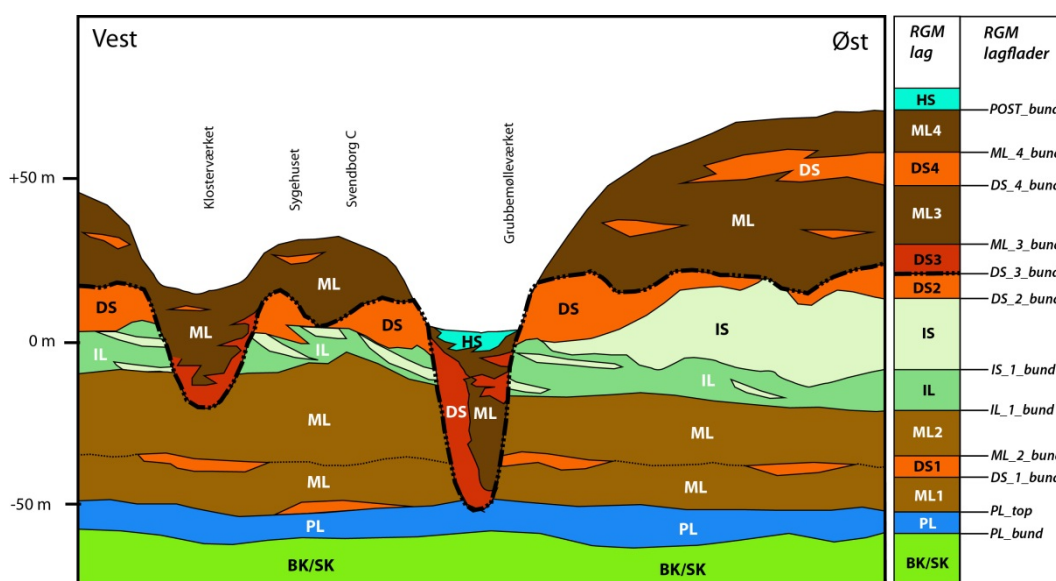


# Region Syddanmark



## Geologisk model for Svendborg by:

Opdatering og viderebearbejdelse af eksisterende model

Rapport

Maj 2013

**De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland GEUS**  
Afdeling for Grundvand og Kvartærgeologisk kortlægning

Lyseng Allé 1  
8270 Højbjerg

Dato: 10. maj 2013

Rapporten er udarbejdet af: Peter Sandersen ([psa@geus.dk](mailto:psa@geus.dk)) i samarbejde med Region Syddanmark (Hans Skou og Jørgen F. Christensen).

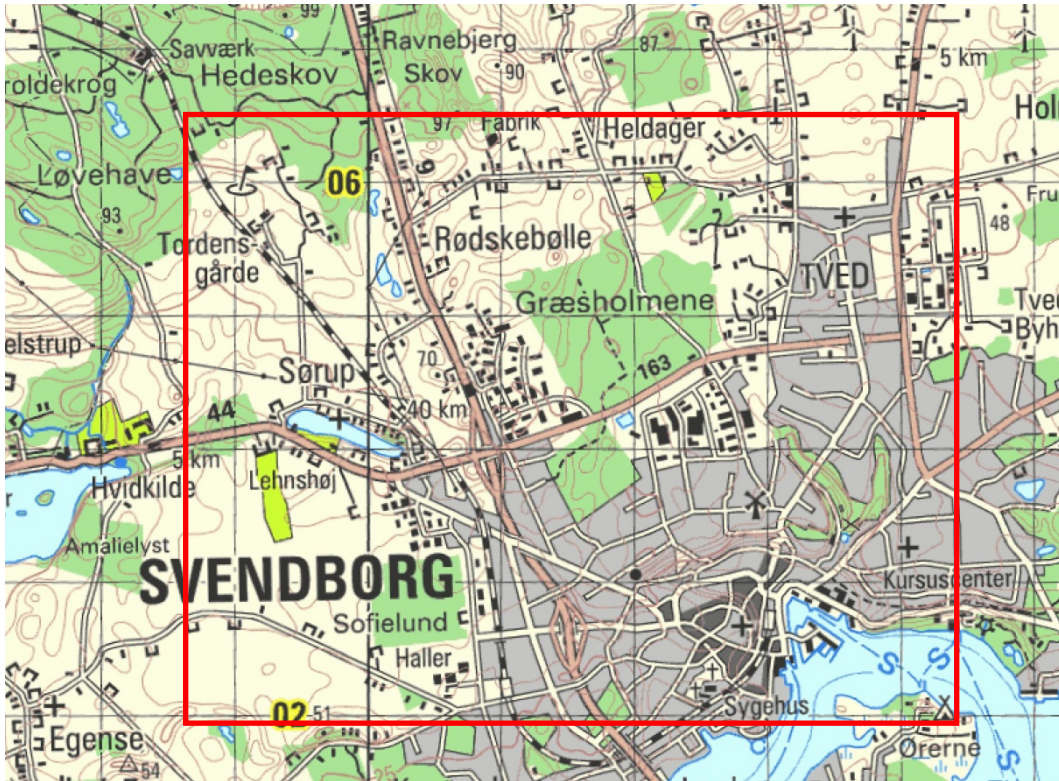
# Indhold

<b>1.</b>	<b>Baggrund og formål</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>Den geologiske modellering i Svendborg</b>	<b>7</b>
2.1	Kort historik.....	7
2.2	Opdatering af den eksisterende geologiske model.....	8
2.2.1	Modelopsætning i GeoScene 3D .....	8
2.2.2	Opdatering af stratigrafi.....	9
2.2.3	Opdatering af modeltolkninger .....	10
2.2.4	Håndtering af usikkerheder .....	12
2.2.5	Modelleringstekniske problemstillinger .....	13
2.3	Opstilling af hydrostratigrafisk model.....	14
2.3.1	Opstilling af hydrostratigrafi.....	14
2.3.2	Modelopsætning i GeoScene 3D .....	18
2.3.3	Tolkingsprincipper og procedurer for modeltolkninger.....	18
2.3.4	Håndtering af usikkerheder .....	20
2.3.5	Interpolation og bearbejdelse af grids.....	20
2.3.6	Modelleringstekniske problemstillinger .....	22
<b>3.</b>	<b>Modelresultater</b>	<b>23</b>
3.1	Rumlig geologisk opbygning .....	23
3.1.1	Den prækvartære lagserie.....	23
3.1.2	Den kvartære lagserie ældre end Eem mellemistiden (Eem interglacial). .....	24
3.1.3	Eem mellemistiden og det tidlige Weichsel.....	26
3.1.4	Den yngste del af Weichsel og postglacialet .....	28
3.1.5	Grundvandskemi .....	31
3.2	Grundvandsmagasiner (hydrostratigrafisk model).....	31
3.2.1	Generelle bemærkninger.....	31
3.2.2	Hydraulisk kontakt mellem magasiner .....	32
3.3	Lagseriens deformationsgrad.....	34
3.3.1	Indledning .....	34
3.3.2	Geologiske rammer .....	34
3.3.3	Vurdering af deformationsgraden.....	34
<b>4.</b>	<b>Referencer</b>	<b>38</b>



# 1. Baggrund og formål

Region Syddanmark opstartede i 2011 geologisk modellering i Svendborg by (figur 1). Byområdet ligger i den sydlige udkant af en tidligere geologisk model udarbejdet for Miljøcenter Odense i 2005 (COWI, 2005). Region Syddanmark har ønsket en opdatering af denne geologiske modellering indenfor byområdet, således at GeoGIS-boringer fra forureningsundersøgelser, pejlerunder, prøvepumpninger, geotekniske undersøgelser mv. kom til at indgå i tolkningerne. I tillæg hertil skulle der af Region Syddanmark indsamles nye data.



Figur 1: Oversigtskort over modelområdet i Svendborg by (rødt rektangel)

Formålet med opdateringen har været at opnå en detaljeret geologisk model, der skulle danne et forbedret grundlag for prioriteringen af indsatsen overfor forurening af grundvandet i Svendborg. Modellens resultater skal indgå i udarbejdelsen af et "risikokort" for grundvandet i Svendborg samt anvendes i en numerisk grundvandsmodel.

I forbindelse med den geologiske modellering er der udarbejdet en række rapporter og notater (se referencelisten), som samt holdt flere workshops. Sammen med den digitale GeoScene 3D-model for Svendborg udgør denne rapport den afsluttende afrapportering af den geologiske modellering. Da de indledende dele af modelleringen er afrapporteret i tidligere rapporter og notater, vil nærværende rapport derfor være centreret omkring en afrapportering af de overordnede forhold omkring modelleringen. For detaljer omkring geologiske vurderinger henvises derfor til Grontmij (2011) og GEUS (2012).

Den digitale geologiske model består af en "rumlig geologisk model" (RGM) og en "hydrostratigrafisk model" (HSM), og er opstillet i overensstemmelse med de generelle beskrivelser i Geo-Vejledning nr. 3 (GEUS 2008). Den opstillede model er udarbejdet i GeoScene 3D og en gratis viewer kan downloades på: <http://i-gis.dk/GeoScene3D/Download/-tabid/91/language/da-DK/Default.aspx>. Det er aftalt med Region Syddanmark at afrapporteringens omfang er begrænset, og derfor vil visning af profiler mv. i rapporten blive holdt på et minimum.

Den hydrostratigrafiske models flader er d. 25. marts 2013 videregivet til Rambøll for at blive anvendt ved opstillingen af en grundvandsmodel for Svendborg.

## 2. Den geologiske modellering i Svendborg

### 2.1 Kort historik

Den geologiske modellering i Svendborg er foregået i et iterativt forløb, hvor der først blev foretaget en sammenstilling af eksisterende data, suppleret med eksisterende boredata fra regionens GeoGIS database (Grontmij 2011). Der blev i denne forbindelse oprettet en GeoScene 3D-model, hvori data blev samlet. I denne fase af arbejdet blev der ikke opstillet en digital 3D geologisk model, men i stedet foretaget geologiske tolkninger langs profiler i GeoScene 3D (skitser). Der blev opstillet en konceptuel geologisk forståelsesmodel, som beskrev den geologiske opbygning. På baggrund heraf blev der fremsat forslag til supplerende dataindsamling.

I første omgang blev der udført 6 nye borer (B1 til B6), hvori der blev isat mellem 1 og 4 filtre i vandførende/formodet vandførende horisonter. Efterfølgende blev der på udvalgte jordprøver fra morænerne udført fingrusanalyser (Rambøll 2012), med det formål at søge at opdele lagserien mere sikkert i separate lag på baggrund af variationer i prøvernes indhold af forskellige fingrus-typer.

Herefter blev de geologiske tolkninger opdateret og på baggrund heraf blev der fremsat forslag til en supplerende dataindsamlingsrunde. I anden omgang blev der udført yderligere 4 borer (B7 til B10), hvor der også på udvalgte jordprøver blev udført fingrusanalyser (Rambøll 2012). Efter udførelsen af de nye borer er der foretaget prøvepumpninger og pejlinger i gamle såvel som nye borer (Rambøll 2013).

De nye data og observationer er indgået i den fortsatte geologiske modellering, som denne rapport beskriver. Efter dataindsamlingen er den rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model opstillet i GeoScene 3D, og de færdige flader er videreleveret til grundvandsmodellørerne.

Undervejs i forløbet har der været holdt en række møder og workshops, hvor delresultater og ny-indsamlede data har været diskuteret, og hvor der på baggrund heraf er blevet taget fælles beslutninger om de næste trin. Dette iterative forløb har været meget afgørende for at kunne sikre, at de supplerende data blev indsamlet det bedst mulige sted. Ligeledes har forløbet gjort det muligt at afprøve de opstillede hypoteser og trinvis øge modellens sikkerhed.

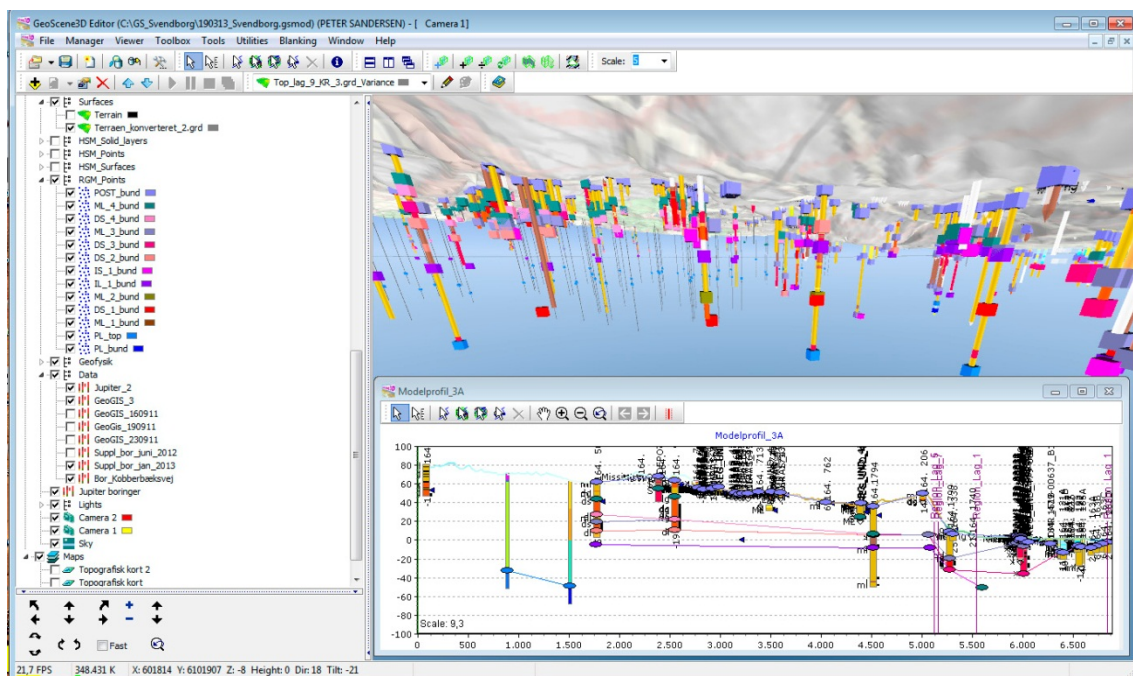
Opstilling af en geologisk model i et byområde er normalt vanskeliggjort af manglen på forskellige typer af geofysiske data, som man typisk indsamler i det åbne land. I stedet har det været muligt at opnå en meget bedre dækning med borer end normalt, fordi der er indsamlet supplerende boredata fra andre databaser og fordi der i forbindelse med projektet er udført 10 nye, dybe borer. De nye borer har – foruden de mere traditionelle boredata – også bidraget med meget specifikke oplysninger om lagenes relative alder ved udførelse af fingrusanalyserne. Anvendelsen af fingrusanalyser har i høj grad øget sikkerheden i de geologiske tolkninger.

## 2.2 Opdatering af den eksisterende geologiske model

### 2.2.1 Modelopsætning i GeoScene 3D

Modelleringen i Svendborg er foretaget i det oprindelige GeoScene projekt for Svendborg, som er beskrevet nærmere i Grontmij (2011). Der henvises derfor til denne rapport for detaljer omkring GeoScene-projektets opbygning i GeoScene 3D.

Nye boredata er modtaget 17. januar 2013 fra Rambøll ("170113\_Svendborg\_JupXL\_B1\_B10.mdb") og er indlagt i GeoScene som "Suppl\_boringer\_jan\_2013". Supplerende boringer fra en miljøundersøgelse i den nordøstlige del af Svendborg ved Kobberbæksvej ("479\_81022\_Kobberbæksvej\_PCJupiter.mdb") er indlagt i GeoScene som "Bor\_Kobberbæksvej". GeoSceneprojektet er opdateret med de nye boredata og omdøbt til "190313\_Svendborg.gsmod".



Figur 2: Screen dump fra den rumlige geologiske model.

På figur 2 ses et screen dump fra den rumlige geologiske model. Hvor der til venstre ses modellens objekter, hvor "RGM\_Points" indeholder de enkelte lagfladers tolkningspunkter. I 3D-vinduet til højre ses tolkningspunkterne i rummet som kuber med de korresponderende farver (lodrette søjler er data; boringer og TEM-sonderinger). Nederst til højre ses et udvalgt profil, hvor tolkningspunkterne er vist med farvede ellipser. Tolkningspunkterne er forbundne med tynd strek.

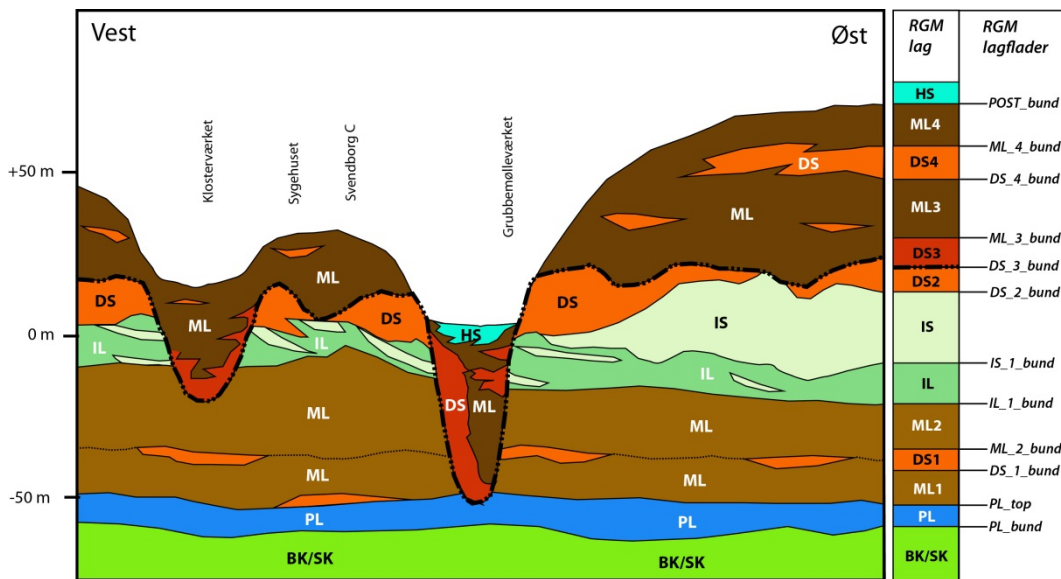


## 2.2.2 Opdatering af stratigrafi

Med baggrund i de nye boredata er stratigrafien fra den oprindelige rumlige geologiske model opdateret (Grontmij 2011). Overordnet set har de nye data ikke givet anledning til ændringer i den geologiske forståelse af området, men betyder, at:

- der kan adskilles to moræner i den dybe del af lagserien (ML1 og ML2),
- de interglaciale lag er delt i en sandet del (IS) og en leret del (IL)
- sandfyldet i dalerosionerne er skilt ud som separat lag (DS3)
- der er oprettet et overfladenært postglacialt lag

Den opdaterede stratigrafi fremgår af principskitzen herunder. Lagbetegnelserne i GeoScene for den rumlige geologiske model (RGM) fremgår af figurens højre side.



Figur 3: Principskitse af stratigrafien i Svendborg, samt lag og lagflader anvendt i den rumlige geologiske model (RGM).

Stratigrafien, som er vist på figur 3 er senest fremvist og diskuteret på workshopen d. 7. februar 2013.

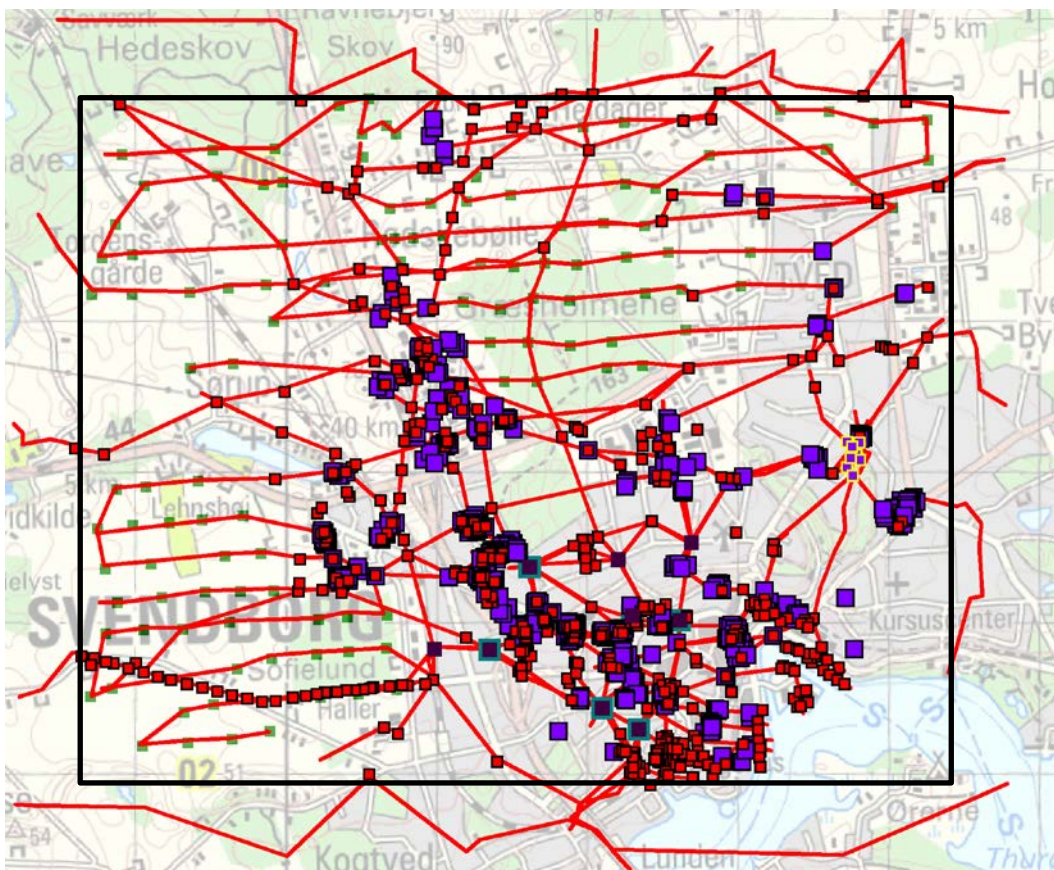
Laggrænsen "POST\_bund" udgør i modellen bunden af postglaciale lag (marine/ferske) samt fyldlag, som i borerne er benævnt "O". Laget "DS\_3" udgør sandlag i de begravede dale, og dette sand er tolket at være geologisk set uafhængigt af sandet i lag "DS\_2". Laget DS\_3 er tolket at være aflejret efter erosionen af dalene, og det vil sige også efter aflejringen af sandet i lag DS\_2. Moræneleret i dalene modsvarer stratigrafisk set ML\_3 og ML\_4, hvilket er illustreret i figuren ved at morænerne har samme farvenuance. I de 10 nye borer kan den øverste moræne ikke differentieres, og inddelingen i ML\_3 og ML\_4 er kun sket for at kunne håndtere sandlagene i den øvre del af lagserien i GeoScene-modellen. Rent praktisk kan det være vanskeligt at henføre lagene til enten ML\_3 eller ML\_4, hvis ikke der er indlejret sandlag.

### 2.2.3 Opdatering af modeltolkninger

#### Opdatering af profiler og oprettelse af supplerende profiler:

I forhold til modelprofilerne 1-16 i den tidligere model er der sket en opdatering af profilerens geografiske forløb. Overordnet ligger profilerne samme sted, men noderne langs profilerne er stedvist ændret for at nå så mange vigtige borerer som muligt, og flere af profilerne er samtidigt gjort længere. De nye profiler i den opdaterede model har fået tilføjet et "A" til navnet for at kunne skelne de gamle og nye profiler fra hinanden. Modelprofilerne ligger i objektgruppen "Modelprofiler".

Modelprofil\_18A, 19A og 20A, som løber gennem de nye borerer, er oprettet. Yderligere modelprofiler er oprettet som supplement (Modelprofiler 21A-26A) for at sikre, at hovedparten af borererne i området er dækket af profiler. Alle profiler er vist som røde streger på figur 3 herunder (dog uden profilnummerangivelse; for detaljer henvises til GeoScene-projektet). På figur 3 kan det ses, at modelprofilerne rækker lidt ud over undersøgelsesområdet for at sikre den bedste mulige sammenkobling med den eksisterende model. Vær opmærksom på, at der på figuren kun vises borerer indenfor undersøgelsesområdet. Borererne udenfor undersøgelsesområdet er ikke nødvendigvis tolket, men oplysninger fra borererne indgår i de geologiske vurderinger.



Figur 3: Modelprofiler i den rumlige geologiske model (røde linjer). Borerer er vist med røde og lilla firkanter mens TEM-sonderinger er vist med grønne firkanter. Modelområdet er vist med sort rektangel.

I områdets nordlige og vestlige dele, er der indlagt to irregulære profiler gennem TEM-sonderingerne for at sikre, at disse kom til at indgå i tolkningerne. Profilerne ligger i objektgruppen "TEM-profiler" i GeoScene og er benævnt "Profil\_TEM\_1" og "Profil\_TEM\_2".

I tillæg til ovenstående profiler er der oprettet to dynamiske profiler henholdsvis V-Ø og N-S, som parallelforskydes 100-200 m gennem hele området. Disse profiler er brugt til kontrol af tolkninger samt indsættelse af eventuelle supplerende tolkningspunkter.

#### Tolkningsprincipper og –procedurer for den rumlige geologiske model:

Lagfladerne i den rumlige geologiske model tolkes primært, hvor der er data, og lagfladerne bliver derfor ikke nødvendigvis gennemgående i hele området. Dette er i overensstemmelse med beskrivelserne i Geo-Vejledning 3 (GEUS 2008) for en rumlig geologisk model.

Tolkningsprincipperne for den rumlige geologiske model er:

- Der tolkes langs modelprofilerne, som går gennem hovedparten af borerne i området, og langs TEM-profilerne, som løber gennem TEM-sonderingerne. Modelprofilerne 1-26 har en databuffer på 50 m, mens TEM-profilerne har en buffer på 20 m. Modelprofilerne er irregulære og placeringen af profilnoderne styres af borerne og TEM-sonderingernes lokalisering.
- Tolkningerne tager udgangspunkt i de nye, dybe borer B1 til B10, da disse har den mest pålidelige stratigrafi på grund af de litologiske beskrivelser og fingrusanalyserne. De nye borer fungerer således som stratigrafiske "ankre" i modellen, og det er krævet, at modeltolkningerne skal stemme med stratigrafien (se figur 2) i alle disse borer. Det er tilstræbt, at de nye borer optræder på så mange profiler som muligt. Tolkningerne i de 10 nye borer har den højeste "Quality-rating" (rating 1; se næste afsnit). I de nye borer indlægges så mange laggrænser som muligt (af den opstillede stratigrafi) for at "tvinge" laggrænserne fast i disse borer; også selvom det enkelte lag ikke er repræsenteret i boringen.
- Til korrelationerne mellem de nye borer fokuseres primært på tilstedeværelsen af interglaciale aflejringer (IS/IL) med støtte i fingrusanalyserne, samt om man er indenfor eller udenfor dalerosionerne. En forståelse af forekomsten af interglaciale aflejringer og tilstedeværelsen af erosionsdale er vigtig for at kunne modellere områdets geologi.
- Der indsættes støttepunkter på steder, hvor det vurderes nødvendigt for at ekstrapolere lagtolkningen i borerne ud i det horisontale plan i GeoScene. Dog tilstræbes det at sætte et minimalt antal støttepunkter for ikke at styre tolkningerne for meget.

Tolkningsproceduren for den rumlige geologiske model har været:

- a) Oprettelse af modelprofiler
- b) Print af profiler og påtegning af håndtolkninger
- c) Revision af stratigrafi
- d) Tolkning af laggrænser i GeoScene i borerne B1-10 langs profiler
- e) Tolkning af sikreste lagflader langs alle profiler (med udgangspunkt i B1-10)

- f) Kontrol af skæringspunkter og justering af tolkninger
- g) Tolkning langs TEM-profiler (primært PL\_top)
- h) Kontrol af tolkninger langs et dynamisk V-Ø profil og et dynamisk N-S-profil (databuffer 100 m, profilspring 200 m). Indsætning af eventuelle manglende tolkningspunkter.

## 2.2.4 Håndtering af usikkerheder

Det er valgt at håndtere usikkerheden af modeltolkningerne i GeoScene ved anvendelse af Quality-attributten, hvor en usikkerhed på det enkelte tolkningspunkt kan vises. For at holde afrapporteringens omfang nede, er der ikke inkluderet en nærmere gennemgang af usikkerhedsvurderingerne, og der henvises derfor til GeoScene-projektet.

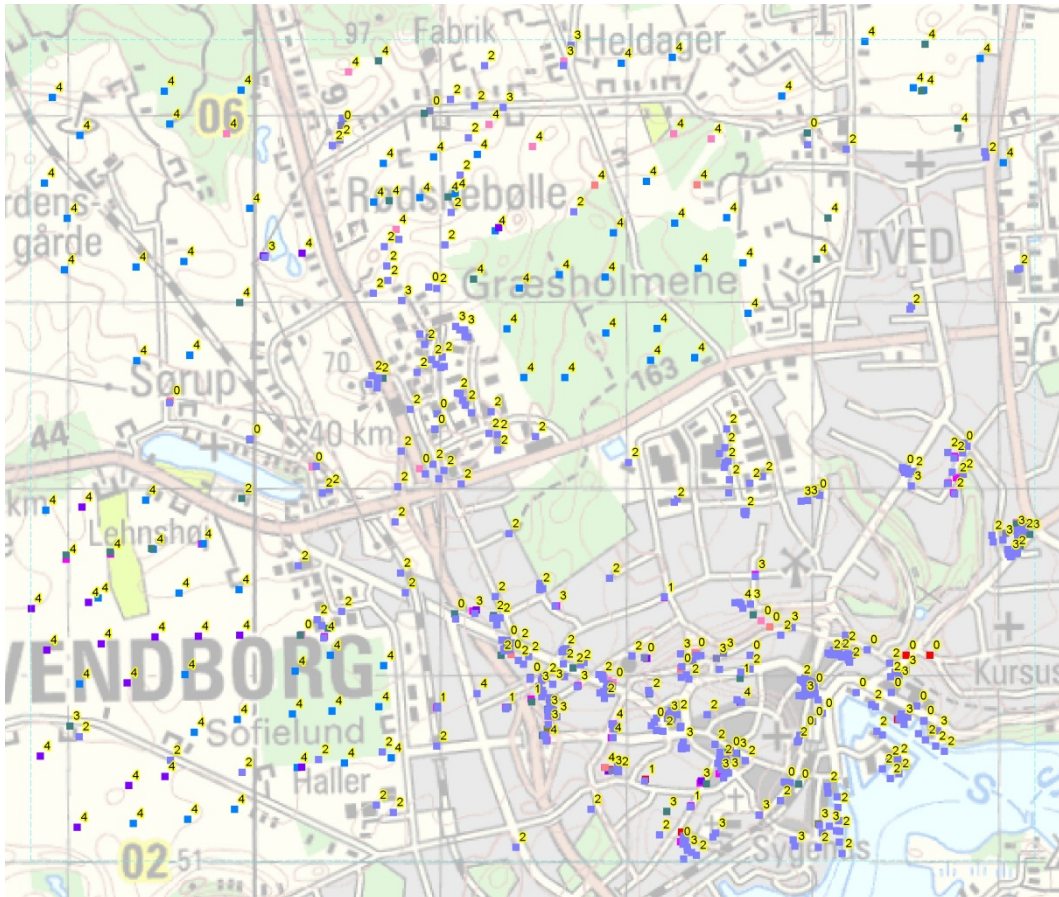
Quality-attributten på tolkningspunkterne i RGM i GeoScene er inddelt på følgende måde:

- "Quality 1": Lille usikkerhed: Sikker tolkning af laggrænse. Tolkningspunkt sat i laggrænse i boring med fingrusanalyser (med snap til data).
- "Quality 2": Lille usikkerhed: Rimeligt sikker tolkning af laggrænse. Tolkningspunkt sat i laggrænse i godt beskrevne boringer (uden fingrusanalyser) med en rimeligt sikker lagbestemmelse i fht. stratigrafien (med snap til data).
- "Quality 3": Mellem usikkerhed: Mindre sikker tolkning af laggrænse. Tolkningspunkt sat i laggrænse i mindre godt beskrevne boringer, men hvor tilhørsforholdet til den opstillede stratigrafi er nogenlunde sikker (med snap til data). Tolkning af meget markante resistivitetsgrænser i TEM-data kan henføres til denne kategori (med eller uden snap til data).
- "Quality 4": Stor usikkerhed: Usikker tolkning af laggrænse. Tolkningspunkt sat i laggrænse i dårligt beskrevne boringer (med eller uden snap til boring). Tolkning af mindre markante resistivitets-grænser i TEM-data kan henføres til denne kategori (med eller uden snap til data).
- "Quality 0": Stor usikkerhed: Frie tolkningspunkter. Tolkningspunkt sat som støttepunkter (uden snap til data).

Der er således defineret fem kvalitetsniveauer, som beskriver tre usikkerhedskategorier: "Lille usikkerhed", "Mellem usikkerhed" og "Stor usikkerhed".

Quality 1-tolkningspunkter gælder tolkninger i nye boringer med fingrusanalyser, Quality 2 vil typisk være tolkninger i nyere, velbeskrevne boringer, så som miljøboringer eller geotekniske boringer, Quality 3 vil typisk være tolkninger i ældre boringer med sparsomme litologiske beskrivelser, mens Quality 4 typisk vil gælde for tolkningspunkter sat i ældre boringer uden anden beskrivelse end hovedbetegnelsen. Quality 0 gælder for frie tolkningspunkter, som udelukkende er sat som støttepunkter. I figur 4 ses et eksempel på plot af alle tolkningspunkterne og den tilhørende Quality-attribut. Denne figur er kun til illustration, da der er tale om et plot af alle lagfladers tolkningspunkter oven i hinanden. For en nærmere visualisering af de enkelte lagfladers tolkningsusikkerhed henvises til GeoScene-projektet.





Figur 4: Usikkerhed; Quality-attribut i GeoScene for de enkelte tolkningspunkter i RGM (se tekst).

## 2.2.5 Modellerings tekniske problemstillinger

Modelleringen af den rumlige geologiske model har indebåret bl.a. følgende modellerings-tekniske problemstillinger og udfordringer:

### Dårlige litologiske beskrivelser i boringer:

Mange af boringerne fra Jupiter databasen er af ældre dato, og prøvebeskrivelserne og oplysningerne omkring selve boringen kan være meget sparsomme. De gamle boringer vil derfor ofte være nedprioriterede i tolkningen i forhold til de nye boringer, og afvigelser fra "det forventede" (jf. de nye boringer) er derfor taget med forbehold. Foruden usikkerhed omkring selve lagserien er der også enkelte eksempler på usikkerhed på boringsplaceringen.

### Vanskelig visualisering af rumlig geologisk model i GeoScene:

Tolkningerne i den rumlige geologiske model følger GEUS' geovejledning 3 (GEUS 2008) om opstilling af geologiske modeller til brug ved grundvandsmodellering. Det vil sige, at der kun sker indsættelse af tolkningspunkter lige omkring, hvor der er data. Da datafordelingen i området er ujævn, vil der derfor mange steder være langt mellem tolkningspunkterne. I GeoScene kan det vælges, at tolkningspunkterne for samme lagflade føjes sammen med en tynd streg uanset afstand. Vælges dette, bliver resultatet – på grund af lagseriens kom-

pleksitet og de spredte tolkningspunkter – et meget kompliceret billede af tilsyneladende krydsende flader på profilerne. Vælges det derimod ikke at vise disse linjer, så står tolkningspunkterne alene og kan kun skelnes fra hinanden på farven. Da de enkelte lagflader kun er repræsenteret ved spredte tolkningspunkter er fladerne derfor heller ikke interpolerede.

Kort sagt, så betyder ovenstående, at den rumlige geologiske model i GeoScene fremstår fragmenteret som spredte tolkningspunkter. Det anbefales derfor, at den rumlige geologiske model primært anvendes som en dokumentation for de geologiske tolkninger og som grundlaget for udarbejdelsen af den hydrostratigrafiske model. Det vil sige, at den rumlige geologiske models tolkningspunkter kan slås til/fra, når man ønsker at se, hvilke geologiske tolkninger, der ligger bag de hydrostratigrafiske tolkninger.

#### Håndtering af deformerede og komplekse lagserier:

I Svendborg er der stedvist tegn på en stærkt varierende litologi og stærkt varierende top- og bundkoter. Der kan ses meget varierende prøvebeskrivelser i tætliggende borer, og dermed åbnes mulighed for at opnå stor detaljeringsgrad i modellen. Detailrigdommen kan dog ikke honoreres i modellen, da det er nødvendigt at inddele lagserien i lag af en vis tykkelse. Det betyder, at der er en nedre grænse for, hvor tynde lag og hvor små strukturer, modellen kan håndtere. Stedvist er der også tegn på deformerede lagserier, hvor kompleksiteten er så stor, at modellering af variationerne vil være umulige. Dog vil detailinformationerne indgå i de geologiske vurderinger, og vil kunne danne basis for vurderinger af de enkelte lags litologi eller grad af deformation samt udgøre input til grundvandsmodellørerne.

## **2.3 Opstilling af hydrostratigrafisk model**

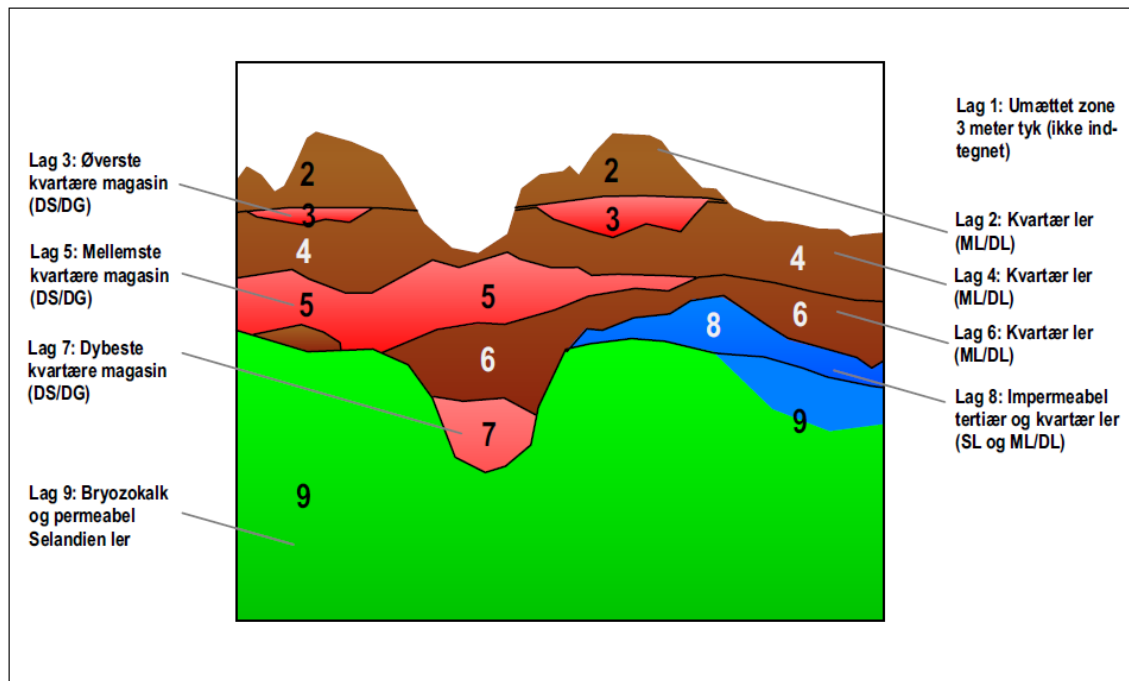
### **2.3.1 Opstilling af hydrostratigrafi**

#### Tidligere modellering:

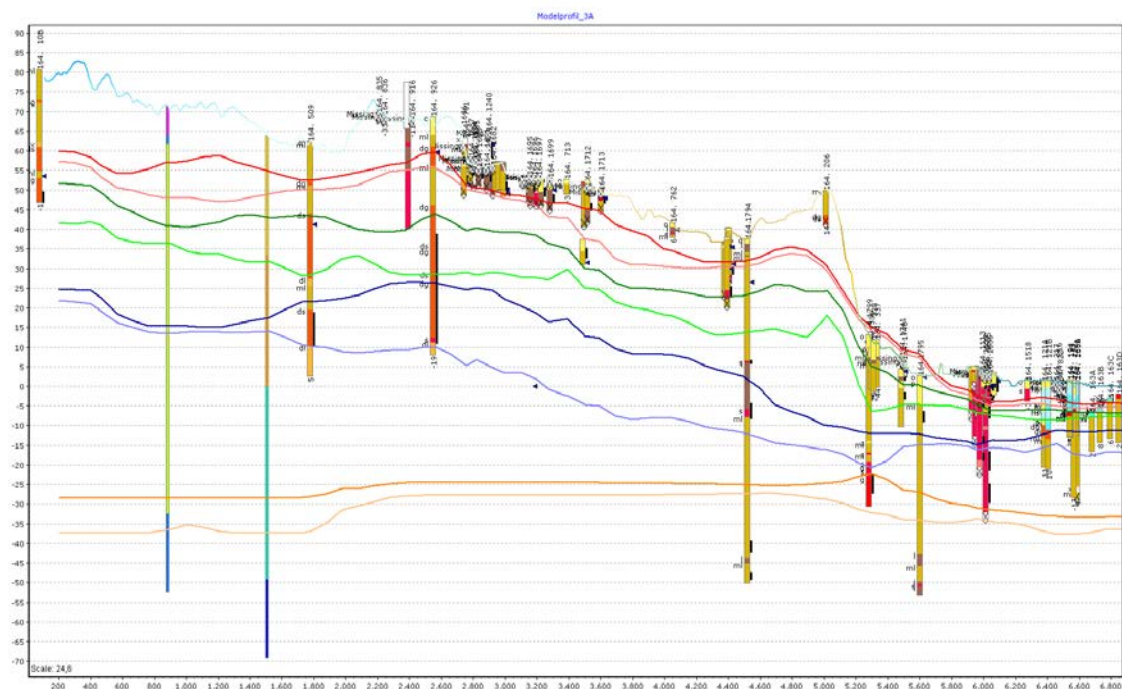
Opstillingen af hydrostratigrafien for Svendborg tager udgangspunkt i Fynsmodellens lag. Fynsmodellen består af 9 lag, hvoraf lagene 3, 5, 7 og 9 udgør magasiner (figur 5). Lag 3, 5 og 7 er kvartære magasiner, mens lag 9 er prækvartært. Lag 3 udgør et magasin med begrænset udbredelse i den øvre del af lagserien, lag 5 et mere udbredt magasin, mens lag 7 er afgrænsede magasinforekomster dybt i lagserien, enten som udfyldninger i dybe dalerosioner eller som afgrænsede magasinforekomster i de dybe kvartære lag. Lag 9 udgør et udbredt magasin i den øvre del af den prækvartære lagserie.

I 2005 udarbejdede COWI en geologisk model til Fyns Amt (COWI 2005), som blev bygget op i overensstemmelse med Fynsmodellens laginddeling (se figur 6). Lag 5 udgør det vigtigste, regionale magasin – "Hvidkildemagasinet". Dette magasin ligger omkring kote 0 i den centrale del af Svendborg. Lag 7 er derimod ikke et afgrænset magasin i COWIs model, men er et magasin med omtrent samme udbredelse som lag 5. Adskillelsen mellem lag 5 og lag 7, og den kotemæssige placering varierer meget. Tilstedeværelsen af dybe dalerosioner i Svendborg by er ikke indarbejdet i modellen, og derfor sammenkædes dyberelig-

gende sandlag i lag 7. Lag 9, som skulle være det dybe, prækvartære magasin, har en god regional udbredelse, men kotemæssigt ligger laget væsentligt højere end de prækvartære lag. En problemstilling i forbindelse med modelleringen har givet vis været sparsomme data for den prækvartære lagserie, men tilsyneladende er kvartært sand/grus tolket som lag 9 flere steder.



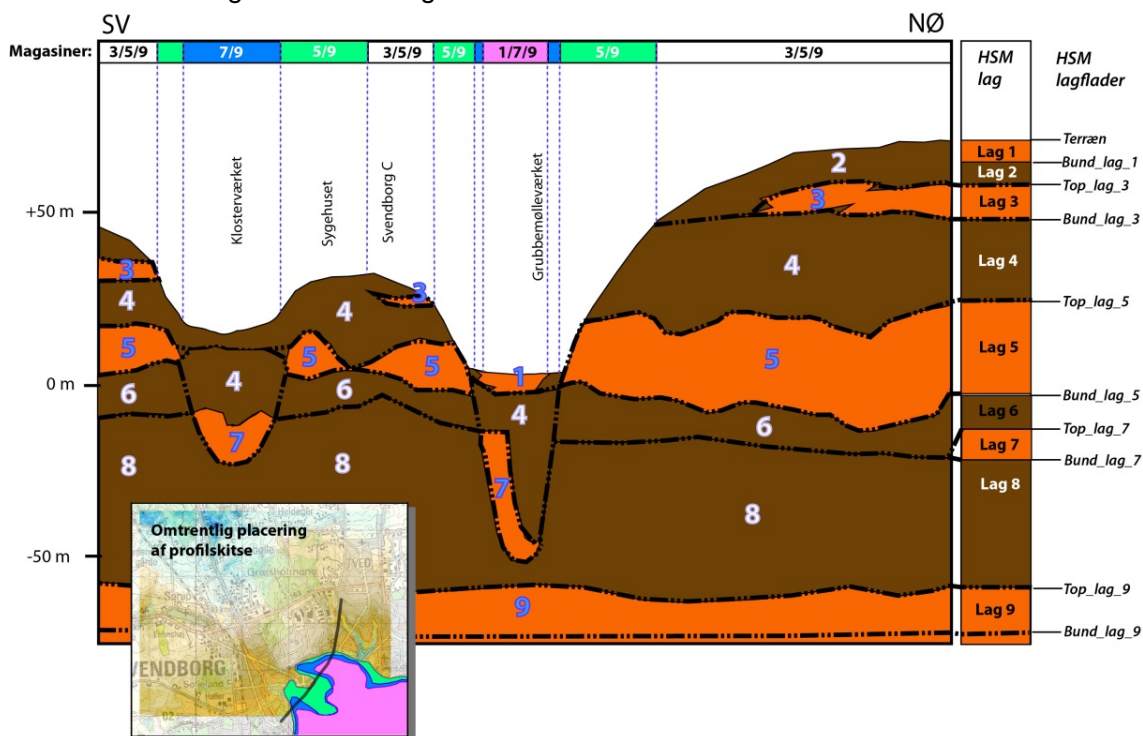
Figur 5: Principskitse af Fynsmodellens lag (fra Fyns Amt 2005).



Figur 6: COWI's model vist på modelprofil 3A NV-SØ gennem Svendborg; Lag 3 (rød), lag 5 (grøn), lag 7 (blå) lag 9 (orange).

### GEUS' hydrostratigrafiske model (figur 7):

De nye data og den nye rumlige geologiske modellering i Svendborg har muliggjort en skelnen mellem sand som udfyldninger i dybe dalerosioner og sand i lagserien udenfor dalene. Den nye modellering har også sandsynliggjort, at sandlagene i den dybe del af den kvartære lagserie udenfor dalene har en begrænset udbredelse og en begrænset indbyrdes sammenhæng. Dette betyder, at dybe sandlag udenfor dalene ikke henføres til magasinlag samt at lag 7 kun findes som afgrænsede magasiner i de dybe erosioner og ikke som magasiner med en regional udbredelse (se figur 7). Dette er en væsentlig ændring i forhold til den tidligere modellering.



Figur 7: Principskitse af hydrostratigrafiske modellag i Svendborg.

Håndtering af dybe magasinforekomster med en begrænset udbredelse indebærer store udfordringer i en hydrostratigrafisk lagmodel, dels på grund af at laget rent teknisk vil være svært at modellere med en top- og en bundflade, og dels at den dybe kotemæssige beliggenhed kan betyde, at laget kommer til at ligge ulogisk i forhold til kronologien fra den rumlige geologiske model. For at sikre korrespondance med Fynsmodellen, tolkes det dybe sand i dalene som lag 7, på trods af, at sandet dannelsesmæssigt er yngre end lag 5 (se den rumlige geologiske model). Bunden af lag 7 tolkes igennem i hele området, mens toppen af laget kun modelleres i dalene (men senere grid-manipuleres, så også top lag 7 teknisk set dækker hele området).

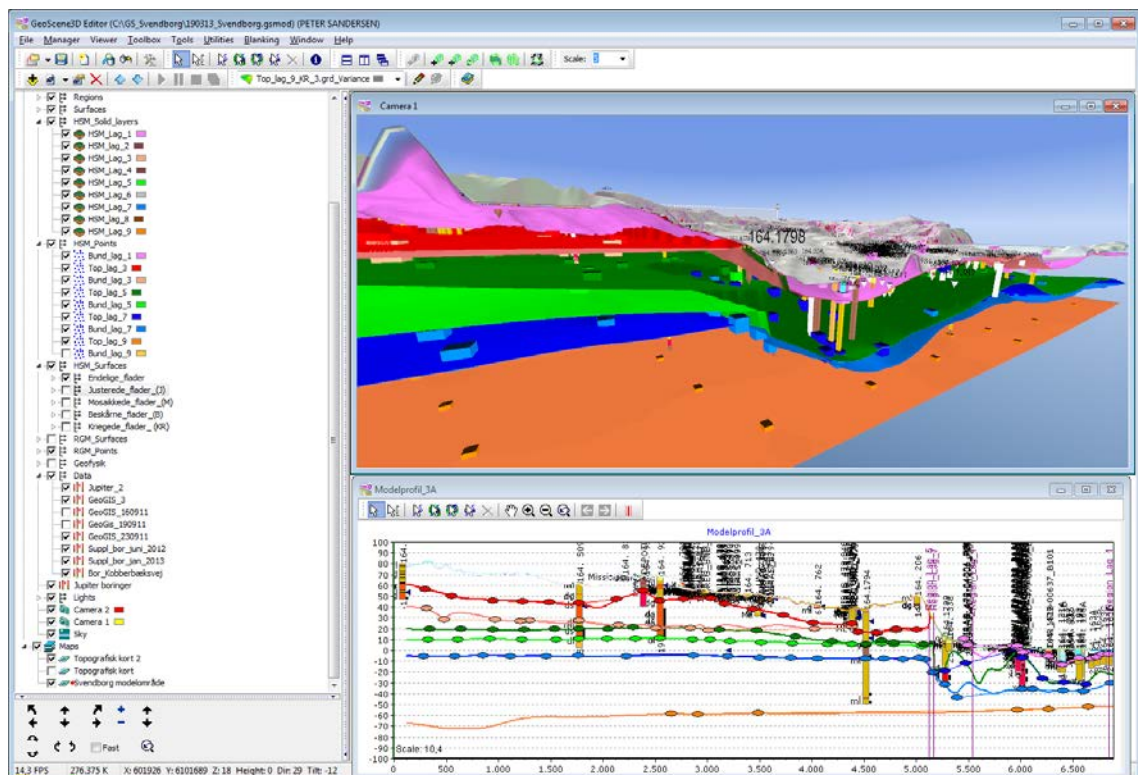
Lag 5 er et magasin med god udbredelse, men med en varierende tykkelse og litologi. Smeltevandssand og formodede interglaciale sandaflejringer kobles sammen i lag 5, hvilket er i overensstemmelse med Fynsmodellen og COWIs model. Dog er der stedvist i den underliggende, lerdominerede interglaciale lagserie tale om stor andel af indlejrede sandlag



og stor sandsynlighed for deformationer. Dette lag udgør lag 6 i den hydrostratigrafiske model og består som udgangspunkt af ler, men på grund af sandandelen og deformationerne, vurderes det, at lagets hydrauliske egenskaber kan variere meget.

Lag 3 findes i den øvre del af lagserien mod nord og vest. Der er tale om en meget varierende lagtykkelse, og der ses i nogle områder direkte kontakt med lag 5.

Helt øverst i lagserien haves stedvist fyldlag med varieret litologi og stedvist postglaciale aflejringer bestående af ferskvandsaflejringer og marine aflejringer – sidstnævnte kun langs sundet. Oplysninger om karakteren af fyldet er sparsomme, og generelt må fyldlagene karakteriseres som meget heterogene. Tilsvarende gælder de postglaciale aflejringer, men her er oplysningerne i borerne generelt bedre. I Fynsmodellen er lag 1 et lag med fast tykkelse, hvor de hydrauliske egenskaber evt. kan estimeres på baggrund af jordartskort. Det er en operation, som lettest lader sig foretage i den hydrologiske model og derfor er det valgt udelukkende at modellere de postglaciale marine lag i den hydrostratigrafiske model. De postglaciale, marine lag udgør derfor lag 1. Da laget ikke udgør en samlet genetisk enhed, vil lagets tykkelse og karakter variere meget, og derfor vil tolkningen af lagets bund og dermed tykkelse være behæftet med stor usikkerhed. Da lag 1 kun omfatter de postglaciale marine lag, findes laget kun i de laveste dele omkring sundet. Der skal gøres opmærksom på, at havbunden ikke udgør toppen af lag 1 i den del af modellen, der ligger under Svendborgsund. Det gør derimod havoverfladen, som defineres af terræn-højdemodellen.



Figur 8: Screen dump fra den hydrostratigrafiske model.

### 2.3.2 Modelopsætning i GeoScene 3D

Der er oprettet lagflader i GeoScene 3D for alle 9 lag i den hydrostratigrafiske model. Lagene er oprettet som top og bund af magasinerne 3, 5, 7 og 9 samt bund af lag 1. Navngivningen følger figur 7 (til højre). Lagfladernes tolkningspunkter ligger i Objektgruppen "HSM\_Points" og de interpolerede flader ligger i objektgruppen "HSM\_Surfaces" (figur 8).

Der er ligeledes oprettet "Solid layers" i Objektgruppen "HSM\_Solid\_layers", hvor hvert lag er tildelt en farve svarende til de farver, som blev anvendt i COWI-modellen.

### 2.3.3 Tolkningsprincipper og procedurer for modeltolkninger

Tolkningsprincipperne for den hydrostratigrafiske model er:

- Der er taget udgangspunkt i de geologiske tolkninger langs modelprofilerne i den rumlige geologiske model, og laggrænserne tolkes igennem langs hele profilængden. De nye boringer B1 til 10 udgør hydrostratigrafiske "ankre" i modellen, og det er krævet, at modeltolkningerne skal stemme med stratigrafien (figur 7) i alle disse boringer.
- Der indsættes støttepunkter i områder uden data.
- Det tilstræbes at opnå "jævne" lagflader uden skarpe knæk. Det betyder, at der i flere tilfælde vil ske en udjævning af laggrænser, som i RGM er meget varierende. Dette vil typisk gælde i områder med mange tætliggende boringer.
- Langs modelranden tilstræbes det, at tolkningspunkterne sættes så tæt på niveauet for den gamle models lagflader (gridflader).

Tolkningsproceduren for den hydrostratigrafiske model har været:

- Revision af hydrostratigrafi og oprettelse af HSM-lag i GeoScene.
- Tolkning af laggrænser i GeoScene langs eksisterende RGM-profiler. Der startes med at blive tolket i de områder, hvor der er flest tolkninger i RGM.
- Kontrol af skæringspunkter og justering af tolkninger
- Kontrol af tolkninger langs et dynamisk V-Ø profil og et dynamisk N-S-profil (data-buffer 100 m, profilspring 200 m). Justering af tolkningspunkter og indsætning af supplerende tolkningspunkter.
- Tolkning langs dynamiske profiler langs/vinkelret på erosionsdalene (100 m profil-spring)

Indsættelse af tolkningspunkter i GeoScene 3D:

#### **Top lag 9: Top kalk:**

Denne flade har ganske få reelle datapunkter i form af et lille antal boringer tæt ved Svendborgsund. Hovedparten af fladen er derfor indlagt som frie tolkningspunkter med en punkt-afstand på mellem 300 og 400 m. Tolkningspunkterne er indlagt langs det dynamiske profil V-Ø. Da kalkoverfladen jf. Ter-Borch (1991) hælder i vest-sydvestlig retning er det tilstræbt at vise dette i fladen. Fladen er derfor indlagt med topkoter omkring -65 m mod vest i området og ca. -50 m mod øst. Mod nord er der i TEM tegn på et dyk i toppen af det palæogene ler, hvilket formodes at betyde et tilsvarende dyk i kalkoverfladen. Der er derfor indlagt

lidt dybereliggende punkter i området. Reelt er fladens forløb dog meget usikkert. Bunden af laget er ikke modelleret, da der ikke er data til en tolkning. I stedet foreslås det, at der i den hydrologiske model indlægges en bund, så laget får en fast tykkelse på f.eks. 10 m.

#### **Bund lag 7: Bund af dybeste kvartære magasin:**

Denne flade er tolket ud i hele modelrummet og indlægges under det kvartære sand i dalene (dalbunden) og under de interglaciale lerlag (IL) udenfor dalerosionerne. Fladen er be- hæftet med stor usikkerhed i dalene, da der kun haves en begrænset mængde data. Hertil kommer, at det er vanskeligt at modellere erosionsdalene, så der ikke fås spring ved interpolationen. Udenfor dalene er fladen lagt ind over top lag 9 jf. Fynsmodellen, uanset at den geologiske alder ikke svarer til dette niveau i lagserien.

#### **Top lag 7: Top af dybeste kvartære magasin:**

Der er kun indlagt tolkningspunkter i og tæt ved dalene, da det er tolket, at magasinet kun forekommer her. I dalen ved Grubbemølleværket er der tale om meget varierende sandtykkelser, jf. RGM. Disse sandlag gør, at top lag 7 her vil variere meget i kote.

#### **Bund lag 5: Bund af mellemste magasin ("Hvidkildemagasinet"):**

Bunden af lag 5 udgøres af toppen af de interglaciale, lerdominerede aflejringer. Magasinet findes ikke i dalerosionerne i Svendborgs sydøstlige del.

#### **Top lag 5: Top af mellemste magasin ("Hvidkildemagasinet"):**

Toppen af lag 5 lægges ved toppen af sandlagene ovenover de lerede, interglaciale aflejringer. Laget består af sand, som i borerne er tolket som interglacialt, og af smeltvandssand og –grus. Lagene ovenover er typisk moræneler. Laget findes ikke i dalerosionerne jf. den rumlige geologiske model, men der kan være tale om hydraulisk kontakt med sandlag her (lag 7); se herom senere.

#### **Top og bund lag 3: Top og bund af øverste magasin:**

Top og bund af dette lag er i store dele af området ikke særligt veldefineret, men flere dybe borer med tykke sandlag, kombineret med TEM-sonderingerne i den nordlige og vestlige del af modelområdet gør tolkningen af laget rimeligt sikker. Laget findes typisk i terrænets højeste dele, og der ses en tendens til, at de højeste koter nås mod vest/nordvest og de laveste koter mod syd og sydøst. Tykkelsen af magasinet er mindst mod øst/syd og størst mod nordvest. Magasinet ser ud til at følge terrænet, men afskæres ved skrænterne mod sydøst og øst.

#### **Bund lag 1: Bund af postglaciale aflejringer:**

Dette lag defineres som postglaciale aflejringer i de lavest liggende områder i Svendborg og indeholder her også de helt overfladenære fyldlag. Lag 1 er ikke tolket i højdedragene, da der her ikke kan udskilles et egentligt overfladenært lag. De overfladenære, postglaciale ferskvandsaflejringer har her meget varierende tykkelse og forekomst. Fyldaflejringerne i byområdet er ligeledes meget vekslende og vil givetvis have meget varierende hydrauliske egenskaber. Der er i GeoScene indtegnet en region med navnet "Region\_Lag\_1" (se senere beskrivelse), indenfor hvilket lag 1 tolkes at forekomme.

### 2.3.4 Håndtering af usikkerheder

Quality-attributten på tolkningspunkterne i HSM i GeoScene er i lighed med RGM valgt til at være følgende:

- "Quality 1": Lille usikkerhed: Sikker tolkning af magasin top/bund. Tolkningspunkt sat ved top/bund af magasin i boring med fingrusanalyser.
- "Quality 2": Lille usikkerhed: Tolkningspunkt sat i og omkring top/bund af magasin i godt beskrevne boringer (uden fingrusanalyser) med en rimeligt sikker bestemmelse af magasintop/bund ifht. hydrostratigrafien.
- "Quality 3": Mellem usikkerhed: Mindre sikker tolkning af magasin top/bund. Tolkningspunkt sat ved top/bund af magasin i og omkring mindre godt beskrevne boringer, men hvor tilhørsforholdet til den opstillede hydrostratigrafi er nogenlunde sikker. Tolkningspunkter sat i eller ved TEM-sonderinger for laggrænser med store resistivitetskontraster.
- "Quality 4": Stor usikkerhed: Usikker tolkning af magasin top/bund. Tolkningspunkt sat ved top/bund af magasin i og omkring dårligt beskrevne boringer eller ved TEM-sonderinger, hvor der ses store udsving i laggrænsens kote eller ses begrænsede resistivitetsudsving.
- "Quality 0": Stor usikkerhed: Frie tolkningspunkter. Tolkningspunkt sat som støttepunkter i områder, hvor der ikke er data.

Der er således defineret fem kvalitetsniveauer, som beskriver tre usikkerhedskategorier: "Lille usikkerhed", "Mellem usikkerhed" og "Stor usikkerhed". Alle tolkningspunkter har således en usikkerheds-attribut tilknyttet.

### 2.3.5 Interpolation og bearbejdelse af grids

Procedure for interpolation, beskæring, sammenklipping og justering af flader:

- Interpolation: Alle interpolationer af de tolkede flader samt den efterfølgende bearbejdelse af grids, er foretaget i GeoScene 3D (toolboxen). Alle interpolationer er udført med Krieking (Ordinary Krieking) med en søgeradius på 1000 m. Der er ikke foretaget justeringer af standardindstillingerne i GeoScene. Gridcellestørrelsen er på 10 X 10 m. Der er interpoleret indenfor scene extent. De interpolerede flader er lagt i GeoScene under Objektgruppen: "HSM\_Surfaces" i mappen "Kriegede\_flader\_(KR)". Navngivningen følger lagnavnene på figur 2 (til højre), efterfulgt af "KR" for Krieking og et tal, som angiver version (højeste tal=seneste version). Den anvendte version har nummer "3".
- Beskæring: Udvalgte flader er efterfølgende beskåret; eksempelvis de magasiner, som kun findes i dele af området. Til dette er anvendt afgrænsningspolygonerne (se beskrivelse nedenfor). De beskårne flader er lagt i GeoScene under Objektgruppen: "HSM\_Surfaces" i mappen "Beskårne\_flader\_(B)". Navngivningen følger navnet for de Kriegede flader efterfulgt af "B" for "Beskæring".
- Sammenklipping (mosaik): Efter beskæring er der sket sammenklipping med dele af andre flader for at sikre, at fladerne findes i hele modelområdet. Denne procedure kaldes i GeoScene at "mosaikke". De mosaikkede flader er lagt i GeoScene un-

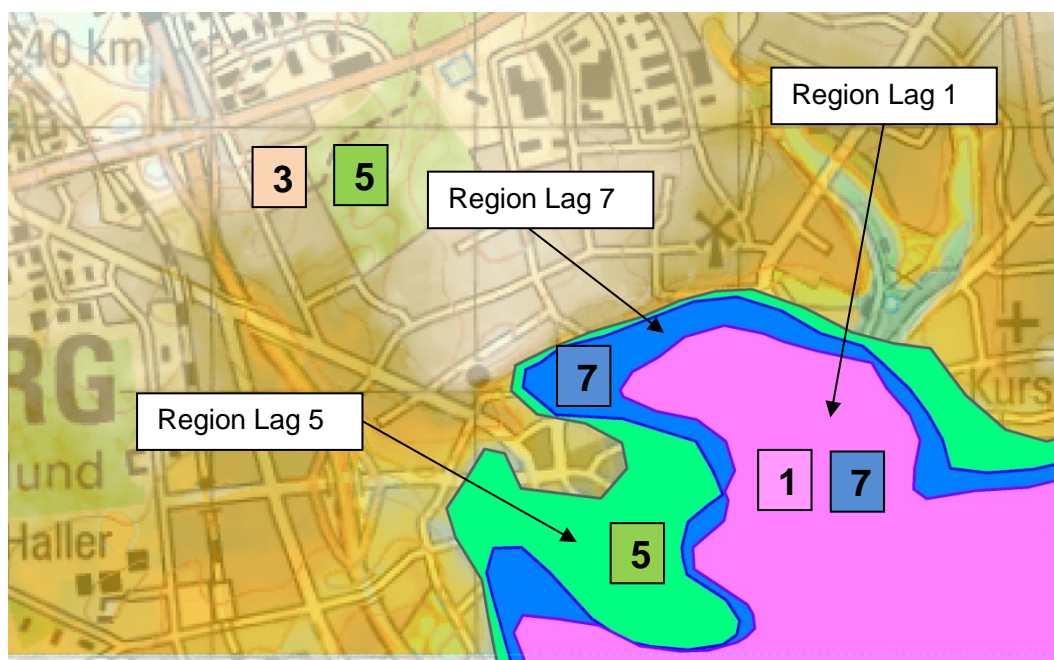
der Objektgruppen: "HSM\_Surfaces" i mappen "Mosaikkede\_flader\_(M)". Navngivningen følger navnet for de beskårne flader efterfulgt af "M" for "Mosaik".

- Justering: Herefter kan de mosaikkede flader justeres i Z-koodinaten, á to eller flere omgange, således at 1) fladerne har den rigtige rækkefølge og at ingen flader krydser hinanden og 2) at der sikres en minimumsafstand mellem fladerne på 0,1 m. De justerede flader er lagt i GeoScene under Objekt-gruppen: "HSM\_Surfaces" i mappen "Justerede\_flader\_(J)". Navngivningen følger ovenstående efterfulgt af "J" for "Justering", dog med flere J'er svarende til antallet af foretagne justeringer.
- Endelige flader: For at sikre, at kun de relevante flader anvendes, er der lagt en kopi af de endelige flader i mappen "Endelige\_flader". Det er disse flader, som er den hydrostratigrafiske models lagflader, og netop de flader, der er videregivet til grundvandsmodelleringen.

#### Oprettelse af afgrænsningspolygoner for lag:

Da nogle af lagene i modellen har en afgrænset udbredelse (se figur 7), er der udarbejdet afgrænsningspolygoner for lagene 1, 3, 5 og 7 (figur 9), som er anvendt til efterfølgende skæring af lagflader i den hydrostratigrafiske model. Afgrænsningen er sket ved gennemgang af de V-Ø og N-S gående dynamiske profiler i den rumlige geologiske model og i den hydrostratigrafiske model.

"Region Lag 1" angiver udbredelsen af Lag 1, mens det samlede areal af "Region Lag 1" og "Region Lag 7" angiver udbredelsen af Lag 7. Disse to regioner er beliggende i dalerosionerne i den lavest liggende del af Svendborg-området. Indenfor arealet af "Region Lag 5", som er vist med grønt på figur 3, findes hverken Lag 1, Lag 3 eller Lag 7. I den resterende del af modelområdet findes Lag 3 samt lag 5.



Figur 9: Afgrænsningspolygoner for hydrostratigrafiske lag (se tekst for forklaring). I de farvede kvadrater er angivet hvilke magasiner, der findes indenfor de enkelte delområder.

### 2.3.6 Modelleringstekniske problemstillinger

#### Tolkningspunktafstande:

Datafordelingen i undersøgelsesområdet er meget ujævn, hvilket betyder, at modellen bliver mest sikker i de datarige områder fremfor i de datasvage områder. Men uanset data-tæthed, er det nødvendigt at tolkningspunkterne i den hydrostratigrafiske model bliver nogenlunde jævnt fordelt, så lagfladerne dækker hele området, samtidig med at det undgås at interpolere over for store afstande. Tolkningspunkterne er sat på såvel modelprofilerne i GeoScene som langs de dynamiske N-S og V-Ø profiler, og det er ved modelleringen tilstræbt at have mellem 200 og 300 m mellem tolkningspunkterne. Dette giver en gennemsnitlig tolkningspunktafstand på omkring 250 m og giver dermed en nedre grænse for, hvad der kan opløses i modellen.

#### Zonering:

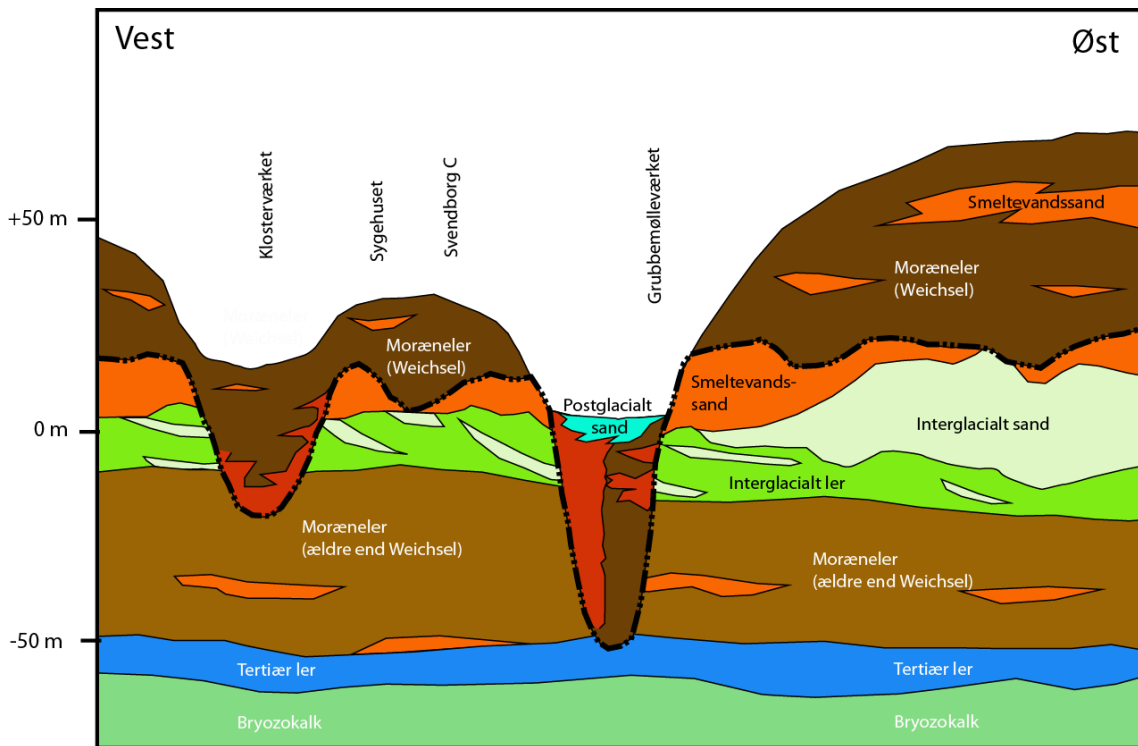
En zonering af de enkelte lag på baggrund af observationer af variationer i litologi vil være ønskelig, da dette vil kunne give input til de hydrauliske parametre i grundvandsmodelleringen. På grund af de begrænsede litologiske informationer fra borer i området, har det dog ikke været muligt at lave forslag til zoneringer af de enkelte lag. I forbindelse med udarbejdelsen af et kort over den øvre lagseries deformationsgrad er der foretaget en inddeling i "lav – mellem – høj" deformationsgrad for lagserien fra og med lag 6 og til terræn (se senere). Denne inddeling vil eventuelt kunne bruges ved zonering af grundvandsmodellens lag.

#### Områder, hvor visse lag IKKE findes (afgrænsningspolygoner):

På grund af de dybe dalerosioner er der områder, hvor visse lag ikke findes. For at kunne styre mere præcist, hvor de enkelte lag findes og ikke findes, har det været nødvendigt at lave afgrænsningspolygoner/regioner (se beskrivelsen ovenfor). Efter interpolationen af de enkelte flader er der foretaget skæring af grids med disse regioner. Denne fremgangsmåde sikrer, at magasiner kan skæres meget præcist, hvis den geologiske tolkning viser, at magasinet har en begrænset udbredelse. Omvendt kan det give meget skarpe, vertikale afgrænsninger af lag, som – på modelprofilerne – ikke ser særligt "naturlige" ud. Hertil kommer, at man så at sige tvinger en meget skarp grænse ned over en lagserie, som fra naturens hånd alt andet lige er mere varierende end den polygon, som tegnes ind. Det er dog valgt at holde fast i brugen af afgrænsningspolygoner, da det vurderes at give det mest korrekte billede hydrogeologisk set.

### 3. Modelresultater

#### 3.1 Rumlig geologisk opbygning



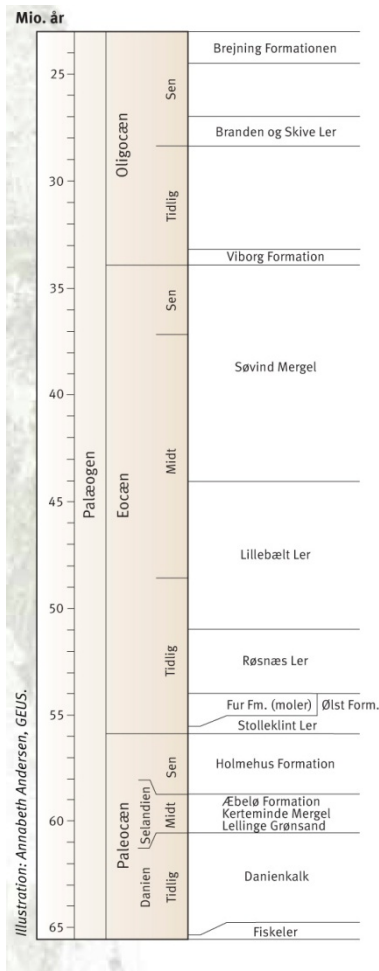
Figur 10: Principskitse af den geologiske opbygning i Svendborg.

Figur 10 viser den tolkede geologiske opbygning i Svendborg by. Tolkningen af geologien er resultatet af den geologiske modellering (rumlig geologisk model). De geologiske tolkninger er baseret på boredata, Transient ElektroMagnetiske data (TEM), topografiske analyser, analyser af fingrus, biostratigrafiske analyser samt pejle- og prøvepumpningsdata. I tillæg hertil er der indarbejdet observationer og tolkninger fra miljøundersøgelser og videnskabelige afhandlinger. I det følgende gennemgås lagserien overordnet; for detaljer omkring lagserien specifikke steder i Svendborg henvises til Grontmij (2011) og GEUS (2012).

##### 3.1.1 Den prækvartære lagserie

Den prækvartære lagserie findes udbredt under hele Svendborg-området. De dybeste dele af den geologiske model omfatter en prækvartær lagserie, som nederst består af Skrivekridt fra Øvre Kridt, herover Bryozokalk fra den tidligste del af Paleocæn (Danien) og endelig paleocænt ler ovenover. Den prækvartære lagserie er kun truffet i et meget begrænset antal borer; eksempelvis boring DGU nr. 164.42, som er placeret lavt i kote ved havnen. Det tertiære ler er anført i fire af de nye borer (B1, B2, B3 og B9), og her beskrives lagserien som sort, kalkfrit, svagt siltet, fedt ler, mens det i andre borer kan være beskrevet som en hård, svagt kalkholdig skifer (DGU nr. 164.62F).





En palynologisk analyse (pollenanalyse) af tre prøver fra de nye borer B1, B2 og henfører to af de indsendte prøver til Æbelø Formationen og en enkelt prøve til Kerteminde Mergel Formationen B9 (Karen Dybkjær, GEUS; se Rambøll 2013). Dette viser, at leret aldersmæssigt kan henføres til Midt Paleocæn (se figur 11).

Oversiden af den prækvartære lagserie ligger generelt dybere end kote -45 m, og ifølge Ter-Borch (1991) hælder kalken fra ca. -55 m til -65 m i vest/sydvestlig retning. På baggrund af TEM-sonderingerne synes det tertiære ler ovenover at udvise samme generelle hældning, men lagets tykkelse varierer mellem 5 og 20 m – tykkest mod nord. Dog er der nogen usikkerhed omkring tykkelsen, på grund af de få borer, der når dette niveau. Bryozokalkens tykkelse kendes fra boring DGU nr. 164.42, hvor den antager ca. 5 m. Hvorvidt kalken varierer i tykkelse indenfor området vides ikke.

De prækvartære aflejringer er alle afsat i et havmiljø.

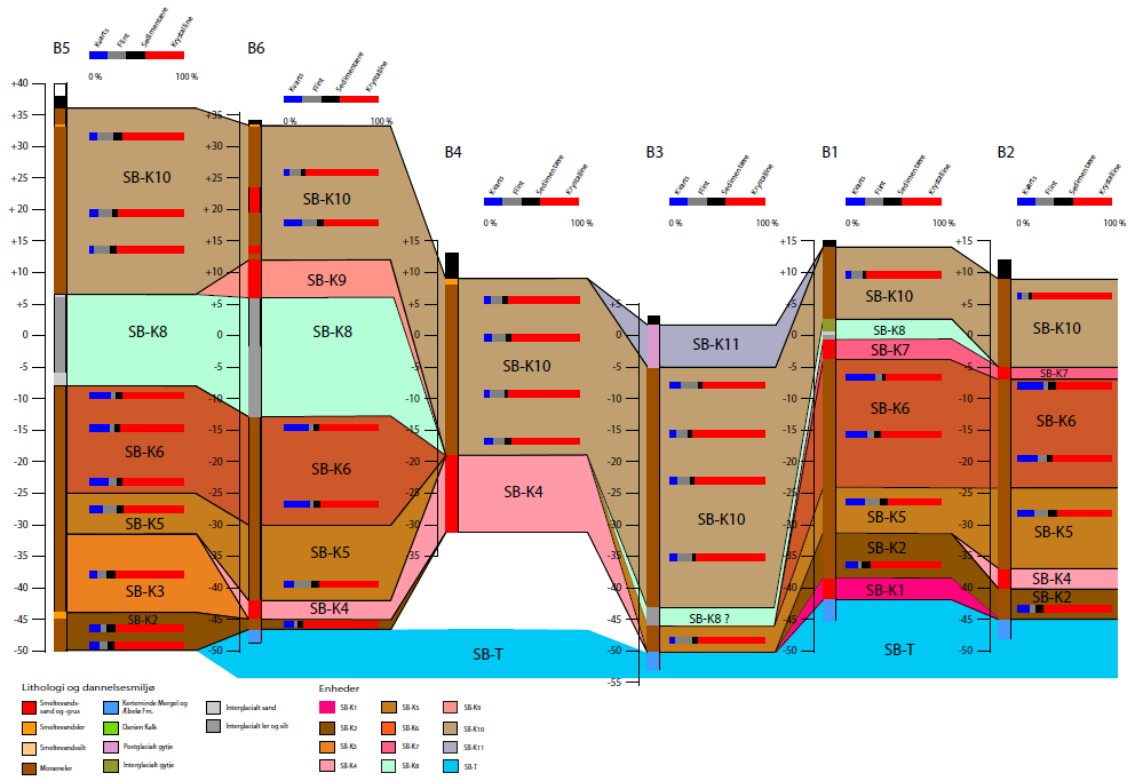
Figur 11: Geologisk tidsskala med De vigtigste Formationer (fra: Heilmann-Clausen 2010)

### 3.1.2 Den kvartære lagserie ældre end Eem mellemistiden (Eem interglacial).

Ovenover den prækvartære lagserie haves en kvartær lagserie, som er domineret af moræneler med tynde indslag af sand og grus. Den nedre grænse for denne del af lagserien er toppen af de prækvartære lag, mens overgrænsen udgøres af bunden af de interglaciale lag ovenover. Morænelagserien kan ikke opdeles på baggrund af de litologiske beskrivelser alene, men ved anvendelse af fingrusanalyser er det lykkedes at dele lagserien op og korrelere mellem lagserierne i de 10 nye borer (se figur 12 og 13). De enkelte aflejrings fingrusfraktioner har forskellige sammensætninger af bjergartstyper, og dette kan anvendes som et fingeraftryk for de enkelte aflejringer.

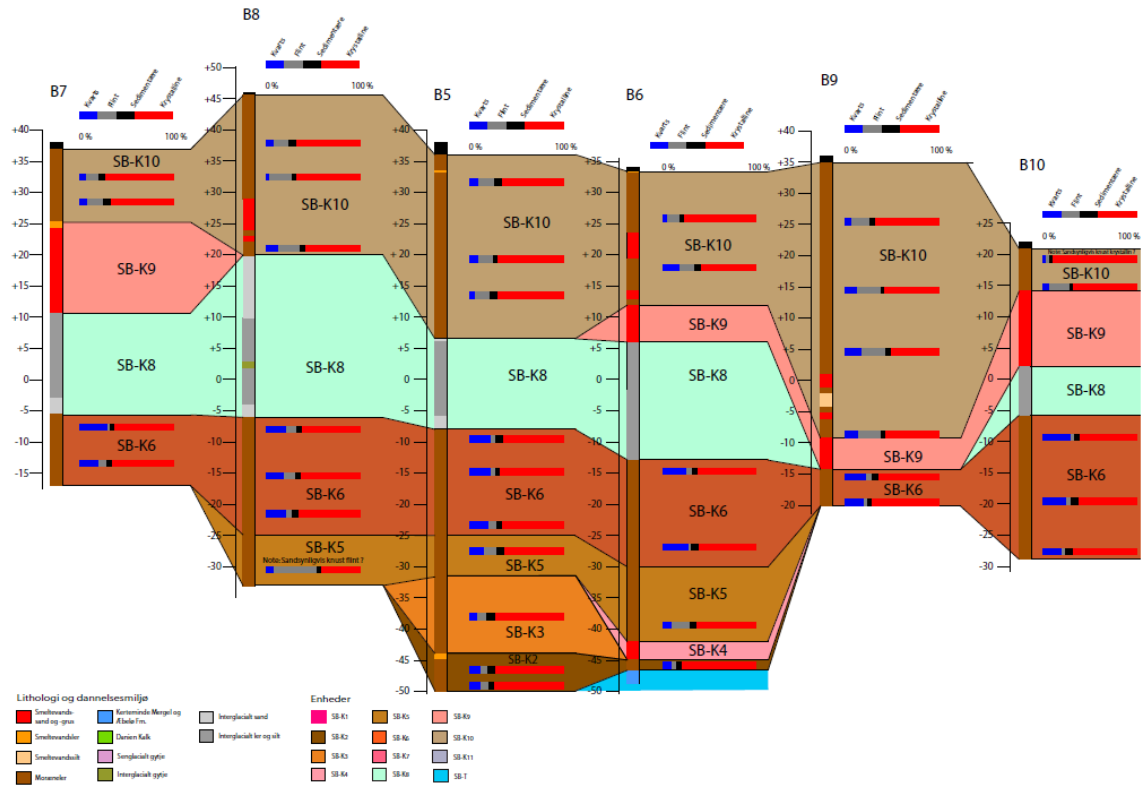


Fingruspetrografi,  
stabil fraktion



Figur 12: Sedimentkorrelation, Svendborg. Fingrusanalyser; fra Rambøll 2013.

Fingruspetrografi,  
stabil fraktion



Figur 13: Sedimentkorrelation, Svendborg. Fingrusanalyser; fra Rambøll 2013.

Der er ved fingrusanalyserne udskilt fire moræner (K2, K3, K5 og K6), som petrografisk set adskiller sig signifikant fra hinanden, som det fremgår af figur 12 og 13. Adskillelsen og korrelationen af morænerne K2, K3, K5 og K6 betyder samtidigt, at de indlejrede sandlag, K1, K4 og K7 kan placeres indbyrdes korrekt i lagserien. Rambøll (2013) relaterer dog ikke morænerne til specifikke isfremstød, men anfører alderen "Saale eller ældre" til alle fire moræner. Det er således ikke umiddelbart muligt at beskrive det glacialgeologiske hændelsesforløb for lagserien nærmere, men morænerne og de mellemliggende sandlag repræsenterer en eller flere nedisninger. For detaljer omkring resultaterne af fingrusanalyserne samt metodebeskrivelser henvises til Rambøll (2013).

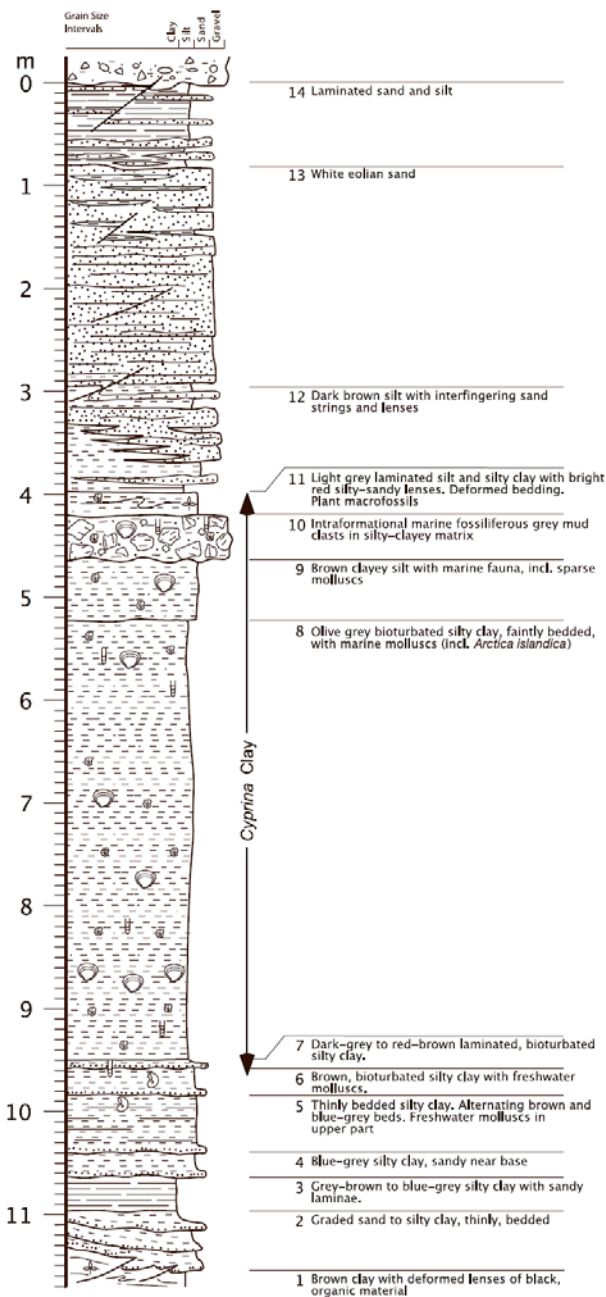
Lagserien som helhed er udbredt i hele modelområdet, bortset fra i daleerosionerne, hvor senere erosionsbegivenheder har borte-roderet lagserien (se figur 12 ved B3 og B4). Denne erosion har dog kun fjernet den ældre kvartære lagserie i de dybeste dele af dalene. Den generelle tykkelse i området er omkring 40 til 50 m, og topkoten for lagserien ligger mellem kote -5 og +5 m.

### **3.1.3 Eem mellemistiden og det tidlige Weichsel**

Ovenover de ældre kvartære lag er der fundet interglaciale aflejringer. Disse aflejringer består af sand, ler og gytje, og fælles for disse aflejringer er organisk materiale samt at de er kalkfrie og mørkfarvede. På basisdatakortet for Svendborg (Gravesen et al. 1988) fremtræder de interglaciale aflejringer umiddelbart forskelligt i Svendborg; mod vest er lagene tilsyneladende overvejende lerede og mod øst overvejende sandede. De interglaciale lag i Svendborg indeholder ingen kalkskaller fra havlevende dyr og der er heller ikke fundet kalkskallede foraminiferer, som kunne medvirke til en datering af lagene og til at afgøre om lagene er marine eller ikke-marine. De interglaciale lag er dog i de nye borer i Svendborg by beskrevet som marine (f.eks. boring B6, 164.1793).

Marine aflejringer er kendt fra bl.a. Ristinge Klint på Langeland (Sjørring et al. 1982), Ærø (Miljøstyrelsen 2010) og Mommark på Als (Eiriksson et al. 2006). Lagserien ved Mommark giver et bud på udviklingen af det palæo-Baltiske Hav fra slutningen af Saale, gennem Eem og ind i Weichsel (Eiriksson et al. 2006). Der er her beskrevet en glacial-interglacial cyklus startende med senglacial søaflejring, efterfulgt af en marin transgression og en periode med højt havspejlsniveau, og herefter en regression, sluttende af med sø- og vindaflejrede sedimentter i den tidlige del af Weichsel istiden. Denne lagserie er vist i figur 14.

På Ærø er der fundet en lignende lagserie, som overordnet er beskrevet i Miljøstyrelsen (2010). De ældste Eem aflejringer på Ærø er en gråbrun ler, der blev aflejret i en eller flere ferskvandssøer (Det Blanke Ler). Herefter trængte havet ind over området (se figur 15), hvor der på havbunden blev aflejret det såkaldte Cyprina Ler (blågrønt, stort indhold af skaller fra snegle og muslinger). Havet var op til 30 meter dybt, og havtemperaturen var 3-4° højere end i dag.



Figur 14: Litologisk log for lagserien ved Mommarmk (Eiriksson et al. 2006)

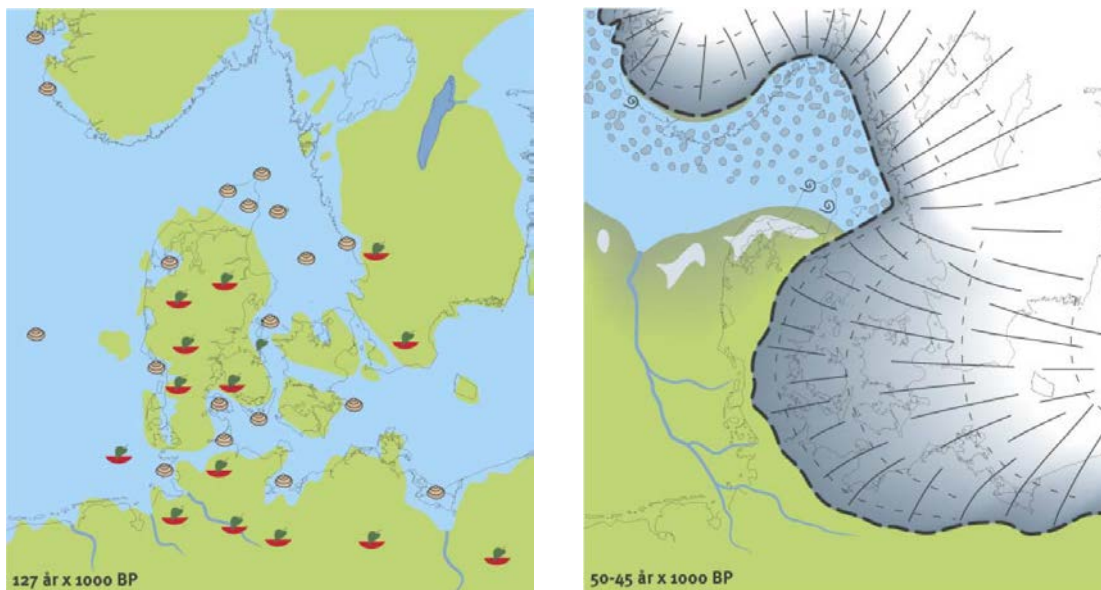
I lighed med lagserierne på de andre lokaliteter er der sket en større eller mindre grad af deformation af lagene som følge af senere is-overskridelser. Dette er bl.a. iagttaget i Svendborg ved miljøundersøgelser ved Vestergade (Rambøll 2010). Særligt de lærde horisonter vil være sårbare overfor deformation.

De interglaciale Eem aflejringer og de tidlige Weichsel aflejringer i Svendborg ligger typisk mellem kote -5 og + 20 m, hvor de højeste koter nås mod øst.

I Weichsel Istiden dækkedes havaflejringerne af sand, der blev aflejret på bunden af floder og som vindaflejrerede klitter (Det hvide Sand; se også Friis & Larsen, 1974). Derefter blev området overskredet af en baltisk gletsjer (Ristinge Fremstødet), der aflejrerede et lag moræneler og muligvis også lag af smeltevandssand i floder foran gletsjerfronten.

Den interglaciale og den tidlige glacielle lagserie ved Svendborg har store ligheder med lagserien ved Mommarmk, Ærø og Ristinge Klint. Det formodes derfor, at lagserien ved Svendborg er udviklet samtidigt, i og omkring randen af Eem-havet, som er vist på figur 15. De sandede lag mod øst i Svendborg udgøres sandsynligvis af sø- og vindaflejrerede sedimenter aflejret i sidste del af Eem og starten af Weichsel.

Grænsen mellem Eem og Weichsel er her vanskelig at fastlægge og i den rumlige geologiske model betegnes de sandede lag samlet set som interglaciale. Ovenover de interglaciale sandlag haves smeltevandssand (se figur 10). Dette sand repræsenterer muligvis Ristinge fremstødet, som det kendes fra Ærø.



Figur 15: Fordelingen mellem hav og land i Eem mellemistiden (til venstre) og den maksimale udbredelse af Ristinge fremstødet (Det Gammelbaltiske Fremstød) i Weichsel (til højre). Fra Houmark-Nielsen et al. 2005.

### 3.1.4 Den yngste del af Weichsel og postglacialet

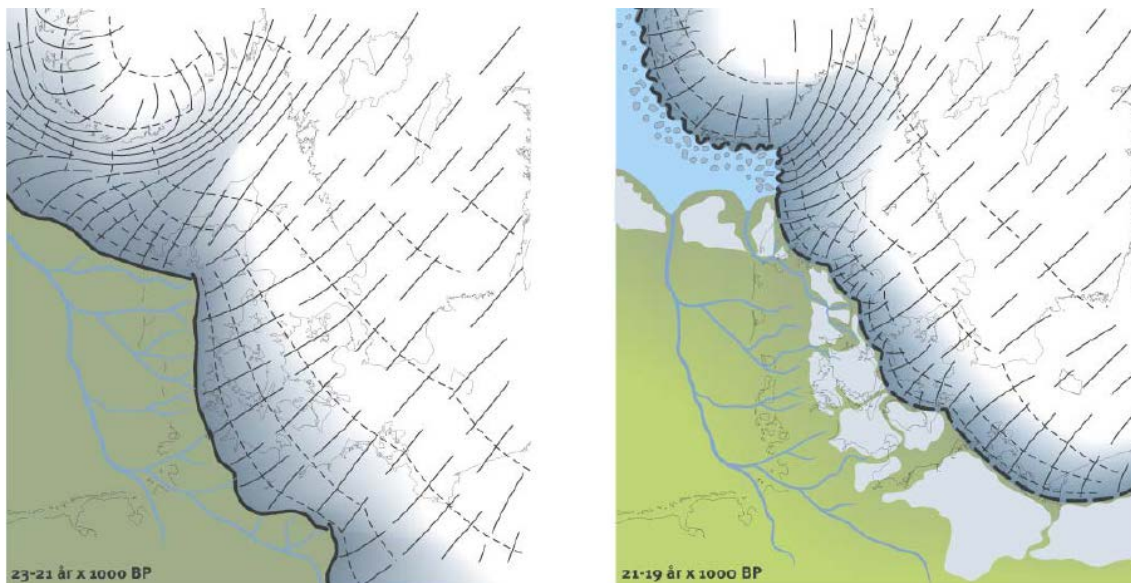
Den yngste del af Weichsel lagserien er domineret af moræneler, som ved fingrusanalyserne dog ikke kan opdeles i forskellige moræner (se figur 12 og 13; moræne SB-K10). Indlejret i moræneleret er få sandlag med varierende tykkelser og udbredelse.

Lagene repræsenterer en række isfremstød og tilbagesmeltninger i den sidste del af Weichsel. Efter Ristinge fremstødet tidligere i Weichsel (figur 15) var Svendborg-området ikke isdækket i en længere periode indtil Hovedfremstødet (Nordøstisen) for 23.000-20.000 år siden (figur 16). Dette isdække nåede Hovedopholdslinjen fra nordøstlige retninger. Herefter gled en baltisk isstrøm ind over Danmark fra øst og frem mod den Østjyske Israndslinje for knap 19.000 år siden (figur 17) og en efterfølgende isstrøm fra Østersø-området (Bælthav Isstrømmen) gled ind over det sydfynske område for mellem 17.000 og 18.000 år siden (figur 17).

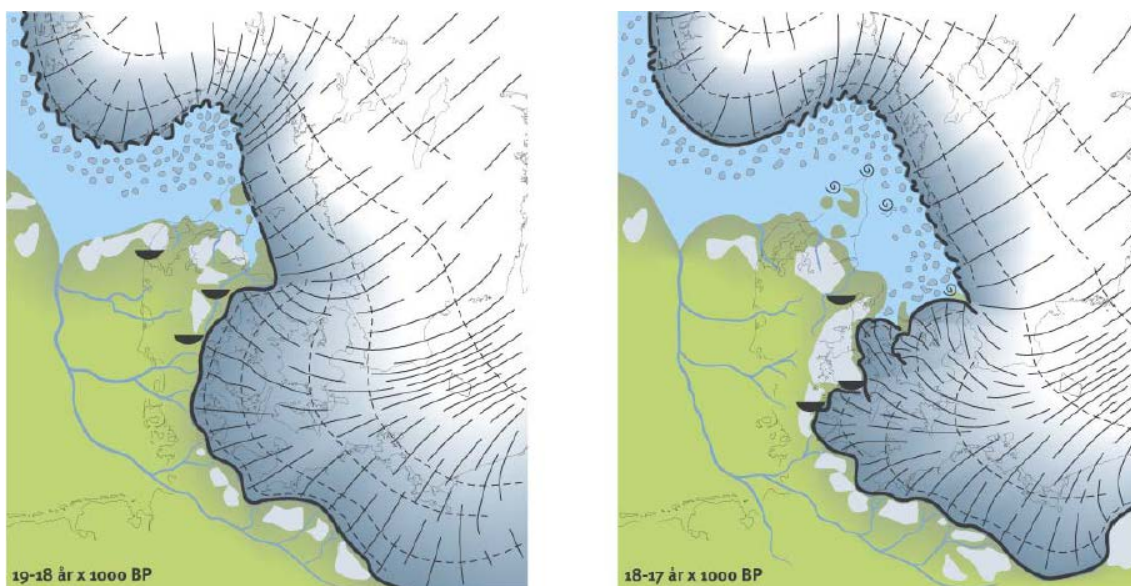
På baggrund af denne isfremstøds-kronologi fremstår Svendborg-området som domineret af isfremstød fra sydøstlige retninger, og sandsynligheden for at den yngste del af Weichsel lagserien er afsat i forbindelse med isoverskridelser fra sydøst er således stor.

Topografien i Svendborg-området er markant, med stejle skrænter og store koteforskelle. I Grontmij (2011) inddeltes topografien i delområder på baggrund af de topografiske variationer og denne inddeling er indgået som et centralt element i den geologiske modellering fordi den bidrager til forståelsen af den geologiske opbygning. Den vigtigste del af den topografiske analyse var udpegningen af erosionsdalene gennem Svendborg, som kan ses på figur 18.





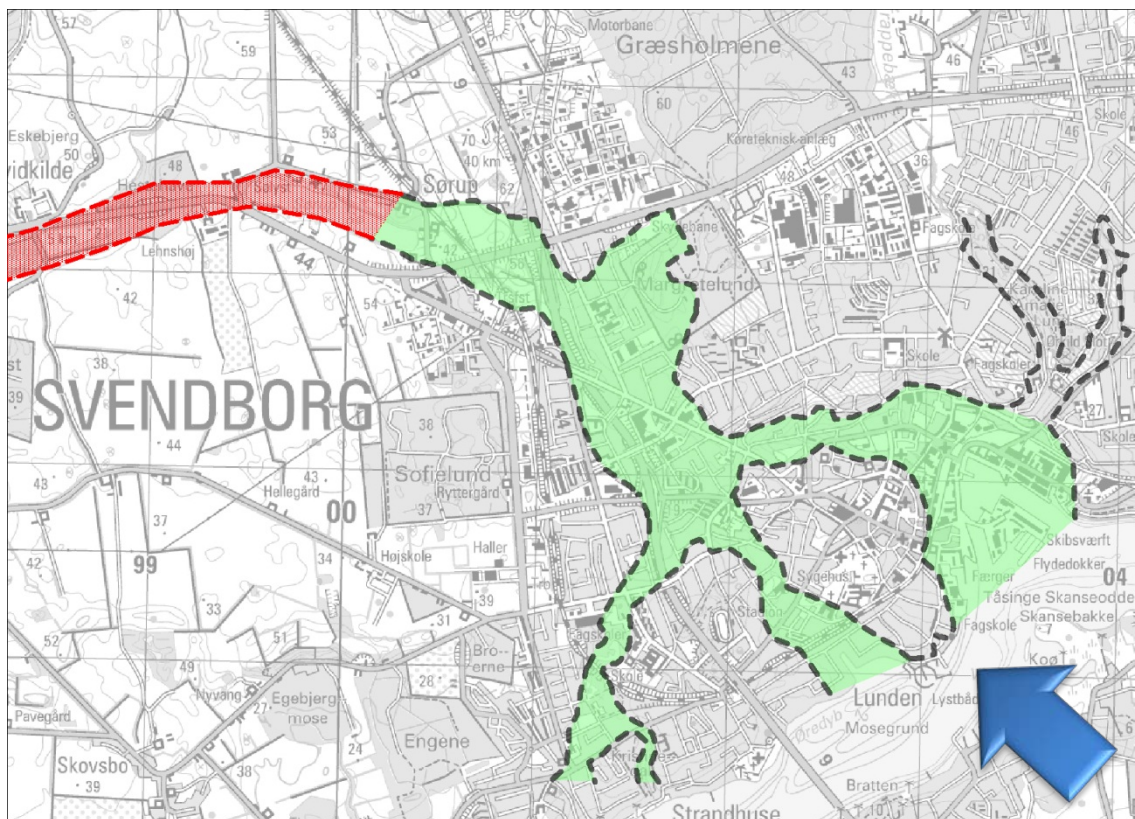
Figur 16: Hovedfremstødet (til venstre) og et genfremstød ca. 19.000 år BP (til højre). Fra Houmark-Nielsen et al. 2005.



Figur 17: Det østjyske isfremstød (til venstre) og Bælthav Isstrømmen Fra Houmark-Nielsen et al. 2005.

Dalsystemet, som ses på figur 18, tolkes at udgøre et samlet system – når der dog ses bort fra de to kildedale mod øst (uden grøn skravering). Det grønt skraverede dalsystem består af tre dalstrøg, som løber sammen til én samlet dal, som løber mod nordvest og fortsætter som den øst-vest forløbende tunneldal ved Sørup Sø. Dalsystemet er tydeligst udviklet i terrænet ved Sørup Sø, ved Svendborg Havn og vest/syd for Svendborg Sygehus. Den vestligste, smalle dal nordvest for Strandhuse er usikker, mens dalstykket, der forbinder dalene i Svendborg med tunneldalen ved Sørup Sø, er svært at afgrænse nøjagtigt ud fra højdekurverne. På trods af vanskelighederne med at afgrænse dalstykkerne nøjagtigt, så vurderes det meget sikkert, at dalene udgør et samlet system. Dette underbygges af boredata, som viser dybe erosionsstrukturer i dalene i Svendborg by, eksempelvis illustreret på figur 10. På denne figur ses det, at erosionerne når dybt ned i lagserien og medfører, at lagserien indenfor dalene afviger markant fra lagserien udenfor. Fingrusanalyserne viser, at

morænen i dalfyldet umiddelbart ser ud til at være af samme type som den aller øverste moræne, hvilket peger på, at dalerosionerne og den efterfølgende udfyldning er sket sent i Weichsel.



Figur 18: Topografiske dale i Svendborg-området. Områder afgrænset med stiptet linje udgør dale i den nuværende topografi. Grøn skravering: erosionsdale afgrænset på baggrund af digital højdemodel, Rød skravering: Topografisk dal tolket som tunneldal (Smed 1982), Uden skravering: Topografiske dale tolket som senglaciale/postglaciale kildedale. Blå pil angiver formodet bevægelsesretning for det seneste isdække.

Dalene tolkes at være dannet som erosionsdale under en gletscher (tunneldale). Dalene er efterfølgende udfyldt med overvejende ler, men stedvist også med sand. Tunneldale dannes af smeltevand under højt tryk under en gletscher og det høje tryk betyder, at erosionen kan være meget uregelmæssig, og at dalene derfor kan have varierende dybde og bredde. Udfyldningen af dalene forventes at være sket under tilbagesmeltningen – eventuelt med flere omgange af erosion og aflejring. Som antydnet med den blå pil på figur 18 passer dalenes placering godt overens med en isbevægelse fra sydøst.

Tunneldalen ved Sørup Sø ses meget tydeligt i det nuværende terræn, og må være dannet i forbindelse med afsmeltningen af det - eller de aller sidste isdækker i området. Da Sørup Sø tunneldalen ser ud til at hænge sammen med dalene i Svendborg by, vurderes det at være mest sandsynligt, at dalene er dannet i forbindelse med Det Ungbaltiske Fremstød og/eller Bælthav Isstrømmen. Som beskrevet i Sandersen & Jørgensen (2012) kan tunneldale re-aktiveres og genbruges af flere på hinanden følgende isdækker – specielt hvis orienteringen af dalene er fordelagtig i forhold til det efterfølgende isdækkes bevægelsesret-

ning. Det vurderes derfor, at begge isfremstød og disses tilbagesmeltning kan have dannet dalsystemerne i Svendborg og at hovedparten af den øvre lagserie samt fyldet i dalene skal relateres til disse isfremstød (lagserien over den fede stiplede linje i figur 10). Det forventes derfor også, at deformationerne af de interglaciale lag og lagene lige herover er sket i forbindelse med isoverskridelserne fra sydøst og at deformationsretningen primært vil være fra sydøst.

I postglacial tid er der, som følge af havspejlsstigningen efter istiden, aflejret marine aflejringer i de laveste dele af topografien – dvs. langs Svendborgsund og ind under de lavest liggende dele af byen (dalerosionerne).

### **3.1.5 Grundvandskemi**

Vandanalyser fra filtrene i de nye boringer viser generelt reducerede vandtyper (C og D). Dybe filtre i B1, B2 og B6 viser stærkt forhøjet kloridindhold (3.700-3.900 mg/l), hvilket viser at den dybe del af den kvartære lagserie udenfor dalerosionerne har saltholdigt porevand. Dybe filtre i boringer indenfor dalstrøgene har derimod normalt saltindhold, hvilket tyder på god vandgennemstrømning. Filtre i de interglaciale aflejringer viser blandt andet forhøjet total fosfor (eksempelvis 1,55 mg/l i B5, filter 3). Det er velkendt i det Sydfynske område, at det interglaciale Cyprina Ler kan afgive klorid, fosfor, fluor og organisk materiale (NVOC) til grundvandet (Miljøstyrelsen 2010).

De grundvandskemiske analyser understøtter generelt de geologiske tolkninger.

## **3.2 Grundvandsmagasiner (hydrostratigrafisk model)**

### **3.2.1 Generelle bemærkninger**

Den hydrostratigrafiske model simplificerer den rumlige geologiske model, så den tilpasses Fynsmodellens 9 lag. Den hydrostratigrafiske model er vist i principskitsen figur 7. I Svendborg har denne tilpasning været relativt uproblematisk; se beskrivelserne i afsnit 2.3. Der er dog stedvist sket en forsimpning af lagserien, således at eksemplvis tynde sandlag ikke er henført til et magasinlag. Et eksempel på dette er sandlagene i B9 (164.1836), som i princippet kunne henføres til lag 7 på grund af dybden, foraminifer-analyserne (Rambøll 2013) og den formodede placering indenfor dalerosionen. Men da der ved prøvepumpningerne ikke i nogen af filtrene i B9 har kunnet ses påvirkning fra pumpning ved Grubbemølleværket eller Klosterværket er sandlagene i stedet henført til lag 6.

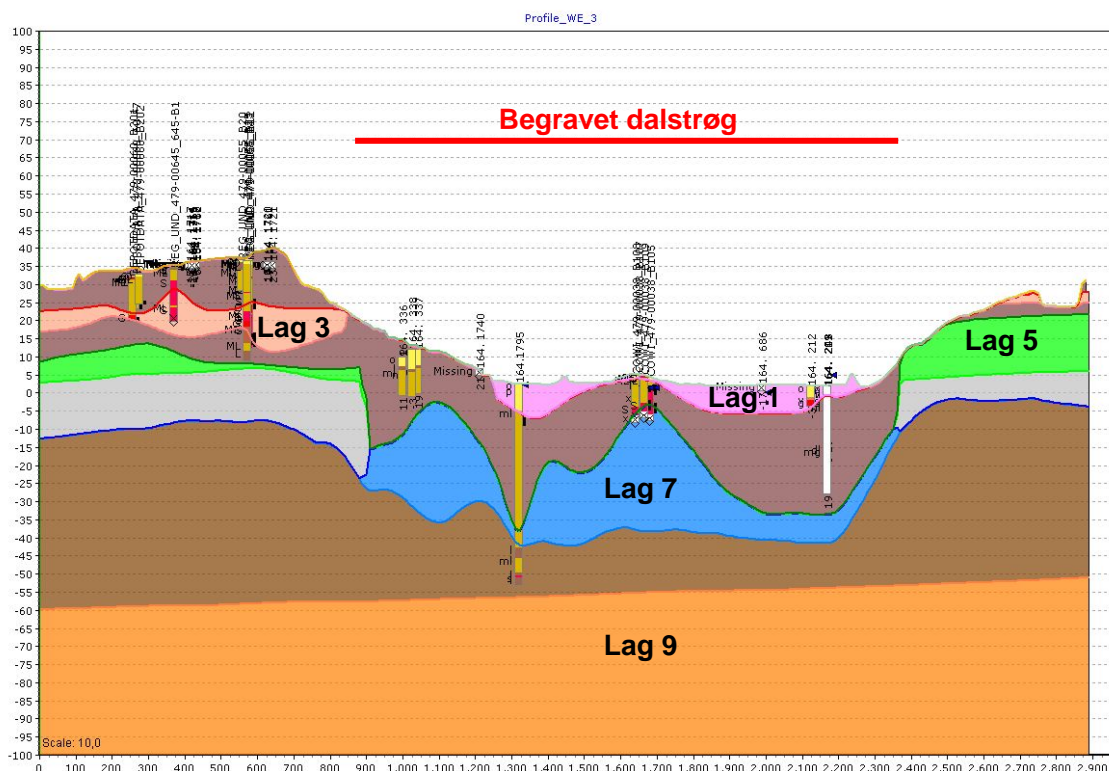
For at begrænse denne rapport's omfang inkluderes der ikke profilsnit og fladekort fra den hydrostratigrafiske model. I stedet henvises til GeoScene projektet, hvor alle den hydrostratigrafiske models profiler kan vises. Egntlige tykkelses- og fladekort er efter aftale i stedet inkluderet i afrapporteringen af grundvandsmodelleringen.



### 3.2.2 Hydraulisk kontakt mellem magasiner

Det dybe magasin lag 9 udgøres af Bryozokalken, som dog ikke har nogen vandindvindingsmæssig interesse, da grundvandet er saltholdigt. Magasinlag 7 findes kun i de dybeste dele af de to begravede dalstrøg ved henholdsvis Klosterværket syd/vest for Sygehuset og ved Grubbemølleværket (se figur 7). På grund af dalerosionerne er afgrænsningen af magasinlag 7 i forhold til de omkringliggende lag meget skarp i modellen, som det eksempelvis kan ses på figur 19. Lag 1 findes også indenfor dalene, mens magasinlag 3 eller 5 kun findes udenfor dalene.

Det forventes dog, at der stedvist vil være kontakt mellem lag 5 og lag 7 på grund af mere heterogene geologiske forhold end den hydrostratigrafiske model kan gengive. Som input til grundvandsmodellen er det derfor søgt udpeget, hvor der er mulighed for hydrauliske kontakt mellem lag 5 og lag 7.



Figur 19: Vest-øst profilsnit gennem den østligt placerede dal i Svendborg. (Bemærk: Profilet er til illustration af relationerne mellem magasinerne; profilet ikke er placeret optimalt i boredata).

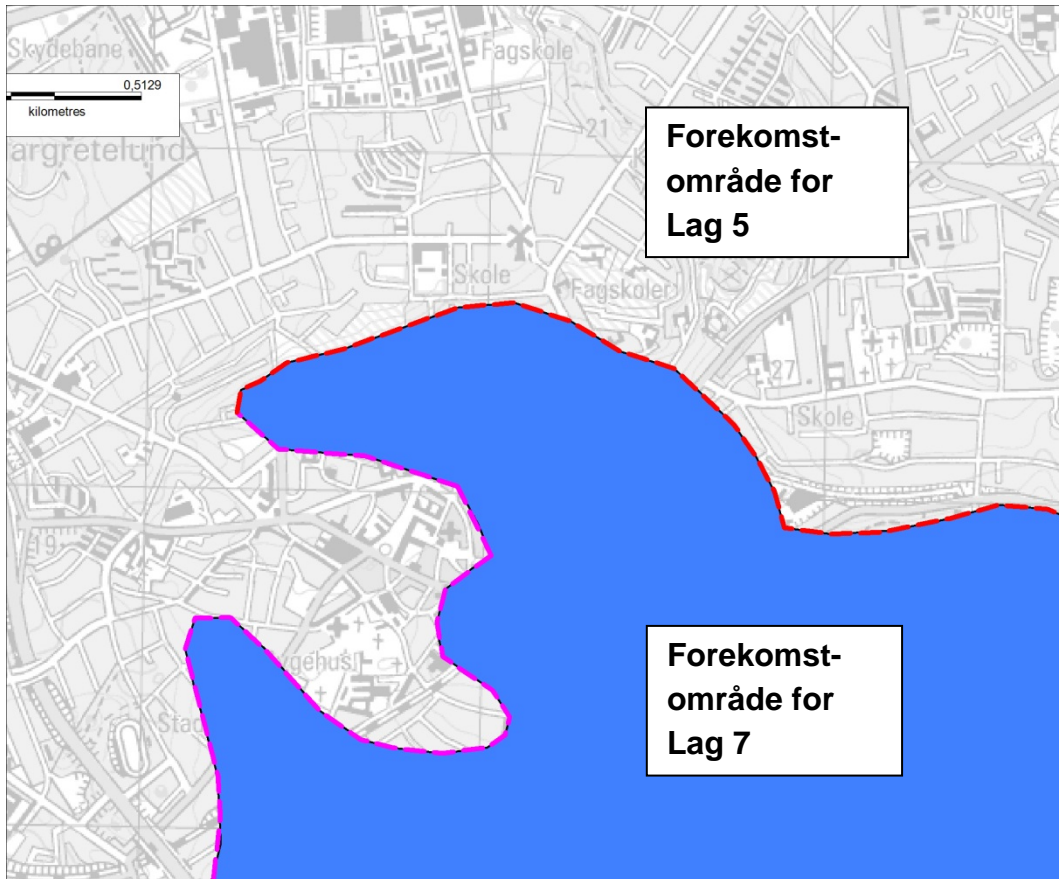
I figur 20 er der med lilla stiplede linje angivet, hvor det forventes, at der kan være hydraulisk kontakt mellem lag 5 og lag 7, og med en rød stiplede linje angivet, hvor det ikke forventes, at der er hydraulisk kontakt. Linjerne er tegnet ud fra en gennemgang af de dynamiske N-S og V-Ø profiler i den hydrostratigrafiske model (100 m indbyrdes afstand) og med følgende begrundelser:

Hvor den lilla stiplede linje er indtegnet:

- er der begrænset kotefforskel mellem lag 5 og lag 7



- peger den geologiske/hydrostratigrafiske model på, at der findes sand/gruslag i da-lerosionerne i forskellig kote (lag 7), hvilket understøtter muligheden for kontakt mellem magasinerne
- peger konklusionerne fra prøvepumpningerne på, at der er en vis hydraulisk kontakt mellem områderne ved Klosterværket, Sygehuset og Vestergade



Figur 20: Angivelse af zone med mulig hydraulisk kontakt mellem Lag 5 og Lag 7 (lilla stiplede linje) og hvor det ikke forventes, at der er hydraulisk kontakt (rød stiplede linje). Den blå region angiver forekomstområdet for Lag 7. Lag 5 findes udenfor dette område.

Hvor den **røde** stiplede linje er indtegnet:

- er koteforskellen mellem lag 5 og lag 7 stor, og der er stor terrænhældning
- peger konklusionerne fra prøvepumpningerne på, at der ikke er hydraulisk kontakt mellem lag 5 og 7

I tillæg til ovenstående bør opmærksomheden henledes på lag 6 under lag 5. Egenskaberne for dette lag er som udgangspunkt ler, men Lag 6 indeholder også en varierende procentdel silt og sand og laget kan være glacialtektonisk forstyrret. Lag 6 kan derfor i et vist omfang have magasin egenskaber, og der kan derfor i forbindelse med grundvandsmodelleringen eventuelt eksperimenteres med at ændre lagets hydrauliske egenskaber. Det vil kunne betyde, at muligheden for hydraulisk kontakt til Lag 7 øges.

## 3.3 Lagseriens deformationsgrad

### 3.3.1 Indledning

En vurdering af lagseriens deformationsgrad udgør en vigtig brik i sårbarhedsvurderingen af grundvandsressourcerne i Svendborg. Kortet over deformationsgraden skal senere kombineres med kort over lertykkelse, kort over grundvandsdannende områder, grundvandspotentialer, vandtyper m.v. og munde ud i udarbejdelsen af et "risikokort" for grundvandet i Svendborg. Vurderingen af deformationsgraden tager udgangspunkt i den opdaterede geologiske model for Svendborg by kombineret med informationer fra topografien (Grontmij, 2011). Vurderingerne af deformationsgraden er udført som et samarbejde mellem Region Syddanmark og GEUS, og den følgende tekst er i al væsentlighed hentet fra GEUS (2013).

### 3.3.2 Geologiske rammer

Den geologiske opbygning i Svendborg ses på principskitsen figur 10. Lagserien under det interglaciale ler (Eem) er på baggrund af boredata vurderet at have en lav forstyrrelsesgrad, og i kombination med, at der ikke er tale om betydende magasiner i denne del af lagserien, er det valgt at vurderingen af deformationsgraden kun gælder de interglaciale lag og Weichsel-aflejringerne ovenover – inklusive lagserien i de dybe dalerosioner.

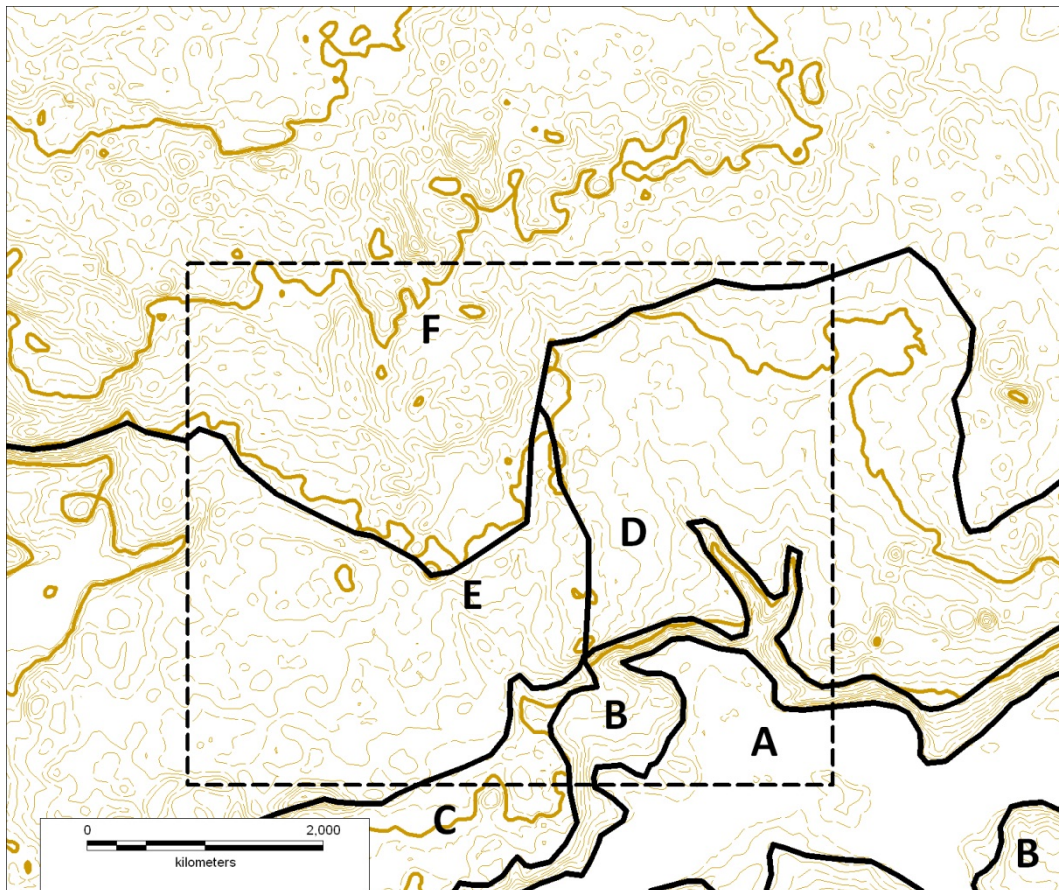
De dybe dale ved henholdsvis Klosterværket og Grubbemølleværket (figur 18; "grønne dale") er dannet i Weichsel i forbindelse med isfremstød fra sydøst, og da dalene kan ses i det nuværende terræn forventes det, at deformationer af såvel dalfyldet som Weichsel lagserien er sket fra sydøst. Flager og folder i lagserien kan derfor med god sandsynlighed relateres til denne deformationsretning. Det forventes også, at isdækkets bevægelse har været præget af talrige, mindre fremrykninger og tilbagesmeltninger.

Den geologiske modellering viser, at dalfyldets karakter adskiller sig fra lagserien udenfor dalene, eksempelvis ved at de lerede og gytjede interglaciale aflejringer ikke findes i dalene. Fyldet i dalene er domineret af moræneler med indslag af smeltevandssand og grus i meget varierende tykkelser. Det er sandsynligt, at disse variationer skyldes erosioner og ikke nødvendigvis deformationer. Dalfyldet findes indenfor de laveste dele af terrænet, svarende til forekomstområdet for Lag 1 i den hydrostratigrafiske model.

Den lerede og gytjede karakter af det interglaciale lag vurderes at kunne betyde, at laget lettere kan deformeres, og stedvist kan udgøre et glideplan (décollement plan).

### 3.3.3 Vurdering af deformationsgraden

Vurderingen af deformationsgraden har taget udgangspunkt i den topografiske analyse fra Grontmij (2011) kombineret med resultaterne af den geologiske modellering. De topografiske delområder, som blev udpeget i forbindelse med den indledende modellering ses på figur 21.



Figur 21: Kurvebillede fra Top10-DK, ækvridistance 2,5 m. Modellens fokusområde er markeret med stiptet rektangel. Topografiske delområder er afgrænset med sort streg (Fra Grontmij, 2011).

Terrænets udformning giver informationer om de seneste geologiske hændelser i området samt giver informationer om lagseriens beskaffenhed, blandt andet fordi erosionens effekt på lerede lagserier og sandede lagserier er forskellig. Inddelingen i topografiske delområder har i den geologiske modellering været brugt som støtte for de geologiske tolkninger og de topografiske delområder indgår nu i vurderingen af deformationsgraden af lagserien. Ved vurderingen af deformationsgraden er der foretaget en tre-delning:

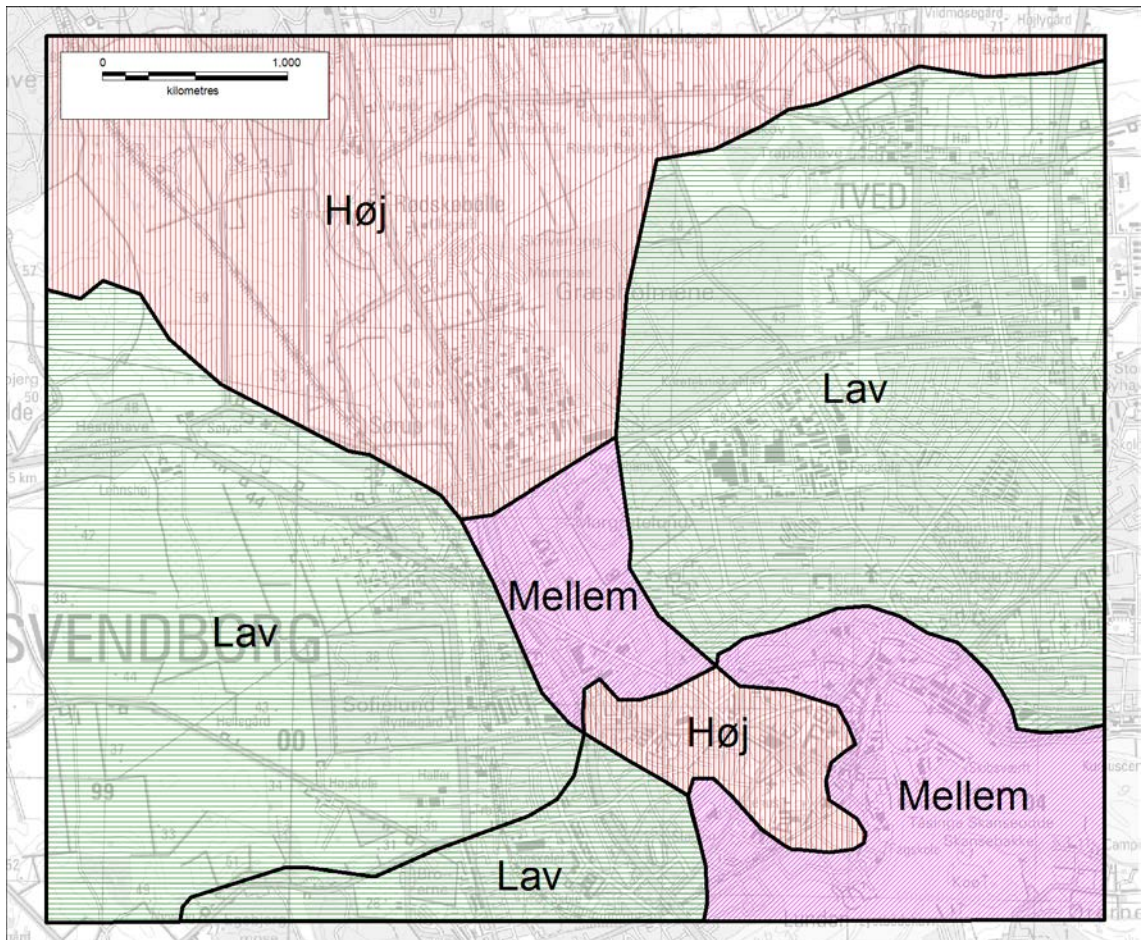
- **Lav deformationsgrad:** Lagserien er kun deformeret i mindre grad og lagtykkelser og lagsammenhænge vurderes ikke at være nævneværdigt ændret som følge af deformationer.
- **Mellem deformationsgrad:** Lagserien er i nogen grad deformeret, og det forventes at deformationerne kan have påvirket såvel lagtykkelser og lagsammenhænge. Flager kan forventes.
- **Høj deformationsgrad:** Lagserien er stærkt deformeret, og det kan ikke forventes at lagene ligger på primært leje. Lagsammenhænge og lagtykkelser er stærkt varierende, og flager, folder og overskydninger er hyppigt forekommende.

På baggrund af ovenstående er deformationsgraden af lagserien indenfor modelområdet vurderet indenfor de topografiske delområder:

- **Delområde A:** De lavest liggende områder og Svendborgsund, som samtidig udgør udbredelsen af de dybeste dele af dalerosionerne. Lagserien i dalene er domineret af moræneler med indslag af sand/grus i varierende tykkelser og udbredelse. Det vurderes sandsynligt, at variationerne i lagserien kan skyldes erosion, men deformationer er i kraft af dalenes dannelse meget sandsynlig. Delområdet vurderes af have *"mellem deformationsgrad"*.
- **Delområde B:** Delområdet udgør skrænterne langs sundet og gennem Svendborg by samt et område centralt i Svendborg by, hvor skrænten er væsentligt mindre stejl. Ses der bort fra de stejle skrænter mod vest og øst, er der tale om et roligt kurvebillede, men markante terrænforskelle. Eem-lag er til stede og der er ved lokaliteter gjort observationer af forstyrrelser i lagserien (fx Vestergade 34). Delområdet vurderes af have *"høj deformationsgrad"*.
- **Delområde C:** Delområdet udgør et skrånende område ovenfor skrænten (B) med et uroligt kurve-billede. Afgrænsningen til område E går parallelt med sundet. Vurderingen af dette delområde er usikker, da datamængden er begrænset. Da kurvebilledet ikke afviger meget fra delområdet nord for, og da der ikke umiddelbart er tegn i lagserien på deformationer, vurderes delområdet at have *"lav deformationsgrad"*.
- **Delområde D:** Delområdet har en jævn hældning og kurverne har god konformitet og viser generelt et roligt billede. Delområdet udgør en form for plateau, og da lagserien samtidig tilsyneladende er ukompliceret vurderes delområdet at have en *"lav deformationsgrad"*.
- **Delområde E:** Der er et mere uroligt kurvebillede og en lavere konformitet end i delområde D. Grænsen mellem D og E udgøres af et mindre højdedrag. Mod vest ses en roligere topografi end mod øst, hvor der er tegn på erosion. Den vestlige del af området vurderes at have *"lav deformationsgrad"*, mens den østlige del vurderes at have *"mellem deformationsgrad"*.
- **Delområde F:** Højtliggende område med et uroligt kurvebillede, men med en stor kurvetæthed og god konformitet. De store topografiske variationer og den tydelige grænse til delområde D peger på mulig storskala deformation af lagserien i dette område. Dette understøttes af den geologiske model, som viser en lagserie med meget varierende lagtykkelser. Delområde F vurderes at have en *"høj deformationsgrad"*.

Ovenstående vurderinger er samlet i kortet over deformationsgraden (figur 22). Det ses, at der fra sydøst og mod nordvest forløber et strøg med *"mellem til høj deformationsgrad"*, mens der på begge sider af dette vurderes at være tale om *"lav deformationsgrad"*.





Figur 22: Vurderet deformationsgrad for den øvre del af lagserien i Svendborg (Eem og Weichsel); fra GEUS (2013).

## 4. Referencer

- COWI, 2005:** Indsatsområde Svendborg, Kortlægning fase 3b, Geologisk og konceptuel hydrogeologisk model. Udarbejdet for Fyns Amt.
- Gravesen, P., Petersen, K. S., Binzer, K. og Rasmussen, L. A., 1988:** Geologisk basisdatakort 1312 II Svendborg, DGU, Kortserien nr. 6.
- Ehlers, J., 1979:** Fine gravel analyses after the Dutch method as tested out on Ristinge Klint. Bull. geol. Soc. Denmark, 27, p. 157-165.
- Friis, H. & Larsen, G. 1975:** Tungmineralanalytisk bidrag til forståelsen af dannelsesforholdene for det sydfynske Hvide Sand (Kvartær). Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1974, side 25-31, København, 2. januar 1975.
- Fyns Amt 2005:** Kortlægning af grundvandsressourcerne – Status for vandressourcekortlægningen 2005. Miljø- og Arealafdelingen, Fyns Amt.
- Jørgensen, F., Kristensen, M., Højbjerg, 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.
- GEUS, 2012:** Svendborg geologisk model: Indledende notat vedr. justering/opdatering af den foreløbige, rumlige geologiske model. Notat til Region Syddanmark. Udarbejdet af Peter Sandersen. Dateret d. 24. juni 2012.
- GEUS, 2013:** Geologisk model Svendborg: Kort over lagseriens deformationsgrad. Notat til Region Syddanmark. Udarbejdet af Peter Sandersen og Jørgen F. Christensen (Reg. Syddanm.). Dateret d. 8. april 2013.
- Grontmij, 2011:** Geologisk model for Svendborg by. Rapport og GeoScene 3D projekt til Region Syddanmark. Udarbejdet af Peter Sandersen, september 2011.
- Heilmann-Clausen, C., 2010:** Fra drivhus til kølehus. I: Geoviden 3, 2010, s. 2-11.
- Houmark-Nielsen, M, Krüger, J. & Kjær, K. 2005:** De seneste 150.000 år i Danmark. Istidslandskabet og naturens udvikling. Geoviden, nr. 2, 2005.
- Miljøministeriet, 2010:** Kortlægning af grundvand, Ærø Indsatsområde 2007. 2. udgave, 1. september 2010. ISBN nr.: 978-87-92197-07-8.
- Rambøll 2010:** Renseri, Vestergade 34, 5700 Svendborg, Videregående forureningsundersøgelse. Udført for Region Syddanmark.
- Rambøll, 2012:** Sedimentkorrelation – Svendborg. Notat til Region Syddanmark. Udarbejdet af Britt Boye Thrane og Theis Raaschou Andersen. Dateret d. 20. december 2012.
- Rambøll, 2013:** Geologisk model Svendborg – Udførelse af prøvepumpninger. Notat til Region Syddanmark. Udarbejdet af Bianca Pedersen og Britt Boye Thrane. Dateret d. 20. februar 2013.

**Sjørring, S., Nielsen, P. E., Frederiksen, J., Hegner, J., Hyde, G., Jensen, J. B., Mogenssen, A. og Vortisch, W., 1982:** Observationer fra Ristinge Klint, felt- og laboratorieundersøgelser. Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1981, side 135-149, København, 15. juli 1982.

**Smed, P., 1982:** Landskabskort over Danmark. Blad. 3, Sønderjylland og Fyn. Geografforlaget.

**Ter-Borch, N., 1991:** Geologisk kort over Danmark, 1:500.000. Kalkoverfladens struktur. DGU, Kortserie nr. 7 (1991).