

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 1

Kortlægning af Danienkalk-Skrivekridt
grænsen samt forkastninger i denne

Torben Bidstrup & Kurt Klitten



Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 1

Kortlægning af Danienkalk-Skrivekridt
grænsen samt forkastninger i denne

Torben Bidstrup & Kurt Klitten

Indhold

1. Forord	3
2. Indledning	5
3. Retolkning af eksisterende seismiske data.	6
3.1 Forkastninger	6
3.2 Top Kridt (Basis Danien) fra seismik, boreoplysninger og borehulslogging.....	9
4. Referencer	10
Bilag 1	12
Bilag 2	13

1. Forord

Denne rapport er udarbejdet ved Geofysisk Afdeling på GEUS i samarbejde med Hydrologisk Afdeling, GEUS, som en del af rapporteringen af projektet "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland". Projektet er finansieret af Københavns Energi, Københavns Amt, Frederiksborg Amt og Roskilde Amt, og gennemført i et samarbejde mellem Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse og Danmarks Tekniske Universitet. Projektet er gennemført i perioden fra august 2002 til november 2005.

Det overordnede formål med projektet er at tilvejebringe en bedre viden om karakteren af saltvandsgrænsen og dybden til denne i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland med henblik på at kunne vurdere mulighederne for en bæredygtig udnyttelse af de dybere og uforurenede dele af disse grundvandsmagasiner. Indenfor de tre amter er projektet geografisk begrænset til det område, hvor Skrivekridt og Danienkalk udgør den prækvartære overflade, dog undtaget Hornsherred på grund af manglende data.

Projektet har været opdelt i to faser. Den første fase havde primært som hovedformål at systematisere og analysere eksisterende data og viden om saltvand i projektområdet, men inkluderede også ny dataindsamling i form af udførelse af borehulslogging og TEM-kortlægning.

Projektets anden fase har fokuseret på et værkstedsområde ved Karlslunde, hvor undersøgelserne hovedsageligt har drejet sig om to nye dybe projektboringer. Endvidere er Danienkalkens og Skrivekridtets hydrauliske egenskaber undersøgt såvel i felten som i laboratoriet. Endelig har denne fase også omfattet supplerende borehulslogging, samt opstilling af en konceptuel og en numeriske hydrogeologisk model i Karlslunde området til beregning af udvaskning og diffusion af saltvand fra Skrivekridtet og Danienkalken over geologisk tid. Formålet med anden fase har således især været at belyse de parametre og forstå de processer, som over geologisk tid har kontrolleret udvaskningen af residualt saltvand fra formationerne. En sådan forståelse er en forudsætning for at kunne udvikle en metode for prognostisering af fremtidig kloridbelastning af eksisterende og nye grundvandsindvindinger fra Danienkalk og Skrivekridt.

Nærværende delrapport 1 omhandler en mindre del af projektets første fase, hvor der er gennemført en retolkning af såvel nyt som ældre tilgængeligt refleksionsseismisk datamateriale med henblik på at kortlægge de overordnede strukturgeologiske forhold i Danienkalk og Øvre Kridt, og her specielt grænsefladen mellem Danienkalk og Skrivekridt samt eventuelle forkastninger i denne. Den tolkede Danien-Kridt grænseflade er efterfølgende sammenstillet med observationer om denne grænse fra boringer med og uden borehulslogging til et kort over grænsefladens højdeforhold i projektområdet. Projektets øvrige rapporter fremgår af nedenstående oversigt:

Hovedrapport:

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, hovedrapport
Resume af delprojekternes resultater og konklusioner samt perspektivering.

Delrapporter:

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 1
Kortlægning af Danienkalk-Skrivekridt grænsen samt forkastninger i denne.

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 2
Undersøgelse af saltvandsgrænsen ved hjælp af geofysisk borehulslogging.

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 3
Kortlægning af saltvandsgrænsen med transiente elektromagnetiske (TEM) sonderinger.

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 4
Simulering af nuværende og historiske strømnings- og potentialeforhold.

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 5
Grundvandstyper i kalkmagasinerne.

Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 6
Saltvandsudvaskning i Danienkalk og Skrivekridt - Detailundersøgelser i Karlslunde værkstedsområde.

Til projektets har været knyttet en styregruppe, som har haft følgende sammensætning:

Gyrite Brandt, Københavns Energi
Arne Mogensen, Frederiksborg Amt
Niels-Christian Terkildsen, Frederiksborg Amt
Susanne Hartelius, Københavns Amt
Susanne Andreasen, Københavns Amt
Merete Olsen, Roskilde Amt

Projektgruppen har haft følgende medlemmer:

Kurt Klitten (GEUS), projektleder fra 15. januar 2003
Thorkild Feldthusen Jensen (GEUS) projektleder indtil 15. januar 2003 (nu Rambøll).
Flemming Larsen (DTU)
Torben O. Sonnenborg (DTU, derefter KU og nu GEUS)
Lene Hjelm Poulsen (DTU, nu Dansk Geo-servEx a/s)
Christian Steen Wittrup (DTU, derefter DTU og nu GEO)
Kenneth Berger (DTU og nu Vestsjællands Amt)
Peter Madsen, (stud. polyt. DTU, nu Novozymes)
Kristoffer A. Ulbak, (stud. polyt. DTU, nu Københavns Amt)
Ellen Prip Bonnesen, (Stud. Polyt. DTU, nu PhD, DTU)

Derudover har følgende leveret væsentlige bidrag til projektet:

Lars Troldborg (GEUS)
Torben Bidstrup (GEUS)
Jeppe Rølmer Hansen (GEUS)
Erik Clausen (GEUS)
Søren Jessen (DTU & GEUS)

Tidligere projektleder Thorkild Feldthusen Jensen har gennemlæst alle rapporter i udkast, og givet nyttige kommentarer og forslag til forbedringer.

København, den 1 april 2006.

2. Indledning

Som en del af projektet "Saltvandsgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland" er der gennemført en retolkning af såvel nyt som ældre refleksionsseismisk datamateriale tilgængeligt på GEUS med henblik på at søge kortlagt de overordnede strukturgeologiske forhold i Danienkalken og Øvre Kridt, og her specielt grænsefladen mellem Danien og Øvre Kridt og eventuelle forkastninger i denne grænseflade.

Baggrunden for i denne sammenhæng at søge denne grænseflade kortlagt og specielt få identificeret eventuelle forkastningszoner er, at saltvandspåvirkning af grundvandet i kalkmagasinerne ofte begrundes med tilstedeværelse af forkastningsbetinget sprækkepermeabilitet i kalk og kridt til stor dybde, og dermed hydraulisk forbindelse til det saltholdige, dybe grundvand. Borehulslogging i forbindelse med GEUS undersøgelser i 90'erne af en række af Københavns Energi's kildepladser med indvinding fra kalkboringer har endvidere indikeret, at saltvandsgrænsen ofte er sammenfaldende med Danien-Kridt grænsen, hvorfor det alene af den grund vil være formålstjenligt at have denne grænse bedre kortlagt end tilfældet er i dag. Således findes der ikke forud for dette projekt et detaljeret kort over Øvre Kridt overfladen i Nordøstsjælland.

Som det fremgår nedenfor, har retolkningen af de seismiske data imidlertid kun givet information om grænsen Danien-Øvre Kridt i en forholdsvis lille del af projektområdet. Af denne grund er de seismiske tolkningsresultater blevet suppleret med observationer af Danien-Kridt grænsen fra boringer med og uden borehulslogging. Som det fremgår nedenfor er der imidlertid stadig store områder i Nordøstsjælland, hvor der mangler observationer af denne grænses beliggenhed.

3. Retolkning af eksisterende seismiske data.

Der er i forbindelse med projektet foretaget en tolkning af alle eksisterende seismiske data i den nordøstlige del af Sjælland med henblik på at identificere forkastninger/sprækker i kalken. I det anvendte seismiske datamateriale indgår også et seismisk profil fra Jersie strand til Roskilde udført i December 2001 af Rambøll for Roskilde Amt (*Rambøll, 2002*). Beliggenheden af de eksisterende seismiske profillinier er vist på **Bilag 1**.

Datakvaliteten i området er meget forskellig spændende fra gammel seismik skudt i forbindelse med olieeftersforskning tilbage i begyndelsen af tresserne til moderne højopløselig seismik skudt i forbindelse med efterforskning efter geotermisk energi. Data findes dels som digitale sektioner, som er tolket på arbejdsstation, og dels som papirsektioner, der er manuelt aflæst og integreret i tolkningen. På gammel seismik viste det sig ikke muligt at tolke reflektorer i de øverste ca. 300m, medens man på moderne seismik kan se reflektorer helt op i 100 m's dybde. Såvel den gamle som den moderne seismik er målrettet mod geologien på større dybde (>1000 m) og opløsningen af denne dybe seismik gør det vanskeligt selv på de moderne seismik linier at se forkastninger af en størrelsesorden på f.eks. 10 m med mindre der er anvendt speciel højopløselig seismik (se nedenfor).

3.1 Forkastninger

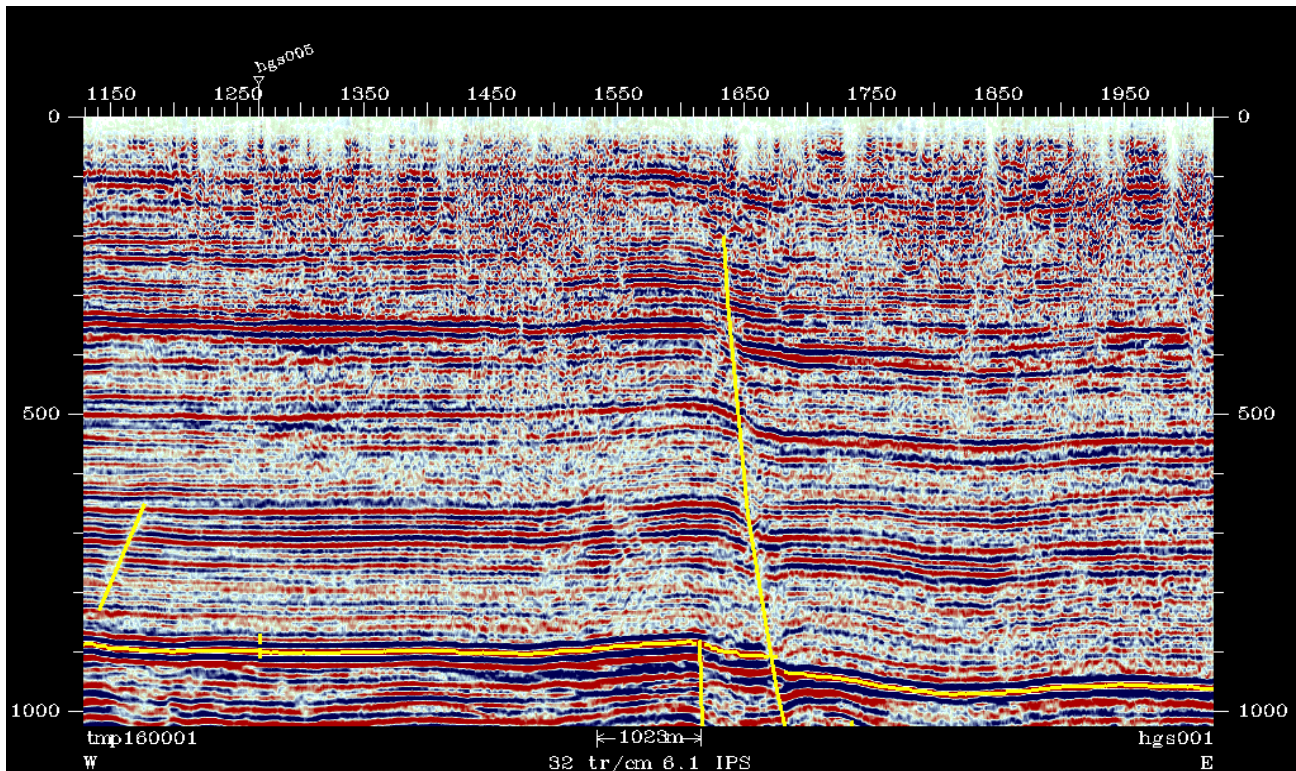
"Gammel seismik"

Der er i forbindelse med projektet kortlagt en del interne reflektorer i "Kridt". Den dybeste reflektor, som er kortlagt, er bund kridt, dvs. Basis Øvre Kridt. Denne reflektor er generelt meget jævn, men med enkelte større forkastninger relateret til dybere strukturelle elementer som f. eks. Carlsberg forkastningen (**Bilag 1**), der er relateret til den vestlige afgrænsning af "Höllviken graben". Der er ikke mange forkastninger i projektområdet, der kan følges helt op til toppen af "Kridt". Carlsberg forkastningen er en af dem, selv om den på den dybe seismik mere ligner en fleksur end en egentlig forkastning, når man nærmer sig toppen af "Kridt". På Vestamager er der imidlertid skudt specielt højopløselig seismik hen over Carlsberg forkastningen (*Fallesen, 1995*), og herved er det blevet verificeret, at forkastningen går helt op til top Danienkalk. Øvrige forkastninger, som har kunnet følges op til top "Kridt" er ligeledes vist på **Bilag 1**. Dette gælder Roskilde forkastningen og en forkastning ind over kysten ved Ishøj, samt tre andre i Øresund syd for Amager.

Der findes ud over forkastninger, der relaterer sig til dybtliggende strukturer, også forkastningssystemer, som har forbindelse til begyndende salttektonik. Disse forkastninger findes f. eks. ved Slagelse og Stenlille, men sådan salttektonik findes ikke i den østlige del af Sjælland og således ikke i projektområdet.

Der findes endvidere en del små forstyrelser i relation til de dybereliggende strukturelementer og salttektonik, som mere er fleksurer og små forskydninger end egentlige forkastninger. Disse små forstyrelser er ved nærværende retolkning også kortlagt, selv om det er temmelig usandsynligt, at de har forbindelse til kridtoverfladen, men de kan f. eks. i Nord-

østsjælland, hvor de findes i et mere eller mindre sammenhængende område langs den vestlige afgrænsning af "Höllviken graben", muligvis indikere en tilsvarende højere sprækkintensitet i toppen af "Kridt" og i Danienkalken. Beliggenheden af disse små seismiske anomalier på de seismiske profillinier er vist på **Bilag 1**.



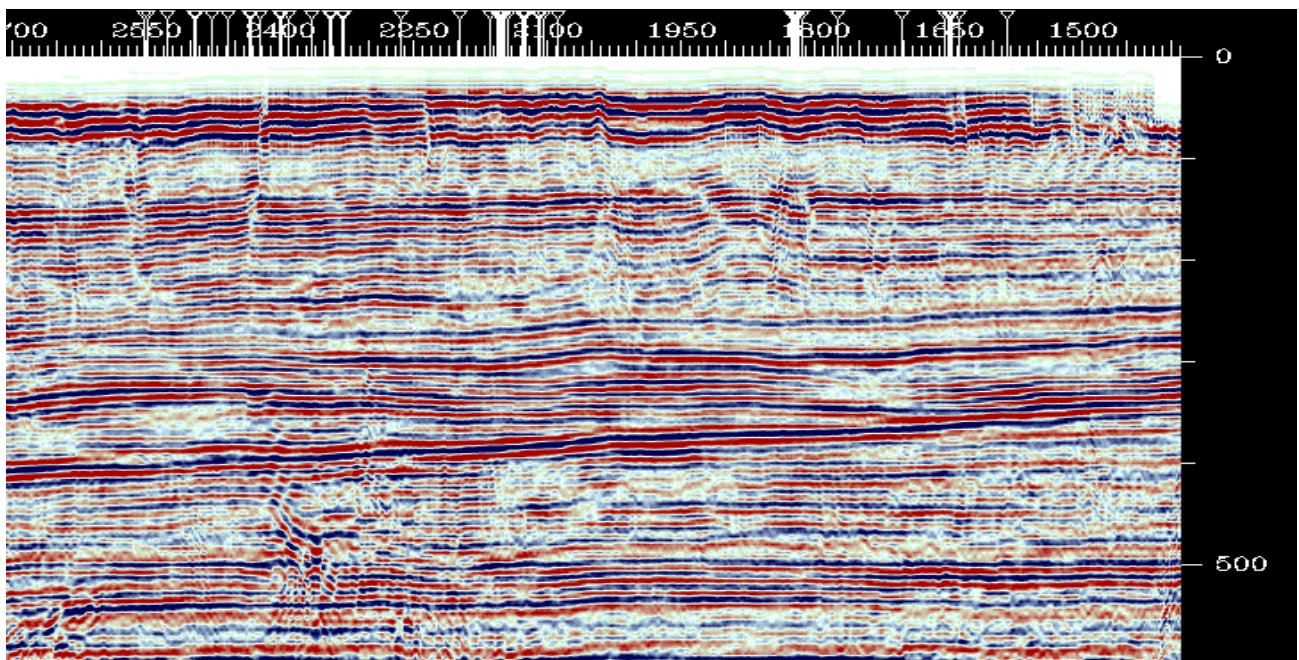
Figur 1 Den seismiske linie HGS01 nord for København viser Carlsberg forkastningen, der mere og mere bliver en fleksur op mod toppen af "Kridt". Vertikal skala er to-vejstid i millisek. Liniens placering ses på Bilag 1.

Moderne højopløselig seismik

Den seismiske linie i figur 1, der viser Carlsberg forkastningens fortsættelse nord for København, er et eksempel på moderne højopløselig seismik. Profilet er optaget i forbindelse med efterforskning efter geotermisk energi. Det viste profil er optaget på land, og alligevel er det lykkedes at opnå så god en datakvalitet, at der kan ses en reflektor allerede ved en to-vejstid på ca. 100 sek. Hvis lyd hastigheden fra terræn ned til denne reflektor i ca. 100 msek var på 2000 m/sek, ville dybden til reflektoren være $2000 \times 100/1000 \times \frac{1}{2} = 100$ m. Lyd hastigheden i de kvartære lag vil typisk være 1200-1800 m/sek, hvorimod lyd hastigheden i Danien kalk er 1800-2400 m/sek, så en gennemsnitshastighed på 2000 m/sek er ikke usandsynlig. Den øverste reflektor er derfor antagelig netop top Øvre Kridt, som således her ligger i ca. 100 m dybde vest for Carlsberg forkastningen, og i ca. 130 m dybde øst for forkastningen.

På figur 2 ses et andet eksempel på moderne højopløselig seismik fra den geotermiske energi efterforskning, denne gang optaget offshore i Kongedybet ud for Prøvestenen og Amager. Offshore seismik giver endnu bedre muligheder for højopløselig seismik, og her ses den første reflektor da også allerede ved 30-40 msek svarende til 20-30 m dybde under havniveau under antagelse af en lydhastighed på 1500 m/sek i havvand og de kvartære sedimenter. Denne reflektor er derfor sandsynligvis Danienkalkens overflade, som vides at ligge netop i denne dybde på det pågældende sted (DGU & Hovedstadsrådet, 1989). Den næste reflektor ses i 130-140 msek og er ligesom på figur 1 antagelig grænsen mellem Bryozokalk og "Kridt".

På figur 2 er det endvidere værd at bemærke de meget tydelige forkastninger i den øverste del af kalken, samt at disse tilsyneladende kun når et stykke ned i "Kridt", idet de ses "at dø ud" i en 200 til 300 msek's dybde. Dette tyder på, at forkastningerne er opstået som følge af istryk og isbevægelser. De er observeret på flere af de højopløselige marinseismiske linier fra Øresund, men ses ikke på de tilsvarende linier på land, figur 1. Hvis deres oprindelse er "isbelastning og isaflastning, er det sandsynligt at de også findes i kalken i områder på land. På Rambølls ca. 15 km lange seismiske profil fra Jersie strand til Roskilde er der da også observeret et par af disse "øvre" forkastninger. Sådanne forkastninger i kalken og den øvre "Kridt" vil derfor kunne være forklaringen på nogle af de lokalt optrædende tilfælde med saltvandspåvirket grundvand, som er observeret i enkelte kalkboringer i Nordøstsjælland (Dybendal ved Nærum, Ishøj kildeplads, Herfølge m. fl.).



Figur 2 Den seismiske linie HGS8n13 beliggende offshore mellem Amager og Saltholm viser små forkastninger i toppen af kalken, som dør ud i ca. 250 ms. Liniens placering ses på Bilag 1.

3.2 Top Kridt (Basis Danien) fra seismik, boreoplysninger og borehulslogging

På alle de nye højopløselige seismiske profiler fra den geotermiske efterforskning er den højst beliggende reflektor identificeret. Efter dybdekonvertering med en hastighed på 2000 m/sek og sammenligning med boreoplysninger er det sandsynligt, at denne reflektor er top Kridt (eller basis Danien). Tolkningen af top Kridt er derfor både baseret på Rambølls seismiske profil fra Jersie strand til Roskilde (*Rambøll, 2002*), og boreoplysninger om top Kridt. Resultatet er et kort over Kridtoverfladens højdeforhold, **Bilag 2**. Der er i tolkningen især lagt vægt på de boringer, hvor grænsen mellem Danienkalk og Kridt er fastlagt ved geofysisk borehulslogging, hvilket er tilfældet i 66 boringer (*Klitten, 2006*).

Af det resulterende kort, **Bilag 2**, fremgår det, at de brugbare seismiske profillinier ligger lige omkring København og på Amager, samt at boreoplysninger om Kridt overfladen er koncentreret om København, langs Køge bugt og på Stevns, dvs. hvor Kridt overfladen ligger højt. Der ses dog også enkelte boringer med informationer om Kridt nord og vest for København, men i store områder nord for København og langs Roskilde fjord, samt ved nordkysten af Nordøstsjælland er der overhovedet ingen boringer, som er nået ned til Kridt. I sidstnævnte områder er der derfor ikke indlagt kurvebillede over Kridt overfladens højde, men der er med tilsvarende farvesignatur som for kurvebilledet vist bunddybden på de dybeste boringer, hvor Kridt ikke er truffet. Derved gives der en information i disse områder om, at Kridt overfladen ligger dybere end bunden af de viste boringer.

Kortet på **Bilag 2** viser, at Kridt overfladen som bekendt ligger højt på Stevns, over kote 0 m, og i den nordlige del af Køge bugt og under Frederiksberg, over kote -25 m. Vest for København og vest for Køge bugt mod Roskilde falder overfladen markant til under kote -80 m. I Nordsjælland falder den ligeledes til under kote -80 m og yderligere til mellem kote -120 og -170 m inden for den prækvartære Alnarp dal syd for Gilleleje - Hornbæk - Helsingør. Det er dog som nævnt ovenfor forholdsvis få boringer, som når ned i Kridt i denne del af projektområdet. Carlsberg forkastningens omtrentlige beliggenhed og nedforkastningen på dens østlige side fremgår også af højdekurverne over Kridt overfladen, idet overfladen ses at ligge dybt på det østlige Amager og østlige København. De tre dybe boringer vist på **Bilag 2**, der ligger langs Øresundskysten nord for København, tyder på, at Kridt overfladen fortsat ligger dybt mod øst, og indikerer således en nordlig fortsættelse af Carlsberg forkastningen.

4. Referencer

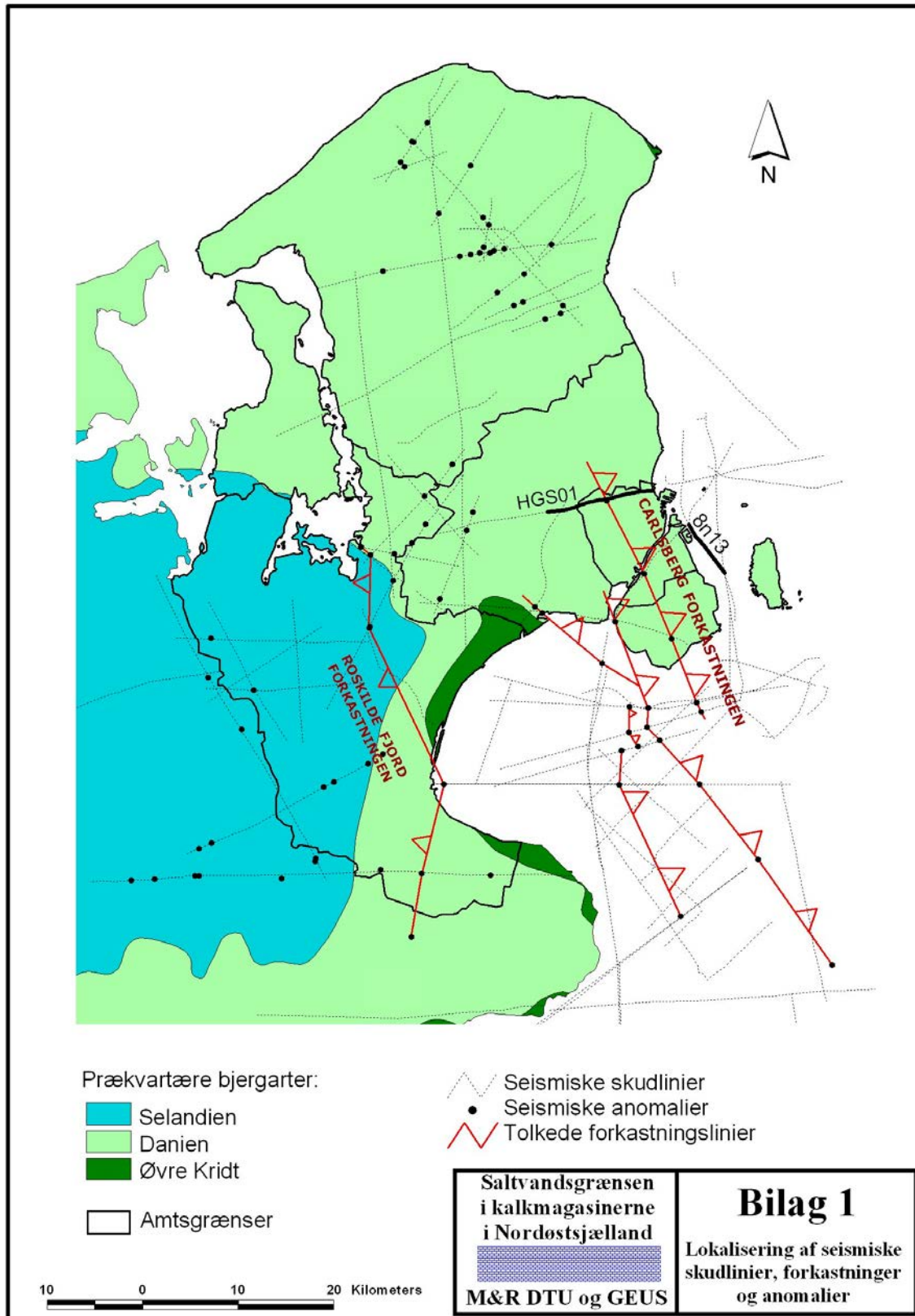
Rambøll, 2002: Seismisk Kortlægning ved Køge bugt. Roskilde Amt, Teknisk Forvaltning, februar, 2002.

Fallesen, J., 1995: Danien kalkens stratigrafi og struktur på Amager belyst ved geofysiske undersøgelser – specielt med henblik på Carlsberg forkastningen. Kbh. Univ. , Geologisk Institut, januar 1995.

DGU & Hovedstadsrådet, 1989: Geologisk Basisdatakort 1513 I SØ København Syd + 1613 IV SV Saltholm + del af 1513 II NØ Kongelunden + del af 1613 III NV Søvang.

Klitten, K., 2006: Saltvandgrænsen i kalkmagasinerne i Nordøstsjælland, delrapport 2. Undersøgelse af saltvandgrænsen ved hjælp af geofysisk borehulslogging. (GEUS og DTU)

Bilag 1



Bilag 2

