 graders skift i de dominerende orienteringer. I *Vestjylland* er der en meget entydig VNV-ØSØ orientering, som også findes i delområde *SV-Jylland*, men i *SV-Jylland* ses også en mindre dominerende orientering omkring NØ-SV. Ser man på den østlige del af Jylland, er der store ligheder mellem *SØ-Jylland*, *Trekantområdet* og *Østjylland*. Her er der tale om de to dominerende orienteringer NV-SØ og VSV-ØNØ, hvor dog den indbyrdes dominans varierer. Rosetten for *Fyn* viser et noget uklart billede, men der er umiddelbart stor lighed med *SØ-Jylland*, *Trekantområdet* og *Østjylland*. Rosetterne for *Sjælland* og *øerne* er ikke så entydige, men der ses dog stor lighed mellem *SV-Sjælland* og *Nordsjælland*, hvor der er overvægt af N-S orienteringer, mens *SØ-Sjælland* og *Lolland-Falster* viser samme VNV-ØSØ dominans. For *Bornholms* vedkommende dominerer orienteringer mellem N-S og NØ-SV.

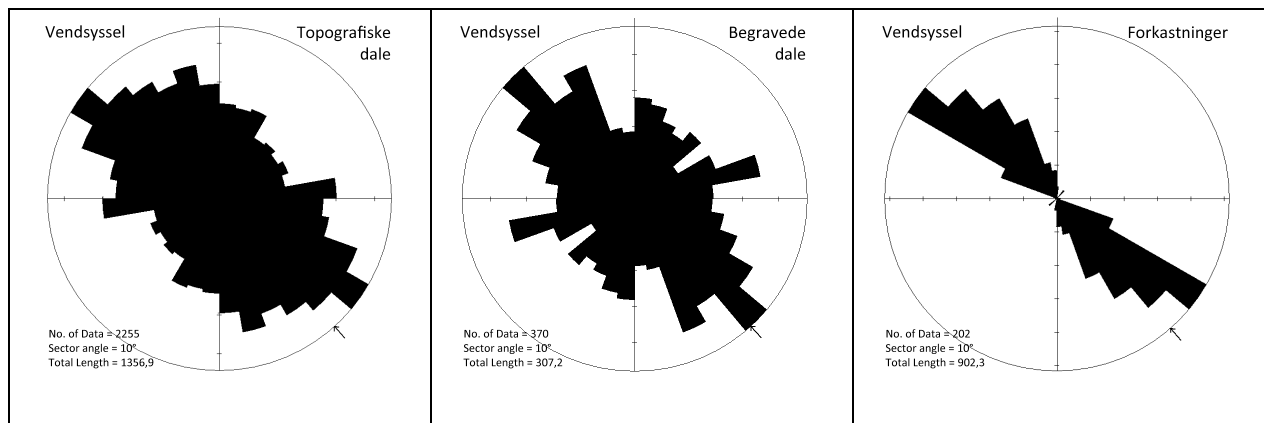
### 4.2.3 Forkastninger

For forkastningernes vedkommende er datasættets størrelse markant øget – i hvert fald for det jyske område (se Figur 4.20), og med de ændrede delområder betyder det visse ændringer i forhold til opdateringen i 2009:

I *Vendsyssel* ses det, at dominansen af NV-SØ orienteringer blevet mere entydig selvom delområdet er udvidet mod syd og vest, og går man sydpå, ses der et meget tydeligt 45 graders skift til N-S dominans i *Himmerland-Thy* delområdet. Delområdet *Limfjord-SV* mod sydvest viser derimod igen et ca. 45 graders skift fra N-S til dominans af NØ-SV. Ser man i stedet på *Vestjylland* og *SV-Jylland* skifter den dominerende orientering næsten 90 grader til omkring NV-SØ. Dette billede ses også i *Trekantområdet* og *Østjylland*, mens *SØ-Jylland* har dominans af henholdsvis N-S og V-Ø orienteringer, som ikke matcher med de omkringliggende delområder. *Fyn* viser en meget entydig NV-SØ orientering, som også kan ses i flere af de jyske delområder. For *SV-Sjælland* og *Lolland-Falster* ses samme NNV-SSØ orientering, mens *SØ-Sjælland* har en entydig N-S orientering. *Nordsjælland*, derimod, har både NNV-SSØ og N-S orienteringerne. *Bornholm* har to omtrent lige dominerende orienteringer; N-S og VNV-ØSØ/NV-SØ.

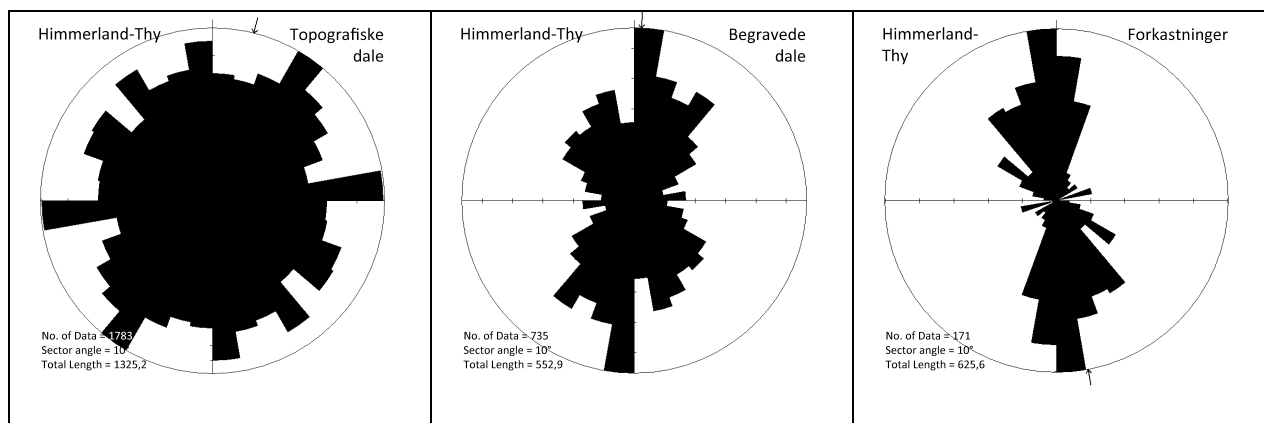
### 4.2.4 Sammenligninger af orienteringer i delområderne

I det følgende sammenlignes orienteringerne af vektorerne i de tre datasæt for hvert af delområderne.



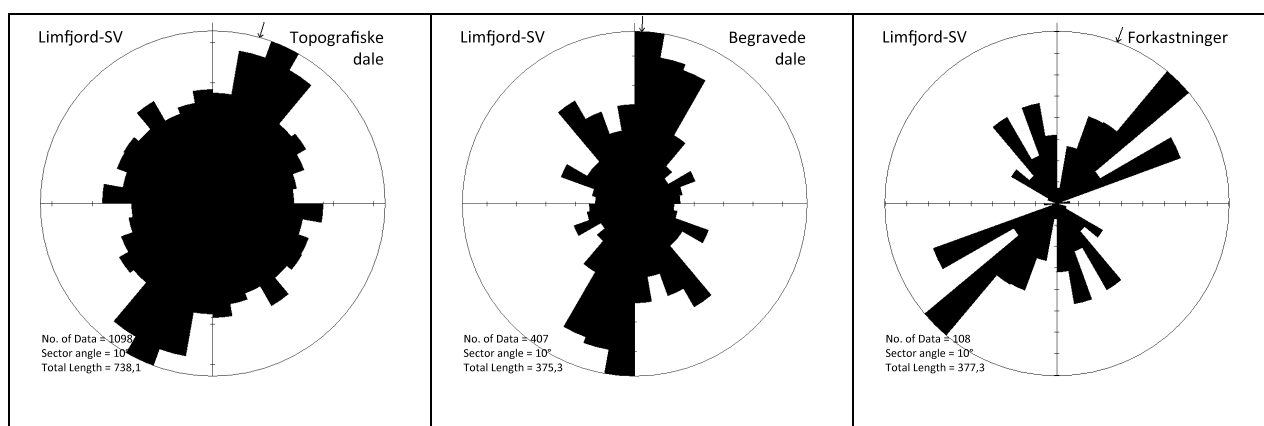
**Figur 4.21 Rosetter for Vendsyssel**

I *Vendsyssel* er NV-SØ den dominerende orientering for såvel de topografiske dale, de begravede dale som forkastningerne.



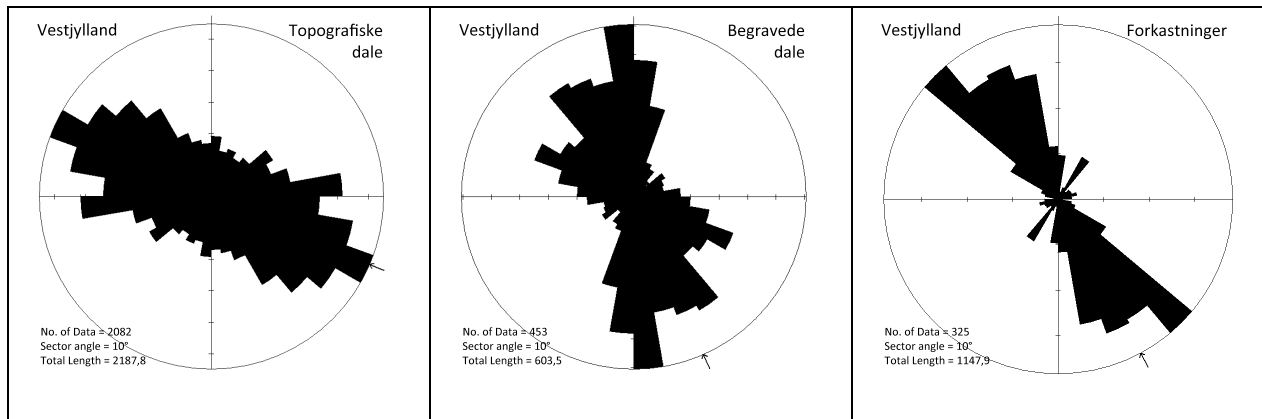
**Figur 4.22 Rosetter for Himmerland - Thy**

For *Himmerland-Thy* er der god overensstemmelse mellem de begravede dale og forkastningerne, som begge viser en dominans af orienteringer omkring N-S. Rosetten for de topografiske dale har også en svag N-S dominans, men billedet er mindre tydeligt. I forhold til *Vendsyssel* viser rosetterne for *Himmerland-Thy* således et generelt 45 graders skift i dominerende orienteringer.



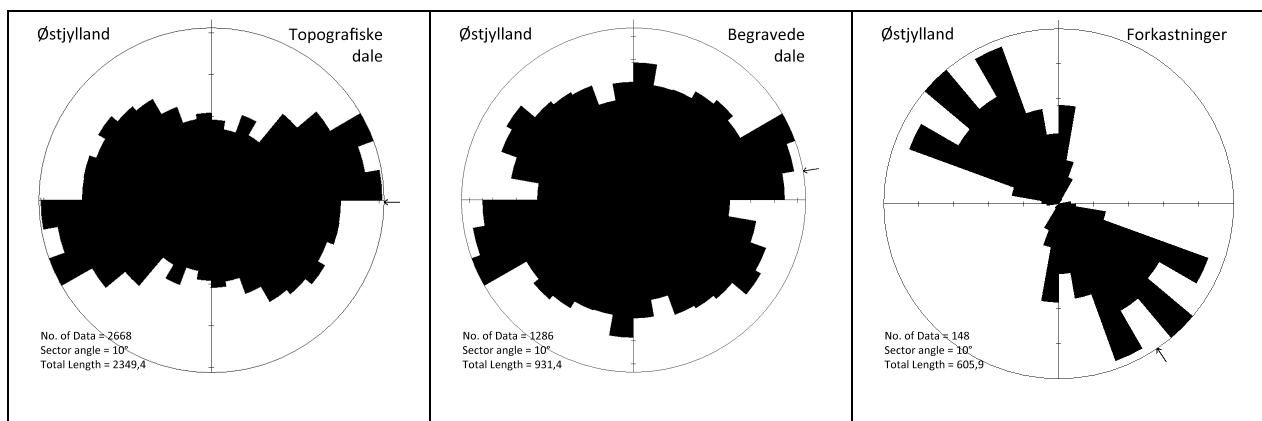
**Figur 4.23 Rosetter for Limfjord-SV**

I delområdet *Limfjord-SV* er der stor lighed mellem de topografiske dales og de begravede dales dominerende orienteringer, mens der for forkastningernes vedkommende ses en drejning af den dominerende orientering mod NØ-SV. Rosetten for de begravede dale har meget stor lighed med rosetten for de begravede dale i *Himmerland-Thy*. Dette er også i nogen grad gældende for de topografiske dale.



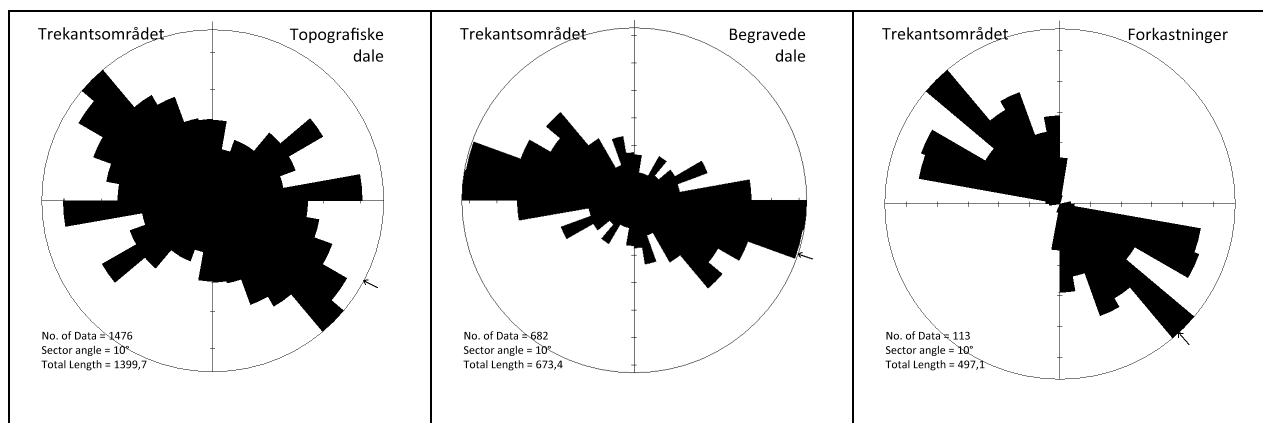
**Figur 4.24 Rosetter for Vestjylland**

Rosetten for de begravede dales orienteringer i *Vestjylland* viser tegn på tre populationer; VNV-ØSØ, ca. NV-SØ og N-S. VNV-ØSØ orienteringen kan genfindes i de topografiske dale og orienteringen omkring NV-SØ ses i forkastningerne, men N-S orienteringen ses kun for de begravede dale. Rosetten for de begravede dale har meget stor lighed med rosetten for de begravede dale i *Limfjord-SV*, mens rosetterne for de topografiske dale i de to delområder viser en ca. 90 graders forskel.



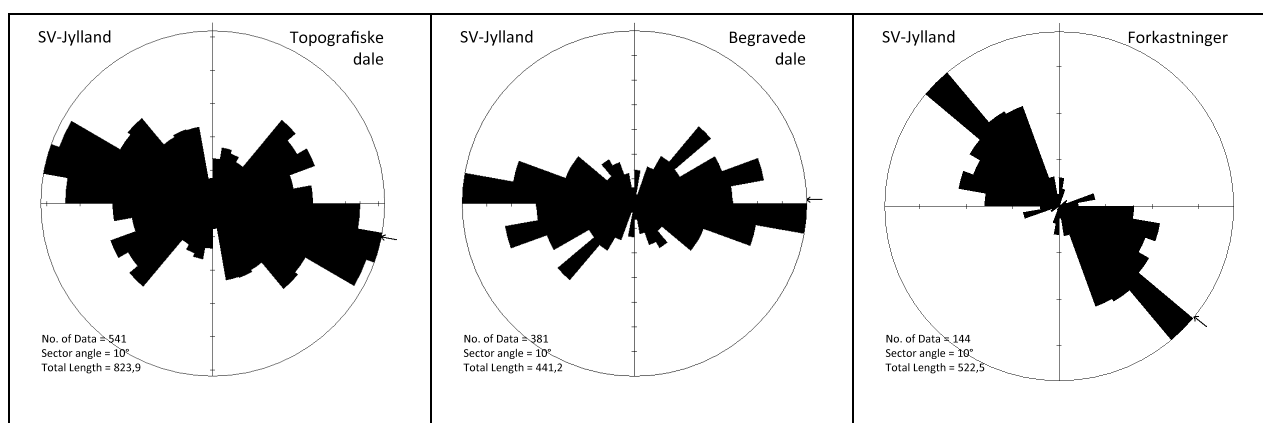
**Figur 4.25 Rosetter for Østjylland**

Rosetten for de topografiske dales orienteringer i delområde *Østjylland* viser tegn på to dominerende orienteringer: NV-SØ og VSV-ØNØ. De samme to orienteringer kan – dog mindre tydeligt – ses i de begravede dale. I rosetten for forkastningerne er det dog kun NV-SØ orienteringen, som kan ses; faktisk er VSV-ØNØ orienteringen stort set ikke-eksisterende. Ligeledes er orienteringer omkring N-S kun svagt repræsenteret.



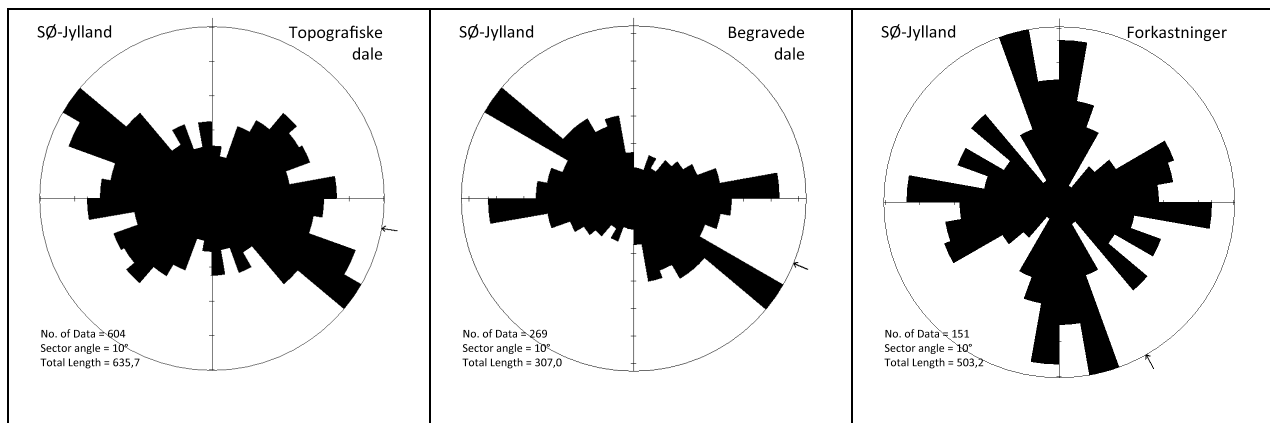
**Figur 4.26 Rosetter for Trekantområdet**

For *Trekantområdet* ses en foretrukken orientering omkring NV-SØ for såvel topografiske dale som forkastningerne, mens denne kun svagt ses i de begravede dale. De begravede dales foretrukne orientering er VNV-ØSØ, hvilket er en skæv vinkel i forhold til såvel forkastninger som topografiske dale. Rosetterne for *Trekantområdet* har visse ligheder med rosetten for *Østjylland*; de topografiske dale viser samme orienteringer, men med forskellig dominans, og forkastningerne viser stort set samme billede. Rosetten for de begravede dale i *Trekantområdet* viser dog en VNV-ØSØ dominans, som ikke kan genfindes i *Østjylland*.



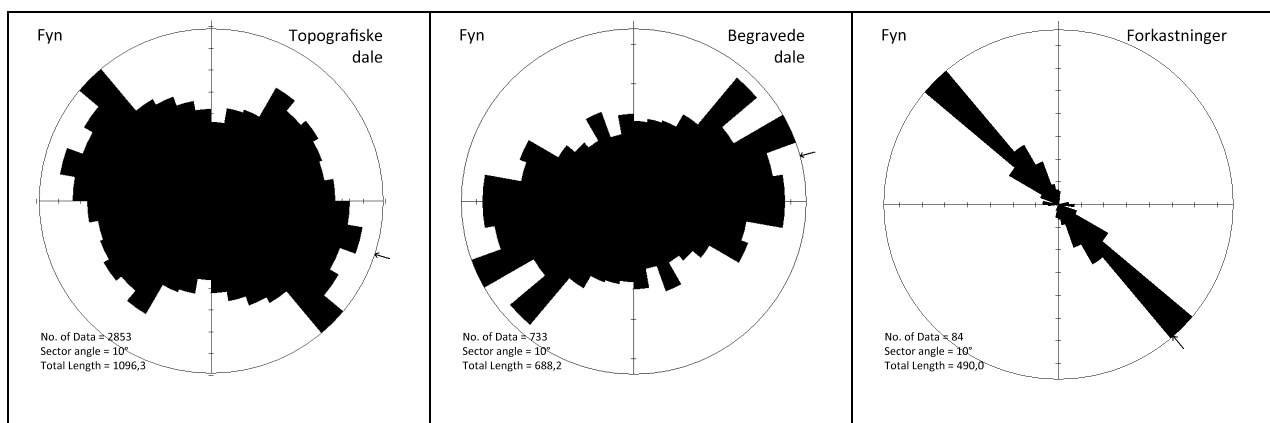
**Figur 4.27 Rosetter for SV-Jylland**

Rosetterne for *SV-Jylland* viser ligheder mellem de topografiske dale og de begravede dale, med orienteringer omkring VSV-ØNØ og VNV-ØSØ og med en mindre dominerende SV-NØ orientering. Forkastningerne, derimod, viser en NV-SØ orientering, som ikke matcher godt med de øvrige data-sæt.



**Figur 4.28 Rosetter for SØ-Jylland**

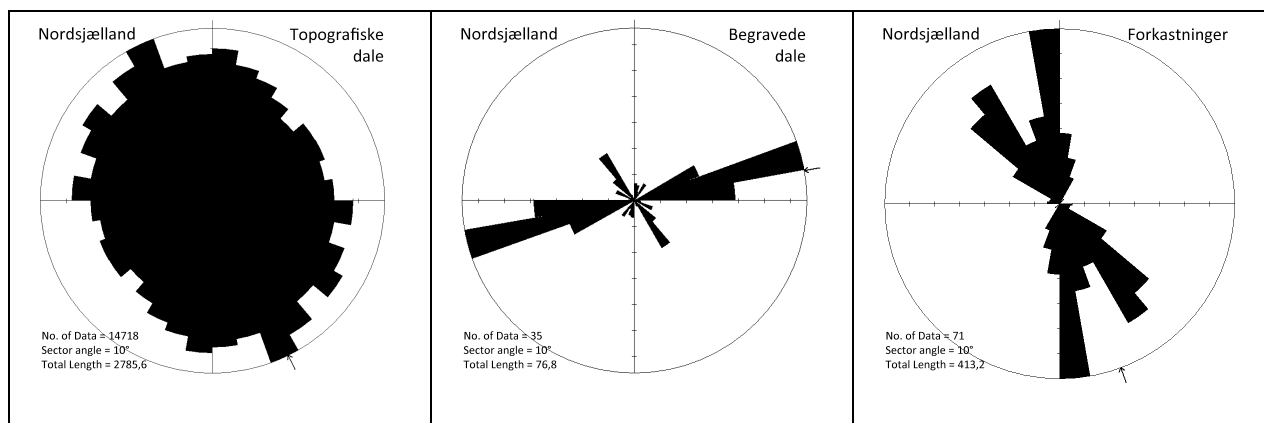
Rosetten for forkastningerne i *SØ-Jylland* viser en tydelig N-S population, der er stort set fraværende i de to andre datasæt. Ses der bort fra denne N-S orientering viser alle tre datasæt orienteringer mellem SV-NØ og NV-SØ. For de topografiske og de begravede dales vedkommende ses der ganske god overensstemmelse med *SV-Jylland*, hvor dog NV-SØ orienteringen ikke træder frem i de begravede dale.



**Figur 4.29 Rosetter for Fyn**

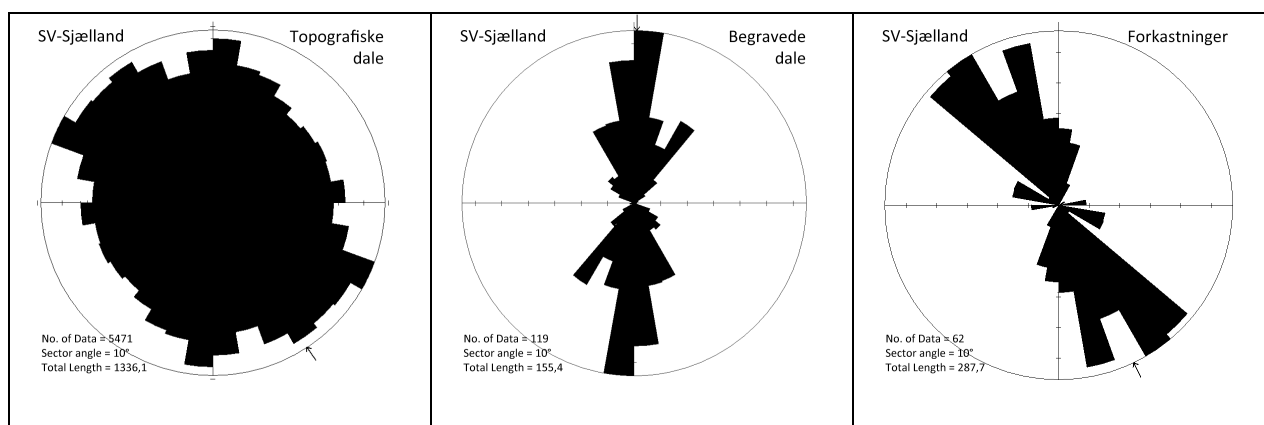
I delområde *Fyn* viser forkastningerne en meget entydig NV-SØ orientering, som i nogen grad kan genfindes i de topografiske dale, men som slet ikke er dominerende i de begravede dale – her er det en orientering omtrent vinkelret på, der dominerer. De begravede dale viser også tegn på en betydende V-Ø orientering. Alle disse orienteringer ser ud til at kunne genfindes i de topografiske dale. Rosetterne for de topografiske og de begravede dale har stor lighed med rosetterne for *SV/SØ-Jylland* og *Trekantområdet*, men hvor der synes at være en vis variation i middelværdierne for orienteringerne.





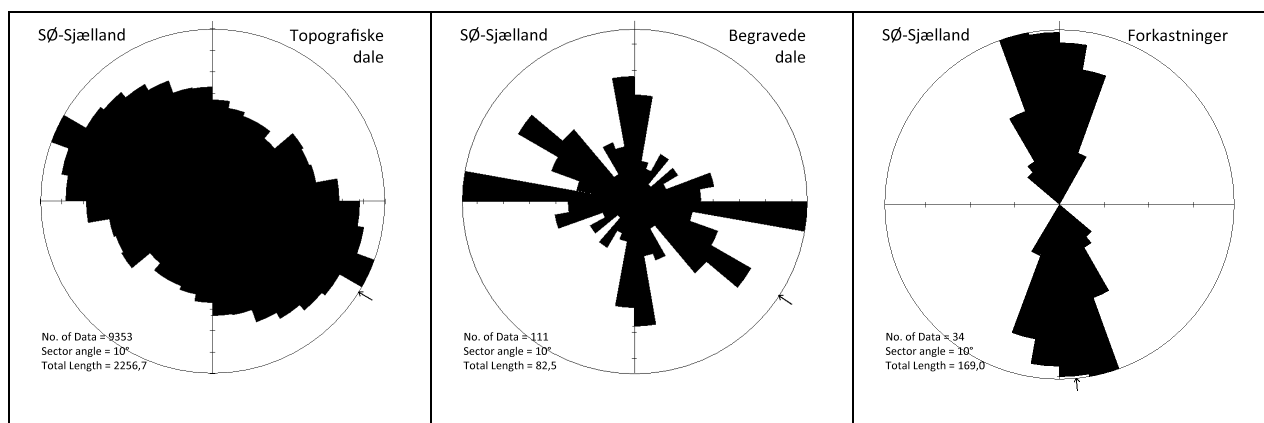
Figur 4.30 Rosetter for Nordsjælland

Rosetterne for forkastningerne og de topografiske dale i *Nordsjælland* viser en god overensstemmelse med dominans af orienteringer mellem NV-SØ og N-S, mens de begravede dale entydigt ligger omtrent vinkelret her på.



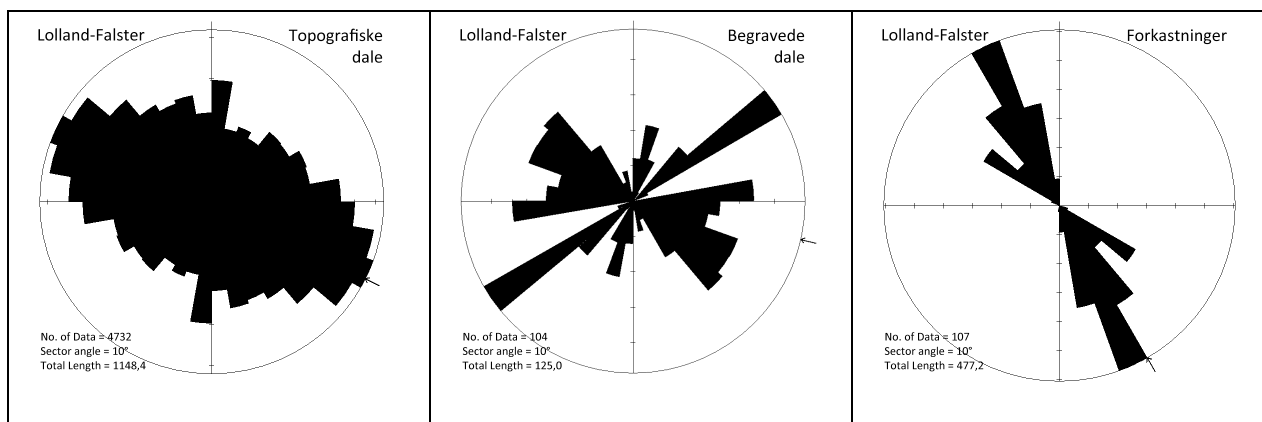
Figur 4.31 Rosetter for SV-Sjælland

Rosetten for de begravede dale i *SV-Sjælland* viser en N-S dominans, mens forkastningerne viser en orientering mellem NV-SØ og N-S, og tilsyneladende svarer disse orienteringer godt med de topografiske dales foretrukne orienteringer. Rosetterne for *SV-Sjællands* forkastninger og topografiske dale passer godt overens med *Nordsjællands*, hvilket dog ikke er tilfældet for de begravede dale.



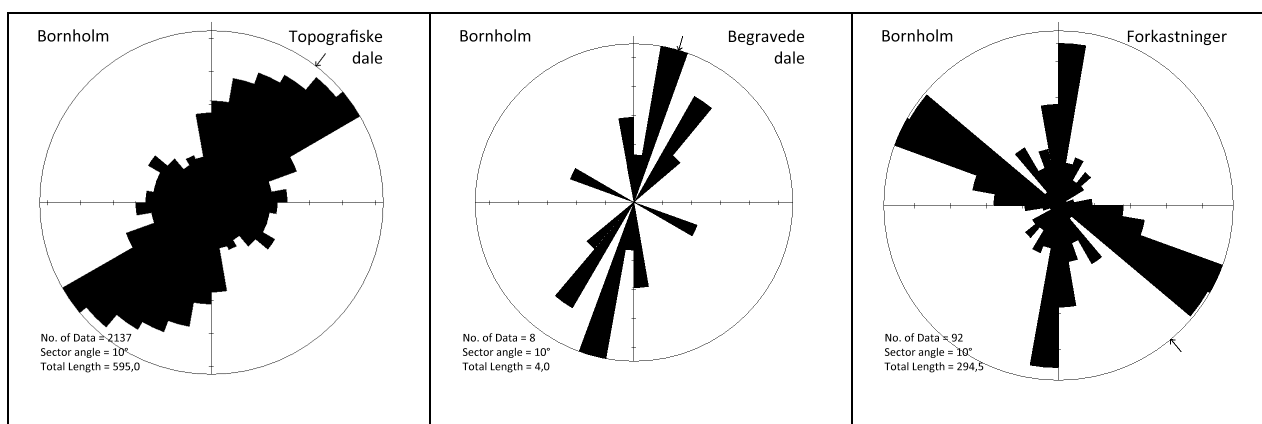
Figur 4.32 Rosetter for SØ-Sjælland

For *SØ-Sjællands* vedkommende viser forkastningerne en entydig N-S orientering, som også kan findes i de begravede dale. De begravede dale viser herudover orienteringer mellem V-Ø og NV-SØ, hvilket stort set svarer til rosetten for de topografiske dale.



**Figur 4.33 Rosetter for Lolland - Falster**

I delområde *Lolland-Falster* viser forkastningerne en dominans omkring NNV-SSØ, hvilket svarer godt til delområderne på Sjælland. De begravede dale viser en NØ-SV orientering og orienteringer mellem V-Ø og NV-SØ. SV-NØ orienteringen kan dog hverken genfindes i forkastningerne eller i de topografiske dale. Orienteringen er stort set vinkelret på den dominerende orientering for forkastningerne. Orienteringerne for de begravede dale mellem V-Ø og NV-SØ svarer dog meget godt til rosetten for de topografiske dale.



**Figur 4.34 Rosetter for Bornholm**

For *Bornholm* ses to orienteringer for forkastningerne; ca. N-S og ca. NV-SØ. De begravede dale viser dalorienteringer mellem N-S og NØ-SV, hvilket i store træk også er tilfældet for de topografiske dale. Forkastningsorienteringen omkring NV-SØ ligger omtrent vinkelret på de dominerende orienteringer for af såvel de topografiske som de begravede dale.

#### 4.2.5 Overordnet sammenligning af orienteringer samt relationen til geologien

Betragtes de foretrukne orienteringer for alle tre datasæt i delområderne, ses der en række ligheder og forskelle delområderne imellem såvel som datasættene imellem:

I *Vendsyssel* ses det mest overbevisende sammenfald af foretrukne orienteringer i alle tre datasæt. Den foretrukne orientering er NV-SØ, og ses der på det sydfør liggende delområde *Himmerland-Thy*, er der også et tydeligt sammenfald i de foretrukne orienteringer, men her er der tale om en 45 graders vinkel i forhold til *Vendsyssel*, nemlig N-S. Under *Vendsyssel*-delområdet findes Sorgenfrei-Tornquist Zonen, som netop har orienteringen NV-SØ, og *Himmerland Thy*-området ligger lige syd for, hvor forkastningerne i bassinet hovedsageligt går N-S (se Figur 4.20). Disse forkastninger afgrænser ifølge Madirazza et al. (1990) N-S orienterede ekstensionsbassiner. Samme billede går igen i delområdet *Limfjord-SV*, men her drejer forkastningerne mod NØ-SV (Røddinggraven, Madirazza et al. 1990).

For den vestlige del af Jyllands vedkommende (delområderne *Vestjylland* og *SV-Jylland*) ses der tydelige foretrukne orienteringer omkring VNV-ØSØ til NV-SØ for forkastninger og topografiske dale (Figur 4.24 og Figur 4.27). I delområde *Vestjylland* er dette også udtrykt i de begravede dale, men de begravede dale viser en N-S dominans, som også tydeligt kunne findes mod nord i *Limfjord-SV* og *Himmerland-Thy*. Disse N-S begravede dale findes hyppigt i Vest og Nordvestjylland, men er mindre dominerende i såvel resten af Jylland som på Fyn. Bemærkelsesværdigt er det, at de N-S-gående begravede dale stort set er helt fraværende i *SV-Jylland*.

For de topografiske dales vedkommende ses der ca. et 90 graders skift når man går fra *Limfjord-SV* og sydover til *Vestjylland*. Dette virker dog ikke umiddelbart overraskende, da de to delområder ligger på hver sin side af Hovedopholdslinjen, men stort set det samme 90 graders skift ses i forkastningerne (Figur 4.23 og Figur 4.24).

Sammenlignes *SV-Jylland* med *SØ-Jylland* (Figur 4.27 og Figur 4.28) ses der en stort set identisk orienteringsfordeling for de topografiske dale på trods af, at områderne ligger på hver sin side af Hovedopholdslinjen. De begravede dale for *SØ-Jylland* viser stort set samme orienteringer, men i *SV-Jylland* haves der kun få begravede dale med NV-SØ-orientering; det ses der til gengæld i *Vestjylland* (Figur 4.24). Rosetterne for de topografiske dale og de begravede dale i *Østjylland*, *Trekantområdet* og *SØ-Jylland* har store ligheder i de foretrukne orienteringer (Figur 4.25, Figur 4.26 og Figur 4.28). Forkastningerne i disse områder er domineret af NV-SØ, bortset fra i *SØ-Jylland*, hvor der ses N-S forkastninger, som er relateret til grabenstrukturerne på grænsen til Tyskland (Glückstadt-graben; Vejbæk 1997). Fyn har stor lighed med orienteringerne i *Østjylland*, *Trekantområdet* og *SV-Jylland* (Figur 4.25, Figur 4.26 og Figur 4.27). Dog er der kun få begravede dale med NV-SØ orientering; de hyppigste begravede dale går vinkelret på de dominerende forkastninger.

På Sjælland (Figur 4.30, Figur 4.31 og Figur 4.32) er der store ligheder mellem de topografiske dale og forkastningerne; der ses tydelig dominans af orienteringer mellem NV-SØ og N-S. De begravede dale viser dog ikke så entydigt et billede; en markant N-S-orientering for *SV-Sjælland* og for *SØ-Sjælland*, orienteringer omkring Ø-V for *SØ-Sjælland* og *Nordsjælland*. For Nordsjællands vedkommende går de begravede dale vinkelret på de foretrukne orienteringer af forkastninger og topografiske dale. Det skal bemærkes, at den samlede længde af de begravede dale på Sjælland er lille. Rosetterne for *Lolland-Falster* (Figur 4.33) har stor lighed med *SØ-Sjælland* bortset fra, at der på *Lolland-Falster* ses en foretrukket SV-NØ orientering for de begravede dale.

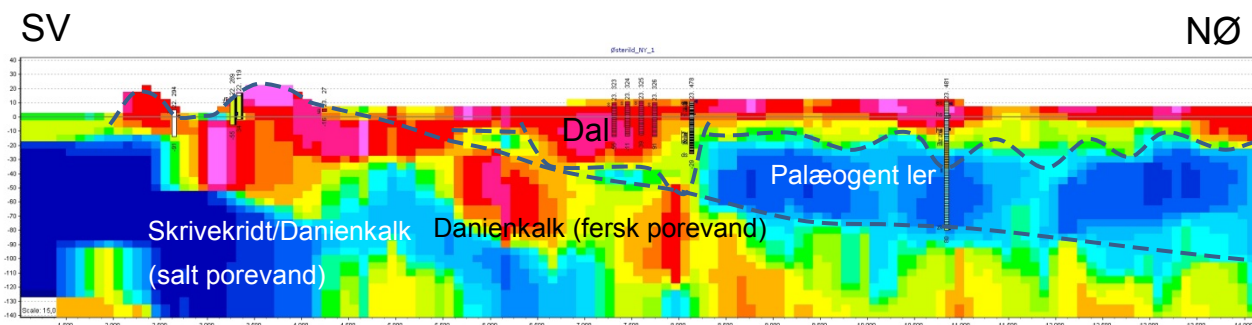
Rosetterne for *Bornholm* har nogen lighed med rosetterne for Sjælland, men den største lighed er i virkeligheden med delområde *Limfjord-SV* og *Himmerland-Thy*. Alle tre delområder er beliggende over eller ved Sorgenfrei-Tornquist Zonen.

## 4.3 Begravede dale ved større geologiske strukturer

### 4.3.1 Saltstrukturer

Begravede dale forekommer i nogle tilfælde ovenover eller omkring saltstrukturer. Dalene kan forløbe mellem saltstrukturene, langs flankerne eller langs sprækkezoner ovenpå strukturerne. Flere steder har dalene placeret sig centralt på horstene, hvor Danien-kalken er borteroderet og det blødere Skrivekridt er blotlagt under kvartæret. Eksempler på begravede dale over/ved saltstrukturer kan ses ved følgende lokaliteter:

- Bording (RIN15)
- Lønnerup Fjord (AAL25)
- Mors-lokaliteterne (AAL26, AAL27, AAL29 og RIN37)
- Breum-Jebjerg (RIN29)
- Thyholm (RIN7)
- Selde-Junget (RIN42)
- Limfjorden (AAL8)
- Løgstør (AAL11)
- Holstebro Nord (RIN11)
- Holstebro Syd (RIN13)
- Gundestrup – Giver (AAL9)
- Urhøje Plantage (AAL10)
- Ålestrup (AAL34)
- Østerild Plantage (AAL45); se Figur 4.35



**Figur 4.35: Begravet dal på flanken af Thisted saltstrukturen (til venstre). Profilet er fra lokalitet AAL45 Østerild Plantage.**

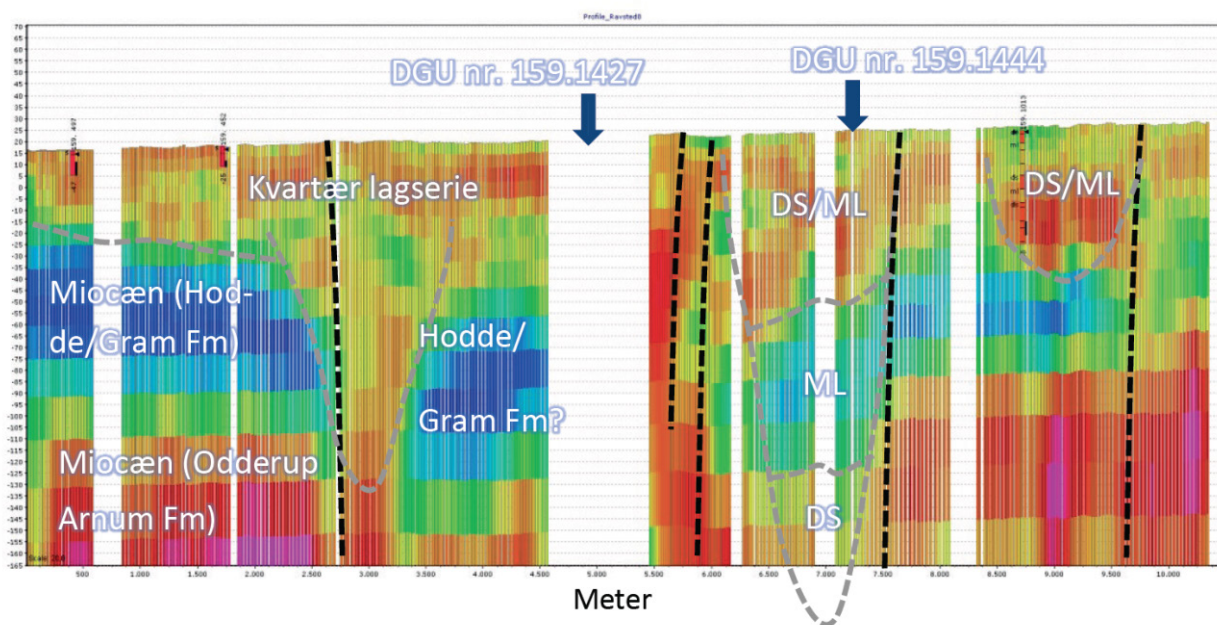
I Figur 4.35 ses et eksempel fra lokalitet AAL45 Østerild Plantage, hvor der er nederoderet begravede dale langs flanken af Thisted saltstrukturen. Dalene er nederoderet i palæogent ler. På profilet ses kun den østlige halvdel af Thisted strukturen.

### 4.3.2 Forkastninger og antyklinaler

På seismiske linjer kan der nogle gange iagttages forkastninger eller antyklinaler umiddelbart under begravede dale. I de fleste tilfælde er det på seismiske data kun muligt at erkende forkastningsstrukturer på et enkelt tværgående profil, men under den NV-SØ-gående dal på lokaliteten Holstebro Syd

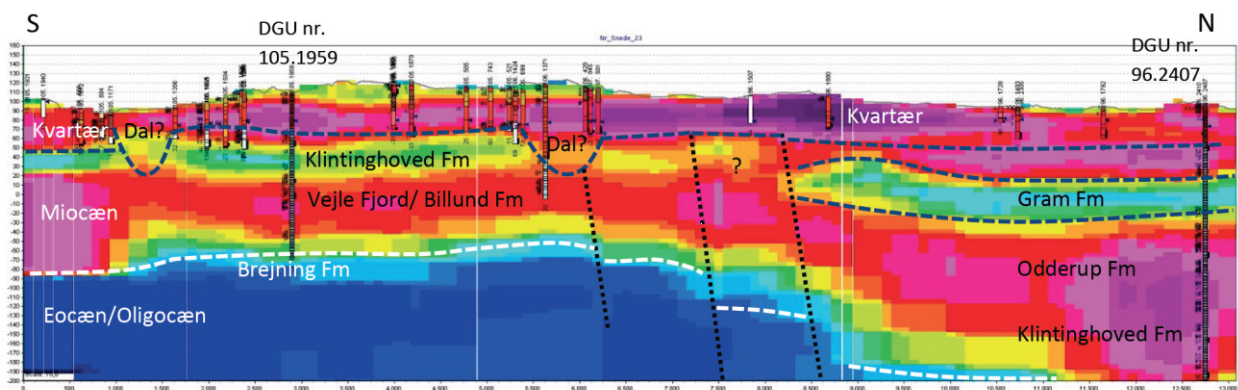
(RIN13) ses en forkastning under hele dalens kortlagte forløb på en række forskellige seismiske profiler. Det er muligt, at dalens beliggenhed har været styret af denne forkastning i undergrunden.

Tøndergraven i Sønderjylland er en gammel gravsænkning, som strækker sig fra Rømø i vest og til Sønderborg i øst. Tøndergraven giver sig fint udtryk som en fordybning i Kalkoverfladen (se Ter-Borch 1991), men der er også tegn i topografien på, at Tøndergraven har været en aktiv struktur i kvartæret, og at der stedvist er sket indsynkning af lagene ovenover gravsænknningen (Sandersen & Jørgensen 2015). Geofysiske og geologiske data peger på, at der er forekomst af begravede dale parallelt med Tøndergraven, men også på tværs (se f.eks. lokalitet RIB53). Nogle af disse dale er dog vanskelige at kortlægge præcist, da lagserien formodes at være gennemsat af forkastninger, som det eksempelvis kan ses på det tolkede profilsnit Figur 4.36. På profilet ses dybe dalstrukturer, som bl.a. bekræftes af boring DGU nr. 159.1444. Nogle steder over Tøndergraven er der tvivl om, hvorvidt der er tale om erosive dalstrukturer eller om der er tale om indsynkninger (se f.eks. RIB51).



**Figur 4.36: Lokalitet RIB52 Ravsted: Tentativ tolkning af begravede dale og forkastninger (se tekst). Tolkede begravede dale er indtegnet med grå stiplede linje.**

Ved Klovborg SØ for Nr. Snede findes en mindre, begravet dal med en NV-SØ orientering (se lokalitetsbeskrivelse RIN50); Figur 4.37. På Figur 4.37 ses dalen ca. midt på profilet, og det ses, at dalen ligger lige ved en formodet forkastningszone, som forsætter den tertiære lagserie med i størrelsesordenen 150 m. Dette understøttes af dateringer fra de to markerede borer på profilet.



**Figur 4.37: Begravet dal ved Klovborg SØ for Nr. Snede (midt på profilet). Dalen er lokaliseret ovenover en tolket forkastning. Se lokalitetsbeskrivelse RIN50.**

På følgende lokaliteter ses også eksempler på dale over forkastninger og antiklinaler:

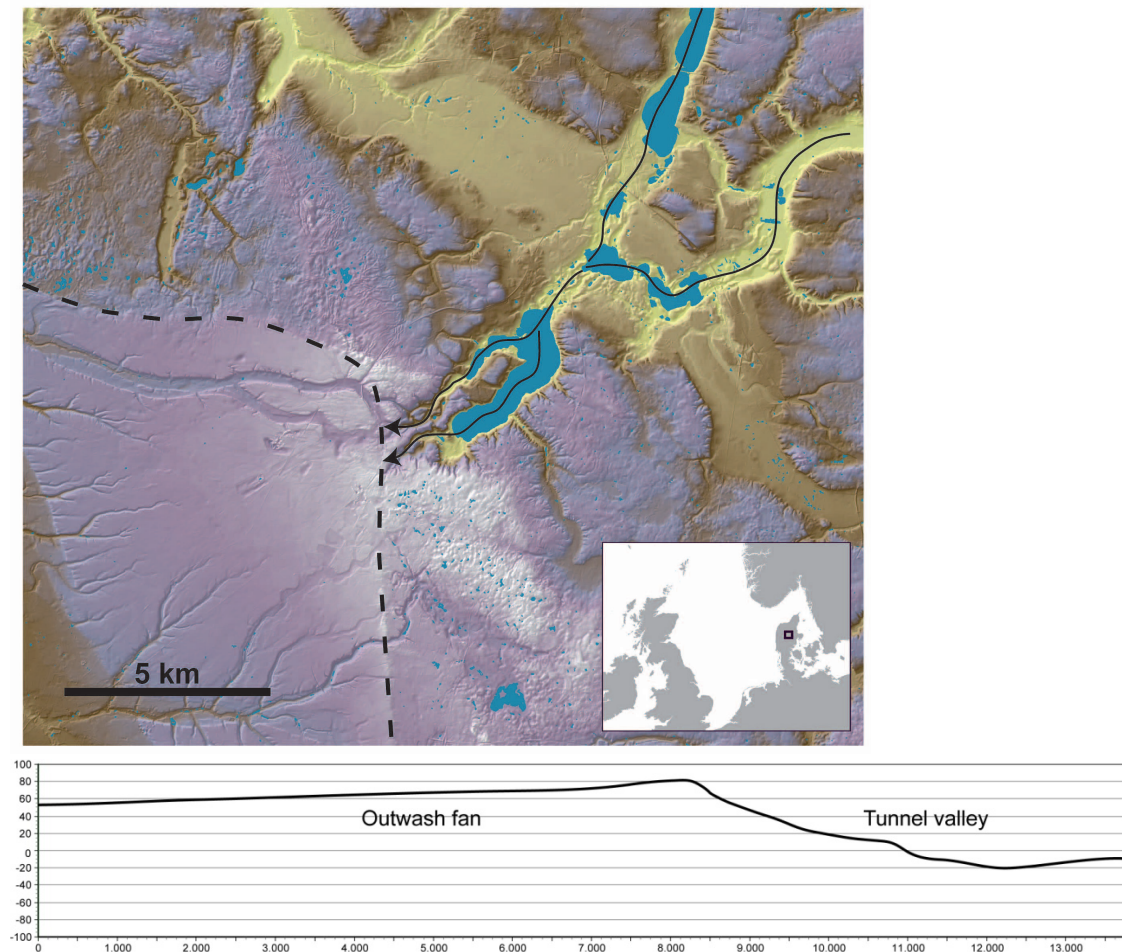
- Bredebro (RIB24)
- Tørring-Horsens (AAR33)
- Lind-Høgild (RIN2)
- Holstebro Syd (RIN13)
- Kattegat ved Mariager Fjord (AAR5)
- Brabranddalen (AAR 2)
- Løgstør (AAL11)
- Oure (ODE11)
- Ørslev Rende (ROS13)
- Nyborg (ODE5)



## 5. Begravede dales oprindelse

### 5.1 Tunneldale

I Jørgensen og Sandersen (2006) er der blevet påvist en tydelig sammenhæng mellem begravede dale og tunneldalene, der kan ses i det nuværende landskab. Dette er primært gjort på baggrund af de to daltypers morfologi, som viser identiske karakteristika. Bl.a. er der lavet en analyse af dalenes bredder. Det viser sig, at tunneldalene og de begravede dale på dette punkt er helt sammenlignelige, men de er også ens derved, at de indeholder ujævne bundrelieffer med tærskler og lavninger i dalens længderetning. Det kan deraf tolkes, at de to daltypers dannelsesmåde er den samme. Et vigtigt forhold ved de åbne tunneldale er, at de har en tydelig genetisk sammenhæng med israndslinjer og store hedesletter. Denne sammenhæng er et væsentligt argument for, at tunneldalene, og dermed også de begravede dale, er dannet ved subglacial smeltevandserosion.



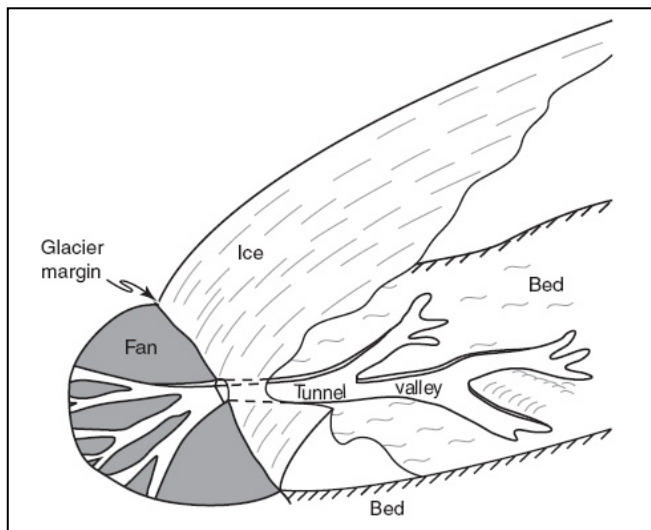
**Figur 5.1: Tunneldalen ved Hald Sø og Karup Hedeslette.** Over få kilometer stiger dalbundens niveau med 103 m, fra bunden af Hald Sø til toppen af Karup Hedeslette (fra Kehew et al. 2012).

I Figur 5.1 ses den åbne tunneldal, der munder ud ved Hald Sø og Karup Hedeslette. Over få kilometer stiger dalbundens niveau med 103 m, fra bunden af Hald Sø til toppen af Karup Hedeslette. Smeltevandet, som eroderede tunneldalen, blev presset over hundrede meter op over meget kort afstand; noget der kun kan ske under højt hydrostatisk tryk under en gletscher. Ussing (1903, 1907) var den første til at beskrive sammenhængen mellem tunneldal og hedeslette, og han gjorde det for netop denne lokalitet.

Den mangeårige kortlægning af begravede dale og dens resultater har gjort det muligt at opstille en model for dannelsen af begravede dale. Langt størstedelen af de kortlagte dale er dannet ved smeltevandserosion under istidens gletschere, og kun få dale har en anden oprindelse – f.eks. ved indsynkning langs forkastninger eller ved normal dalerosion foran en gletscher eller ved flod-erosion i Miocæn. Selvom enkelte andre dale i det danske område kan have en anden dannelseshistorie end den, der beskrives i det følgende, så kan modellens dannelsesmekanisme matche iagttagelserne i langt hovedparten af lokaliteterne. Daldannelsesmodellen er beskrevet i detaljer i Jørgensen & Sandersen (2006), Kehew et al. (2012), Sandersen et al. (2009) samt Sandersen & Jørgensen (2012). Hovedtrækkene heraf gennemgås i det følgende.

## 5.2 Dannelsesproces

Dannelsen af de begravede dale er hovedsageligt sket ved smeltevandserosion under istidernes gletschere. Smeltevandet har været under stort hydrostatisk tryk og har derfor kunnet erodere sig dybt ned i underlaget, mens det strømmede ud mod isranden (Figur 5.2).

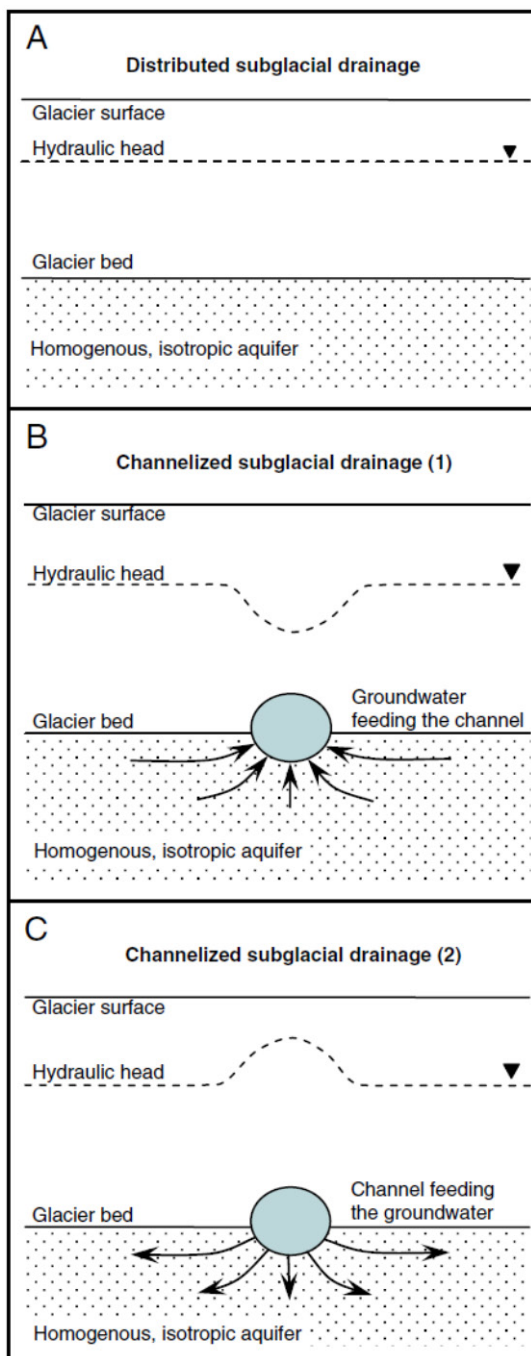


**Figur 5.2: Smeltevandserosion og dannelse af tunneldale under den yderste del af en gletscher (Hooke & Jennings 2006).**

At de begravede dale i Danmark er dannet ved smeltevandserosion under istidens gletschere bevidnes af følgende:

- Den kvartære alder af dalenes fyld samt den kvartære alder af erosionerne viser, at dalene er dannet i kvartærtiden.
- Gentagen erosion fra skiftende retninger tyder på, at dalene er dannet af gletschere, der overskred området fra forskellige retninger.
- Dalenes ujævne bundrelief og deres pludseligt afsnørede ender indikerer, at dannelsen er sket ved subglacial smeltevandserosion under højt hydrostatisk tryk.





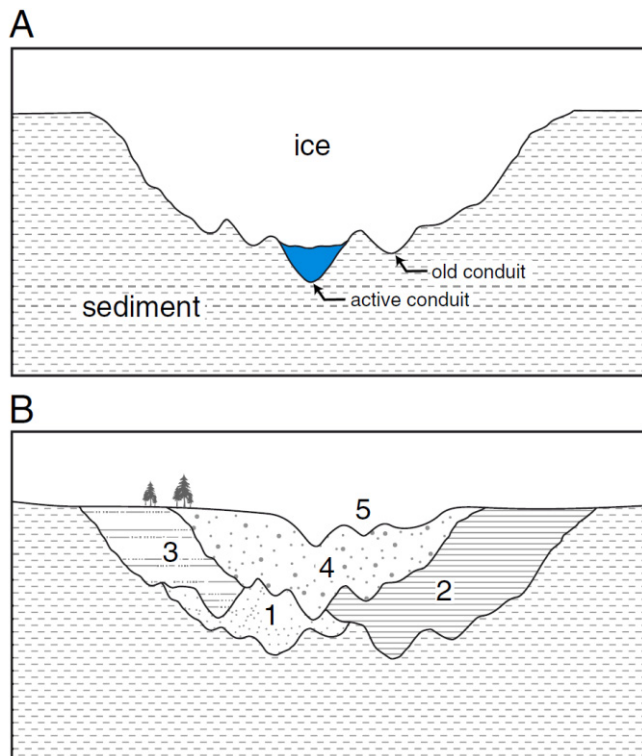
Oprindelsen af det eroderende smeltevand under gletsjerne diskuteres videnskabeligt og er ikke fuldstændigt klarlagt. Men der er i udgangspunktet to kilder, som kan bidrage til forekomsten af smeltevandet. Smeltevandet kan dels komme fra isens overflade og strømme gennem sprækker til isens bund, eller det kan dannes ved smeltning af is ved selve kontaktfladen til sedimentunderlaget. Smeltevandet kan ophobes i store søer på isoverfladen, såvel som i store subglaciale søer. Søerne på overfladen kan blive tømt ned gennem sprækkerne i isen med jævne mellemrum. Dette vand samles ved isens bund og strømmer ud til fronten under stort tryk. Det er ved denne subglaciale strømning, at der dannes dale. Udstrømningen af smeltevand og dannelsen af subglaciale dale sker også ved udtømmning fra de subglaciale søer eller ved strømninger mellem internt forbundne subglaciale søer. Udtømmninger fra både subglaciale søer og søer på isens overflade kan være ekstremt store.

Ophobningen af vand i subglaciale søer kan ske, når den yderste del af isen er fastfrosset til underlaget, og når underlaget er permafrosset og således blokerer for afstrømning af smeltevandet som grundvand i underlagets sedimenter. Det kan også ske når underlaget i områder består af mere eller mindre impermeabelt materiale, som ikke har den fornødne kapacitet til at lede smeltevandet væk fra isbunden. Når der således bliver produceret mere smeltevand, end der kan afledes som grundvand, opstår der et overskud af vand ved isens bund, og der vil derfor enten ske en ophobning af smeltevandet, eller smeltevandet vil søge mod isfronten ved at samle sig i subglaciale smeltevandsløb.

**Figur 5.3: Smeltevandskanaler under isen og relationen mellem hydrostatisk tryk og strømmingen til/fra kanalen.** Et lavt hydrostatisk tryk (B) medfører migration af smeltevand fra det omgivende sediment ind i kanalen, og et højt hydrostatisk tryk medfører migration den modsatte vej. Fra Kehew et al. 2012.

Disse subglaciale smeltevandsløb vil lokalt i selve isen have et afvigende hydraulisk tryk i forhold til omgivelserne (Figur 5.3). Ved lavere vandtryk i kanalen sker der transport af smeltevand ind i kanalen fra de omgivende og underliggende sedimenter. Da det lavere vandtryk i kanalen medfører en ringere styrke af sedimentet under kanalen, vil erosion let kunne ske, da sedimentet så bliver presset ind i det strømmende vand i kanalen. Ved den omvendte situation, hvor der er højere vandtryk i

kanalen, sker der en migration af smeltevand fra kanalen og ud i sedimentet. Sedimentet vil være mere stabilt end i den ovenfor beskrevne situation, men en høj strømhastighed i kanalen vil i dette tilfælde medføre erosion i underlaget. Sidstnævnte situation vil lettere kunne erodere i hårde bjergarter, som f.eks. kalk, og der er mange eksempler på dale, der er nederoderet i kalkbjergarter i Danmark.



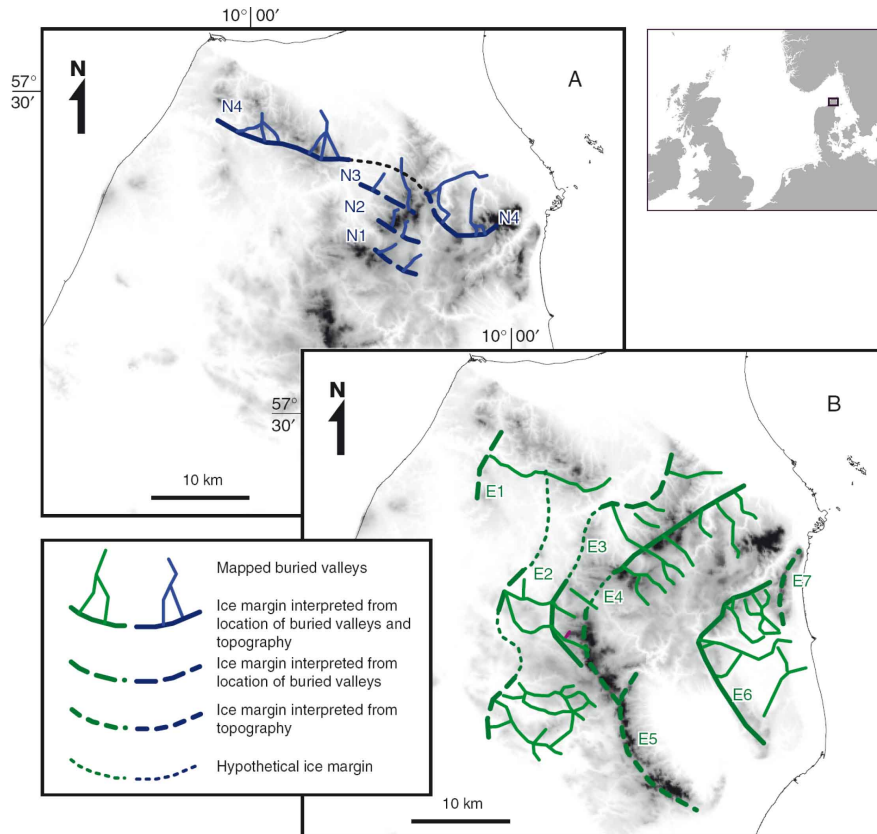
**Figur 5.4: A: Dannelse af tunneldal ved gradvis erosion i mindre kanaler. B: Flere begravede dale dannet i samme overordnede dalstruktur (fra Kehew et al. (2012); baseret på Jørgensen & Sandersen (2006)).**

Det er den generelle opfattelse, at den subglaciale smeltevandserosion kan ske ved 1) mindre kanaler, der gradvist eroderer sig ned i underlaget, ved 2) gentagne, kortvarige pulser af smeltevand, eller ved 3) store, pludselige udladninger (jøkelløb) fra sub- eller supraglaciale søer. Forekomster af kompakt moræneler i bunden af mange dale, samt spor af glacialtektonisk aktivitet dybt i dalene, tyder på, at der har været aktiv gletscheris til stede i dalene. Dette kunne tyde på at erosionen er sket i mindre kanaler i bunden af dalen (Figur 5.4A).

På baggrund af observationer i Danmark beskrives følgende model i Jørgensen og Sandersen (2006): Dannelsen sker ved gentagne episoder af smeltevandsudladninger gennem mindre subglaciale kanaler. Efter hver udladning falder vandtrykket og gletscherisen lukker kanalen med is helt eller delvist. Tilstedeværelsen af is i kanalen ved næste smeltevandsudladning betyder, at vandet må finde en ny vej frem mod isfronten. Den nye kanal dannes ved siden af/under den gamle, nu isfyldte kanal. På den måde kan en stor dal gradvist blive eroderet af en sekvens af mindre udladninger. Selvom isen udfylder kanalerne, er der stadig en tendens til, at smeltevandet vil følge den samme vej ud mod fronten ved efterfølgende udladninger, da subglaciale smeltevands strømning delvist vil følge den subglaciale topografi og dermed dalforløbet (Shreve, 1972). Under og efter isens tilbagesmeltning kan dalen blive helt eller delvist fyldt med sedimenter, hvis ikke den efterlades med dødis. Genfremstød kan danne nye begravede dale oven i ældre dale, og der dannes et kompleks af flere dale inden for samme overordnede dalstruktur (Figur 5.4B).

Ovennævnte model bekræftes af observationer i Vendsyssel (Sandersen et al. 2009). Her er lagene fra seneste istid Weichsel meget tykkere end andre steder i Danmark og derfor bedre bevaret. Derfor fremstår begravede dale fra Weichsel forholdsvis uforstyrrede i lagserien. SkyTEM-data og en lang række undersøgelsesboringer med tilhørende lithologiske og biostratigrafiske analyser samt Optically Stimulated Luminescence (OSL) datering af både dalfyld og omgivelser har givet et præcist billede af de geologiske forhold. På baggrund af de begravede dales beliggenhed i forhold til randmoræner blev der identificeret og kortlagt i alt 11 israndlinjer på tværs af Vendsyssel, som alle kan relateres til tilbagesmeltningen af det seneste isdække i området (se Figur 5.5). De begravede

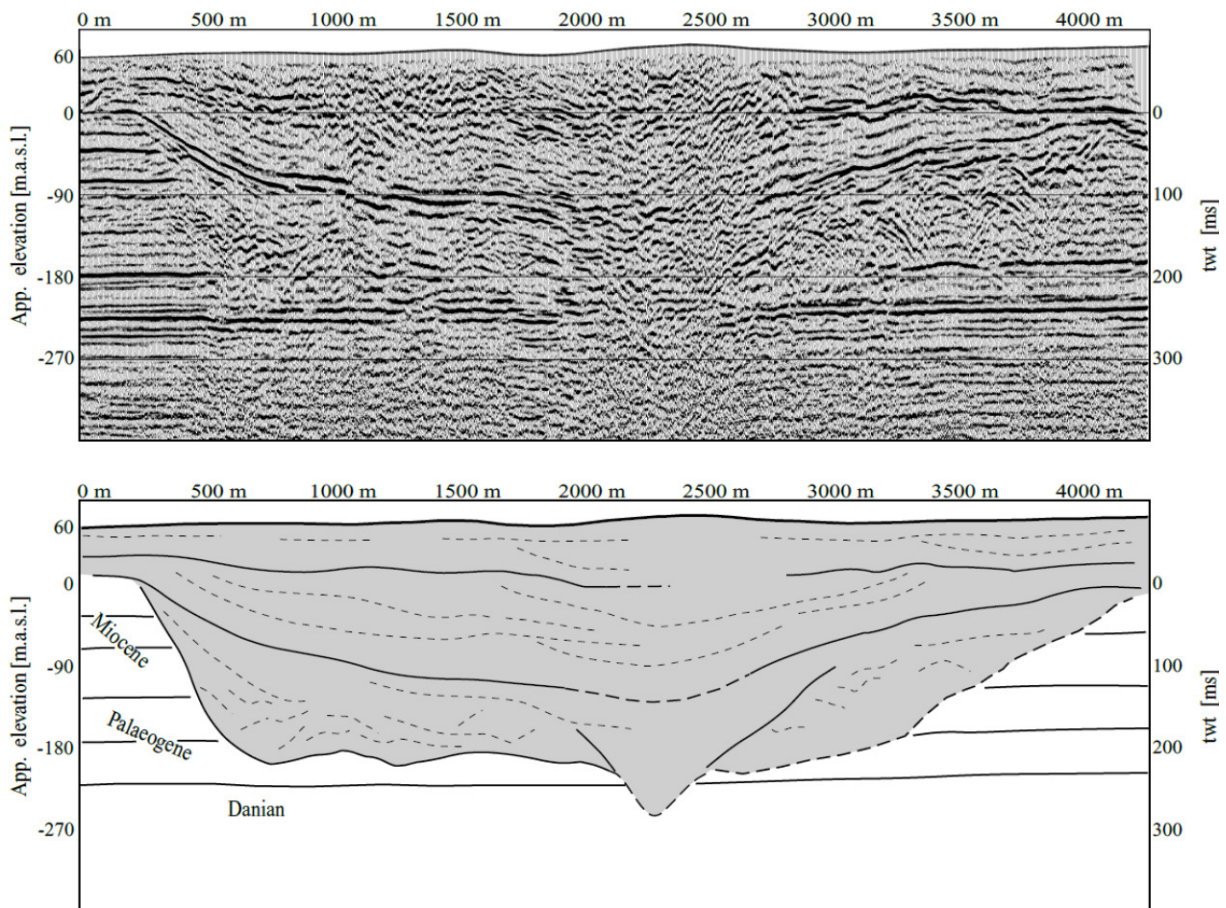
tunneldale i området er omkring 5-10 km lange, 1 km brede og eroderet til dybder på mere end 180 m. Alle 11 generationer af begravede dale er dannet indenfor et tidsinterval på omkring 2000 år, hvilket betyder at det kun har taget få hundrede år at danne hver enkelt generation med tilhørende israndslinje. Disse iagttagelser indikerer en forholdsvis hurtig dannelse af tunneldale med involvering af kraftfulde dannelsesprocesser.



**Figur 5.5:** I alt 11 generationer af begravede tunneldale kortlagt i Vendsyssel (fra Sandersen et al. 2009). Dalene er dannet over en periode på 2000 år langs israndslinjer fra det seneste isdække i Sen Weichsel.

Andre erosionsprocesser end smeltevandserosion vurderes at kunne have spillet en vis supplerende rolle for daldannelsen. I nogle tilfælde er der observeret meget brede erosioner i de begravede dale (Jørgensen og Sandersen 2006), se Figur 5.6. Disse erosioner kan være opstået ved glacial iserosion ved gletschersålen, og glacial erosion forventes derfor, i dette tilfælde, at have været en medvirkende årsag til daldannelsen.

Såvel seismiske profiler som TEM-undersøgelser viser, at mange af dalene består af flere, mindre dalstrukturer, der gentagne gange er eroderet ned i hinanden. Dette forhold antyder, at dannelsen ikke er sket ved en enkelt hændelse, men at dannelsen derimod er sket gennem flere episoder med erosion og aflejring. Nogle gange af samme isdække (som vist i eksemplet fra Vendsyssel, Figur 5.5), og i andre tilfælde af gletschere fra forskellige istider.



**Figur 5.6:** Eksempel fra Vonsild (RIB19), hvor der er kortlagt en meget bred begravet, og hvori der ses meget brede erosioner fra skulder til skulder. Det er muligt at glacial iserosion har bidraget til dannelsen af denne begravede dal (fra Jørgensen & Sandersen 2006).

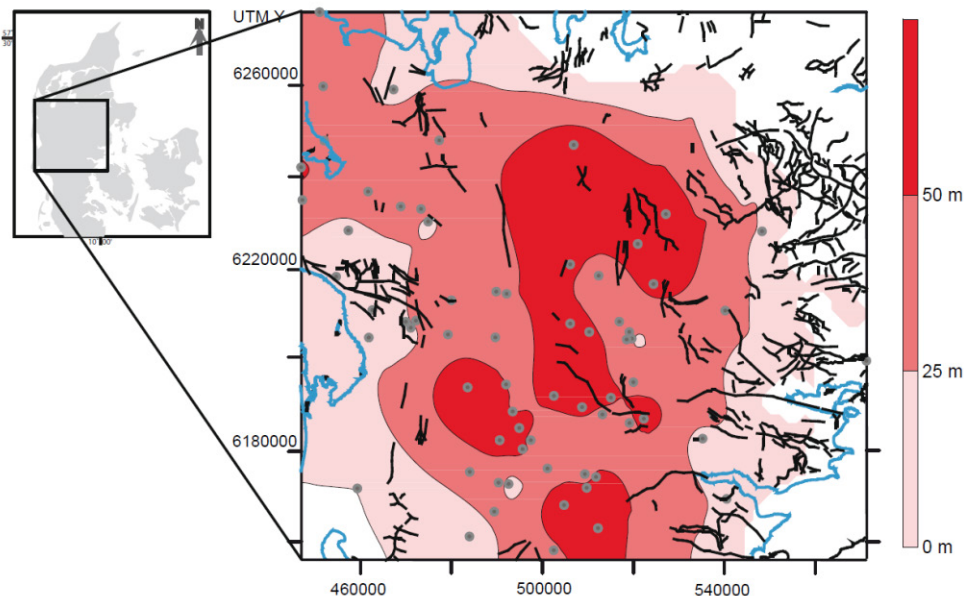
### 5.3 Underlagets indflydelse på daldannelsen

Som nævnt tidligere spiller underlagets hydrauliske forhold en rolle for dannelsen af begravede dale. Hvis det subglaciale smeltevand kan strømme ud til isranden som grundvand, sker der ikke en op-hobning af smeltevand under isen. Hvis underlaget derimod ikke tillader tilstrækkelig udstrømning af grundvand, vil der ske en akkumulering af smeltevand under isen, og vandtrykket vil stige indtil der sker en udladning med erosion af tunneldale til følge. Et underlag bestående af sand vil derfor i langt højere grad end f.eks. ler tillade udstrømning af smeltevand (forudsat at underlaget ikke er permafrossent). Ifølge denne hypotese, vil den geografiske fordeling af begravede dale optimalt set afspejle underlagets hydrauliske egenskaber.

Hvis man akkumulerer tykkelsen af miocænt sand i de øverste 75 m af den prækvartære lagserie i Jylland, viser det sig, at der forekommer en forøget tykkelse af sand i Jyllands centrale dele (Figur 5.7), (Sandersen & Jørgensen 2012). Når denne fordeling sammenlignes med forekomsten af begravede dale, er det tydeligt, at der findes en lavere densitet af begravede dale i området med tykke sandlag i underlaget. Tilsvarende forekommer der en forøget densitet af begravede dale i området øst for, hvor der er tykke, impermeable lerlag i undergrunden. Disse iagttagelser stemmer også med



at seismiske data indikerer, at der findes færre dale i den centrale del af Jylland svarende til området i Figur 5.7.



**Figur 5.7: Tykkelsen af Miocæne sandlag indenfor de øverste 75 m af den prækvartære lagserie i den centrale del af Jylland.** Kortlagt på baggrund af boredata med mere end 75 m prækvartære sedimenter, og hvor der er et kvartært dække på mindre end 50 m. Boringer er vist med grå punkter. Kortlagte dale (i 2011) er vist med sorte linjer og kystlinjen med blå streg. Fra Sandersen & Jørgensen (2012).

Foruden observationer fra Miocænet viser andre eksempler fra Danmark et tilsvarende billede (Sandersen & Jørgensen, 2012). Fra den sydlige Nordsø beskriver Janszen et al. (2012) lignende sammenhænge mellem underlagets hydrauliske egenskaber og dannelsen af begravede dale.

## 5.4 Dannelse af dalgenerationer og genbrug af dale

Som beskrevet i afsnit 4.1.7 er der flere steder tale om forskellige generationer af begravede dale med hver deres foretrukne orienteringer, og indenfor de enkelte dale ses der ofte tegn på gentagne erosioner, der vidner om genbrug af eksisterende dalstrøg (se afsnit 4.1.3).

Analysen af de begravede dales orienteringer (afsnit 4.1.6.3) viste, at de foretrukne orienteringer varierer geografisk set. Istidernes gletschere har overskredet Danmark fra skiftende retninger mellem NNV og SSØ. Isoverskridelser med retninger, der afveg meget fra de tidligere isoverskridelsers retninger, har skabt nye dalgenerationer på tværs af de eksisterende dalgenerationer. Således er der dannet flere forskellige generationer af begravede dale, som kan skelnes fra hinanden fordi de udviser forskellige foretrukne orienteringer.

Det subglaciale smeltevand vil altid søge mod et lavere hydrostatisk tryk, der er indirekte afhængigt af isens tykkelse (Shreve 1972). Isens tykkelse bliver mindre mod isranden, og da vandet søger mod lavere tryk, vil det overordnet set strømme i samme retning som isbevægelsen. Underlagets topografi spiller imidlertid også en rolle for, hvilken vej vandet strømmer mod isranden (Shreve 1985). Det subglaciale smeltevand vil således kunne følge allerede eksisterende dale, hvis disse overord-

net forløber i samme retning som isbevægelsen. Disse dale kan på denne måde blive udsat for fornyet erosion og yderligere uddybning – de vil blive genbrugt. 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 orienteringer mere eller mindre vinkelret på isbevægelsesretningen vil kun i mindre grad blive genbrugt af subglacialt smeltevand. Dette medfører, at disse dale vil have en tendens til at blive begravet i forbindelse med isoverskridelsen. Dale med anderledes orienteringer end den seneste isbevægelsesretning er derfor i højere grad blevet begravet, mens dale parallelt hermed i højere grad er blevet bevaret som åbne dale (Sandersen & Jørgensen 2012).

Generationerne kan kun sjældent skelnes fra hinanden, når de er skabt af gletschere fra samme retning, fordi det subglaciale smeltevand herfra typisk vil søge at genbruge eksisterende dalstrukturer. At smeltevand under isoverskridelser fra forskellige istider har genbrugt den samme daltracé kan tydeligt ses på lokaliteter, hvor der forekommer interglacialt fyld i begravede dale med beliggenhed under nutidige tunneldale.

Efter erosionen af dalene er genudfyldningen i mange tilfælde sket foran gletscheren. Dalene vil derfor blive begravet af sedimenter fra tilbagesmeltingen af den samme gletscher, som dannede dem. Andre kan være blevet fyldt op i perioderne mellem isdækkerne, f.eks. af interglaciale aflejringer. Selvom mange ældre dale således har været begravet før det næste isdække etableredes, er dalstrukturene alligevel ofte blevet genbrugt. Årsagen til dette er sandsynligvis forskellene mellem sedimenterne i og udenfor dalene. Hvis dalfyldet ikke efterfølgende er blevet konsolideret af trykvirkningerne fra en gletscher, vil daludfyldningerne være lettere at erodere i end de omgivende iskonsoliderede sedimenter. Også forskelle i de hydrauliske egenskaber af underlaget indenfor og udenfor dalene kan forklare den forøgede tendens til erosion i daltracéerne.

En supplerende årsag til, at det subglaciale smeltevand har fundet vej langs samme tracé gentagne gange, kan være, at der i undergrunden under dalene findes svaghedszoner, hvori vandet lettere har kunnet erodere. Svaghedszoner kan f.eks. opstå ved tektonisk aktivitet langs forkastninger. Sandsynligvis har svaghedszoner 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 tektoniske rammer. De efterfølgende gletscheres subglaciale smeltevand kan have benyttet disse allerede eksisterende dale, hvorved uddybning er sket. Der er dog ingen sikre eksempler på begravede dale med en tertiær alder, men muligvis skyldes dette, at store dele af den tertiære og den tidlige kvartære lagserie er borteroderet.

Beliggenheden af de begravede dale er altså et resultat af et kompliceret samspil mellem gletscherens dynamik, topografien, underlagets lithologi og de undergrundstektoniske rammer. Selve erosionen og udformningen af dalene er derimod primært sket subglacialt under istidernes gletschere.

## **5.5 Diskussion af faktorer med indflydelse på tunneldalenes orienteringer**

Overordnet viser de foretagne analyser af orienteringer (afsnit 4.1.6 og 4.2), at de begravede dales orienteringer ikke er statistisk jævnt fordelt i landet, og at der er geografiske områder, hvor bestemte orienteringer er favoriseret. Der kan også ses mange sammenfald med orienteringerne af topografiske dale og forkastninger, men på trods af dette, ses et meget kompliceret billede. De begravede

dale i Danmark er som ovenfor beskrevet primært dannet ved smeltevandets erosion under istidernes gletschere, og helt overordnet er der tre faktorer, som har indflydelse på tunneldalenes orienteringer:

- Isens bevægelsesretning og iskappens form
- Underlagets topografi
- Underlagets beskaffenhed

Naturligvis vil tunneldalenes dannelse være direkte koblet til iskappens dynamik, og derfor vil isens bevægelsesretning og orienteringerne af tunneldalene være tæt forbundne. Men på grund af de mange sammenfald i foretrukne orienteringer mellem begravede tunneldale og dybe forkastninger ser det ud til, at underlagets beskaffenhed også påvirker orienteringen af de begravede tunneldale.

Som beskrevet i Sandersen & Jørgensen (2012) dannes der flest tunneldale i områder, hvor underlaget er leret i modsætning til hvor det er sandet, fordi der ved et leret underlag ikke kan ske drænering af smeltevandet via underlaget. Tunneldalene dannes derfor ved det høje tryk af smeltevandet og dræneringen kan ske via disse. De hydrauliske egenskaber af underlaget er derfor meget afgørende for, hvor og hvordan erosionen under isen sker. Som nævnt i det foregående afsnit, vil eksisterende sand- og grusfyldte tunneldale atter kunne bruges som subglaciale dræn ved en ny isoverskridelse. Gamle tunneldale kan på denne måde blive genbrugt til drænering af efterfølgende isdækker, såfremt de gamle dale ligger fordelagtigt i forhold til at kunne indgå i dræneringen under den nye gletscher (Sandersen & Jørgensen, 2012). Ligger de gamle tunneldale derimod vinkelret på smeltevandets trykgradient, vil de være mindre tilbøjelige til at blive genbrugt af smeltevandet, og smeltevandet vil tvinges til at erodere nye tunneldale i underlaget. Der er mange tegn på genbrug af tunneldale i Danmark, hvilket for eksempel er tydeligst for de dale, hvor der er indslag af interglaciale aflejringer (se afsnit 4.1.5). Dette betyder, at orienteringerne af mange begravede tunneldale ikke nødvendigvis afspejler hverken orienteringen af det sidste isdækkes isrand eller isens bevægelsesretning, men hvor den foretrukne orientering af dalene i virkeligheden repræsenterer meget ældre hændelser. På denne måde vil gamle mønstre i undergrunden kunne bevares og forstærkes gennem en lang periode.

På samme måde som gamle tunneldale kan udgøre dræn for et efterfølgende isdække, vil andre variationer i underlagets hydrauliske egenskaber kunne styre den subglaciale drænering og erosion. Eksempelvis kan gamle flodsystemer tænkes at have påvirket dræneringen af de første isdækker i det danske område, som foreslået af Lykke-Andersen (1995). En anden mulig påvirkning er svaghedszoner i den underliggende lagserie relateret til forkastningszoner. En forkastning ødelægger lagseriens oprindelige struktur og tekstur langs forkastningsplanet og vil derfor kunne udgøre en svaghedszone, som er lettere at erodere end det omkringliggende. Sammen med en ændret porøsitet vil det kunne betyde, at forkastningszoner i underlaget under en gletscher alt andet lige lettere vil kunne eroderes af det subglaciale smeltevand. På den måde vil forkastningszoner i undergrunden kunne påvirke dræneringsmønstret og dermed også påvirke, hvor tunneldalene dannes og hvilken orientering de får.

Hvis et sådant tektonisk præg udelukkende er relateret til gamle, ikke-aktive tektoniske strukturer i den prækvartære lagserie, må det formodes, at forkastningszonernes påvirkning af dræneringsmønstrene har været størst i forbindelse med de første isoverskridelser. Men der er i de senere år kommet flere og flere tegn på, at de områder, som har været dækket af iskapper under istidene, har



været udsat for endog kraftig tektonisk påvirkning gennem kvartæret. I Nordskandinavien er der fundet flere eksempler på postglaciale forkastninger med forsætninger af de overfladenære jordlag på op til 25 m, og hvor bevægelserne relateres til aflastningen ved bortsmeltningen af sidste istids iskappe (f.eks. Mörner 1978, Fjeldskaar et al. 2000). Iskappens vægt forårsagede ikke kun elastisk deformation af litosfæren, men også horisontale bevægelser i den øvre del af kappen (Dehls et al. 2000, Fjeldskaar et al. 2000, Muir-Wood 2000, Stewart et al. 2000). I forbindelse med deglaciationen formåede disse kræfter at overpræge den tektoniske baggrundsstress relateret til de pladetektoniske kræfter i Nordatlanten, og ifølge Stewart et al. (2000) har jordskælv og forkastningsaktivitet ikke kun præget de områder, der var dækket af is, men også betragtelige områder udenfor. Ifølge Gregersen & Voss (2009) er det danske område i dag et tektonisk set roligt område, men dette var ikke tilfældet i sen- og postglacial tid, hvor de glacio-isostatiske kræfter var dominerende. Det danske område har været overskredet af mange isdækker gennem kvartæret (Houmark-Nielsen 2004), og derfor har tektonik i forbindelse med isaflastningerne sandsynligvis været hyppig i det danske område (Sandersen & Jørgensen 2015). I gennem årene er der beskrevet en række eksempler på mulig postglacial forkastningsaktivitet, som har givet sig udtryk i det nuværende terræn (e.g. Hansen 1980, 1986, Jakobsen & Pedersen 2009, Kronborg et al. 1978, Lykke-Andersen 1981, Lykke-Andersen et al. 1996, Madirazza 2002, Milthers 1916). I nogle tilfælde er disse mulige forkastninger blevet relateret til reaktivering af dybe forkastninger i løbet af kvartæret, men er ikke specifikt blevet relateret til deglaciationen.

Nye detaljerede undersøgelser af landskabet i Sønderjylland har imidlertid påvist postglaciale deformationer af Tinglev Hedeslette, som har kunnet relateres til reaktivering af den underliggende Tøndergravs-struktur som følge af isaflastningen (Sandersen & Jørgensen 2015). Meget detaljerede højdedata (LiDAR), samt data fra borer og geofysik viser, at der blandt andet er skabt lavninger i hedesletten på op til 16 m, og dateringer af sedimenter i en af lavningerne viser, at disse først blev dannet i tidlig postglacialtid for ca. 9.000 år siden. Undersøgelserne konkluderer blandt andet, at hvis reaktivering af dybe forkastninger som følge af deglaciationen er sket i Sønderjylland, så er der stor sandsynlighed for, at andre dybe strukturer i Danmark også har været reaktiverede. Dette åbner op for, at den kvartære lagserie stedvist kan være gennemsat af forkastninger helt op til det nuværende terræn.

Ovenstående understøttes stedvist af iagttagelser af forkastninger under dalstrukturer i seismiske data, men en direkte sammenhæng er ofte vanskelig at se ud fra data.

Eksempler på mulig postglacial tektonik er også beskrevet i Nordtyskland (se f.eks. Al Hseinat & Hübscher 2014, Al Hseinat et al. 2016, Lehné & Sirocko 2005, Reicherter et al. 2005, Szeder & Sirocko 2005), og Stackebrandt (2009) relaterede endog fordelingen af tunneldale i Nordtyskland til neotektoniske strukturer.

Der er således god grund til at betragte orienteringerne af de begravede tunneldale som et resultat af flere faktorer, som har haft varierende dominans såvel tidsligt som geografisk set. I det følgende gennemgås data for en række udvalgte områder:

### **Vendsyssel/Himmerland-Thy:**

De foretrukne orienteringer for de begravede dale i delområderne *Vendsyssel* og *Himmerland-Thy* viser meget tydelige sammenfald med såvel forkastningerne som de topografiske dale, og specielt bemærkelsesværdigt er det 45 graders skift i orienteringerne, der ses i alle tre datasæt. Det ser således ud til, at de strukturelle forhold, som findes i og omkring Sorgenfrei-Tornquist Zonen afspejles i

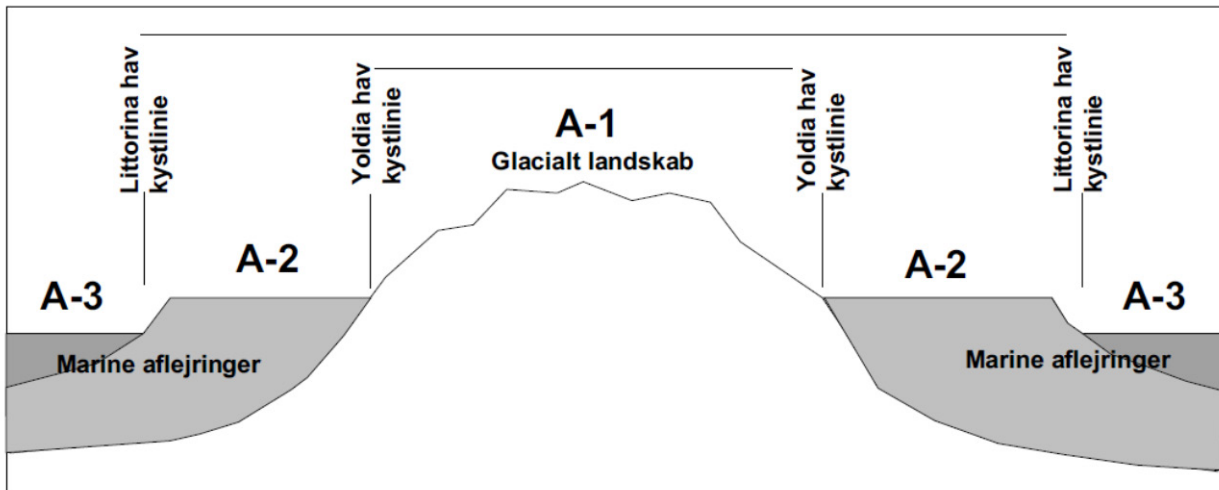
erosionsmønstrene for både de begravede dale og de topografiske dale, hvilket ville kræve, at de dybe forkastninger har skabt forsætninger og dermed svaghedszoner i den dækkende lagserie. Umiddelbart taler den geologiske opbygning imod denne forklaring, da Vendsyssels geologi er meget forskellig fra Himmerlands, og at der derfor ikke synes at være nogen sammenhæng. I Vendsyssel er der op til omkring 300 m kvartære aflejringer ovenover aflejringer fra Kridt, og hovedparten af de kvartære aflejringer er fra Eem og Weichsel (Knudsen et al. 2009); alle de kortlagte begravede dale i Vendsyssel er fra den sene del af Weichsel, og de er alle eroderet ned i relativt unge istidsaflejringer (Sandersen et al. 2009). Dette står i kontrast til Himmerland, hvor Skrivekridtet kommer helt op over kote +50 m, og hvor de begravede dale typisk er dannet som erosioner ned i kridtaflejringerne, og hvor daldannelsen ikke nødvendigvis er sket sent i kvartæret. Men da de topografiske dale viser samme orienteringer som forkastningerne, ser det ud til, at en overordnet faktor har spillet ind på samme måde i begge delområder.

I dal-opdateringen fra 2002 (Sandersen & Jørgensen 2002) blev vektorerne for de topografiske dale i Vendsyssel splittet op i tre på baggrund af landskabselementer (Figur 5.8), og resultatet blev ganske overraskende, at NV-SØ orienteringen gik igen for alle tre landskabselementer (Figur 5.9). Det vil sige, at dræneringsmønstret for de tre dele af landskabet er ens, på trods af de forskellige dannelses-tidspunkter. Det er velkendt, at Nordjylland efter sidste istid er hævet ganske betragteligt, og at vippeaksen i det danske område er omtrent NV-SØ (Mertz, 1924). Men på trods af dette ser det ud til, at dræneringen af Vendsyssel har været orienteret ganske ensartet parallelt med NV-SØ-orienteringen og ikke f.eks. vinkelret her på, som man måske ville forvente. Dette leder tanken hen på, at hævnningen af landet i sen- og postglacialtid ikke er sket fuldstændig ensartet, men at der – dikteret af eksisterende forkastningszoner – har været geografiske forskelle i hævningsraten. Lykke-Andersen & Borre (2000) viste eksempelvis ud fra præcisionsnivelementer, at der sandsynligvis er differentierede bevægelser i Sorgenfrei-Tornquist Zonen selv i dag.

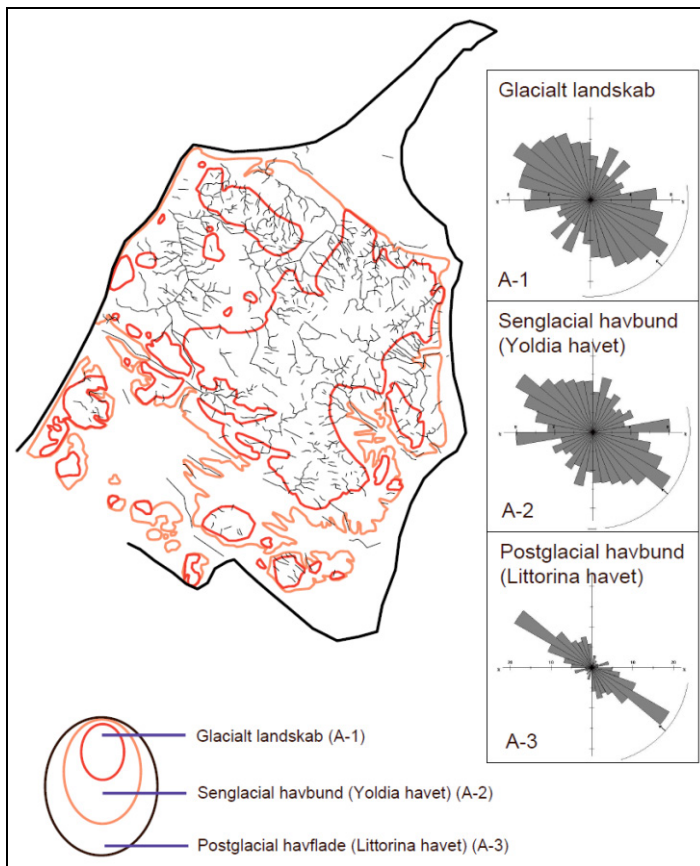
Hvis tektoniske bevægelser relateret til isaflastningen har brudt lagserien i *Vendsyssel* op i "blokke", som indbyrdes har bevæget sig i forhold til hinanden, så vil der kunne dannes forkastningszoner i sedimenterne helt op til terrænoverfladen. Disse svaghedszoner vil kunne have styret dræneringsmønstret i landskabet i sen- og postglacial tid. For *Himmerland-Thy's* vedkommende er N-S orienteringen af de begravede dale i god tråd med hyppige isfremstød fra Norge, men det synes også oplagt, at erosionen af kalken allerede i tiden før nedisningerne har været styret af de dybe, underliggende N-S forkastningsstrukturer, og at dette mønster er blevet forstærket ved gentagen subglacial erosion under nedisningerne.

### **Vestjylland:**

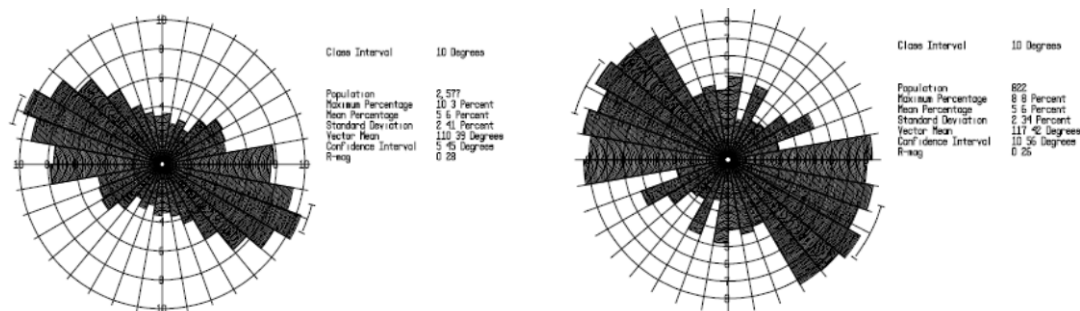
I delområdet *Vestjylland* viser de topografiske dale en dominans af orienteringer mellem Ø-V og NV-SØ, hvilket er ca. 90 grader forskelligt fra rosetten for Limfjord-SV lige nord for (Figur 4.18). Dette er ikke umiddelbart overraskende, da delområderne ligger på hver sin side af Hovedopholdslinjen, men dog er det bemærkelsesværdigt, at dræneringsmønstret på hedesletten kun i så ringe grad er påvirket fra nord.



Figur 5.8 Inddeling af Vendsyssel på baggrund af landskabsformer. A-1: Glacialt landskab, A-2: Senglacial havbund (Yoldia), A-3: Postglacial havbund (Littorina). Fra Sandersen & Jørgensen 2002.



Figur 5.9 Topografiske dale i udvalgte områder i Vendsyssel (efter landskabstype). Sorte vektorer udgør bund af topografiske dale. Fra Sandersen & Jørgensen 2002.



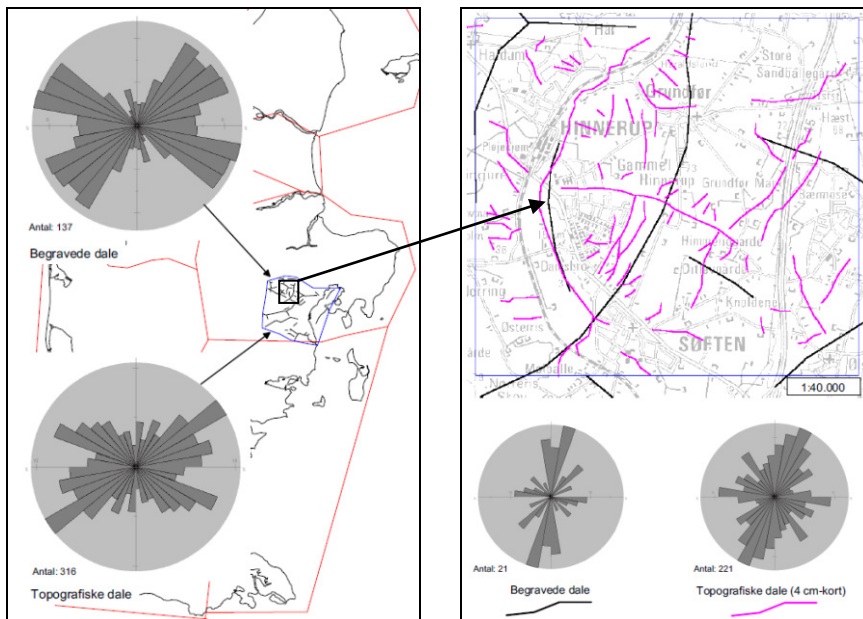
**Figur 5.10 Orienteringer af topografiske dale.** Til venstre, hele Vestjylland (omfattende *Vestjylland* og *SV-Jylland* delområderne) og til højre, "delmængden" Skovbjerg Bakkeø. Fra Sandersen & Jørgensen (1998).

I forbindelse med dal-rapporten fra 1998 (Sandersen & Jørgensen 1998) blev de topografiske dale for hele Vestjylland sammenlignet med de topografiske dale på Skovbjerg Bakkeø, som er en delmængde af Vestjylland-området. Skovbjerg Bakkeø udgør et landskab fra næstsidste istid (Saale), mens hedesletten, som ligger udenom bakkeøen, er fra sidste istid (Weichsel). På trods af dette ses det af Figur 5.10, at orienteringerne af de topografiske dale stort set er den samme, hvilket kunne pege på en indflydelse, som har virket gennem en længere periode. De dybe forkastninger i Vestjylland viser en dominans af orienteringer mellem NV-SØ til NNW-SSØ. På trods af at der ikke er fuldstændigt sammenfald i de foretrukne orienteringer, så peger det på, at de strukturelle forhold kan have haft en indflydelse på den kvartære geologi i området. Undersøgelser af bl.a. seismik og topografi i det midtjyske har eksempelvis sandsynliggjort, at bevægelser langs dybe forkastninger har været landskabsdannende i løbet af kvartæret, og at der typisk har været tale om bevægelser langs NV-SØ til V-Ø orienterede forkastninger (Lykke-Andersen et al. 1996). Som supplement til iagttagelserne af de topografiske dale kan det nævnes, at de topografiske dale henholdsvis vest og øst for den N-S forløbende Hovedopholdslinje generelt har skæve vinkler til denne.

Ses der på de begravede dale for delområde Vestjylland, genfindes de to orienteringer fra henholdsvis topografien og forkastningerne, men der forekommer desuden en tydelig N-S orientering (Figur 4.24). Denne N-S orientering for de begravede dale er meget dominerende i *Vestjylland*, *Himmerland-Thy* og *Limfjord-SV*, men er underordnet i alle andre områder i Jylland og på Fyn. Det kunne således tyde på, at der findes en dominerende N-S generation af begravede dale i Vest- og NV-Jylland, og da dominansen ses på begge sider af Hovedopholdslinjen peger det på, at dalene er anlagt i Saale eller tidligere. Bemærkelsesværdigt er det også, at N-S begravede dale stort set ikke forekommer i delområde *SV-Jylland*. I Vendsyssel forekommer der N-S begravede dale, men disse er relateret til Sen Weichsel (Sandersen et al. 2009) og er med sikkerhed dannet uden sammenhæng med ældre N-S dalgenerationer.

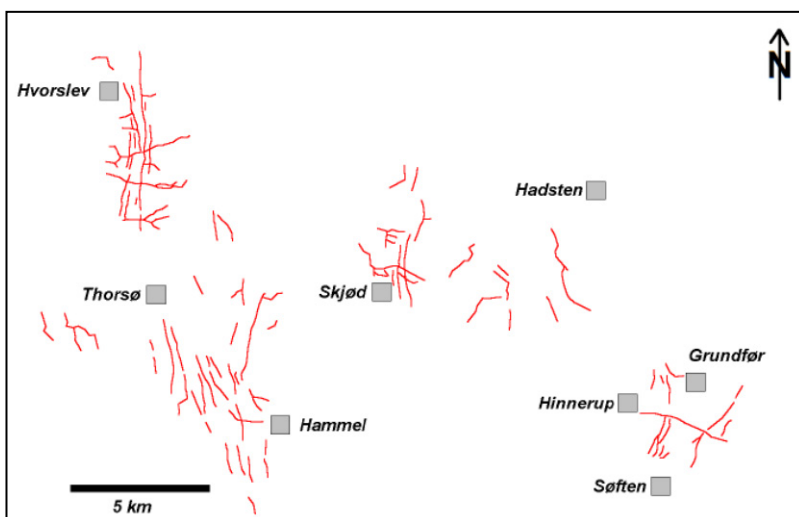
### Østjylland:

Rosetterne for Østjylland viser et kompliceret billede, men for de topografiske og de begravede dale ses to dominerende orienteringer, hvoraf den ene matcher godt med forkastningerne (Figur 4.25). Det er dog tydeligt, at rosetterne for såvel topografien som for de begravede dale, er sammensat af flere populationer. Detaljer i dette billede kan dog ses, hvis man zoomer ind på lokale områder, og i nogle tilfælde kan der ses orienteringer, som afviger fra det regionale billede. Et par lokale områder indenfor Østjylland-delområdet blev undersøgt nærmere ved 2000-opdateringen (Jørgensen & Sandersen 2000):



**Figur 5.11 Orienteringer af topografiske dale og begravede dale for to lokale områder indenfor Østjylland-delområdet: Til venstre, Århus-området og til højre, Hinnerup-Søften-området. Fra Jørgensen & Sandersen 2000.**

Ved at zoom ind på en mindre del af Østjylland, kunne det ses, at det overordnede billede for de topografiske dale og de begravede dale blev bibeholdt, men at de to mest dominerende orienteringer blev mere tydelige (se til venstre på Figur 5.11). Hvis der zoomedes mere ind (se til højre på Figur 5.11) kunne det ses, at der helt lokalt kunne være afvigelser fra det regionale billede, men hvor de to datasæt stadig viste indbyrdes overensstemmelse.



**Figur 5.12 "Terræn-ridser" nordvest for Århus Fra Jørgensen & Sandersen (2000).**

Det lokale område ved Hinnerup-Søften ind (til højre på Figur 5.11) udmærker sig ved at være et område, hvor der findes nogle specielle "ridser" i terrænet. Disse "terræn-ridser" kan findes indenfor et større område nordvest for Århus (se Figur 5.12), og de blev af Milthers (1916) beskrevet som

"spaltdale", da de sandsynligvis kunne henføres til bevægelser i undergrunden. Denne synsvinkel blev støttet af Jakobsen & Pedersen (2009), som fandt tilstedeværelse af forkastninger under terræn-ridserne ved Hvorslev. Hvis dette er rigtigt, er området et godt eksempel på sammenfald mellem topografiske dale, begravede dale og forkastninger, og den forbundethed i dannelsen, som formodes at være til stede. Ved Hvorslev (se Figur 5.12), er der netop kortlagt en meget markant N-S orienteret begravet dal under spaltdalene (se lokalitetsbeskrivelse AAR31).





## 6. Anvendelser af dalekortlægningen

### 6.1 "Best practise": Kortlægningsmetoder og -procedurer

Efter mange års kortlægning af begravede dale i den danske undergrund kan der med baggrund i en solid erfaringsopsamling ske en beskrivelse af de bedste metoder til kortlægning af begravede dale i det danske område, og en beskrivelse af anbefalinger til en generel proceduretilgang til geologisk kortlægning af et område med begravede dale. Samlet set kan man kalde disse beskrivelser en form for "best practise", som kan anvendes som udgangspunkt ved planlægning af nye dalkortlægninger. Beskrivelserne i det følgende vil ikke nødvendigvis beskrive "current practise", men nærmere et idealiseret kortlægningsforløb, hvor hverken tid eller økonomi er indlagt som begrænsende faktorer.

I de seneste to-tre årtier er der sket en markant udvikling af kortlægningsmetoderne målrettet den overfladenære del af undergrunden. Specielt er der tale om forbedring af eksisterende geofysiske metoder og udvikling af en række nye, men også indenfor andre områder er der sket udvikling; eksempelvis udvikling af mere avanceret boreudstyr og forbedring af procedurer i forbindelse med borearbejde, samt forbedrede dateringsmetoder for jordprøver.

Den følgende tekst vil ikke indeholde en beskrivelse af alle de metoder, som anvendes i dag, men kun metoder, som er værdifulde i kortlægningen af begravede dale. Beskrivelserne vil være kortfattede og være målrettet anvendelsen i forbindelse med kortlægning af "dal-geologi". I betragtning af, at dalkortlægningen viser, at det kun er begrænsede dele af den danske undergrund, som ikke huser begravede dale, vil de beskrevne metoder og procedurer generelt kunne bruges ved kortlægning af jordlagene i de øverste ca. 300 m.

#### 6.1.1 Anbefalede kortlægningsmetoder

##### 6.1.1.1 Geofysiske metoder

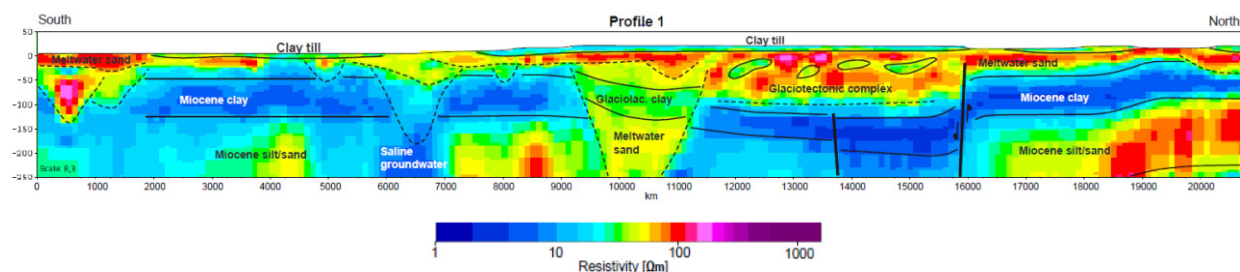
###### Elektromagnetisk kortlægning

Den Transient ElektroMagnetiske metode (TEM) blev oprindeligt udviklet til mineralefterforskning (Spies & Frischknecht 1991), men metoden har fundet indpas i grundvandskortlægningen – i starten som jordbaserede sonderinger (se f.eks. Christensen & Sørensen 1998) og senere som luftbåren kortlægning med SkyTEM-systemet (Danielsen et al. 2003, Sørensen & Auken 2004).

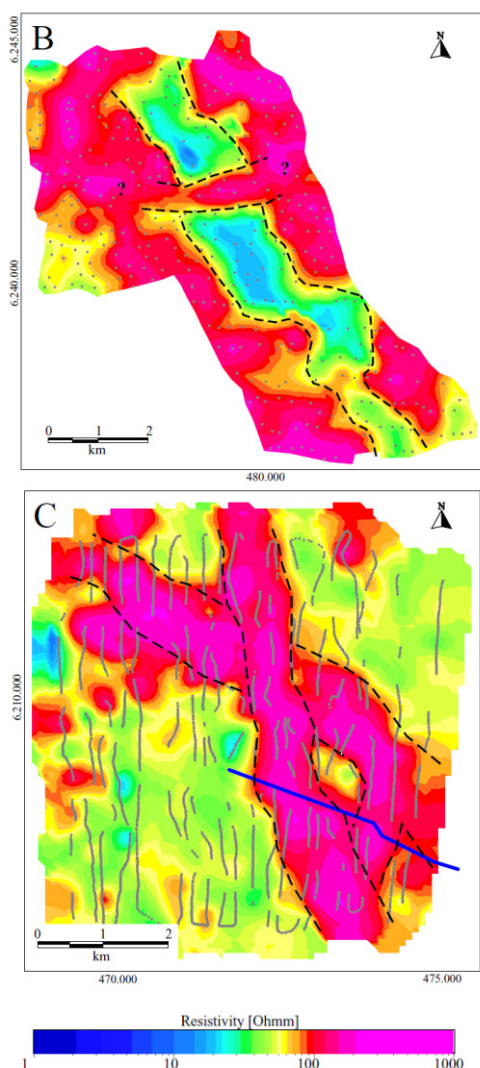
Metodens store styrke er, at den giver et billede af undergrundens resistivitetsvariationer i punktsonderinger med en datatæthed, som selv med de tidlige jordbaserede målinger langt overgik, hvad der kunne opnås med borer. I forbindelse med kortlægning af specielt begravede dale gav boredata alene ikke et tilstrækkeligt godt datagrundlag til udpegningen af dalenes forløb (Thomsen et al. 2004, Jørgensen & Sandersen 2009b), og med TEM metoden kunne der nu opnås et væsentligt bedre billede af undergrunden. Hvor datatætheden med de jordbaserede undersøgelser trods alt var

begrænset, skete der et datamæssigt kvantespring med udviklingen af SkyTEM-metoden, som gjorde kortlægningen af de begravede dale med denne metode markant bedre end tidligere.

TEM-metoden giver de bedste kortlægningsresultater i områder med gode modstandsmæssige kontraster, og i forbindelse med dal-kortlægning ses de bedste resultater, hvor der er stor modstands-kontrast mellem dalfyld og omgivelserne, som det eksempelvis kan ses midt på Figur 6.1.



Figur 6.1 Eksempel på SkyTEM-kortlægning ved Tønder. Fra Jørgensen et al. 2015.

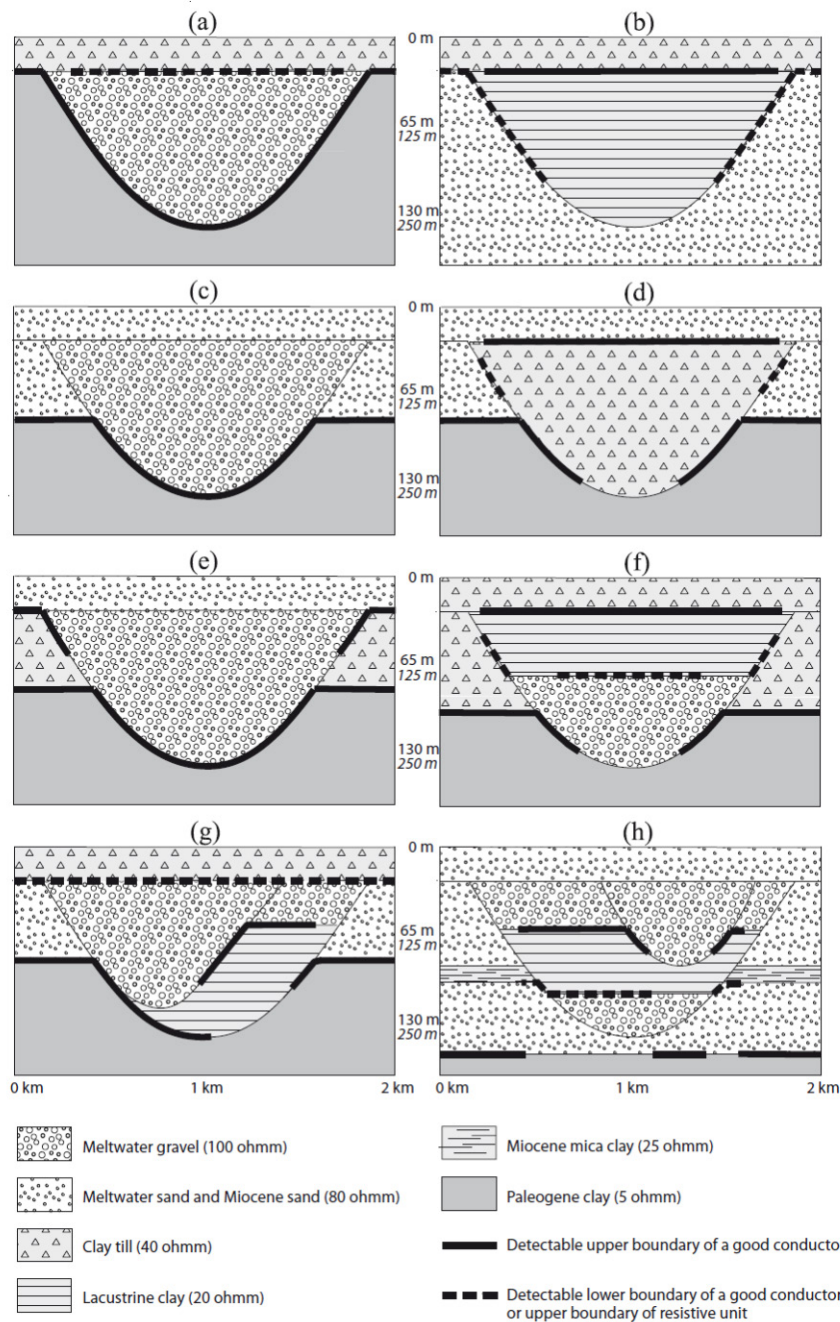


Figur 6.2 Eksempel på TEM-kortlægning af dale; B) lerfyldt dal omgivet af sand, C) sandfyldt dal omgivet af lerede aflejringer. Udsnit af figur fra Jørgensen & Sandersen (2009b).

Omvendt vil der i områder med små modstandskontraster kunne være vanskeligheder med at opløse de begravede dale. Eksempelvis kan sandfyldte dale, som er eroderet ned i sandede, tertiære aflejringer være vanskelige at udpege, da begge aflejringstyper har høje modstande. Tilsvarende kan en dal fyldt med smeltevandsler omgivet af tertiært ler også være vanskelig at kortlægge. Det er derfor vigtigt ved en kortlægning, at TEM-metodens muligheder og begrænsninger holdes for øje. Nogle af metodens muligheder og begrænsninger i forbindelse med dalkortlægning er illustreret på Figur 6.3, hvor forskellige daltyper vises med markeringer af, hvilke dele af dalene, der typisk kan kortlægges.

Dalkortlægningen viser også, at mange begravede dale kun er blevet kortlagt, fordi der i et begrænset dybdeinterval i dalen er aflejret lag, som modstandsmæssigt afviger fra omgivelserne (se fx Figur 6.2B). Dette kan eksempelvis ses på skitse "h" på Figur 6.3; kun leret midt i dalen afslører, at der er tale om en dal.

Metoden er følsom overfor opløst salt, hvilket betyder, at f.eks. sandlag med salt porevand får en væsentlig lavere modstand. Ved høje saltkoncentrationer kan sandlag opnå samme modstandsniveauer som ler.



**Figur 6.3** Simplificerede tværsnit af begravede dale med anvisning af hvilke laggrænser, som typisk kan kortlægges ved forskellige litologier. Fra Jørgensen et al. (2003a).

Metodens begrænsninger centrerer om følgende forhold:

- Metoden forstyrres af elektriske ledere i undergrunden, hvilket betyder, at der ikke kan kortlægges i bymæssig bebyggelse, og at der skal frasortes "koblede" data ved f.eks. veje og el-ledninger.
- Metoden afspejler kun strukturer i undergrunden indirekte.

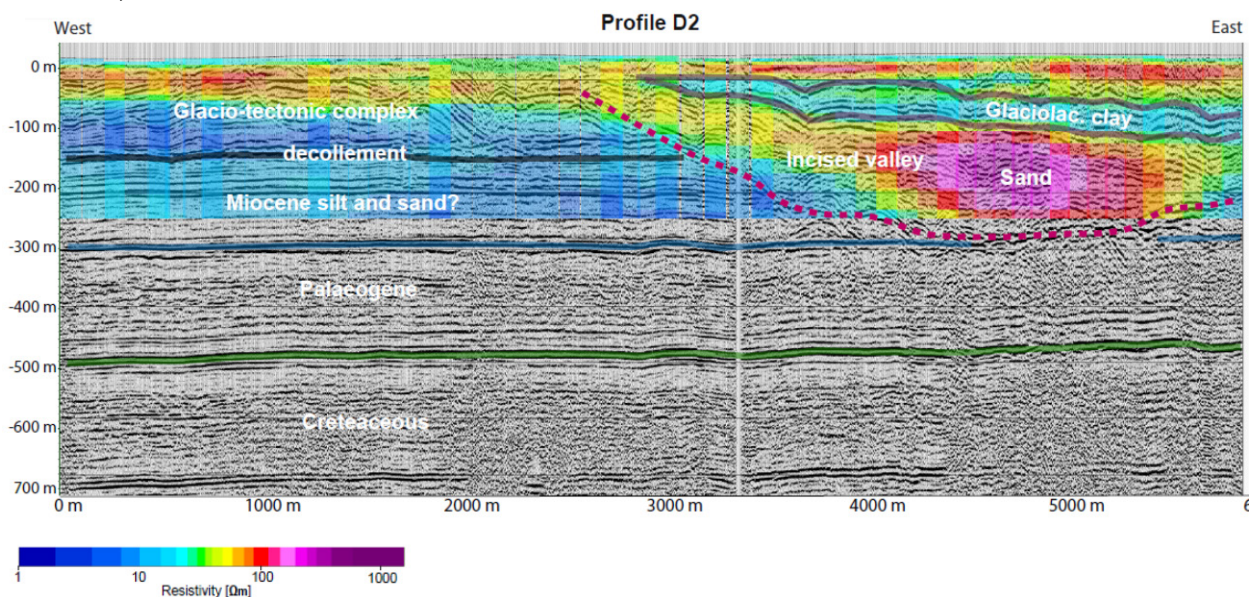


- De målte resistiviteter skal oversættes til en geologisk tolkning, hvilket normalt forudsætter gode boredata og et kendskab til den overordnede geologiske opbygning i kortlægningsområdet.
- Der er en begrænsning i hvor tynde lag og hvor mange lag metoden kan opløse; bedst i toppen og dårligst i de dybeste dele af lagserien.
- Metoden kan kun benyttes ved kortlægning af lagserier med modstandskontraster. Der er ikke nødvendigvis modstandskontrast mellem silt og sand, sand og kalk, moræneler og saltvandsholdigt sand, osv.

Alt i alt udgør TEM-metoden – og specielt SkyTEM-metoden – en uundværlig del af kortlægningen af de overfladenære jordlag i Danmark – herunder i særdeleshed de begravede dale. Videreudvikling af SkyTEM-metoden i de senere år har åbnet vejen for bl.a. bedre opløsning af de helt overfladenære lag.

### Seismiske undersøgelser

Seismiske undersøgelser er blevet anvendt i grundvandskortlægningen gennem mange år. Seismikken giver ingen eller kun få oplysninger om lithologien, men giver i stedet et billede af undergrundens strukturelle opbygning, som kan være et værdifuldt bidrag til de indsamlede TEM-data – specielt ved dalkortlægning (Jørgensen et al. 2003b). I forbindelse med grundvandskortlægningen anvendes typisk vibrationsseismik med indtrængningsdybde på op til 500 og 1000 m. Det viste eksempel (se Figur 6.4) viser gode data med høj opløsning fra Sønderjylland, hvor en begravet dal tydeligt ses i den højre halvdel af profilet. Interpolerede SkyTEM-data er vist ovenpå seismikken, og illustrerer, hvordan de to datasæt kan understøtte hinanden.

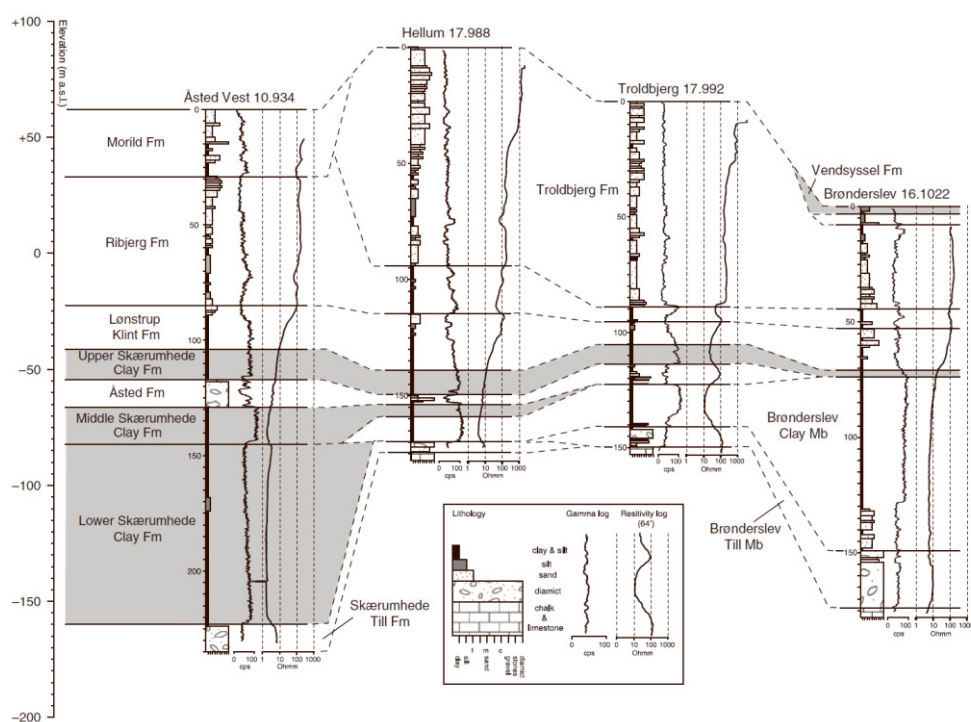


**Figur 6.4** Et eksempel på højopløseligt seismisk profil med SkyTEM resistivitetsgrid indlagt for de øverste 250 m. Højre del af profilet viser en ca. 300 m dyb begravet dal, hvor de dybeste dele er nederoderet i tertiære aflejringer. Fra Jørgensen et al. (2015).

Desværre er det dog ikke alle steder, hvor kortlægningsresultatet for seismikken er så godt som vist på Figur 6.4. I mange tilfælde kan f.eks. en tyk umættet zone betyde, at kvaliteten af seismikken bliver væsentligt ringere.

På grund af de høje omkostninger forbundet med seismisk kortlægning udføres der typisk kun ganske få kilometer seismisk profil ved en normal grundvandskortlægning, og derfor er det vigtigt, at profilerne placeres der, hvor udbyttet for kortlægningen forventes at være højest. Hertil kommer, at da der normalt skal kortlægges langs veje, vil der være praktiske begrænsninger i hvor profilerne kan placeres. Derfor vil der ikke altid være tale om optimalt placerede profiler set i forhold til strukturerne i undergrunden. For at kunne foretage den bedst mulige tolkning er det vigtigt, at profilerne går gennem dybe boringer med god stratigrafisk kontrol.

I nogle tilfælde kan gamle seismiske profiler indsamlet i forbindelse med olie- og gasefterforskningen på land anvendes i forbindelse med grundvandskortlægning, men generelt gælder det for disse undersøgelser, at de er fokuserede mod den dybe del af undergrunden og derfor ikke opløser de øverste dele af lagserien.



**Figur 6.5** Eksempel på anvendelse af borehulslogging i forbindelse med korrelation mellem boringer i Vendsyssel. Fra Sandersen et al. (2009).

### Geoelektriske undersøgelser

Flere forskellige typer af geoelektriske undersøgelser har været brugt i grundvandskortlægningen, men de to metoder, som har fundet størst anvendelse er PACES (slæbegeoelektrik) (Sørensen 1996) og MEP (Multi Elektrode Profilering) (Geofysiksamarbejdet 2004). Med PACES og MEP måles jordlagenes resistivitet langs profiler ned hhv. 20-25 m og 40-60 m. Med en lille profilafstand kan der opnås en tilnærmet rumlig gengivelse af resistiviteterne, men dette er sjældent praktiseret på grund af meget høje omkostninger. Metoderne er specifikt velegnede i forbindelse med kortlægning af dæklagstykkelser og af overfladenære litologiske enheder, og i forhold til TEM kan metoderne lettere måle kontraster i omgivelser med meget høje resistiviteter. I forbindelse med kortlægning af begravede dale finder MEP-metoden typisk anvendelse ved kortlægning af overfladenære dales afgræns-

ninger. Det er dog kun en meget begrænset del af de kortlagt begravede dale, der er kortlagt med PACES og MEP.

## Borehulslogging

Borehulslogging i nye såvel som eksisterende boringer har været anvendt i grundvandskortlægningen gennem flere årtier. Målingen sker med nedsænkede sonder i borehullet enten i et uforet borehul i forbindelse med nye undersøgelsesboringer eller i forerøret på eksisterende, filtersatte boringer.

Kombinationen af forskellige log-typer sammenholdt med litologien fra boreprøverne udgør et stærkt værktøj ved tolkningen af boringens geologi og ved korrelation mellem boringer. Et eksempel på dette ses på Figur 6.5, hvor resistivitetslog og gammalog har bidraget til korrelationen mellem boringerne. Resistiviteterne målt i borehullet kan også bruges til at få et indtryk af spændvidden i resistiviteterne for de enkelte gennemborede formationer, og selvom man ikke direkte kan sammenligne modstandsværdierne metoderne i mellem, så kan inputtet fra borehulslogs bruges ved de geologiske tolkninger af SkyTEM-data (se Figur 6.6).

I forbindelse med kortlægning af begravede dale er det meget vigtigt at kunne korrelere mellem boringer i og udenfor dalene, og haves der borehulslogs, opnås afgjort bedre muligheder for at samtolke data.

Formation	Lithology	Resistivity intervals (ohmm)														Thickness (m)		
		0-1	1-2	2-3	3-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-80	80-100	100-120	120-160		160-200	
Morild	Sand/silt																	Up to 212
Troldebjerg	Sand																	Up to 95
Ribbjerg	Clay/sand																	Up to 55
Lønstrup Klint	Clay/sand																	Up to 35
Upper Skærumhede Clay	Clay																	5 - 20
Åsted	Till																	3 - 12
Middle Skærumhede Clay	Clay																	5 - 20
Brønderslev Clay Member	Clay/sand																	10 - 55
Brønderslev Till Member	Till, sandy																	5 - 30
Lower Skærumhede Clay	Clay, silty																	Up to 85
Skærumhede Till	Clay till																	5 - 15
Upper Cretaceous	Chalk																	-

**Figur 6.6 Resistiviteter målt ved borehulslogging vist i forhold til specifikke geologiske formationer. Resistivitetsintervallerne blev anvendt ved geologisk tolkning af SkyTEM (Vendsyssel). Fra Sandersen et al. 2009.**

### 6.1.1.2 Boringer

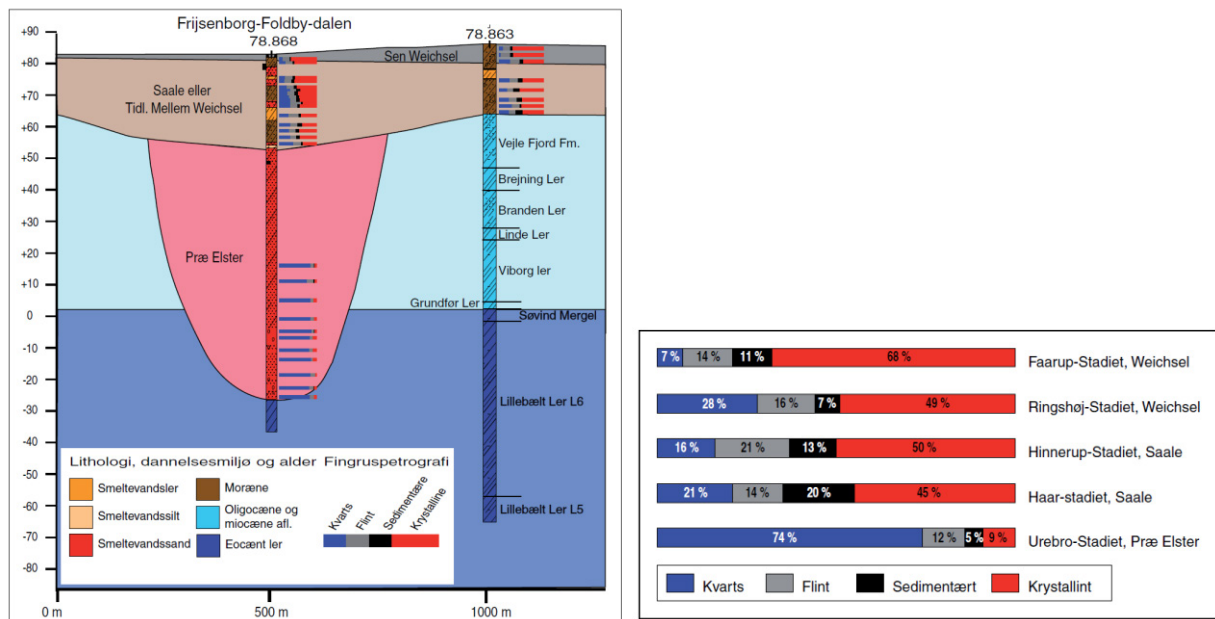
Boringer bidrager selvsagt med væsentlige datasæt ved en geologisk kortlægning, og jo bedre udførte boringer jo bedre boredata opnås. I grundvandskortlægningen er anvendelsen af lufthævemetoden blevet standard, da den giver de bedste jordprøver og dermed også den bedste sikkerhed i bestemmelsen af laggrænserne; se nærmere i Ditlefsen et al. (2008). Ved korte boringer anvendes snegleboremetoden, som har den fordel, at prøverne tages direkte fra sneglen og derfor bliver væsentligt bedre end ved lufthævemetoden.

I forbindelse med kortlægning af begravede dale er det vigtigt at boringerne repræsenterer såvel dalfyld, dalbund som dal-omgivelser. Herudover er det vigtigt at beskrivelserne er troværdige og at jordprøverne er gode og af en størrelse, så der kan udtages prøver til fingrusanalyser eller OSL-dateringer.

### 6.1.1.3 Dateringer

Biostratigrafiske analyser af jordprøver enten ved undersøgelser af pollen, dinoflagellater eller foraminiferer er meget vigtige i forbindelse med geologisk kortlægning, da der opnås en stratigrafisk datering af specifikke gennemborede lag. I forbindelse med kortlægning i et område med begravede dale er dette uvurderligt i forbindelse med de geologiske tolkninger af såvel dalfyldet som de aflejring-dalene er eroderet ned i. Et godt eksempel er grundvandskortlægningen ved Nr. Snede, hvor biostratigrafiske analyser i to dybe borer på tværs af en forkastningszone kunne bekræfte, at den tertiære lagserie var forkastet ca. 150 m (se Figur 4.37).

Af andre dateringsmetoder kan nævnes Optisk Stimuleret Luminiscens (OSL), som giver en mere præcis alder end de biostratigrafiske analyser, og som kan bruges på aflejringer uden organisk stof.



**Figur 6.7 Fingrusanalyse i område med begravede dale NV for Århus.** Til venstre profilsnit gennem Frijsenborg-Foldby-dalen med tolkede aldre og til højre oversigt over fingrusfordelingen i tillenheder fra Århus-området. Fra Sørensen et al. (2006).

Ved fingrusanalyser kan man opnå et petrografisk "fingeraftryk" af ikke kun moræner, men også af smeltevandsaflejringer. Fingrusanalyserne giver en relativ alder ud fra sammenligninger af fingruspetrografien, men ikke en eksakt datering eller reference til et specifikt stratigrafisk niveau. Fingrusanalyser kan give vigtigt input til såvel tolkningerne af aldersrelationerne mellem dalgenerationerne som korrelationen af den kvartære lagserie generelt. To eksempler er beskrevet i henholdsvis Sørensen et al. (2006) (se Figur 6.7) og i lokalitetsbeskrivelse ODE20 Svendborg (se rapportens Bind 2).



## 6.2 Begravede dale og grundvandsressourcer

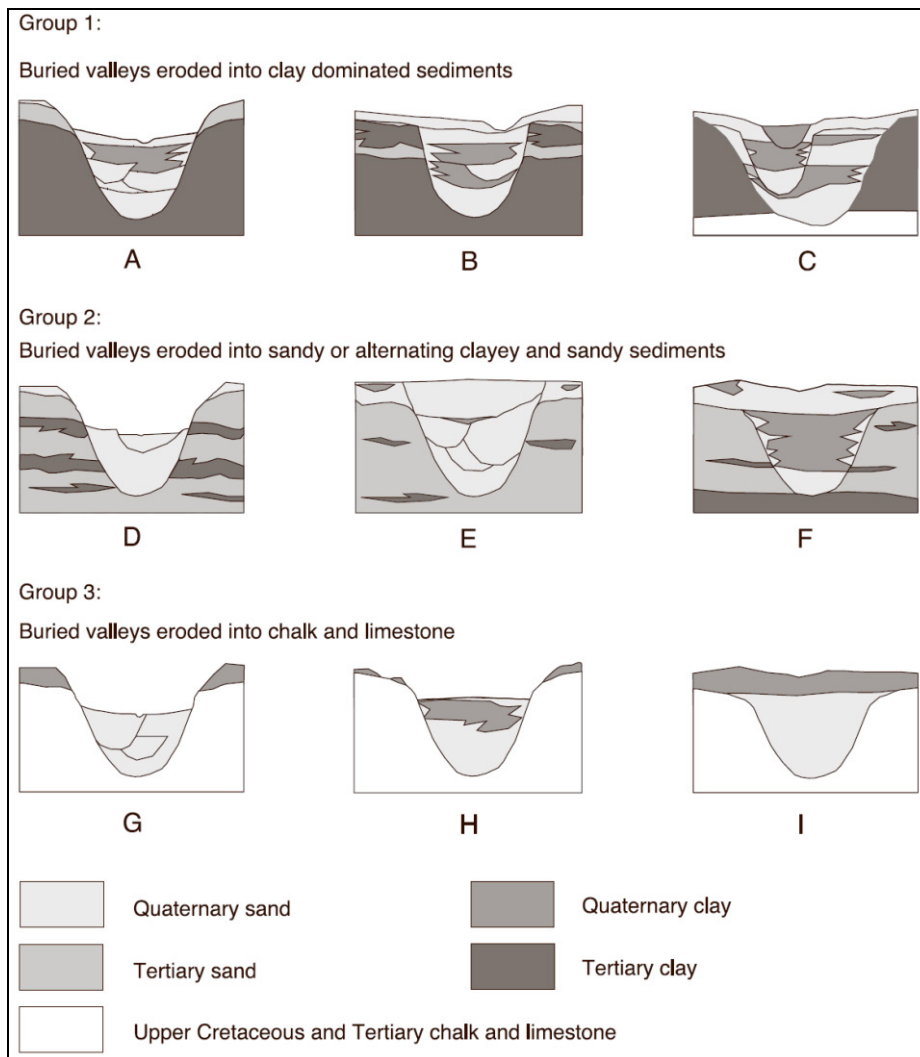
### 6.2.1 Grundvandsressourcer og detailkortlægning af begravede dale

I efterforskningen efter nye grundvandsressourcer har kendskabet til de begravede dale en stor betydning:

- Begravede dale indeholder mange steder sand og grus, som udgør betydelige grundvandsressourcer.
- Dalene gennemskærer oprindelige lagdelinger og kan derved skabe kortslutninger mellem forskellige grundvandsforekomster.
- Dybe dalerosioner kan stedvist medføre, at salt grundvand trænger op i højere lag.
- Lerfyldte dale kan stedvist fungere som barrierer for grundvandets strømning.

Meget ofte giver dalene mulighed for at finde vand på store dybder, hvor der ellers ikke forekommer brugbare grundvandsressourcer, og i sådanne tilfælde skal man for det første have en viden om hvor dalene findes, og dernæst skal eventuelle grundvandsressourcer i dalene identificeres. Derfor er det nødvendigt at udføre undersøgelser, men det er også nødvendigt at have grundigt kendskab til, hvordan dalene er dannet, hvordan de kan være opbygget, og hvilke orienteringer og dimensioner de har. Denne viden skal sammenholdes med undersøgelsesresultaterne før optimale geologiske modeller kan opbygges, og således før de bedste kildepladser kan udpeges. Dette er særligt vigtigt i de områder, hvor kortlægningen er detaljeret og hyppigheden af begravede dale er stor. I Århus-området er undergrunden eksempelvis så præget af dal-geologi, at begravede dale findes under mere end 50 % af arealet. En detaljeret beskrivelse af grundvandsstrømningen i området vil derfor kun kunne opnås, hvis dalenes udbredelse, fyld og indbyrdes sammenhænge er kortlagt og geologien er udredt.

Underlaget for de begravede dale i det danske område er varierende på grund af forskellene i den geologiske opbygning, og da dalenes fyld også varierer, vil forekomsten af grundvandsmagasinerne og disses hydrauliske egenskaber og interaktion med omgivelserne ligeledes variere. Dette er illustreret i Figur 6.8. Her er vist skitser af i alt 9 forskellige daltyper nederoderet i kalk-, ler- eller sandlagserier. Gruppe 1 (skitse A-C) findes typisk på Fyn og i Øst- og Nordvestjylland, hvor dalene er eroderet ned i lerdominerede tertiære sedimenter, og hvor sandede og lerede kvartære sedimenter udgør dalfyldet. I Vendsyssel er dalene nederoderet i kvartært ler – typisk marint ler eller smeltvandsler. Dalene i gruppe 1 repræsenterer dale, som lettest lader sig kortlægge med de normalt anvendte metoder. Grundvandsmagasinerne vil hovedsageligt være afgrænset til selve dalstrøget, og sårbarheden af magasinerne vil afhænge af dæklagenes karakter og udbredelse. Sårbarhedsmæssigt bør dalsiderne tildeles speciel opmærksomhed, da lagserien her sandsynligvis vil være mest varieret. Stedvist kan de lerede tertiære sedimenter være borteroderede, så kalken blottes i bunden af dalen, og i disse tilfælde vil optrængning af salt grundvand fra kalken til de kvartære magasiner kunne finde sted (skitse C). Dalene i gruppe 2 (skitse D-F) er dale, der er eroderet ned i hovedsageligt vekslende sandede og lerede tertiære lagserier. Disse dale findes typisk i de vestlige og sydlige dele af Jylland.



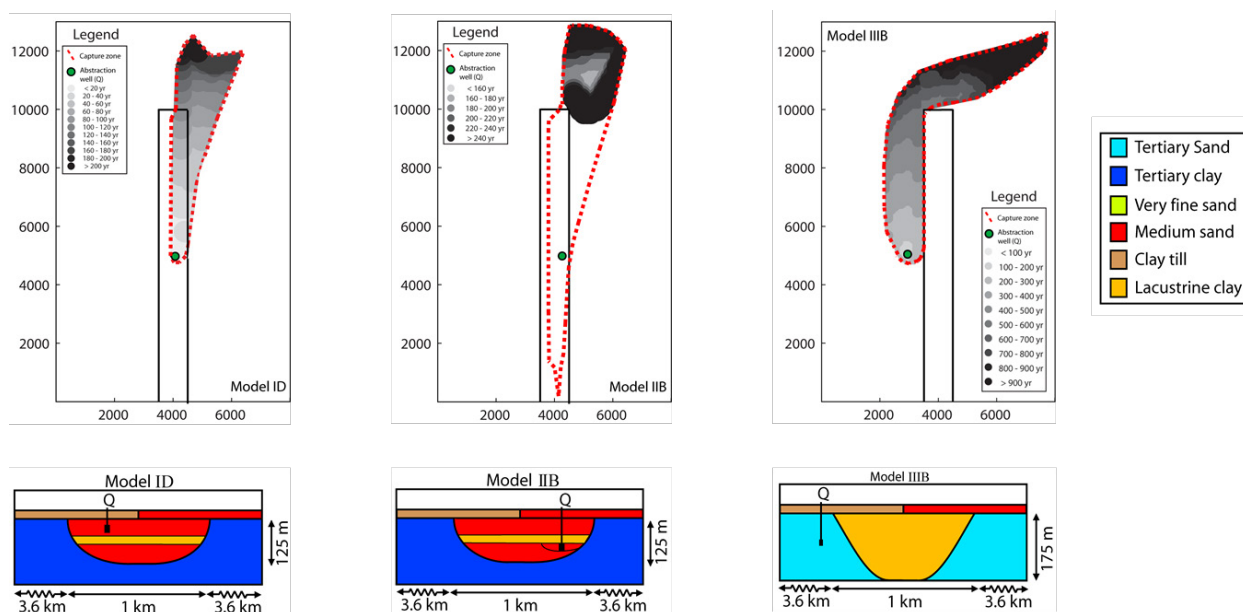
**Figur 6.8** Skitser af forskellige typer af begravede dale. Fra Sandersen & Jørgensen (2003).

Grundvandsmagasinerne i disse dale vil være i hydraulisk kontakt med grundvandsmagasiner i de tertiære aflejringer udenfor dalene, men forskelle i hydrauliske egenskaber mellem dalfyld og omgivelser vil kunne præge grundvandsstrømningen. Dalene kan gennemskære dækkende tertiære lag og derved skabe mulighed for transport af forurenende stoffer fra overfladen og til dybe magasiner. Dalene i gruppe 3 (skitse G-I) er dale, som er nederoderet i kalk eller kridt, og disse findes typisk i Himmerland, Djursland og på Østfyn. Grundvandsmagasinerne i disse dale vil typisk være i hydraulisk kontakt med den omgivende kalk eller kridt, men de hydrauliske egenskaber vil være forskellige, og dalene vil dermed kunne præge grundvandsstrømningen i området. De begravede dale har således indflydelse på tilstedeværelsen af magasiner, strømningsforhold i og omkring magasinerne, samt magasinernes sårbarhed.

## 6.2.2 Grundvandsmodellering i områder med begravede dale

Mange kildepladser indvinder fra dybtliggende magasiner i begravede dale, og her er det nødvendigt at kende dalens udbredelse og orientering for at kunne kortlægge ressourcens størrelse og udbredelsen af indvindingsområdet. Men dalene er normalt ikke blot store sandfyldte kanaler i undergrun-

den, for ganske ofte er der i stedet tale om mange forskellige kanaler eroderet ned i hinanden og som skiftevis er fyldt op med morænesedimenter, smeltevandssand, -grus, -silt og -ler, samt interglaciale sedimenter. Det er derfor kun nogle af kanalerne, der indeholder grundvand, hvilket reelt også betyder, at dalenes interne strukturer skal kendes for at oplandet kan kortlægges. I nogle tilfælde, hvor en sand- og grusfyldt kanal er mere eller mindre indkapslet i siltede og lerede sedimenter, skal indvindingsoplandet findes langs med dalen. Hvis der et sted opstrøms i dalen haves hydraulisk kontakt med de omkringliggende sedimenter udenfor dalen, kan det betyde at oplandet pludselig drejer væk fra dalen i skarpe vinkler.



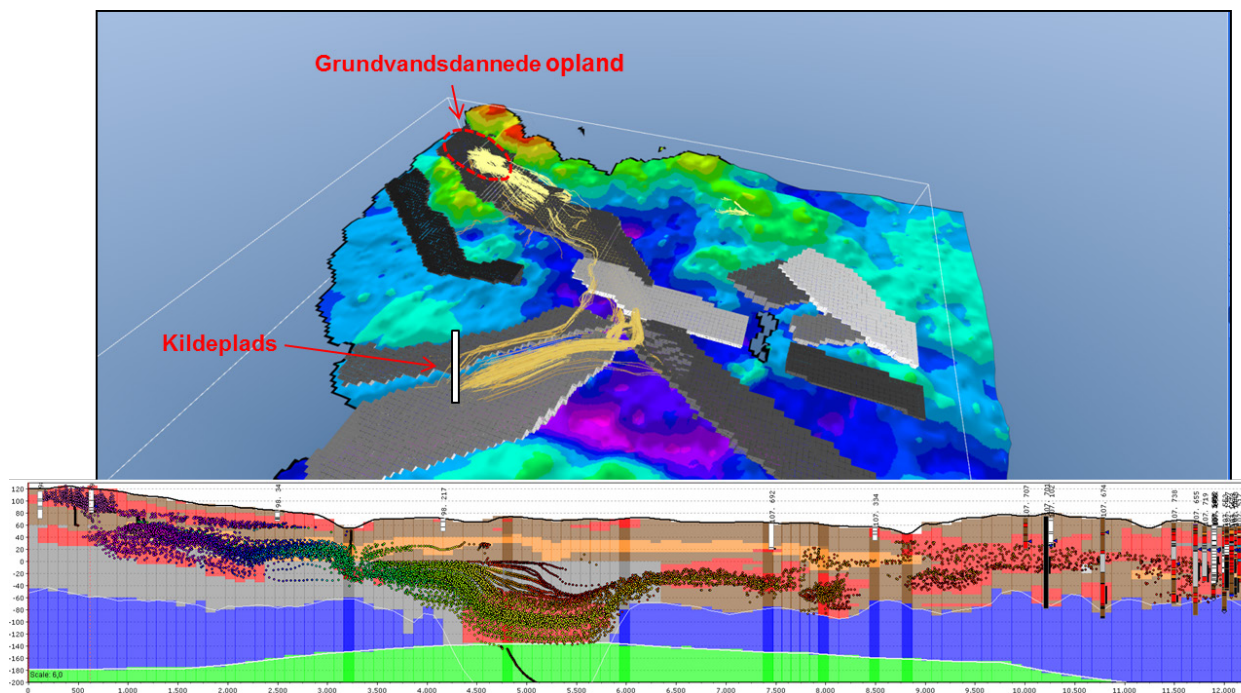
**Figur 6.9 Syntetisk undersøgelse af hvordan begravede dale påvirker grundvandets strømning (Fra Andersen et al. 2013).**

I Figur 6.9 er vist et eksempel på forskellene i et modelleret opland for boringer i eller tæt på en begravet dal. I eksemplet ses tre forskellige scenarier og effekten på oplandets placering. I eksemplet til højre ses en lerfyldt dal, som kraftigt påvirker grundvandets strømning.

På Figur 6.10 ses et eksempel på en beregning af det grundvandsdannende opland til en kildeplads beliggende i en begravet dal ved Egebjerg (se fx Møller & Jørgensen 2011). Partikelbaneberegningerne viser, at det grundvandsdannende opland befinder sig i en krydsende begravet dal, og at grundvandsstrømmen nøje følger dalstrukturene.

### 6.3 Brug af kortlægningens resultater

Anvendelsen af viden opnået i forbindelse med kortlægningen af begravede dale kan ske på forskellig vis, hvilket der i det følgende gives eksempler på. De kortlagte dale kan naturligvis give input i forbindelse med opstilling af geologiske/hydrogeologiske modeller indenfor de kortlagte områder, og viden om dalenes dannelse og forekomstmønstre kan hjælpe med til at gøre de geologiske tolkninger mere nuancerede. Herudover kommer de mere indirekte anvendelser af kortlægningsresultaterne; eksempelvis anvendelse af terrænanalyse til udpegnings af mulige dalforekomster, ekstrapolationer af kortlagte dale ud i ikke-kortlagte områder osv.



**Figur 6.10** Eksempel på partikelbanemodellering ved Egebjerg. Kildepladsen er lokaliseret nederst til venstre og det beregnede grundvandsdannende opland ses øverst til venstre.

### 6.3.1 Direkte aflæsning på kort samt interpolation og extrapolation på kortet

De begravede dale, der er blevet kortlagt i dette projekt kan aflæses direkte ud fra signaturene på kortene, men der skal tages højde for, at der findes mange dale, som endnu ikke er blevet kortlagt. Ud fra de kortlagte begravede dale, kan man interpolere mellem dalsegmenter, og man kan extrapolere de kortlagte dalsegmenter i længderetningerne. På den måde kan der opnås vurderinger af, hvor der sandsynligvis kan findes flere begravede dale i de enkelte områder.

Eksempelvis er der i Esbjerg-området foretaget hydrogeologiske vurderinger i forlængelse af de begravede dale i området; lokalitet RIB8 (Tygesen et al. 2015).

### 6.3.2 Anvendelse af analyser af foretrukne orienteringer og analyser af terrænet

Ud fra kendskabet til hvilke generationer og foretrukne orienteringer af begravede dale, der findes i det lokale og regionale område, kan man give et bud på mulige dal-orienteringer i nærtliggende områder. Er der eksempelvis fundet en dyb boring med en tyk kvartær lagserie i et område, hvor dalene har foretrukne orienteringer omkring N-S, vil et godt bud være, at der ligger en N-S orienteret dal ved boringen.

Da det har vist sig, at foretrukne orienteringer blandt begravede dale også kan ses blandt de topografiske dale, kan man ved at studere terrænet få en formodning om en retning af en mulig begravet dal. Mange dale er delvist begravede, og ud fra en regional viden om hvilke orienteringer af topografiske dale, der typisk har begravede dale nedenunder, 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 afsløre begravede dale. Eksempelvis har "spaltdalene" ved lokalitet AAR31 Hvorslev peget på tilstedeværelsen af begravede dale.

### **6.3.3 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 der arbejdes med typisk er opbygget. Spørgsmål, der er relevante at kunne besvare kan f.eks. være: Er dalenes indre opbygget af kanalstrukturer, således at grundvandets strømningsmønster kan forventes at følge en smal korridor på langs i dalen? Er der glacialtektoniske forstyrrelser i dalene, og hvordan forekommer de? Kan bunden af dalen forventes at have dybe 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 risiko for saltvandsindtrængning i de dybere dele?

### **6.3.4 Brug af viden om dalenes litologiske opbygning**

Ligeledes kan det være en hjælp, at kende noget til de typiske litologiske forhold vedrørende de begravede dales fyld når geologiske modeller udarbejdes. Spørgsmål, der er relevante at besvare 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 omløjrede tertiære sedimentter i dalene som let kan forveksles med dalbunden, og som så kan betyde, at en boring bliver stoppet før den når eventuelle grundvandsmagasiner på større dybder i dalen?

### **6.3.5 Brug af viden om dalgenerationernes aldre**

I de fleste af de kortlagte områder i Jylland og på Fyn findes der flere generationer af begravede dale, som krydser hinanden. Kendskabet til aldersrelationerne mellem disse dalgenerationer kan medføre, at det er muligt at forudsige, hvilken dalgenerations fyldaflejring der gennemskærer og har borteroderet andre dales fyldaflejring. 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".

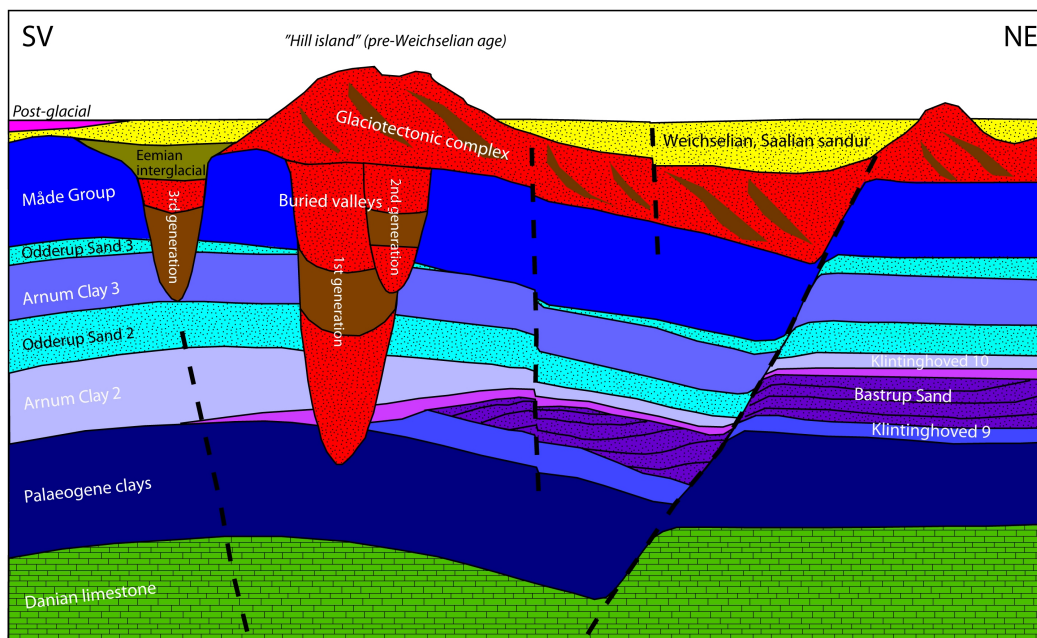
## 7. Modellering og visualisering af begravede dale i 3D

### 7.1 Baggrund

Da begravede dale er meget vigtige strukturer i relation til grundvandsressourcer og grundvandsstrømning, er det afgørende, at dalene bliver indarbejdet i geologiske og hydrostratigrafiske modeller. Dalene kan i nogle tilfælde fremstå tydelige i geofysiske data og/eller boredata, men ofte er dalene kun diffust afbildet, og der er behov for supplerende geologisk baggrundstolkning før dalene kan identificeres og beskrives rumligt. Dalene vil i langt de fleste tilfælde være afgørende at få indarbejdet i de geologiske og hydrostratigrafiske modeller, hvis efterfølgende grundvandsmodellering skal munde ud i troværdige beregninger af strømningsmønstre osv. Dette er også tilfældet, hvor dalene ikke fremstår med tydelige kontraster i geofysiske data og boredata.

Selve det at identificere, kortlægge og rumligt beskrive dalstrukturene er blevet beskrevet andre steder i rapporten og i tidligere afrapporteringer. I denne afrapportering vil der primært blive fokuseret på selve modelleringsprocessen og koncepter for udførelse af denne.

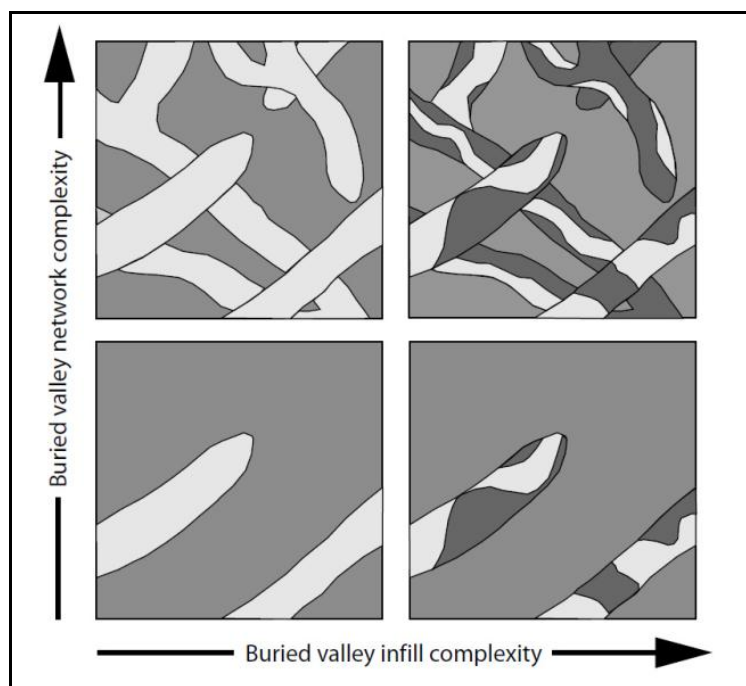
Af natur er begravede dale erosive, og de udgør derfor lokale inkonformiteter, hvor underliggende lag og enheder er gennemskåret (Figur 7.1). Dette betyder ikke alene at dalene i sig selv udgør en kompleks geologi, men også at den underliggende geologi bliver kompleks når dalene gennemskærer denne.



Figur 7.1: Eksempel på hvordan begravede dale gennemskærer de underliggende lag og gør geologien kompleks. Geologisk konceptskitse for den geologiske opbygning ved Tønder (fra Jørgensen et al. 2014).



Kompleksiteten af selve dalene forårsages både af de krydsende dalgenerationer og af variabilitet internt i de enkelte dale (Figur 7.2). Er fyldt komplekst og er der samtidigt mange dalgenerationer i et modelområde, er det en særlig stor udfordring at opstille en 3D geologisk model.



**Figur 7.2: Graden af kompleksitet i områder med begravede dale.**

Denne kompleksitet er en udfordring når områder med begravede dale skal 3D-modelleres. Det er meget tidskrævende at rekonstruere "dal-geologien" digitalt i tre dimensioner, og konkrete modelleringsværktøjer til dette formål er kun i begrænset omfang tilgængelige. På basis af de eksisterende værktøjer i modelleringssoftwaren GeoScene 3D er flere forskellige tekniske koncepter for modellering af dalene blevet afprøvet i forbindelse med kortlægningen af begravede dale. Som en følge heraf er enkelte nye værktøjer til dette blevet udviklet i GeoScene 3D.

## 7.2 Datagrundlagets og geologiens betydning for modellering af begravede dale

I særlige tilfælde kan begravede dale fremstå meget tydeligt og med stor detailrigdom i datagrundlaget. Dette gælder især for forhold, hvor begravede dale er nedskåret i ler med meget lave modstande (Palæogent ler), således at selve erosionsgrænsen bliver afbildet som overfladen af et godt ledende lag i TEM-data. Da TEM-data samtidig normalt er fladedækkende, kan der ved automatiske udtræk fra TEM-databaser (af "den gode leder") opnås meget flotte billeder af dalens nedre afgrænsning. Dette giver et særdeles godt udgangspunkt for egentlig modellering af dalens bund. Typisk vil dalen dog strække sig højere op i lagserien, hvor den normalt ikke er så tydelig i data og ikke er repræsenteret i udtrækket af den gode leder. Derfor er det kun den nedre del af dalen, der normalt kan ses i sådanne udtræk.

I størstedelen af Danmark, hvor den fede palæogene ler enten ikke findes eller findes på dybere niveauer end dalene når, vil dalene være mere diffust afbildet i data, og en 3D modellering vil i langt



højere grad basere sig på geologisk fortolkning af data. Her er udgangspunktet for en modelleringsproces et helt andet. Det er typisk noget mere usikkert, og detaljeringsgraden af det der kan modelleres vil være mindre. I sådanne områder vil dalene ofte fremstå på baggrund af deres fyld. Dele af indfyldet kan have lavere modstand end omgivelserne, og det er således kun den del af fyldet, der vil kunne ses i data. Her vil den præcise form af dalenes nedre grænse ikke være tydelig og ofte ikke engang synlig i TEM-data. Når denne grænse skal modelleres, må der derfor lægges vægt på informationer fra borer og seismiske linjer, der normalt vil være spredt beliggende. I nogle tilfælde kan dalene slet ikke ses i de fladedækkende TEM-data, selvom der kan være tale om ret kraftige sedimentære kontraster mellem dalfyld og omgivelser; f.eks. smeltevandsler versus moræner, sandet silt versus grus, kalkmoræne versus kalk/kridt eller sand versus kalk. Her må modelleringen alene bero på de spredt beliggende boredata og seismiske data – hvis dalene overhovedet kan identificeres.

### **7.3 Modelleringskoncept for begravede dale**

Den store kompleksitet forårsaget af dalene betyder, at en traditionel tilgang med anvendelse af simpel lagmodellering ikke nødvendigvis kan anvendes. Ved traditionel, simpel lagmodellering arbejdes der med få gennemgående lag for hele modelområdet. I sådanne modeller bliver forskellige geologiske enheder normalt slået sammen for at begrænse antallet af lag. Dette kan betyde, at flere dale bliver repræsenteret ved samme lag, uanset at de f.eks. tilhører forskellige generationer. Normalt er det nødvendigt at arbejde med langt flere geologiske enheder, end der er mulighed for i en simpel lagmodel; dette gælder særligt hvor der er mange begravede dale eller anden kompleks geologi. Derfor er en løsning med kombineret lagmodellering og voxelmodellering at foretrække (Jørgensen et al. 2015).

Med kombineret lag- og voxelmodellering kan man indarbejde et uendeligt antal geologiske/hydrostratigrafiske enheder i modellen. Fremgangsmåden er overordnet set, at der først konstrueres en række afgrænsede lagflader for de enkelte dales erosionsflader og indfyld, og efterfølgende anvendes disse flader som afgrænsningsflader ved manuel voxellering af dalfyldet.

#### **7.3.1 Modellering af erosionsflader**

Modellering af dalenes erosionsflader udføres overordnet set i henhold retningslinjerne for modelleringen af lagflader er detaljeret beskrevet GeoVejledning 3 (Jørgensen et al. 2008). I det følgende gives et uddrag af vejledningen, hvor det har relevans i forhold til begravede dale.

I vejledningen beskrives forskellige typer af "fladetolkningsspunkter". Fladetolkningsspunkterne afsættes på dynamiske/flytbare profiler og horisontale snit, og punkterne er derfor ikke knyttet til faste vertikale profilsnit eller horisontale kortsnit. Den resulterende sværm af fladetolkningsspunkter for en erosionsflade definerer dennes tolkede udbredelse og tolkningens sikkerhed/usikkerhed i kraft af en tilhørende usikkerhedsangivelse på alle punkter.

Fladetolkningsspunkterne afsættes med en ensartet indbyrdes afstand uanset graden af usikkerhed. For at kunne få dalformerne gengivet tilstrækkeligt detaljeret vil der typisk skulle anvendes flader

med en indbyrdes afstand mellem punkterne på minimum 250 m. I tilfælde af stor detaljerrigdom kan en tættere punktafstand være nødvendig.

Under arbejdet med digitalisering af fladetolkningspunkter foretages en løbende interpolation af erosionsfladen. På denne måde kan fladen hele tiden iagttages, og formen af fladen kan interaktivt styres i retning af den ønskede form. Interpolationen foretages i GeoScene 3D med Kriging. Hvis punktafstanden er 250 m anbefales en cellestørrelse på 100 m og søgeradius på 500 m.

Selve digitaliseringen af fladetolkningspunkterne foregår som ovenfor nævnt på flytbare vertikale profiler. Disse profilsnit skal være orienteret på tværs af den modellerede dalstruktur, og de flyttes gradvist på langs med dalen med en afstand svarende til den punktafstand, der arbejdes med. På langs af det flytbare profil afsættes punkter med indbyrdes afstand på 250 m, og dette gøres for hver gang profilet rykkes i dalens længderetning. Således opnås et rimeligt ensartet grid af fladetolkningspunkter med indbyrdes gennemsnitlig afstand på 250 m. Foruden de tværgående profiler anvendes et enkelt ikke-flytbart profil som placeres præcist i dalens længderetning, langs dalens thalweg. Der kan med fordel indledningvist afsættes punkter på dette profil, og det anvendes desuden som kontrol mellem de tværgående profiler.

Ved dannelsen af fladen (det interpolerede grid) skal det sikres, at denne rækker ud over udbredelsen af selve erosionstrukturen. Det vil sige, at den skal dække mindst hele erosionsstrukturen. Til dette formål kan der anvendes såkaldt støttende fladetolkningspunkter. Den præcise udbredelse af strukturen skæres efterfølgende til af andre flader eller af definerede afskæringspolygoner.

### **7.3.2 Bearbejdning af flader**

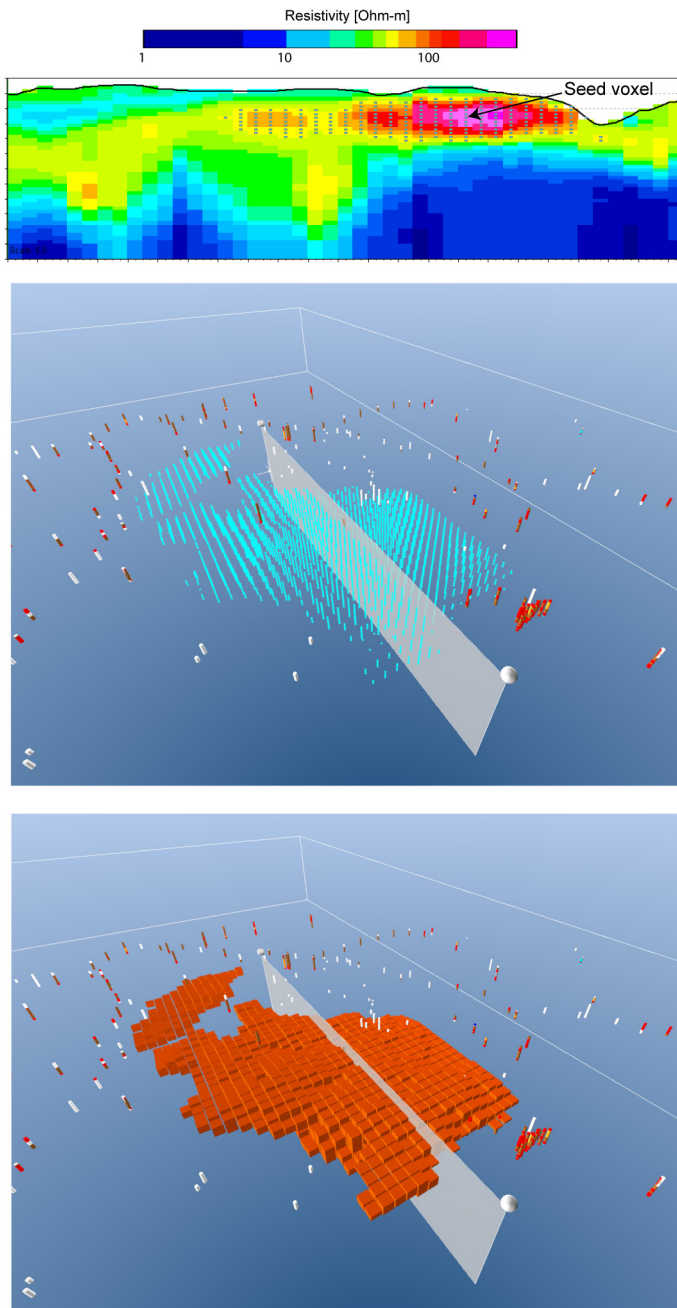
For at kunne viderebearbejde de modellerede flader, er det nødvendigt at resample fladerne (dvs. at ændre fladernes gridstørrelse). Denne resampling foretages for at kunne beskære og kombinere de enkelte enheder i modellen. Det sikres, at alle gridflader er defineret inden for samme udbredelsesområde, at de har samme gridgeometri, og at de har sammenfald af gridnoder. Resamplingen er desuden vigtig ved den efterfølgende modellering af voxelmodellen idet lagfladerne anvendes som grundskellet i voxelmodellen. Her skal det også sikres, at der er sammenfald mellem gridnoder og cellegeometri i de grids der anvendes i voxelmodellen. Små cellestørrelser vil resultere i blødere og mere realistiske former i den endelige voxelmodel, og dette er særligt vigtigt ved kraftigt hældende flader, som eksempelvis ved begravede dalsider.

I forbindelse med et modelprojekt ved Tønder (Jørgensen et al. 2014) blev det fundet, at den bedste resampling, der stadig var tilstrækkelig tro mod udgangspunktet, opnåedes i programmet Surfer. Det anbefales, at der resamples til en gridcellestørrelse på fx 20 meter.

Efter resampling beskæres erosionsfladerne i GeoScene3D's Toolbox. Indledningvist renskæres dalene langs skuldrene. Her anvendes enten udarbejdede afgrænsnings-polygoner, der definerer erosionsfladens tolkede udbredelse eller andre lagflader, hvis dalerosionen afgrænses opadtil af en anden erosionsflade. Sidstnævnte kan f.eks være andre begravede dale, som helt eller delvist gennemskærer ældre dale. De ofte mange generationer af begravede dale betyder, at der er behov for at få dalene grupperet i disse generationer, således at der kan etableres et modelhierarki. Nederst i dette hierarki er de ældste dale og øverst er de yngste dale. I hierarkiet indgår også øvrige model-

flader for det område der modelleres. Den hierarkiske orden benyttes ved beskæring af dale og øvrige flader, således at yngre dale altid skærer ældre dale.

Der kan også laves lagflader for lag internt i dalfyldet. Disse lagflader indgår også i den hierarkiske orden og afskæres typisk af dalenes erosionsflader. Efter beskæringen af fladerne er modellen klar til voxeludfyldning.



**Figur 7.3: Anvendelse af udvælgelsesværktøjet "Region grow" i GeoScene 3D (Fra Jørgensen et al. 2013). En "seed voxel" udvælges i resistivitetsgriddet (øverst), og en sværm af voxler begrænset af et resistivitetsinterval udvælges (midterste billede). Nederst ses voxlerne med en tildelt lithologi visualiseret med en farvekode.**

### 7.3.3 Voxeludfyldning

Voxeludfyldningen sker med hjælp fra specifikt udviklede værktøjer i GeoScene 3D der bygger på manuelle og delvist automatiserede rutiner (Jørgensen et al. 2013, Møller & Jørgensen 2011) Med disse er det muligt at tildele valgbare parametre såsom litologi til udvalgte voxelgrupper. Udvælgelsen sker f.eks. indenfor afgrænsninger defineret ved de genererede og bearbejdede lagflader, ved afgrænsningspolygoner eller regioner og ved bestemte koter. Udvælgelsen kan også ske på baggrund af polygoner tegnet på både profiler og kort og på mange andre måder.

Med disse værktøjer kan man gradvist udfylde sit modelrum med f.eks. litologi. Det er også muligt at udvælge enkelt-voxler eller mindre grupper af voxler, så helt små detaljer kan indbygges, og således kan f.eks. detaljerede boreoplysninger honoreres. Et andet værktøj er "region grow"-værktøjet, hvor det er muligt at udvælge en enkelt voxel, og hvorefter alle tilgrænsende voxler indenfor et valgbart resistivitetsinterval bliver valgt. De fleste af værktøjerne er beskrevet i (Møller & Jørgensen 2011)

Konceptet og de tilgængelige værktøjer er ikke færdigudviklede. Det er f.eks. ikke muligt at svejse/sammenføje grids'ene langs skæringsfladerne, og der opstår derfor huller langs med disse. Dette er en af årsagerne til, at der bliver skabt vildfarne voxler i modelrummet (benævnt som "skorstene"). Disse skal efterfølgende fjernes manuelt, og det er tidskrævende. En videreudvikling af GeoScene 3D, hvor der er fokus på værktøjerne til manuel voxelmodellering, er ønskelig.

## 7.4 Eksempler på 3D modellering af begravede dale

Det ovenfor beskrevne koncept for modellering af geologi med begravede dale er bl.a. blevet benyttet ved en 3D modellering af et område omkring Tønder (Jørgensen et al. 2014) og ved Kasted nord for Århus (Høyer et al. 2015). Disse to modeller vil som eksempler kortfattet blive præsenteret i det følgende.

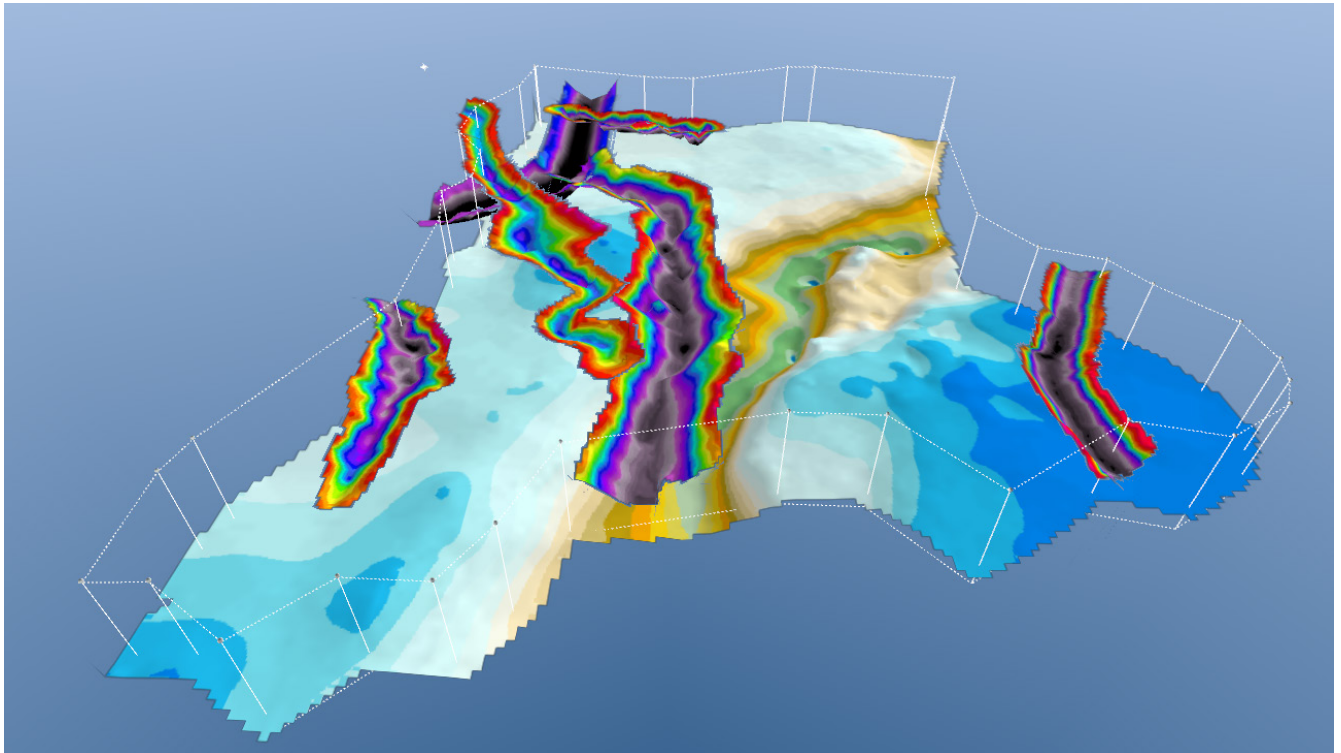
### 7.4.1 Eksempel 1: Tønder

I området omkring Tønder har GEUS i samarbejde med Naturstyrelsen opstillet en 3D geologisk model som et led i et forsknings- og udviklingsprojekt (Jørgensen et al. 2014). I Figur 7.1 ses en konceptuel geologisk skitse for området. Der er tre forskellige generationer af begravede dale, og nogle af disse skærer hinanden. Dalene er af varierende dybde. Den dybeste er omkring 400 m dyb (RIB31, Møgeltønder). De er primært nedskåret i tertiære lag af sand, silt og ler og fremstår kun dif-fust i SkyTEM-data. Tolkningerne er støttet af boredata og seismiske data, men der er en relativt stor usikkerhed på tolkningen af flere af dalene. I alt er der modelleret 8 begravede dale i området (nogle af disse er vist i Figur 7.4).

Modellen består - foruden de begravede dale - også af mange andre slags geologiske strukturer og lag. Modellen er opstillet som en kombineret flade-/lagmodel og voxelmodel og er i alt bygget op af 17 millioner voxler, 32 lagflader, 24 lagenheder og 37 lithologiske enheder. Det dybeste lag i modellen er kalkoverfladen, som befinder sig på 450-600 meters dybde.

I Figur 7.5 er tolkningspunkter og interpoleret erosionsflade vist for en af dalene. Tolkningesusikkerheden af lagfladens position er angivet med en farvekode for hvert fladetolkningsspunkt. Tolkningen af lagfladens position ses generelt at være præget af middel til stor usikkerhed. Det bemærkes, at

det ikke er usikkerheden på dalens eksistens, der er tale om. Dalens eksistens og horisontale udbredelse er veldokumenteret og sikker i dette tilfælde. Det er alene dybden/koten af selve erosionsfladen der er usikker.

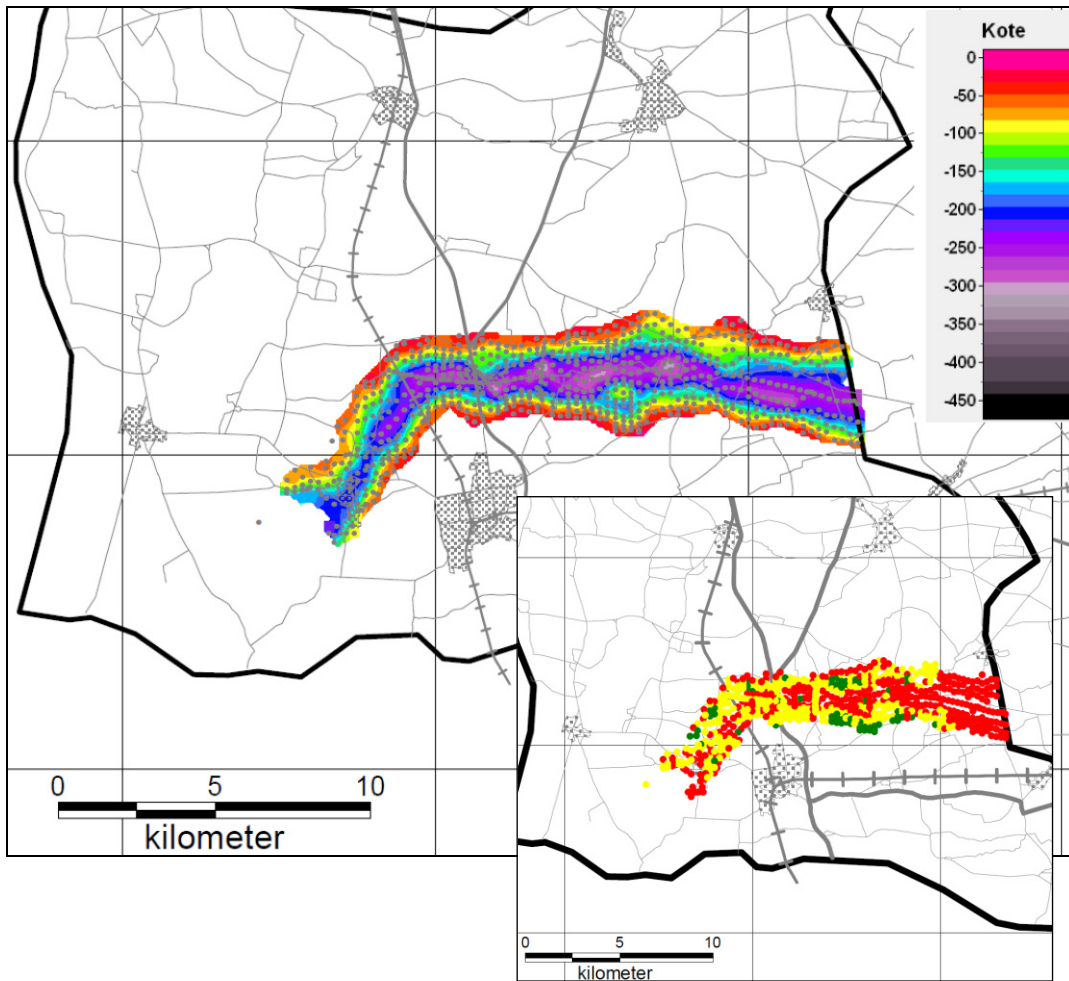


**Figur 7.4:** Udvalgte begravede dale fra modelområdet vist i 3D. Nederste flade er kalkoverfladen, hvori der findes en grabenstruktur.

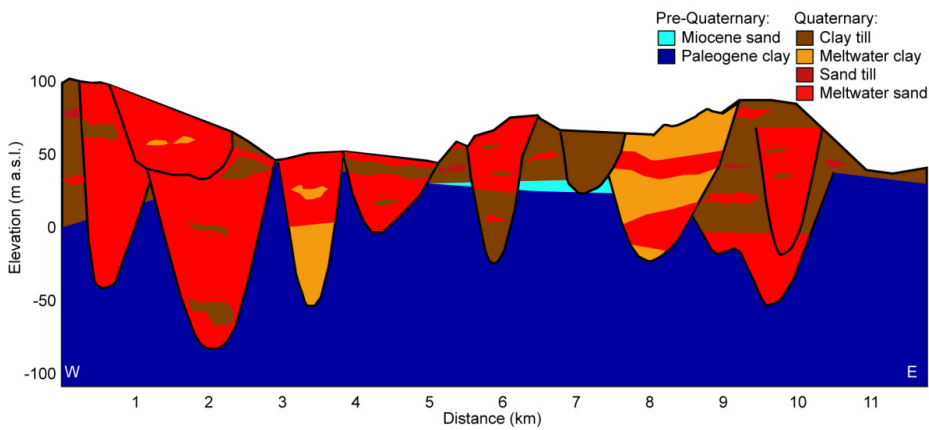
#### 7.4.2 Eksempel 2: Kasted

Ved Kasted nord for Århus består geologien over de miocæne lag stort set udelukkende af begravede dale. Dalene er indledningsvist blevet kortlagt i detaljer, og der forekommer sandsynligvis i alt 8 forskellige generationer af begravede dale i området (Høyer et al. 2015). Dalene er nederoderet i Palæogent ler og således generelt tydelige i TEM-data. Hvor dalene skærer ned i hinanden, er de dog mindre tydelige. Nogle dale er sandfyldte, mens andre er lerfyldte, men generelt er fyldet veksellende også indenfor de enkelte dale. I den konceptuelle profilskitse gennem modelområdet er det vist, hvordan dalene skærer ned i hinanden og ned i det Palæogene ler (Figur 7.6).

De kortlagte dales nedre erosionsflader (se Figur 7.7) er blevet modelleret efter proceduren beskrevet ovenfor. Herefter er der opstillet en voxelmodel med i alt 42 geologiske enheder. Voxelmodellen har en celsestørrelse på 50 m lateralt og 5 meter vertikalt. Voxelmodellen er oprettet ved brug af de manuelle værktøjer til voxelmodellering beskrevet ovenfor. Fence-diagrammer gennem den færdige model er vist i Figur 7.8.

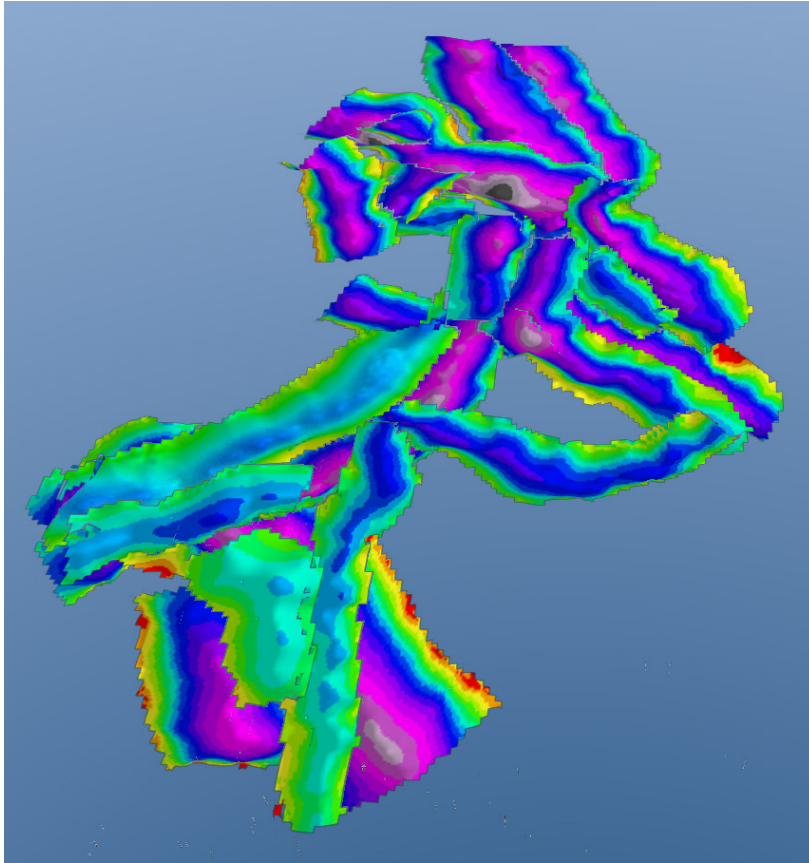


**Figur 7.5: Modelling af begravet dal.** Det store udsnit: Begravet dal med både tolkningspunkter og interpoleret flade (efter beskræjning). Det lille udsnit: Tolkningspunktets usikkerhed (grøn lille, gul mid-del, rød stor usikkerhed).

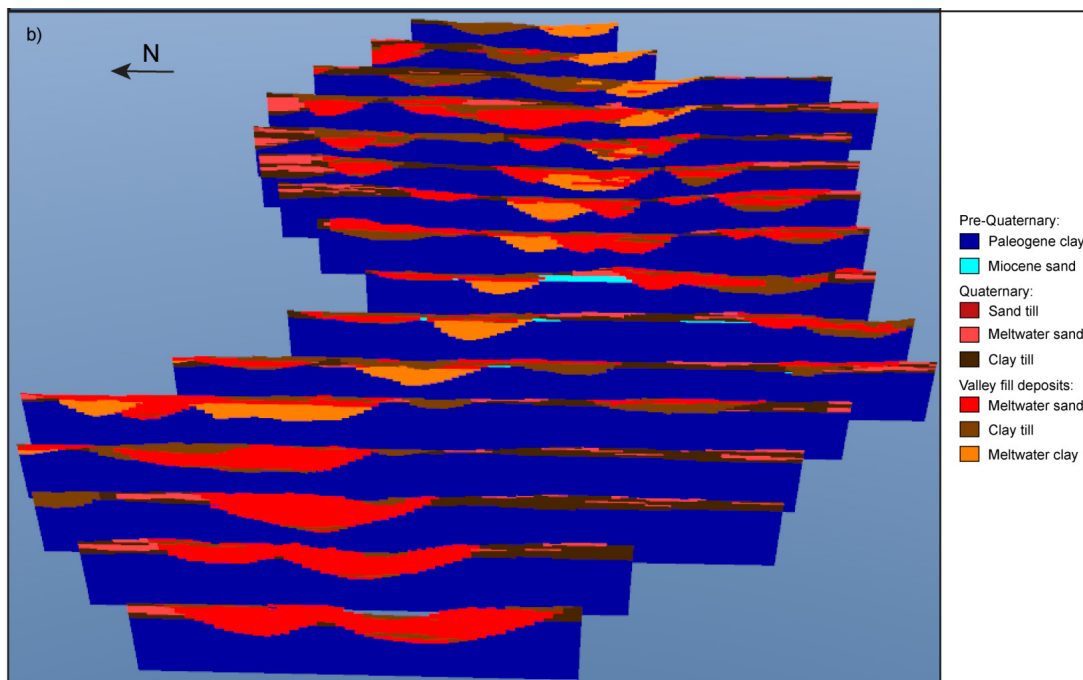


**Figur 7.6: Konceptuel profilskitse for modelområdet ved Kasted (fra Høyer et al. 2015).**





Figur 7.7: 3D view samtlige erosionsflader i den geologiske model (fra Høyer et al. 2015).



Figur 7.8: 3D view af nord-syd-gående profiler gennem den geologiske model (fra Høyer et al. 2015).

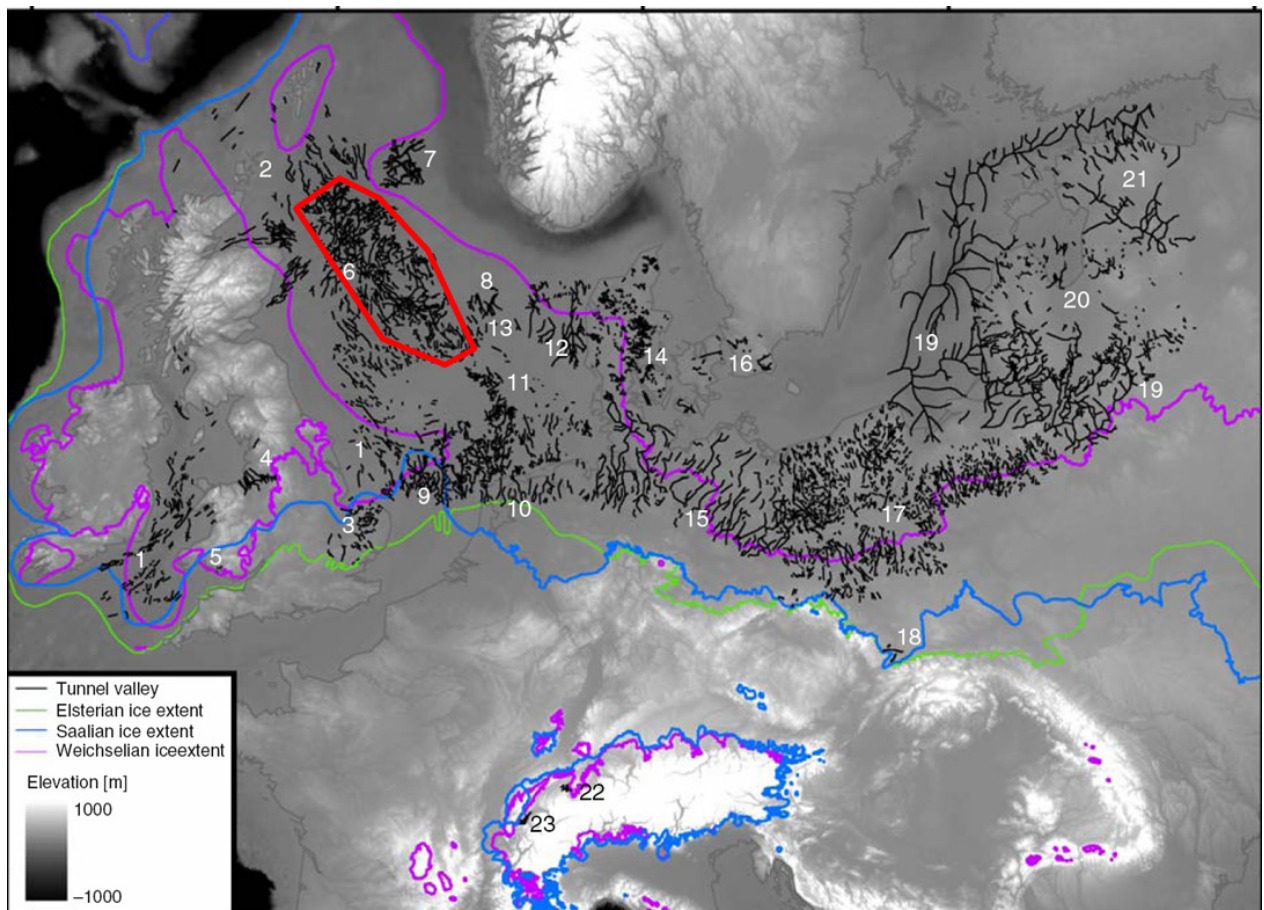




## 8. Begravede dale udenfor det danske område

Tunneldale og begravede dale forekommer hyppigt i alle sedimentære områder af Nordeuropa, som samtidigt har været dækket af is under Kvartær-perioden. Dalene har gennemgående de samme karakteristika som dem vi finder i Danmark – både når det gælder åbne tunneldale og begravede (tunnel-)dale.

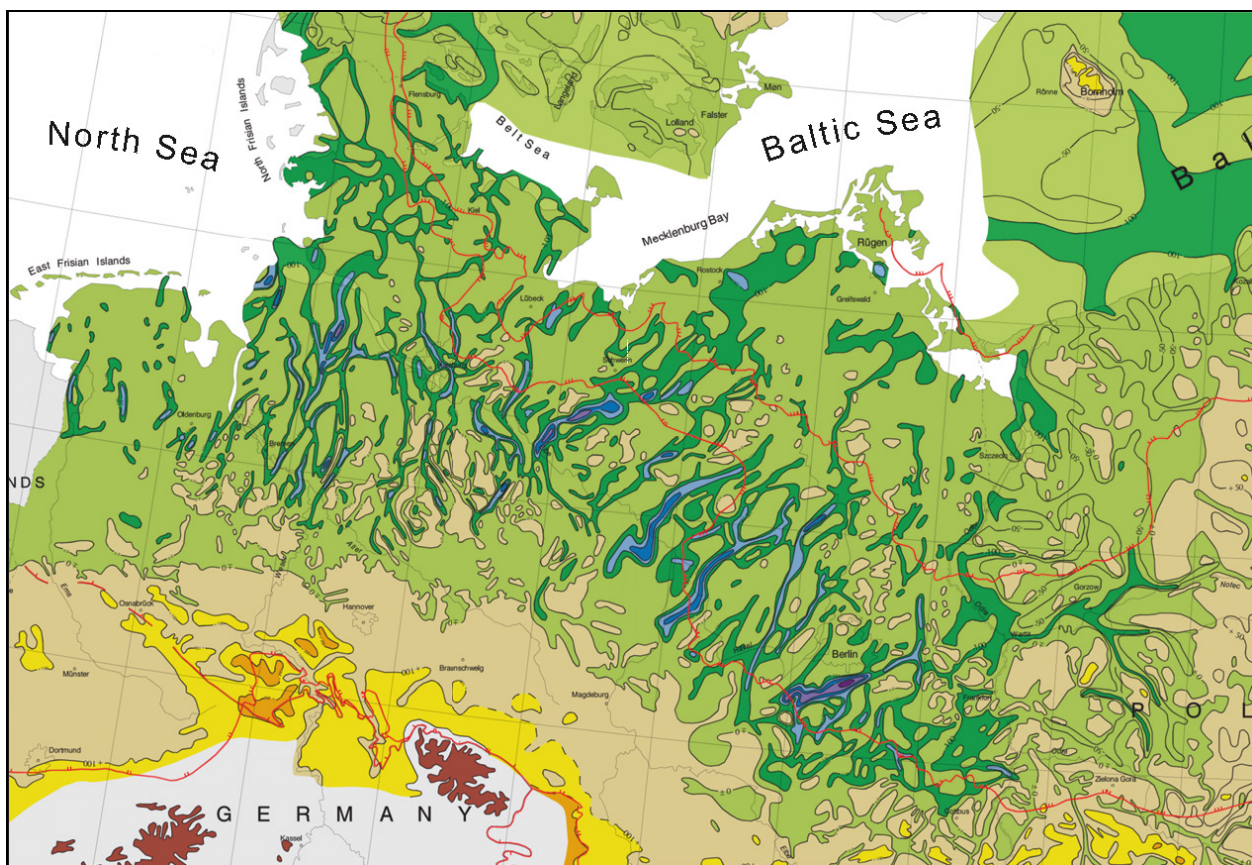
I Figur 8.1 ses et kort over kortlagte begravede dale i Nordeuropa (van der Vegt et al. 2012). Der ses begravede dale indenfor de maksimale udbredelser af de tre store isskjolde fra hhv. Weichsel, Saale og Elster istiderne. Kortet er slet ikke fuldstændigt, idet en meget stor del af dalene må forventes ikke at være blevet kortlagt, og desuden er flere kortlægninger ikke medtaget. F.eks. viser kortet ingen dale i dele af Østersøen, i store dele af Østeuropa (indenfor israndslinjerne) og i dele af Nordsøen. De bedst kortlagte områder er hvor der er indsamlet 3D seismiske data i Nordsøen (f.eks. indenfor den røde polygon på kortet). Densiteten af dale er her meget stor, og den må forventes at være tilsvarende stor mange andre steder. Kortet afspejler således også forskelle i kortlægningsmetoder og kortlægningsaktivitet.



Figur 8.1: Sammenstilling af kortlagte begravede dale i Nordeuropa (fra van der Vegt et al. 2012). Den røde polygon refererer til Figur 8.4.

Dalene forekommer fortrinsvist i bløde sedimentære bjergarter, men også i hærdede sedimentære bjergarter, f.eks. i områder med kalk og i England.

Begravede dale i Nordtyskland og Holland er primært kortlagt på baggrund af boredata og geologiske tolkninger. De ældste dale er meget store, og i Tyskland når de nogle steder ned til dybder på mere end 500 m (se Figur 8.2). Dalene er op til 150 km lange og stryger vinkelret på den tidligere isrands position. Dalene er nedskåret i tertiære og kvartære lag og udfyldt med glaciofluviale sedimenter, som efterfølgende er dækket af sen-Elster smeltevandsler (Lauenburg Clay) og marine Holstein-aflejringer (Ehlers et al. 1984). Dalene ser ud til at være mindre udbredt i det nordvestlige Tyskland, men i Holland ser de igen ud til at være meget udbredte (Bosch et al. 2009). Her er de nederoderet i ukonsoliderede sedimenter fra tidlig kvartær, Pliocæn og Miocæn,.



**Figur 8.2: Kort over begravede dale i Tyskland baseret på boredata og tolkninger. De største dale når dybder på mere end 500 m. Fra Stackebrandt 2009.**

I modsætning til de gamle og meget store begravede dale er der også beskrevet meget små begravede dale, f.eks. fra blotninger i Tyskland (Piotrowski 1999). Disse "dale" kan være mindre end 5 m i dybde og bredde og kan være udfyldt med till (se Figur 8.3).

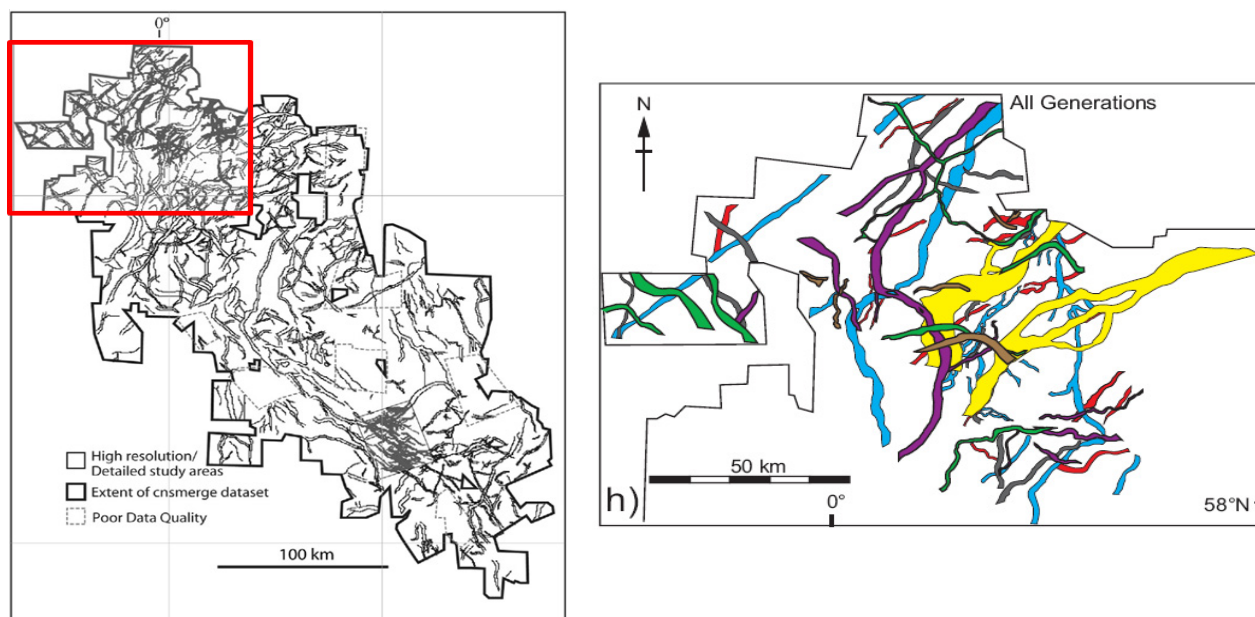
I Norsøen er alle begravede dale kortlagt på basis af 2D og 3D seismiske data. Deres arkitektur og rumlige forhold er derfor godt kortlagt, og hvor der forekommer 3D data, opnås detaljerede billeder af dalenes interne strukturelle sammensætning, deres fordeling og deres indbyrdes sammenhænge. Der er flere steder fundet op til 7 forskellige generationer af krydsende begravede dale (Kristensen et al., 2007; Stewart and Lonergan, 2011). Dette forhold ligner meget det, der er fundet på land i Danmark.



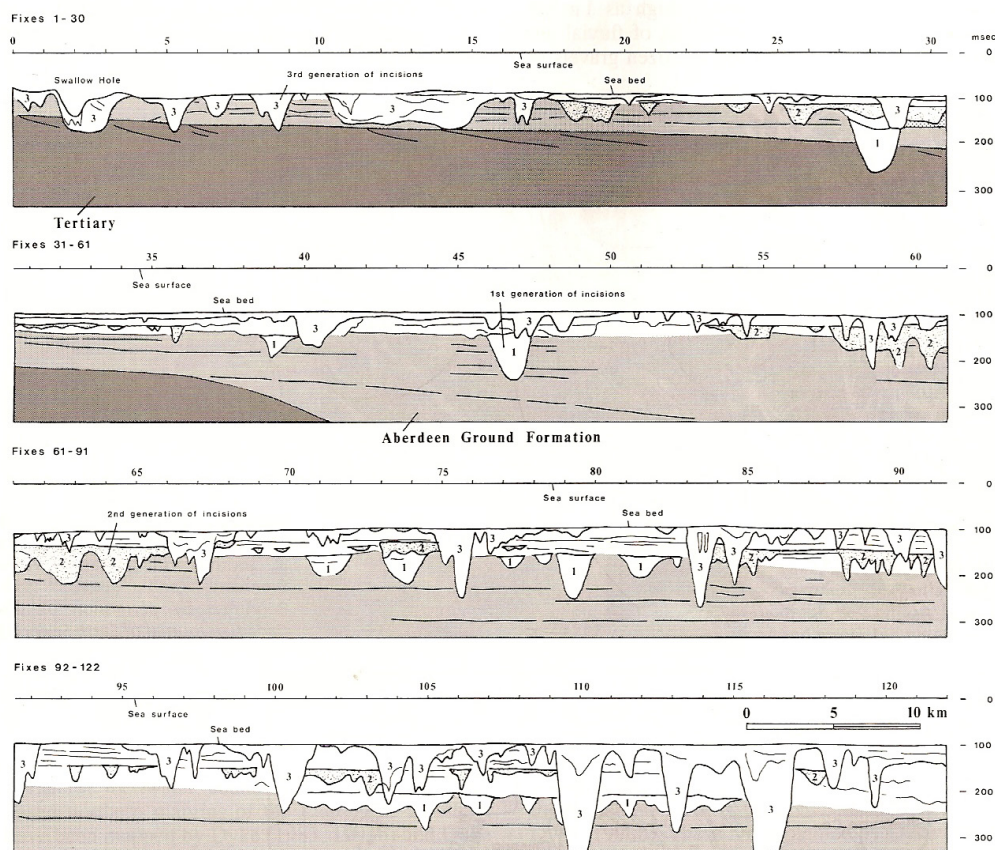


**Figur 8.3: Eksempel på en meget lille "begravet dal" fra Tyskland (fra Piotrowski et al. 1999).** Dalen er eroderet ned i smeltevandssand og udfyldt med till. Erosionen tolkes at være sket ved subglacial smeltevandserosion.

Dalene i Nordsøen har generelt de samme dimensioner, som vi ser på land i det danske område, men i den sydlige del synes dalene at blive større, ligesom der – som ovenfor beskrevet – findes meget store dale i Tyskland. Dalene i den sydlige del af Nordsøen er beskrevet som op til 100 km lange, 6 km brede og 500 m dybe (Praeg 2003).



**Figur 8.4: Kortlagte begravede dale i Nordsøen.** Til venstre: Alle kortlagte dale inden for et område kortlagt med 3D seismik. Området svarer til den røde polygon vist på kortet i Figur 8.1. Til Højre: Kortlagte begravede dale inddelt i forskellige generationer vist med forskellige farver. Området svarer til den røde firkant vist på kortet til venstre. Fra Stewart and Lonergan (2011).

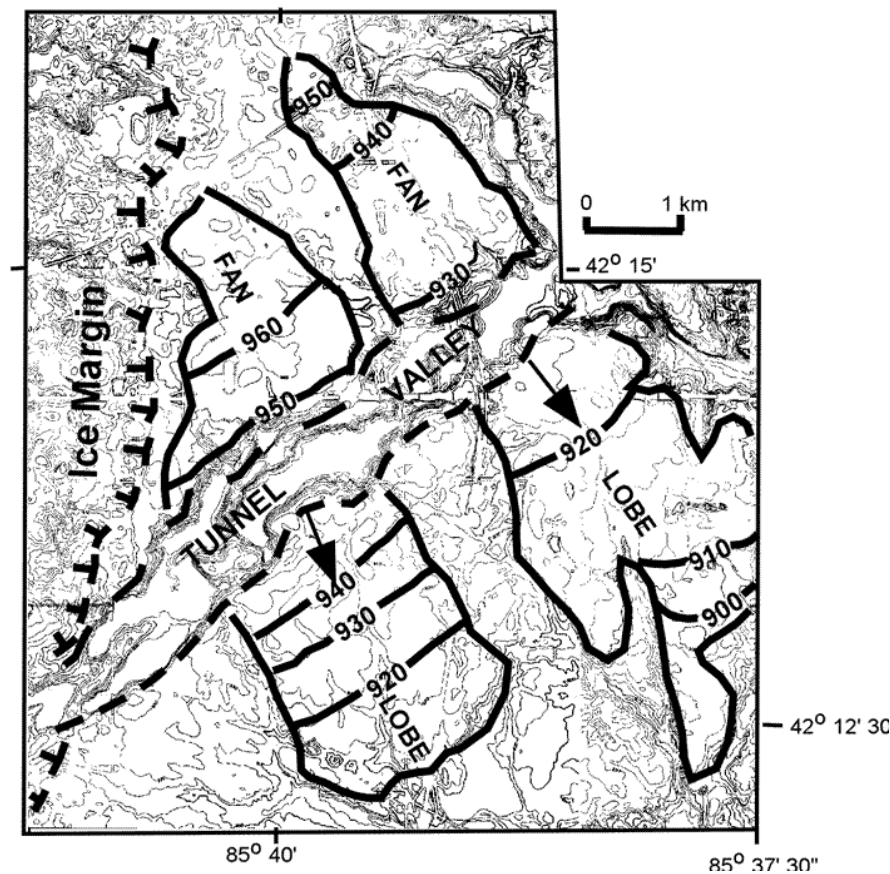


**Figur 8.5: Tolkninger af seismisk profil fra den vestlige del af Nordsøen.** Der ses tre forskellige generationer af begravede dale, som bliver mere og mere vertikalt adskilt mod øst (mod højre på profilet). Modifieret fra Ehlers og Wingfield (1991).

I 2000 kortlagde og gennemgik Huuse og Lykke-Andersen (2000) et stort antal dale i den østlige del af Nordsøen tæt på den jyske vestkyst. Dette skete på baggrund af spredte 2D seismiske linjer, hvorpå der opnåedes detaljeret information om dalene langs de opmålte linjer, men det var vanskeligt at forbinde dalene mellem linjerne på grund af for store afstande. Også her er dalene sammenlignelige med dem, der findes på land. Huuse og Lykke-Andersen (2000) udarbejdede et omfattende review af begravede dale og tunneldale i området og tolkede dalene, som værende dannet af kombinerede processer, primært bestående af smeltevandserosion og muligvis glacial erosion ved mere eller mindre vedvarende cykliske erosionsprocesser.

I Nordsøen findes begravede dale fra Elster, Saale og Weichsel. Der er ikke dateringer af dalenes fyld-sedimenter, men derimod kan aldrene afgrænses på baggrund af seismisk stratigrafi i områder med velbevarede kvartære lagserier. Ehlers og Wingfield (1991) fandt f.eks. tre generationer af begravede dale i tre forskellige stratigrafiske niveauer svarende til de tre ovennævnte glaciationer (se Figur 8.5).

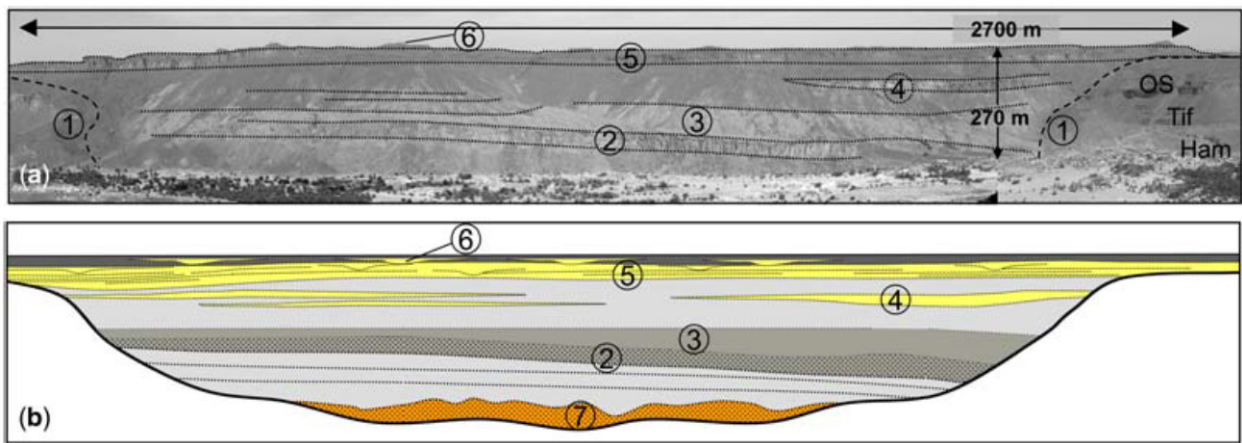
Begravede tunneldale er også et udbredt fænomen i det nordøstlige Europa, herunder de baltiske lande, men her er de ikke blevet kortlagt og undersøgt i samme omfang som dalene i Nordvesteuropa. Dalsystemer, som dem der er kortlagt i Nordsøen, Tyskland og Danmark, er dog rapporteret fra, og delvist kortlagt i Østersøen, Polen, de baltiske lande, Hviderusland og Rusland (Kehew et al. 2012).



**Figur 8.6: Eksempel på en åben tunneldal fra Michigan, USA.** Dalen har været udfyldt med dødis under dannelsen af to smeltevandssletter. Ved afsmeltningen af dødisen er smeltevandsslettens aflejringer kollapsede og dalen kommet til syne. Modificeret fra Kehew et al. 1999.

På det nordamerikanske kontinent findes der tilsyneladende tunneldale i samme omfang som i Nordeuropa. Dalene her er intenst beskrevet og diskuteret i litteraturen (se review i Kehew et al. 2012). Dog er det primært de åbne, ikke-begravede tunneldale der beskrives, idet der ikke på samme måde som i Europa er blevet udført fladedækkende geofysiske kortlægninger eller seismiske undersøgelser. Om omfanget af begravede tunneldale er det samme vides derfor ikke med sikkerhed, men meget tyder på det, da borerer mange steder indikerer forekomst af begravede dale. I Figur 8.6 ses et eksempel på en åben tunneldal fra Michigan, USA. Dalen har været udfyldt med dødis under dannelsen af to smeltevandssletter, som derved har lagt sig ovenpå den isfyldte dal. Ved afsmeltningen af dødisen i dalen er smeltevandsslettens aflejringer kollapsede og dalen kommet til syne (Kehew et al. 1999).

Tunneldale stammer ikke kun fra kvartærtidens glaciationer. De blev også dannet under tidligere tiders glaciationer. Det betyder, at de også findes andre steder i Verden, altså udenfor de i kvartærtiden nedisede områder. I den nordlige del af Afrika findes der eksempelvis et stort antal tunneldale fra Ordovicium, og det bemærkelsesværdige ved disse dale er, at deres dalfyld ofte fremstår som hårde erosionsrester i ørkenen. Dalfyldet er derfor ofte blottet og let at studere. De Ordoviciske tunneldale har relevans for olieeftersøgningen i området, og bliver indgående kortlagt og studeret flere steder. Et eksempel på en blotning af en 2700 m bred og 270 m dyb tunneldal i Algeriet er vist i Figur 8.7.



Figur 8.7: Eksempel på en Ordovicisk, begravet tunneldal i Sahara, Algeriet. Bortset fra bunden er hele dalen blottet i tværsnit, og den har samme dimensioner som de store begravede tunneldale i Nordeuropa. Fra Hirst (2012).



## 9. Sammenfatning og konklusioner

Denne rapport udgør den seneste afrapportering i Naturstyrelsens projekt om kortlægning af begravede dale i Danmark. Rapporten omfatter nye resultater samt en opsummering af resultater fra tidligere rapporter udarbejdet under projektet. Sammenfatningen og konklusionerne i det følgende skitserer således kortlægningsprojektets samlede resultater ved udgangen af 2015.

Formålet med kortlægningsprojektet har været at identificere og lokalisere forekomster af begravede dale samt beskrive dalenes karakteristika. Herudover har det været et centralt formål at søge at udrede dalenes dannelse og de mekanismer, der er involveret. Antallet af begravede dale er stort i det danske område, og da dalene mange steder har stor betydning for grundvandsressourcens størrelse, beliggenhed og sårbarhed, er det vigtigt at have et grundigt kendskab til dalene. Kortlægningen og dens resultater har ikke alene kunnet benyttes i forbindelse med kortlægning af grundvandsressourcerne og disses sårbarhed, men også i forbindelse med andre typer af geologiske kortlægninger eller udredninger, såsom forureningsundersøgelser, råstofundersøgelser og klimarelaterede kortlægninger.

Der er ved udgangen af 2015 kortlagt 5.600 km begravede dale. Dette tal kan dog ikke tages som udtryk for, hvor mange dale der reelt eksisterer, fordi det endnu kun er en del af det danske område, som er dækket med tætliggende data. Desuden er det ikke alle dale, der kan identificeres i de gennemførte kortlægninger bl.a. pga. mangel på tilstrækkelige jordlagskontraster.

Datagrundlaget for kortlægningen er primært TEM, seismik og borer. Fladedækkende TEM-kortlægninger giver mange steder gode billeder af dalenes udbredelse og indhold, mens seismikken og borer i højere grad bidrager med mere specifik og detaljeret information om henholdsvis interne strukturer og jordartstyper. SkyTEM-metoden vist sin styrke i dalkortlægningen, men SkyTEM-målingerne kan dog ikke stå alene, og derfor opnås der generelt de bedste resultater, når der suppleres med andre datatyper i form af f.eks. borer, seismik, borehulslogging, udførelse af dateringer samt evt. fingrusanalyser.

De begravede dale er blevet kortlagt på 265 forskellige lokaliteter, og det er de geologiske karakteristika fra disse lokaliteter, der ligger til grund for kortlægningens samlede resultater. I det følgende listes de vigtigste af disse resultater op:

### Geografisk forekomst og dimensioner

- De begravede dale forekommer i hele landet.
- De begravede dale er typisk mellem 25 og 300 meter dybe og mellem 0,5 og 3,5 km brede.

### Dalenes udformning

- Dalsiderne kan være meget stejle.
- Dalene har ofte afsnørede ender og dalbunden 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.

### Dalenes fyld

- 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 moræneler i de øvre dele af dalene og mest sand og grus i de nedre dele.
- Der er tydelige forskelle på dalfyldets karakter i de forskellige dele af landet. Således forekommer der meget ler i dalene, hvor underlaget primært består af ler, mens der forekommer meget sand i dalene, hvor underlaget primært består af sand.
- Der forekommer ofte smeltevandssler i begravede dale, ligesom der hyppigt er konstateret interglaciale sedimenter blandt dalfyldet. Smeltevandssler og interglaciale sedimenter ses ofte som lavmodstandslag (i TEM) omkring eller lige over kote 0 meter – specielt i den nordvestlige del af Jylland.

### Dalenes dannelse

- Dalene tolkes at være dannet i Kvartæret under nedisningerne. Der er fundet aflejringer fra de seneste 3 istider og 2 mellemistider i dalene, samt stedvise aflejringer fra ældre istider og interglacialer.
- 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 orienteringer. Der findes mindst én meget gammel N-S generation og én meget gammel NV-SØ generation.
- Eksisterende dale parallelt med isbevægelsesretningen er fortrinsvist blevet bevaret, mens dale vinkelret herpå i højere grad er blevet begravet i forbindelse med isoverskridelser.
- Saltstrukturer har stedvist haft indflydelse på beliggenheden af begravede dale.

### Sammenhæng mellem dalenes forekomst og dybe geologiske strukturer

- Der findes forkastninger under nogle af de begravede dale.
- Sammenhængen mellem de topografiske dale og de begravede dale viser, at terrænanalyser kan bruges til at afsløre eksistensen af begravede dale
- Analyser af foretrukne orienteringer viser tydelige sammenhænge mellem orienteringer af forkastninger, begravede dale og topografiske dale i det danske område. Disse sammenhænge peger på, at de strukturelle rammer har haft en indflydelse på erosionsmønstrene gennem kvartæret. Det vurderes, at reaktivering af gamle, dybe forkastninger som følge af aflastningen fra iskappernes vægt har haft en betydelig indflydelse på de begravede dalers orientering og beliggenhed.

### Nye vinkler på forståelsen af den kvartære lagserie

- De begravede dale indeholder fyld, som repræsenterer en række af geologiske hændelser, som ikke nødvendigvis kan udtrækkes fra lagserien udenfor dalene. Eksempelvis er dalene gode arkiver for kvartæret; bevaringspotentialet for sedimenterne i dalene er stort og interglaciale aflejringer hyppige (nye bidrag til forståelsen af den kvartære lagserie og kronologi)

Grundvandskortlægningen og kortlægningsprojektet om begravede dale har vist tilstedeværelse af mange begravede dalsystemer i Danmark. Antallet af dal-kilometer har været støt stigende efterhånden som større og større områder blev inddraget i kortlægningen. På nuværende tidspunkt er lidt

under halvdelen af det danske område dækket af fladedækkende geofysiske målinger – målrettet mod de områder, hvor der i dag indvindes grundvand. Det betyder omvendt, at der stadig er tale om, at omkring halvdelen af det danske område ikke er dækket af kortlægningen. Hvis dalekortlægningens resultater bruges i denne sammenhæng betyder det, at der udenfor de geofysisk kortlagte områder vil kunne findes yderligere et antal tusinde dal-kilometer i undergrunden. For at sikre den fremtidige forsyning med grundvand til drikkevand, kan en fortsat kortlægning af begravede dalstrukturer anbefales.



## 10. Referencer

- Al Hseinat, M. & Hübscher, C. (2014)**/ Ice-load induced tectonics controlled tunnel valley evolution – instances from the southwestern Baltic Sea. *Quaternary Science Reviews* 97, 121–135.
- Al Hseinat, M., Hübscher, C., Lang, J., Lüdmann, T., Ott, I. & Polom, U. (2016)**/ Triassic to recent tectonic evolution of a crestal collapse graben above a salt-cored anticline in the Glückstadt Graben/North German Basin. *Tectonophysics* 680 (2016) 50-66.
- Andersen, T.R., Poulsen, S.E., Christensen, S. & Jørgensen, F. (2013)**/ A synthetic study of geophysics-based modelling of groundwater flow in catchments with a buried valley. *Hydrogeology Journal* (2013) 21: 491-503.
- Bosch, J.H., Aleid Bakker, Marcel A.J., Gunnink, J. L. and Paap, B. F. (2009)**/ Airborne electromagnetic measurements as basis for a 3D geological model of an Elsterian incision. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, ZDGG*, 160, 3, 249 – 258.
- Britze, P. & Japsen, P. (1991)**/ Geological map of Denmark 1: 400,000. The Danish Basin. "Top Zechstein" and the Triassic (two-way travelttime and depth, thickness and interval velocity). Geological Survey of Denmark Map Series 31. 4 maps and 4 pp.
- Christensen, N.B. & Sørensen, K. I. (1998)**/ Surface and borehole electric and electromagnetic methods for hydrological investigations. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 3, 75-90.
- Danielsen, J.E., Auken, E., Jørgensen, F., Søndergaard, V., Sørensen, K.I. (2003)**/ The application of the transient electromagnetic method in hydrogeophysical surveys. *Journal of Applied Geophysics* 53, 181–198.
- Dehls, J. F., Olesen, O., Olsen, L. & Blikra, L. H. (2000)**: Neotectonic faulting in northern Norway; the Stuoragurra and Nordmannvikdalen postglacial faults. *Quaternary Science Reviews* 19, 1447–1460.
- Ditlevsen, C., Sørensen, J., Pallesen, T.M., Pedersen, D., Nielsen, O.B., Christiansen, C., Hansen, B. & Gravesen, P. (2008)**/ Jordprøver fra grundvandsboringer. *Geo-Vejledning 1*. Vejledning i udtagning, beskrivelse og geologisk tolkning i felten. GEUS Særudgivelse. København, 108 s. + Bilag 1-3.
- Ehlers, J., Meyer, K.-D. and 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.
- Fjeldskaar, W., Lindholm, C., Dehls, J. F. & Fjeldskaar, I. (2000)**/ Postglacial uplift, neotectonics and seismicity in Fennoscandia. *Quaternary Science Reviews* 19, 1413–1422.
- Geofysiksamarbejdet (2004)**/ Kombineret LCI-tolkning af MEP og TEM data – Koncept og tolkningseksempler. Geofysiksamarbejdet, Geofysisk Afdeling, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 2004.
- Gregersen, S. & Voss, P. (2009)**/ Stress change over short geological time: the case of Scandinavia over 9000 years since the Ice Age. In Reicherter, K., Michetti, A. M. & Silva, P. G. (eds.): *Palaeoseismology: Historical and Prehistorical Records of Earthquake Ground Effects for Seismic Hazard Assessment*, 173–178. The Geological Society, London, Special Publications 316.
- Hansen, J. M. (1980)**/ Læsøs Postglaciale udvikling i relation til den Fennoscandiske Randzone. *Dansk Geologisk Forening, Årsskrift for 1979*, 23–30.

- Hansen, J. M. (1986)**/ Læsø: et resultat af forkastningsbevægelser, jordskælv og niveauforandringer. Danmarks Geologiske Undersøgelse, Serie D 6, 47–62.
- Hirst, J.P.P. (2012)**/ Ordovician proglacial sediments in Algeria: insights into the controls on hydrocarbon reservoirs in the In Amenas field, Illizi Basin. Geological Society, London, Special Publications, Geological Society, London, Special Publications v.368, p. 319-353, doi: 10.1144/SP368.17.
- Hooke, R. LeB. & Jennings, C.E. (2006)**/ On the formation of the tunnel channels of the southern Laurentide ice sheet. Quaternary Science Reviews 25, 1364-1372.
- Houmark-Nielsen, M. (2004)**/ The Pleistocene of Denmark, a review of stratigraphy and glaciation history. I Quaternary Glaciations - Extent and chronology: Part 1, Europe. (2 udg., s. 35-46). Amsterdam: Elsevier Science.
- Huuse, M. & Lykke-Andersen, H. (2000)**/ Overdeepened Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: Morphology and origin. Quaternary Science Reviews, 19, 1233-1253.
- Høyer, A.S., Jørgensen, F., Sandersen, P.B.E. & Møller, I. (2015)**: 3D geological modeling of a complex buried-valley network recognized on borehole and airborne electromagnetic data. Journal of Applied Geophysics, 122, 94-102. DOI:10.1016/j.jappgeo.2015.09.004.
- Håkansson, E. & Pedersen, S.A.S. (1992)**/ Geologisk kort over den danske undergrund. Tidsskriftet VARV, 1 kort.
- Jakobsen, P. R. & Pedersen, S. A. S. (2009)**/ Fracture valleys in central Jylland – a neotectonic feature. Geological Society of Denmark and Greenland Bulletin 17, 33–36.
- Janszen, A., Spaak, M. & Moscariello, A. (2012)**/ Effects of the substratum on the formation of glacial tunnel valleys: an example from the Middle Pleistocene of the southern North Sea Basin. Boreas, Vol. 41, pp. 629–643.
- Japsen, P. & Langtofte, C. (1991a)**/ Geologisk kort over Danmark. Det danske Bassin. "Basis Kalk" og Kalk Gruppen. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie nr. 29.
- Japsen, P. & Langtofte, C. (1991b)**/ Geologisk kort over Danmark, 1:400.000. Det danske Bassin. "Top Trias" og Jura-Nedre Kridt. Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie nr. 30.
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. (2000)**/ Kortlægning af begravede dalsystemer I Jylland. Opdatering 1999-2000. Udført for De jyske amters grundvandssamarbejde, september 2000. (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).
- Jørgensen, F., Sandersen, P. B. E & Auken E. (2003a)**/ Imaging Buried Valleys using the Transient Electromagnetic Method. Journal of Applied Geophysics. Vol. 53, 4, pp. 199-213.
- Jørgensen, F., Lykke-Andersen, H., Sandersen, P. B. E., Auken, E., & Nørmark, E. (2003b)**/ Geophysical investigations of buried valleys in Denmark: An integrated application of transient electromagnetic soundings, reflection seismic surveys and exploratory drillings. Journal of Applied Geophysics. Vol. 53, 4, pp. 215-228.
- Jørgensen, F., Sandersen, P. B. E., Auken, E., Lykke-Andersen, H., Sørensen, K. (2005)**/ Contributions to the geological mapping of Mors, Denmark – a study base don a large-scale TEM-survey. Bull. Geol. Soc. Denm. 52, 53-75.
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. (2004)**/ Kortlægning af begravede dalsystemer I Jylland og på Fyn. Opdatering 2002-2004. Udført for De jyske amters grundvandssamarbejde, april 2004. (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. B. E. (2006)**/ Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. Quaternary Science Reviews 25 (2006) 1339-1363.
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. B. E. (2008)**/ Mapping of buried tunnel valleys in Denmark: new perspectives for the interpretation of the Quaternary succession in Denmark. GEUS Review of Survey activities 2007, GEUS bulletin 15, p. 33-36.

- Jørgensen, F., Kristensen, M., Højberg, A.L., Klint, K.E.S., Hansen, C., Jordt, B.E., Richardt, N. & Sandersen, P. (2008)**/ Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering. Geo-Vejledning 3. GEUS Særudgivelse. København, 175 s.
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. (2009a)**/ Kortlægning af begravede dale i Danmark. Opdatering 2007-2009. GEUS Særudgivelse, ISBN: 978-87-7871-259-2, 374 p. (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).
- Jørgensen, F. & Sandersen, P. B. E. (2009b)**/ Buried valley mapping in Denmark: evaluating mapping method constraints and the importance of data density. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Vol. 160, 3, pp. 211-223.
- Jørgensen, F., Scheer, W., Thomsen, S., Sonnenborg, T.O., Hinsby, K., Wiederhold, H., Schamper, C., Burschil, T., Roth, B., Kirsch, R. & Auken, E. (2012)**/ Transboundary geophysical mapping of geological elements and salinity distribution critical for the assessment of future sea water intrusion in response to sea level rise. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 1845–1862, 2012, [www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1845/2012/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/1845/2012/)doi:10.5194/hess-16-1845-2012.
- Jørgensen, F., Møller, R.R., Nebel, L., Jensen, N.-P., Christiansen A.V. and Sandersen, P.B.E. (2013)**: A method for cognitive 3D geological voxel modelling of AEM data. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Vol. 72, 3, 421-432. DOI: 10.1007/s10064-013-0487-2.
- Jørgensen, F., Sandersen, P., Høyer, A.-S., Møller, R.R., Pallesen, T.M., He, X., Kristensen, M. & Sonnenborg, T. (2014)**: 3D geologisk model ved Tønder. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2014/39. 126 pp.
- Jørgensen, F., Høyer, A.-S., Sandersen, P.B.E, He, X., and Foged, N. (2015)**: Combining 3D geological modelling techniques to address variations in geology, data type and density – an example from southern Denmark. *Computers & Geosciences* 81, 53–63. DOI: 10.1016/j.cageo.2015.04.010.
- Kehew, A.E., Nicks, L.P., and Straw, W.T. (1999)**/ Palimpsest tunnel valleys: evidence for relative timing of advances in an interlobate area of the Laurentide Ice Sheet: *Annals of Glaciology*, 28, 47-52.
- Kehew, A.E., Piotrowski, J. A. & Jørgensen, F. (2012)**/ Tunnel valleys: Concepts and controversies – A review. *Earth-Science Reviews* 113 (2012) 33–58.
- Knudsen, K. L. & Larsen, N. K. (2009)**/ Marine glacial and interglacial stratigraphy in Vendsyssel, northern Denmark: foraminifera and stable isotopes. *Boreas*, Vol. 38, issue 4, pp. 787-810.
- Kristensen, T.B., Huuse, M., Piotrowski, J.A. & Clausen, O.R. (2007)**/ A morphometric analysis of tunnel valleys in the eastern North Sea based on 3D seismic data. *Journal of Quaternary Science* 22, 8, 801–815.
- Krohn, C. F., Larsen, N. K., Kronborg, C., Nielsen, O. B., & Knudsen, K. L. (2009)**/ Litho- and chronostratigraphy of the Late Weichselian in Vendsyssel, northern Denmark with special emphasis on tunnel valley infill in relation to a receding ice margin. *Boreas*, Vol. 38, issue 4, pp. 811–833.
- Kronborg, C., Bender, H. & Larsen, G. (1978)**/ Tektonik som en mulig medvirkende årsag til daldannelsen i Midtjylland. *Danmarks Geologiske Undersøgelser, Årbog 1977*, 63–76.
- Larsen, N. K., Krohn, C. F., Kronborg, C., Nielsen, O. B. & Knudsen, K. L. (2009b)**/ Lithostratigraphy of the Late Saalian to Middle Weichselian Skærumhede Group in Vendsyssel, northern Denmark. *Boreas*, Vol. 38, issue 4, pp. 762-786.



- Lehné, R. & Sirocko, F. (2005)**/ Quantification of recent movement potentials in Schleswig-Holstein (Germany) by GIS-based calculation of correlation coefficients. *International Journal of Earth Sciences* 94, 1094–1102.
- Lykke-Andersen, H. (1981)**/ Indications of neotectonic features in Denmark. *Zeitschrift für Geomorphologie Neue Folge, Suppl.-Bd.* 40, 43–54.
- Lykke-Andersen, H. (1995)**/ Neotektonik i Danmark. Nogle bemærkninger om undergrundstektonikken og dens rolle for kvartæret. I: Nielsen, O.B. (Ed.): *Danmarks Geologi fra Kridt til i dag*, p.19-30. Aarhus Geokompender Nr. 1. ISSN 1396-1578.
- Lykke-Andersen, H., Madirazza, I. & Sandersen, P. B. E. (1996)**/ Tektonik og landskabsdannelse i Midtjylland. *Geologisk Tidsskrift* 1996, Hæfte 3, 1–32.
- Lykke-Andersen, H. & Borre, K. (2000)**/ Aktiv tektonik i Danmark – der er liv i Sorgenfrei-Tornquist Zonen. *GeologiskNyt* 6/00, 12–13.
- Madirazza, I. (2002)**/ The influence of tectonics on the land forms in west Jutland, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark* 49, 63–77.
- Madirazza, I., Jacobsen, B.H. and Abrahamsen, N. (1990)**: Late Triassic tectonic evolution in northwest Jutland, Denmark. *Bull. geol. Soc. Denmark*, vol. 38, pp. 77-84. Copenhagen, April 25th, 1990.
- Mertz, E. L. (1924)**/ Oversigt over de sen- og postglaciale Niveauforandringer i Danmark. *Danmarks Geologiske Undersøgelser II Række* 41, 49 pp.
- Milthers, V. (1916)**/ Spaltdale i Jylland. *Danmarks Geologiske Undersøgelse IV*, 16 pp.
- Muir-Wood, R. (2000)**/ Deglaciation Seismotectonics: a principal influence on intraplate seismogenesis at high latitudes. *Quaternary Science Reviews* 19, 1399–1411.
- Møller, R.R. & Jørgensen, F. (2011)**: Geologisk model ved Egebjerg. *Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2011/37*. 95 pp.
- Mörner, N-A. (1978)**/ Faulting, fracturing and seismicity as functions of glacio-isostasy in Fennoscandia. *Geology*, v. 6, p. 41-45.
- Piotrowski, J.A. (1999)**/ Channelized subglacial drainage under soft-bedded ice sheets: evidence 20 from small N-channels in Central European Lowland. *Geological Quarterly* 43, 153-162.
- Praeg, D. (2003)**/ Seismic imaging of mid-Pleistocene tunnel-valleys in the North Sea Basin-high resolution from low frequencies. *Journal of Applied Geophysics*, 53, 273-298.
- Reicherter, K., Kaiser, A. & Stackebrandt, W. (2005)**/ The post-glacial landscape evolution of the North German Basin: morphology, neotectonics and crustal deformation. *International Journal of Earth Sciences* 94, 1083–1093.
- Sandersen, P. & Jørgensen, F. (1998)**/ Kortlægning af begravede dalsystemer i Jylland - et forprojekt. Udarbejdet for "Det jyske grundvandssamarbejde". (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).
- Sandersen, P. & Jørgensen, F. (2002)**/ Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn. Opdatering 2001-2002. Udført for De jysk-fynske amters grundvandssamarbejde, april 2002. (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).
- Sandersen, P. & Jørgensen, F. (2003)**/ Buried Quaternary valleys in western Denmark – occurrence and inferred implications for groundwater resources and vulnerability. *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 53, no. 4, pp. 229-249.
- Sandersen, P. & Jørgensen, F. (2006)**/ Kortlægning af begravede dale i Jylland og på Fyn. Opdatering 2005-2006. Udført for De jysk-fynske amters grundvandssamarbejde, december 2006. (Kan downloades på [www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)).

- Sandersen, P. B. E., Jørgensen, F., Larsen, N. K., Westergaard, J. H. & Auken, E. (2009)**/ Rapid tunnel-valley formation beneath the receding Late Weichselian ice sheet in Vendsyssel, Denmark. *Boreas*, Vol. 38, issue 4, pp. 834–851.
- Sandersen, P. B. E. & Jørgensen, F. (2012)**/ Substratum control on tunnel-valley formation in Denmark. In: Huuse, M., Redfern, J., Le Heron, D. P., Dixon, R. J., Moscariello, A. & Craig, J. (Eds.) 2012. *Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems*. Geological Society, London, Special Publications, 368, 145-157/[dx.doi.org/10.1144/SP368.12](https://doi.org/10.1144/SP368.12).
- Sandersen, P. B. E. & Jørgensen, F. (2015)**/ Neotectonic deformation of a Late Weichselian outwash plain by deglaciation-induced fault reactivation of a deep-seated graben structure. *Boreas*, Vol. 44, pp. 413–431. [10.1111/bor.12103](https://doi.org/10.1111/bor.12103). ISSN 0300-9483.
- Scheiber, T., Fredin, O., Viola, G., Jarna, A., Gasser, D. & Łapinska-Viola, R., (2015)**: Manual extraction of bedrock lineaments from high resolution LiDAR data: methodological bias and human perception. *GFF*, Vol. 137, No. 4, pp. 362–372. Geologiska Föreningen.
- 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.
- Spies, B. R., and Frischknecht, F. C. (1991)**/ Electromagnetic sounding, in Nabighian, M. N., Ed., *Electromagnetic methods in applied geophysics*, Vol II, Part A: Soc. Expl. Geophys., 285-417.
- Stackebrandt, W. (2009)**/ Subglacial channels of Northern Germany a brief review. *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften (ZDGG) Band 160 Heft 3* (2009), p. 203 – 210.
- Stewart, I. S., Sauber, J. & Rose, J. (2000)**/ Glacio-seismotectonics: ice sheets, crustal deformation and seismicity. *Quaternary Science Reviews* 19, 1367–1389.
- Stewart, M.A. and Lonergan, L. (2011)**/ Seven glacial cycles in the middle-late Pleistocene of northwest Europe: Geomorphic evidence from buried tunnel valleys. *Geology* 39, 283-286.
- Szedler, T. & Sirocko, F. (2005)**/ Evidence for active tilting of the NW-German Basin from correlations between fluvial landscape and geological subground. *International Journal of Earth Sciences* 94, 66–93.
- Sørensen, K.I. (1996)**/ Detailed regional hydrogeophysical investigations—the Solbjerg case. *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*, EEGS, Keystone, CO, USA, 343– 352.
- Sørensen, J., Søndergaard, V., Kronborg, C., Nielsen, O. B., & Thomsen, R. (2006)**/ Be-gravede dale i Århus Amt - undersøgelse af Frijsenborg-Foldby-plateauet. *GeologiskNyt* 4/06. P. 18-22.
- Sørensen, K.I., Auken, E. (2004)**/ SkyTEM—a new high-resolution helicopter transient electromagnetic system. *Exploration Geophysics* 35, 191–199.
- Ter-Borch, N. (1991)**/ *Geologisk kort over Danmark, 1:500 000. Kalkoverfladens struktur.* Danmarks Geologiske Undersøgelse Kortserie 7, 4 s, 1 kort.
- Thomsen, R., Søndergaard, V.H. & Sørensen, K.I. (2004)**/ Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark. – *Hydrogeology Journal*, 12, 5: 550–562.
- Tygesen, S., Madsen, P.H. og Alfred, P. (2015)**/ Grådybet og grundvandet. *danskVAND*, 4, 52-53.

**van der Vegt, P., Janszen, A. & Moscariello, A. (2012)**/ Tunnel valleys: current knowledge and future perspectives. In: Huuse, M., Redfern, J., Le Heron, D. P., Dixon, R. J., Moscariello, A. & Craig, J. (Eds.) 2012. Glaciogenic Reservoirs and Hydrocarbon Systems. Geological Society, London, Special Publications, 368/[dx.doi.org/10.1144/SP368.12](https://doi.org/10.1144/SP368.12).

**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.

**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.



"Begravede dale" udgør underjordiske geologiske dalstrukturer, som stort set kan findes overalt i det danske område. Geologisk kortlægning af de begravede dale er vigtig i forhold til grundvandsressourcerne, fordi aflejringerne i dalene kan indeholde vigtige forekomster af grundvand. Disse grundvandsmagasiner er ofte dybtliggende og dermed velbeskyttede overfor forurening fra overfladen. Men dalene kan også være årsag til kortslutninger mellem vand ved jordoverfladen og det dybtliggende grundvand, hvilket kan betyde, at forurening fra overfladen nogle steder kan transporteres uhindret ned til dybe grundvandsmagasiner.

I projektet "Kortlægning af begravede dale i Danmark" er dalenes geografiske forekomst kortlagt siden 1998 på baggrund af de mange detaljerede data, som er indsamlet i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning. Formålet med projektet har fra starten været, at resultaterne løbende skulle kunne bruges som administrativt arbejdsgrundlag og som støtte for tilrettelæggelse af fremtidige geologiske og geofysiske undersøgelser af grundvandsforekomsterne.

Der er i alt kortlagt omkring 5.600 km begravede dale i den danske undergrund fordelt på mere end 250 lokaliteter. Siden projektstarten er der foretaget en række projekt-opdateringer, som alle er tilgængelige på internettet på projektets hjemmeside

[www.begravede-dale.dk](http://www.begravede-dale.dk)