

Lav- og mellem radioaktivt affald fra Risø, Danmark Omegnsstudier. Rapport nr. 2

Område Rødbyhavn,
Lolland Kommune

Peter Gravesen, Bertel Nilsson, Merete Binderup,
Tine Larsen & Stig A. Schack Pedersen



Lav- og mellem radioaktivt affald fra Risø, Danmark Omegnsstudier. Rapport nr. 2

Område Rødbyhavn,
Lolland Kommune

Peter Gravesen, Bertel Nilsson, Merete Binderup,
Tine Larsen & Stig A. Schack Pedersen

Indhold

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 0. | Resume | 5 |
| 1. | Indledning | 7 |
| 2. | Områdets beliggenhed | 8 |
| 3. | Terræn | 10 |
| 4. | Boringer | 11 |
| 5. | Geologi | 12 |
| 5.1 | Aflejringer og jordarter..... | 12 |
| 5.2 | Mineralogi og geokemi..... | 16 |
| 5.3 | Strukturelle forhold..... | 17 |
| 5.4 | Geologisk model..... | 19 |
| 5.5 | Konklusion..... | 20 |
| 6. | Seismisk aktivitet og jordskælv | 22 |
| 6.1 | Metoder og anvendte begreber..... | 22 |
| 6.2 | De instrumentelt registrerede rystelser..... | 23 |
| 6.3 | Instrumentalt bestemte epicentre 1930–2012 på og omkring Lolland..... | 24 |
| 6.4 | Præ-instrumentelle rystelser på og omkring Lolland..... | 24 |
| 6.5 | Diskussion..... | 25 |
| 6.6 | Konklusion..... | 25 |
| 7. | Grundvand og drikkevand | 26 |
| 7.1 | Generelle grundvandsforhold..... | 26 |
| 7.2 | Drikkevandsområder..... | 26 |
| 7.3 | Lokale forhold..... | 29 |
| 7.4 | Konklusion..... | 29 |
| 8. | Klima og klimaændringer | 30 |
| 8.1 | Temperatur og nedbør, storme og ekstreme..... | 30 |
| 8.2 | Havniveauændringer..... | 30 |
| 8.3 | Ekstreme hændelser..... | 31 |
| 8.4 | Salt grundvand..... | 32 |
| 8.5 | Konklusion..... | 33 |
| 9. | Arealplanlægning og bindinger | 34 |
| 9.1 | Bindinger..... | 35 |
| 9.2 | Udvikling..... | 35 |
| 9.3 | Natur, naturpleje og fredninger..... | 36 |
| 9.4 | Historiske mindesmærker og fredninger..... | 38 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 9.5 | Råstofplanlægning | 39 |
| 10. | Afsluttende bemærkninger | 40 |
| 11. | Litteratur | 41 |
| 11.1 | GEUS rapporter fra projektet..... | 41 |
| 11.2 | Andre publikationer fra projektet | 41 |
| 11.3 | Anvendt litteratur | 42 |
| 12. | Bilag | 48 |
| 12.1 | Bilag A | 49 |
| 12.2 | Bilag B | 53 |
| 12.3 | Bilag C | 54 |
| 12.4 | Bilag D | 55 |

0. Resume

Områdestudierne peger på følgende hovedresultater for Rødbyhavn området:

Terræn

Det meste af området er et fladtliggende bundmorænelandskab, som mod syd dækkes af et marint forland. Et mindre område mod sydvest er inddæmmet land. Det overordnede indtryk af landskabet er et meget fladt terræn uden større variationer. Det meste af området ligger mellem kote 0 m og kote + 4 m. Lokalt under kote - 0,5 m. Der er ingen søer eller vandløb, men dræningsgrøfter findes i den østlige og sydvestlige del af området. Et mere end 4 m højt dige langs sydkysten beskytter landområdet mod oversvømmelser fra havet.

Geologi

Der er i den sydlige del af området tykke, sammenhængende ældre palæocæne lerlag på op til 80 m's tykkelse, som ligger uforstyrrede. Ler-aflejringerne egenskaber forventes at kunne tilbageholde et eventuelt udslip af radioaktivt materiale fra et depot.

De overliggende yngre kvartære aflejringer består overvejende af moræneler, som er mellem 5 og 40 m tykt. I moræneler er der erfaringsmæssigt sprækker og sandlinser.

Seismisk aktivitet og jordskælv

Intet tyder på at Lolland er seismisk aktiv. Hverken historiske kilder eller de instrumentelle målinger detekterer nogen seismisk aktivitet i området.

Grundvand

Der er kun meget begrænsede lokale grundvandsmagasiner i områder, da der ikke findes store sand-grus enheder i området. Dybereliggende skrivelidte magasiner indeholder salt grundvand.

Drikkevand og vandforsyning

Det meste af området er klassificeret som Område med Begrænsede eller ingen Drikkevandsinteresser (OBD område), men mod nord nås ind i et Område med Drikkevandsinteresser (OD område). Der er ingen vandværker, men mindre lokal forsyning og mulig forsyning med overfladevand.

Klimaændringer og havstigning

Fremtidige klimaændringer vil generelt have begrænset betydning for området. Stigende havniveau vil ikke overstige de nuværende diger, men i ekstremesituationer med stormforhold vil der blive et voksende pres på digerne. Stigende havniveau vil også give øget salt grundvand under land, men den lave saltholdighed i Østersøen vil mindske denne påvirkning.

Bebyggelse, vejnet og lokal/kommuneplaner

Inden for området er der ingen større bebyggelser, men mindre bebyggelse ved Bjernæs og Hyltofte samt enkeltejendomme langs vejene. Rødbyhavn ligger umiddelbart vest for området. Vejnettet består af mindre men velholdte veje. Der er p.t. en række planlagte udviklingstiltag i forbindelse med kommuneplanrevisionen bl.a. som følge af Femern Bælt forbindelsens etablering.

Naturforvaltning og fredninger

Uden for området findes fredede og NATURA2000 belagte områder, mens der inden for er flere mindre vandhuller med padder, som er beskyttede bl.a. i henhold til Habitatsdirektivet.

Fortidsminder og fredninger

Inden for området er der flere beskyttede sten- og jorddiger. Der er en del registrerede fortidsminder, men heraf er kun et fredet.

Andre forhold

I den sydlige del af området er der udlagt råstofgraveområde for ler, hvor den vestlige del p.t. beslaglægges af arealer i forbindelse med bygning af Femern Bælt forbindelsen.

Det meste af området er landbrugsområde.

1. Indledning

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med Folketingets og Sundhedsministerens opgave med at finde en egnet lokalitet til et slutdepotet for det radioaktive affald fra Forsøgsstation Risø.

Et resultat af de forudgående forstudier var at 6 områder blev valgt til videre vurdering under de efterfølgende Omegnsstudier. Omegnsstudierne omfatter indsamling og sammenstilling af informationer om geologi, jordskælv, grundvand, arealanvendelse, natur, naturforvaltning, fredning, arkæologi og indvinding af drikkevand m.m. De 5 kommuner, hvor de 6 områder er beliggende er blevet besøgt, og et samarbejde om de tekniske forhold er blevet etableret for få belyst de lokaleforhold så godt som muligt.

Rapporten beskriver resultaterne af de Omegnsstudier, som er foretaget øst for Rødbyhavn på Sydlolland.

For at underbygge den geologisk-strukturelle model var det hensigten at udføre 1–2 nye borer i området. Dette har ikke kunnet lade sig gøre. Det har ikke været muligt at opnå tilladelse til at bore på hverken privat eller offentlig ejendom på de relevante arealer i området.

Resultater fra Omegnsstudierne vil blive sammenholdt med resultaterne fra Forstudierne og de samlede resultater vil blive lagt op til Ministeren for Sundhed og Forebyggelse til videre politisk behandling, da det er hensigten, at 6 områder skal reduceres til 2–3 området til yderligere undersøgelser.

Naturstyrelsen har kortlagt og beskrevet arealbindingerne og Lolland Kommune har bidraget med de lokale oplysninger, som kan findes i notatet i denne rapport som bilag A. Notatet indeholder også kommunens synspunkter angående lokalisering af et slutdepot i området og kommunens fremtidige udvikling, som ikke findes i hovedteksten. GEUS har stået for tolkning af nye oplysninger, vurdering af grundvands- og drikkevandsforhold, jordskælvsvurdering, kontakt til kommunen samt sammenskrevet rapporten.

Beskrivelse af den indledende geologiske kortlægning findes i GEUS rapport no. 5 (2011), i DD, GEUS & SIS (2011) og i Gravesen med flere (2011 a, b, c); transportstudier i SIS (2011) og depotkoncepter og risikovurderinger i DD (2011).

2. Områdets beliggenhed

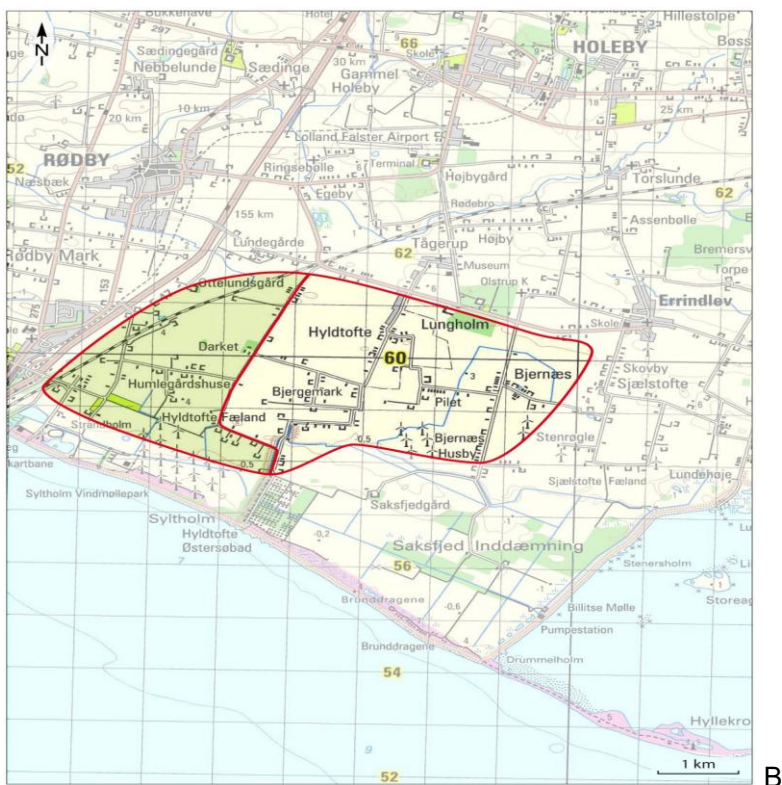


Fig. 1. A. Områdets beliggenhed på Lolland. B. Områdets beliggenhed øst for Rødbyhavn. Den grønne signatur viser området, som p.t. er reserveret til Femern forbindelsen.

Området er beliggende på Lolland øst for Rødbyhavn. Den vestlige grænse går tæt op til Motorvejen (Fig. 1). En del af områdets vestlige del er p.t. reserveret til anlæg af Femern forbindelsens landanlæg og motorvej samt til etablering af bygninger, der anvendes gennem byggefasen (Fig. 1B).

Områdets størrelse er ca. 20 km². Området er valgt større end det areal, der er brug for til et slutdepot (anslået størrelse 150 m x 150 m), og langt størstedelen af området skal således ikke anvendes. Det vil derfor være muligt at vælge en lokalisering inden for området, som er optimal i forhold til de krav, der vil blive stillet til den endelige udpegning.

3. Terræn

Det meste af området er et fladtliggende bundmorænelandskab, som mod syd dækkes af et marint forland (Fig. 2). Et mindre område mod sydvest er der inddæmmet land. Det overordnede indtryk af landskabet er et meget fladt terræn uden større variationer. Det meste af området ligger mellem kote 0 m og kote + 4 m. Lokalt under kote - 0,5 m. Der er ingen søer eller vandløb, men dræningsgrøfter findes i den østlige og sydvestlige del af området.

Der er kun langsomme og udramatiske overfladeprocesser inden for området på grund af det lave relief og intens landbrugsvirksomhed. De langt mest dynamiske processer forgår udenfor området i kystzonen. Et mere end 4 m højt dige langs sydkysten beskytter landområdet mod oversvømmelser fra havet.



Fig. 2. Billedet er taget fra Humlegårdsvej og viser et udsnit af landskabet i den vestlige del af området.

4. Boringer

Målet er at finde palæocænt ler, men kun 11 boringer inden for og omkring Rødbyhavn når sådanne lerlag. Der er kun blevet udtaget få boreprøver, som er geologisk beskrevet og aldersdateret. Informationer fra området er især baseret på boring DGU nr. 240.334 (Råstofboring B1) og 3 andre råstofboringer, som er udført i forbindelse med bentonit-eftersøgning (Fig. 5 og 6), samt 2 boringer udført i forbindelse med forundersøgelser til Femern Bælt forbindelsen.

De fleste andre boringer er udført for lokal husholdningsforsyning, og vandværker findes ikke i området.

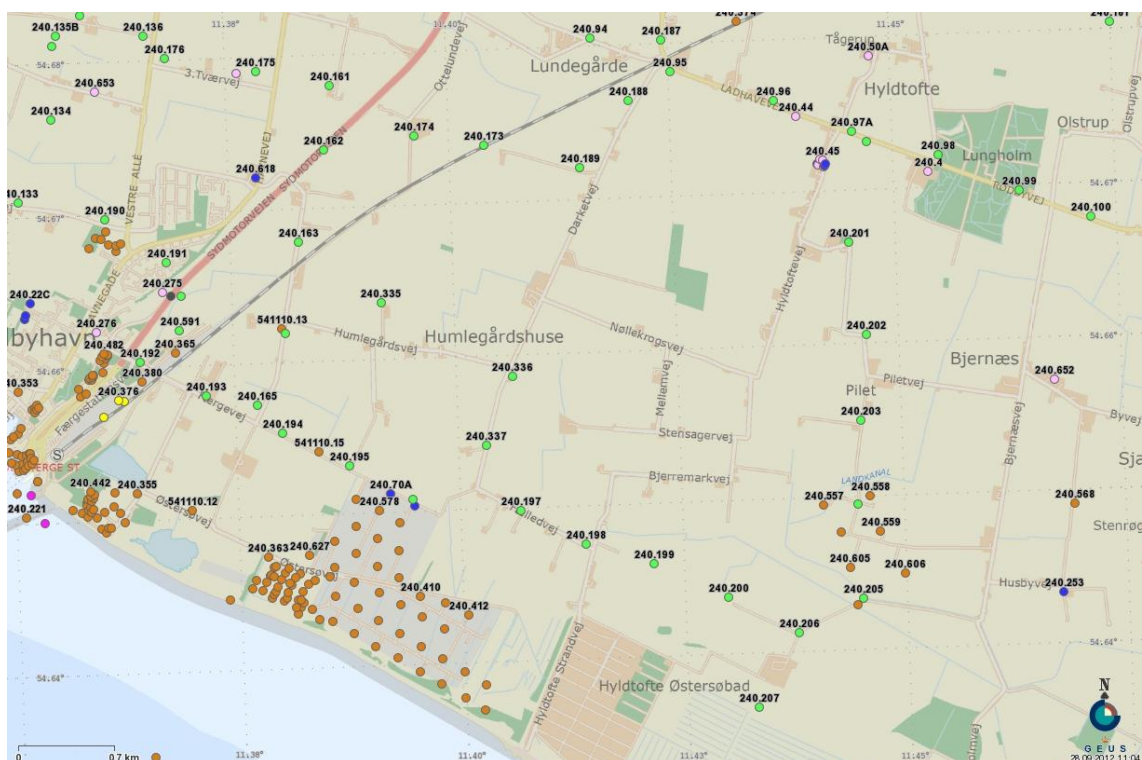


Fig. 3. Kort over boresteder fra GEUS Jupiter database. Signaturer: 240.338: DGU Nr.; Blå prik: vandforsyningsboring; Rød prik: geoteknisk boring; Pink prik: råstofboring; Grøn prik: andre boringer; Lyserød prik: nedlagt boring; Sort prik: ukendt boring.

Geofysiske undersøgelser i form af seismiske, geoelektriske, elektromagnetiske og Sky-TEM undersøgelser er udført på det meste af Lolland. Seismiske og geoelektriske undersøgelser udført vest og øst for Rødbyhavn har peget på 3 områder, hvor højtliggende palæogene ler-aflejringer sandsynligvis kan træffes.

5. Geologi

De geologiske forhold skal være ensartede og stabile inden for området, og de skal bidrage til et slutdepots stabilitet. De geologiske lag skal medvirke til at isolere affaldet fra omgivelserne ved at omslutte eller underlejre depotet. Aflejringerne skal være lav-permeable og bidrage til at binde de radioaktive komponenter fra et eventuelt udslip fra et depot (Beslutningsgrundlaget fra 2007).

Målet er at lokalisere mere end 50 m tykke, uforstyrrede finkornede palæogene-neogene ler-aflejringer med stor horisontal udbredelse inden for området. De overliggende kvartære aflejringer, overvejende moræneler, skal være så tynde som muligt.

5.1 Aflejringer og jordarter

Aflejringerne under istidsaflejringerne på den sydlige del af Lolland er af Palæocæn alder. Meget få boreprøver er blevet bestemt til Palæocæn/Eocæn alder ud fra sediment-beskrivelser og få er blevet aldersdateret. De ældste palæocæne lag er Grønsandskalk (Lellinge Grønsand) fra Selandien og hvid kalk fra Danien, som kendes fra en boring uden for området (Herridslev DGU nr. 241.213). Under disse lag findes skrivekridt fra Maastrichtien (Sen Kridt).

| Geologisk tidsskala | | | | | | | |
|---------------------|------------|---------|-----------------|------------|------------|------|--------|
| Eon | Æra | Sub-æra | Periode | mio. år | Epoke | | |
| | Kænozoikum | Tertiær | Kvartær | 0,01 | Holocæn | | |
| | | | | 2,6 | Pleistocæn | | |
| | | | | 5,3 | Pliocæn | | |
| | | | | | Miocæn | | |
| | | | Palæogen Neogen | 23,0 | Oligocæn | | |
| | | | | 33,9 | Eocæn | | |
| | | | | 55,8 | Paleocæn | | |
| | | | | 65,5 | Sen | | |
| | | | | Mesozoikum | Kridt | 99,6 | Tidlig |
| | | | | | | Jura | 145,5 |
| | 161,2 | Mellem | | | | | |
| | 175,6 | Tidlig | | | | | |
| | 199,6 | Sen | | | | | |

Fig. 4. Inddeling af de geologiske tidsafsnit. Aflejringerne i Rødbyhavn området er fra Kvartær og Palæocæn (Fra GeologiskNyt nr. 1/2010).

Yngre palæocæne aflejringer kendes fra få borer i Rødbyhavn-området (10–20 m under terræn) og i få borer ved Errindlev, Lundehøje, Tillitse, Rudbjerg og Sædingeskov samt sandsynligvis også ved Holeby, hvor der dog er tale om en tyk flage af ler i istidsaflejringerne.

To borer inden for området, som er boret i forbindelse med forundersøgelser til Femern Bælt forbindelsen, når ned i Holmehus Formationen. To andre borer lige uden for området nær ved Lollands sydkyst viser, at eocæne aflejringer fra Røsnæs Ler og Ølst Formationerne hviler på Holmehus Formationens aflejringer.

I forbindelse med råstofundersøgelser for at finde bentonit blev der i en kerneboring i den vestlige del af området foretaget beskrivelse af kernerne og biostratigrafisk aldersdatering, som fastslår, at der findes en lagfølge af sen Palæocæn alder, som inkluderer to formationer.

I boring DGU nr. 240.334 består de ældste lag af Maastrichtien skrivekridt. Herover følger 35–40 m mørkegrå eller gråt, siltet, finkornet, homogent ler fra Æbelø Formationen. Ler-aflejringerne kan være silicificerede og indeholder ofte pyrit-konkretioner. Over Æbelø Formationen følger 35–40 m meget finkornet plastisk grøngråt, grønt eller brunt ler fra Holmehus Formationen. Leret er lamineret til svagt lamineret, men laminationen kan være udslettet på grund af gravende dyrs aktivitet (bioturbation).

Ler-aflejringerne er blevet nærmere undersøgt. Kornstørrelsesanalyser (gennemsnit-værdier) viser, at der er under 1 % sand, og at ler/silt-indholdet varierer fra 60%/40% til 40%/60%. Ler-mineralindholdet varierer mellem 55 og 69 %, og resten er kvarts (20 %) eller feldspat. Ler-mineralerne består af 70–80 % smectit, 20–25 % illit, 2–4 % kaolinit og 0–1 % klorit. Dette betyder, at der i gennemsnit er 45–50 % smectit i sedimenterne.

Kemiske analyser viser, at ler-aflejringerne kan klassificeres som en Na-Ca bentonit med et forholdsvis lavt smectit-indhold. Det meste af leret er ikke-kalkholdigt, men tynde lag af kalkholdigt ler kan optræde. Formationen er fundet i 10 borer nær og inden for området. En udgravning i forbindelse med en prøveindvinding af bentonitten viser det grønne plastiske ler under moræneler (Fig. 5).



Fig. 5. Udgravning i Holmehus Formationens grønne plastiske ler. Over leret ses det hårde moræneler ('knaldleret'). Foto: Peter Roll Jakobsen, GEUS.

Et profil gennem råstofboringerne kan ses på fig. 6.

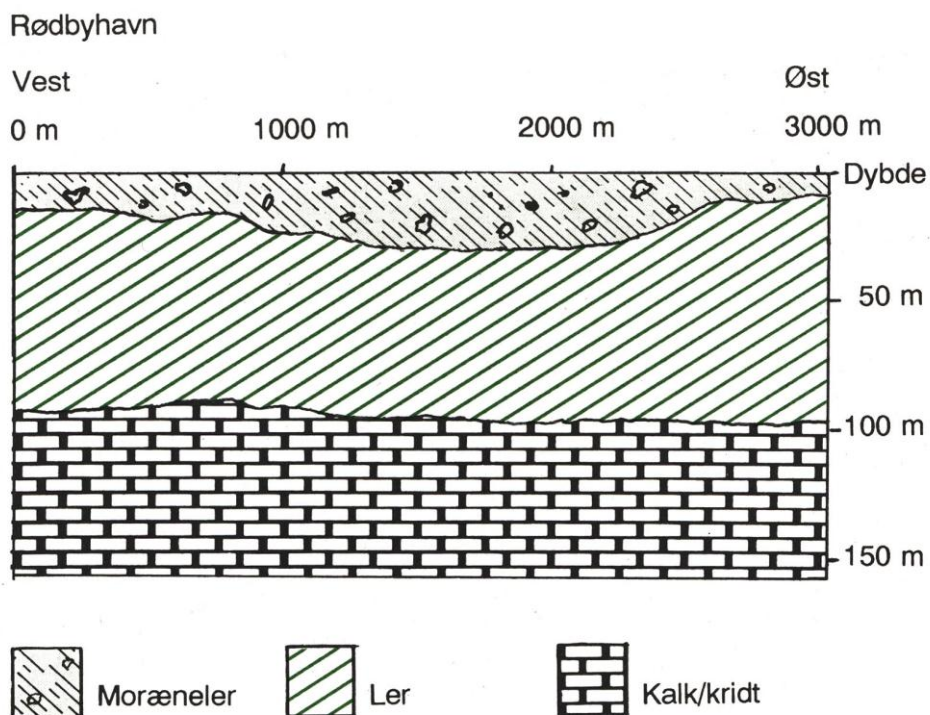


Fig.6. Vest – øst-profil gennem 3 råstofboringer baseret på boringerne og seismiske undersøgelser. Profilet viser opbygningen med Maastrichtien Skrivekridt, sen Palæocæn Æbelø Formation og Holmehus Formation og Kvartær moræneler (Fra Pedersen, 1992).

Området er overvejende dækket af moræneler med få forekomster af morænesand (Fig. 7). Der er ingen daglokaliteter i dag. I udgravninger foretaget i forbindelse med råstofeftersforskning og borer har det dog været muligt at se disse sedimenter (Fig. 5). De kendte tykkelser er i det centrale vestlige område 14–25 m (se fig. 6). Mod syd øges tykkelsen af moræneleret til 35–46 m. Helt mod syd ved kysten er moræneleret overlejret af postglaciale havaflejringer. Mod nord ved Hyltofte øges tykkelsen af de kvartære aflejringer til mindst 52 m, hvoraf en del er smeltevandssand og -grus.

De øverste 5 m er hovedsageligt gulbrunt eller gråbrunt moræneler med kalk-klaste og en matrix rig på findelt kalk. Under dette ler findes en lys grøn eller grå, hård og tæt moræneler. Denne moræneler er sandet, stenet og delvis kalkcementeret og indeholder kalk og flint-klaste. Det lokale navn er 'Knald-ler'. Ler-mineralindholdet i lerfraktionen er på 10 til 20 % og indeholder 2 % smectitminerale, men moræneleret indeholder også lag af stærkt kalkholdigt lamineret gruset silt. CaCO_3 indholdet er på 50–60 % i lerfraktionen.

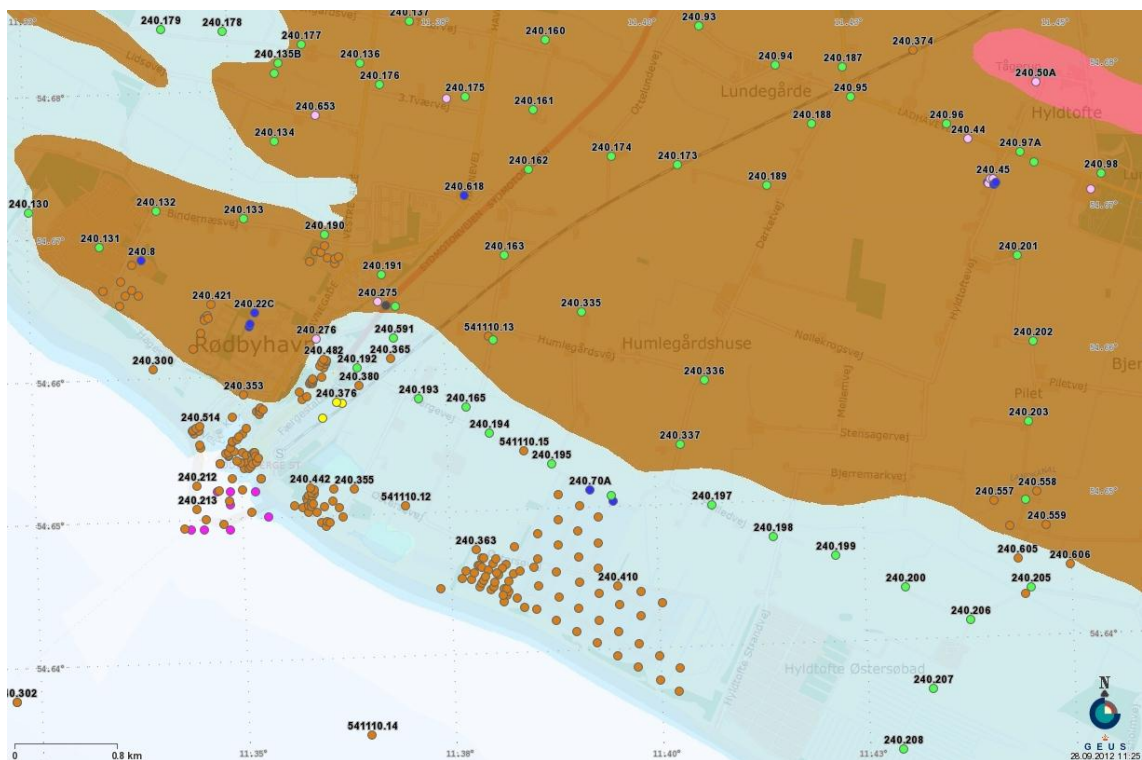


Fig. 7. Kort der viser de kvartærgeologiske forhold ned til 1 m under terræn (Fra GEUS hjemmeside: www.geus.dk).

Op til 6 m tykke grovkornede, grusede lag af smeltevandssand er fundet i den østlige del af området. Ofte er de øverste 1–2 m af det palæocæne ler forstyrret og opbrudt (breccieret

og opblandet med kvartært materiale) af gletsjeris, som har bevæget sig over området gennem Weichsel istiden.

5.2 Mineralogi og geokemi

De geokemiske forhold i aflejringerne har betydning for hvordan eventuelt radioaktivt materiale opfører sig, hvis det lækker fra et slutdepot og ud i de omgivende geologiske lag. Nedenfor gives nogle generelle betragtninger, da den lange række radioaktive komponenter kan opføre sig forskelligt i omgivende aflejringer.

Binding - adsorption

Et vigtigt element er, at det radioaktive materiale kan binde sig til aflejringerne. De øverste lag består af moræneler. Dette ler indeholder 10–20 % partikler i lerfraktionen og der er et højt kalkindhold på 50–60 %. Af lerfraktionen er der 2 % smectit-mineraler.

Det underliggende Holmehus ler indeholder ca. 1 % fint sand og et varierende forhold mellem ler og silt på 60%/40%. Det mineralogiske indhold er ca. 20 % kvarts og 55–69 % ler-mineraler. I gennemsnit ligger indholdet af smectit på 45–50 %.

Ler-mineraler, især smectit ler-mineraler er særligt velegnede til at binde radioaktivt materiale.

Dette betyder, at det palæocæne ler har et potentiale for at binde de radioaktive komponenter.

Redox forhold

Radionukleidernes opførsel i forhold til iltforholdene i jordlag og jordvand (Redoxforhold) vil afhænge af hvilke typer kemiske forbindelser og kemiske egenskaber, der er tale om. Desuden har komponenternes koncentrationer i jordlag og vand samt pH betydning for de processer, der vil forløbe.

I de øverste jordlag er der ilt til stede (oxiderede zone), og denne ilt kan f.eks. medvirke til at nogle radioaktive komponenter kan gøres mobile og her ved lettere transporteres. Omvendt vil forholdene i den iltfrie zone (reducerede zone) f.eks. medvirke til binde og fastholde andre radioaktive komponenter.

I området ser den oxiderede zone ud til at strække sig ned til 5 m under terræn. Det vil sige, at det meste af det kvartære moræneler og de palæogene Holmehus og Æbelø Formationer ligger i den reducerede zone.

Naturlige radioaktive komponenter i aflejringerne

Når der skal udføres monitoring omkring et etableret slutdepot er det vigtigt at kende udgangs- radioaktiviteten (Base-line). Der kendes få værdier for moræneler og Holmehus ler i området. Moræneleret er delt op i oxideret og reduceret moræneler.

| | Uran i ppm | Thorium i ppm | Radium i Bq/kg | Radon i atomer/sek x kg |
|-----------------|------------|---------------|----------------|-------------------------|
| Moræneler, oxi. | 1,4 | 5,0 | 20,8 | 5,1 |
| Moræneler, re. | 1,2-1,6 | 4.1-5,0 | 19,8-24,4 | 3,5-5,1 |
| Holmehus Form. | 2,0-2,5 | 9,9-13,0 | 28,6-34,8 | 10,6-12,9 |

5.3 Strukturelle forhold

Storskala strukturer

Der er en stor afbrydelse i lagsøjlen på meste af Sydlolland mellem skrivekridtet og de palæocæne ler-aflejringer, da Danien og Selandien grønsand og kalkholdigt ler mangler på det meste af Sydlolland. Dog er der på det seneste påvist Danien kalk og Seladien grønsandskalk lige uden for området ved Herridslev. Grænsens karakter er ikke så godt kendt, men er sandsynligvis en forkastning (Fig. 8). Talrige forkastninger synes i øvrigt at skære skrivekridtoverfladen, og mindre nedforkastede blokke er til stede bl.a. ved Herritslev med de bevarede Danien kalk og Selandien grønsands lag.

I områderne omkring Rødby og Søllested (ved Dannemare) skærer skrivekridt gennem de palæocæne aflejringer og findes lige under kvartæret. Dette skyldes tilstedeværelse og bevægelser i mindst to dybere liggende saltstrukturer (fra tidsafsnittet Zechstein), hvor saltaflejringerne f.eks. findes i ca. 1650 m's dybde ved Rødby strukturen.

De palæocæne ler-aflejrings tykkelse kendes fra tre boringer, men seismiske undersøgelser indikerer, at de er tynde tæt ved saltstrukturerne Rødby og Søllested. I den tektoniske dal syd for Nakskov ved Hillested, Holeby og Errindlev kan tykkelsen blive mere end 100 m, men de overliggende kvartære aflejringer er også tykke (op til 100 m). Mod vest vokser tykkelsen igen ifølge de seismiske undersøgelser, men ingen boringer kan dokumentere tilstedeværelsen af palæocæne ler-aflejringer. Beliggenheden af de palæocæne ler-aflejringer skyldes sandsynligvis bevægelser i saltstrukturerne, som kan have hævet leret efter aflejringen.

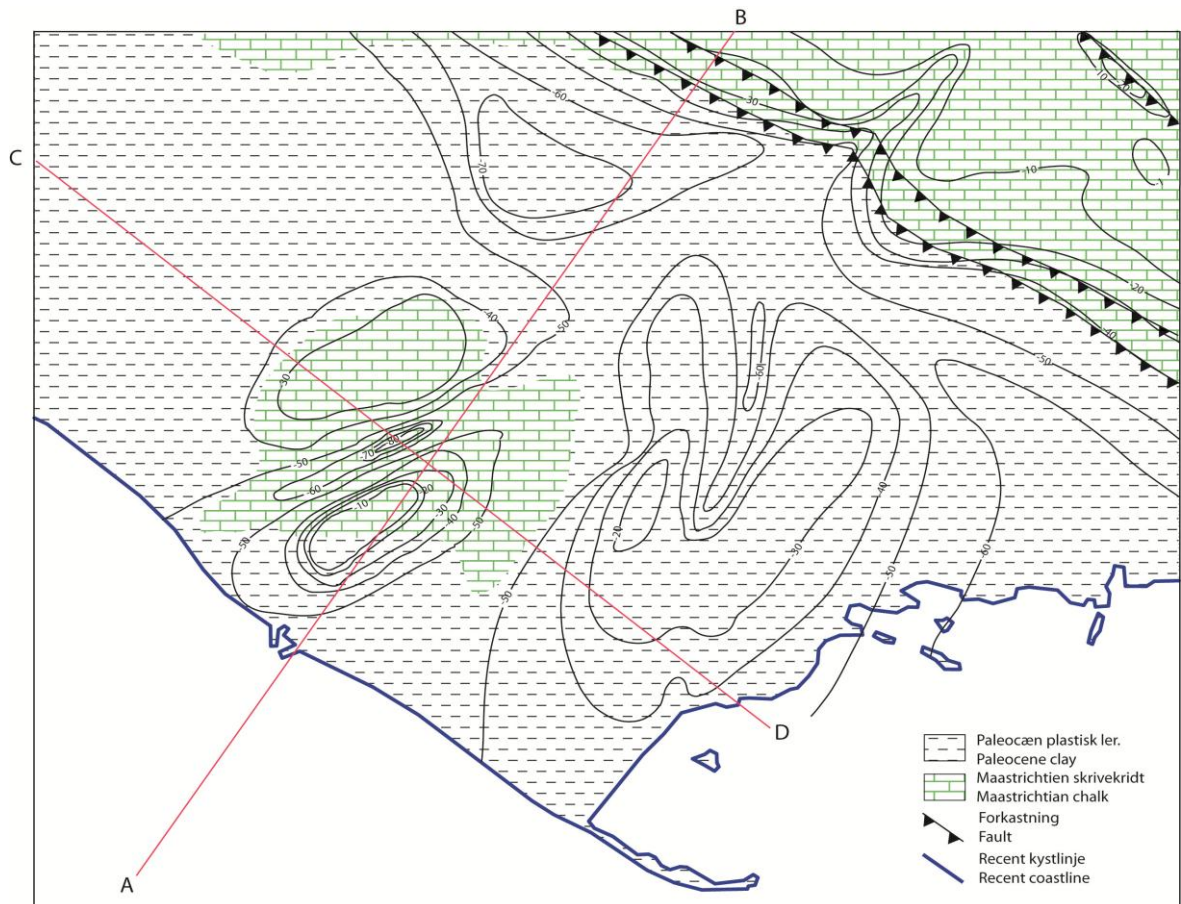


Fig. 8. Kort over de prækvartære aflejringer og strukturer. Kurverne viser de kvartære aflejrings tykkelse (Fra Klint & Rasmussen, 2006).

Undersøgelserne viser, at lerlagene er lokaliseret tæt ved terrænoverfladen i tre områder: Nord for Hyltofte Fæland, ved Rødby Fæland samt under Rødbyhavn og øst herfor.

I Femern Bælt findes endnu en saltstruktur, og Maastrichtien skrivekridt former en dome omgivet af palæocænt ler, dækket af kvartære sedimenter. Nye boreriger med lithostratigrafiske og biostratigrafiske bestemmelser af sedimenterne viser tilstedeværelsen af palæocæne formationer inden for området.

Palæocæne flager i moræneler indikerer, at den øvre del af de palæocæne aflejringer kan være forstyrrede og eroderet af istidens gletsjere lige syd for området, men ellers viser geofysiske undersøgelser og boreriger ikke tilstedeværelsen af glacialtektoniske flager. En forkastning i skrivekridtet langs Lollands sydkyst er vanskelig at spore op i ler-aflejringerne, men bevægelser kan være ansvarlige for forskellige niveauer af de palæocæne og eocæne aflejringer mellem borerigerne på land og i Femern Bælt.

Et system af begravede kvartære dale på Lolland krydser fra Maribo mod sydvest. Syd for Holeby drejer en dal mod syd og stopper ved Hyltofte. Hoveddalen fortsætter videre under Rødby og når kysten ved Rødbyhavn (Fig. 9).

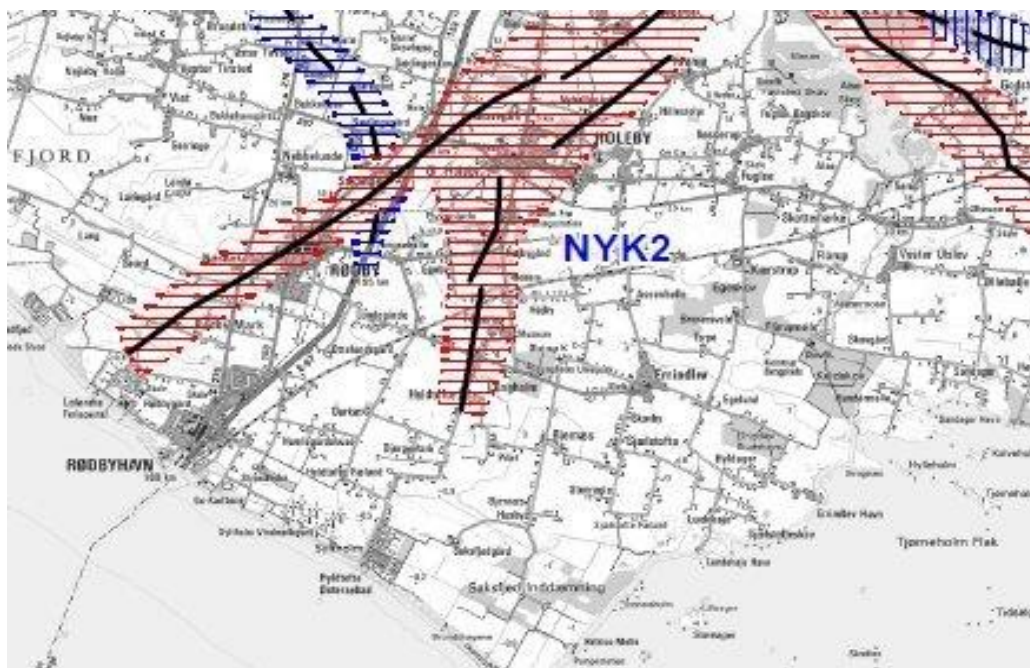


Fig. 9. Tilstedeværelse af begravede dale. Kortgrundlag: Copyright Kort- og Matrikelstyrelsen (Fra Jørgensen & Sandersen, 2009).

Sprækker og sandlinser

Moræneler, som ligger over de palæocæne ler-aflejringer, er erfaringsmæssigt gennemsat af vandrette, lodrette og skrå sprækkesystemer ned til 8–10 m under terræn. Sprækkerne fungerer som makroporer for transport af vand og opløst stof. Moræneler indeholder også sandlinser, som ofte er vandfyldte, og kombinationen af makroporer og sandlinser kan virke som effektive transportveje for vand og stof.

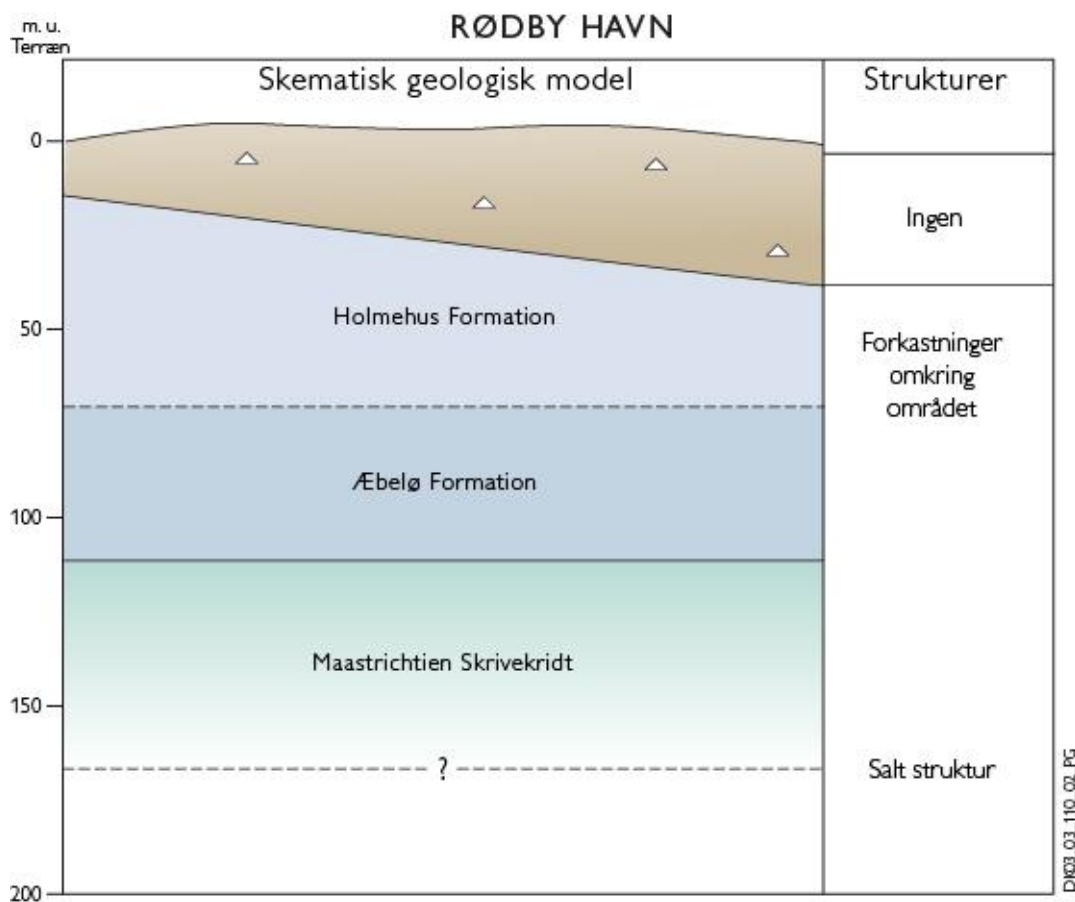
5.4 Geologisk model

Den geologiske og strukturelle model for området består af fem enheder (Fig. 10):

- A. Kvartær moræneler op til 5 m tyk. Sandet, gruset gulbrunt.
- B. Kvartær moræneler 10 til 30 m tyk: Sandet, gruset, olivengråt, tæt og fast stedvis CaCO_3 -cementeret. Enkelte sand- og gruslag.

- C. Palæocæn Holmehus Formationen 35–40 m tyk. Marin aflejring. Meget finkornet plastisk ler, grønt eller brunt.
- D. Palæocæn Æbelø Formationen 35–40 m tyk. Marin aflejring. Siltet og finkornet grå ler.
- E. Maastrichtien skrivekridt. Slammet skrivekridt med flint-konkretoner.

Den skematiske model viser ikke aflejringernes præcise beliggenhed, men er en illustration af de tilstedeværende aflejringer.



Figur 10. Skematisk geologisk model for området.

5.5 Konklusion

Der er i den sydlige del af området tykke, sammenhængende ældre palæocæne lerlag på op til 80 m ´s tykkelse, som ligger uforstyrrede. Ler-aflejringernes egenskaber forventes at kunne tilbageholde et eventuelt udslip af radioaktivt materiale fra et depot.

De overliggende yngre kvartære aflejringer består overvejende af moræneler, som er mellem 5 og 40 m tykt. I moræneler er der erfaringsmæssigt sprækker og sandlinser.

6. Seismisk aktivitet og jordskælv

Slutdepotet bør placeres i et jordskælvmæssigt stabilt område uden brudlinjer/forkastninger i de geologiske lag (Beslutningsgrundlaget fra 2007).

Denne redegørelse er en opsummering af eksisterende data for jordskælvsaktivitet ved Lolland. Undersøgelsen omfatter både instrumentelt bestemte epicentre, som eksisterer fra 1930 til i dag, samt historiske beretninger fra 1632 til 1929. Der er ikke indsamlet nye data i forbindelse med undersøgelsen.

6.1 Metoder og anvendte begreber

Mulighederne for at evaluere rystelser på dansk område er væsentlig forskellige for tiden før 1930 end for tiden efter 1930. Den skyldes, at den første danske seismograf blev taget i brug i 1930. Rystelser, som er mærket i Danmark før 1930, kan udelukkende evalueres ud fra historiske beretninger, og der er ingen samtidige instrumentelle data til at understøtte konklusionerne.

Et jordskælvs styrke kan opgøres på to fundamentalt forskellige måder:

1) Jordskælvets størrelse på Richterskalaen kan udregnes ved hjælp af instrumentelle målinger (seismogrammer) og en matematisk formel. Denne størrelse er et mål for hvor meget en seismograf ville ryste, hvis den stod 100 km fra epicentret. Richterskalaen er logaritmisk, dvs. et jordskælv som måler 4 på Richterskalaen, giver 10 gange så stort udslag på seismografen som et jordskælv, der måler 3 på Richterskalaen. Richterskalaen har hverken en øvre eller en nedre grænse. Det største danske jordskælv, som er målt på denne måde, fandt sted i Kattegat d. 15. juni 1985. Det målte 4,7 på Richterskalaen.

2) Mercalli-skalaen er en intensitetsskala, som bruges til at beskrive jordskælvets virkning på mennesker, bygninger og natur. Skalaen har 12 trin, hvor 1 anvendes når jordskælv ikke kunne mærkes og 12 beskriver komplet ødelæggelse. 3–4 på Mercalli-skalaen betyder at rystelserne fra et jordskælv tydeligt kunne mærkes inden døre med knirken og raslen i huset. 5 på Mercalli-skalaen betyder at rystelserne var kraftige nok til at få f.eks. en hængelampe til at svinge eller få små, løse genstande på et bord til at rykke sig. Det største danske jordskælv, som er målt på denne måde, fandt sted d. 3. april 1841 i Nordsøen ud for Thy. Her nåede intensiteten op på 7, som beskriver at der var skader på middelgode bygninger, i dette tilfælde revner i kirker og nedfaldne skorstene.

Richterskalaen har den fordel i forhold til Mercalli-skalaen, at der ikke indgår menneskelige skøn, når størrelsen skal bestemmes.

Uden instrumentelle data er det hverken muligt at beregne et jordskælvs epicenter eller dets styrke på Richterskalaen, som er et mål for hvor store rystelser der registreres på

seismograferne. Et pålideligt Richtertal kan derfor kun tilknyttes jordskælv efter 1930. Ældre jordskælvs styrke angives derfor i stedet på Mercalli-skalaen, som er en 12-trins skala der beskriver et jordskælvs virkning på mennesker, natur og bygninger. Det er vigtigt at understrege, at et jordskælvs intensitet på Mercalli-skalaen **ikke** svarer til jordskælvs størrelse målt på Richterskalaen. Ved at sammenligne ældre jordskælvs observerede intensitet på Mercalli-skalaen med nyere jordskælvs intensitet, vurderet ud fra de samme kriterier i det samme område, er det i nogle tilfælde muligt at anslå et omtrentligt Richtertal og ligeledes et omtrentligt epicenter.

6.2 De instrumentelt registrerede rystelser

Det er GEUS vurdering, at alle jordskælv på dansk område siden 1930, som er mindst 3,0 på Richterskalaen, er blevet registreret. I de seneste 10 år er instrumenteringen forbedret så meget at alle jordskælv over 2,5 på Richterskalaen er registreret. Mindre jordskælv er også fanget af seismograferne, men det kan ikke garanteres at samtlige små rystelser er at finde i databaserne.

Usikkerheden på de beregnede epicentre afhænger af antallet af seismografer, som har registreret rystelsen, samt seismografernes geografiske fordeling i forhold til epicentret. De større rystelser er typisk registreret på flere seismografer end de små, hvilket forbedrer lokaliseringens nøjagtighed. Usikkerheden er større på de ældre jordskælv end på de nyeste. Konservativt sat er usikkerheden på de danske epicentre op til 50 km.

Søgningen er gennemført i følgende databaser:

1. GEUS jordskælvsdatabase,
2. International Seismological Centre On-Line Bulletin
3. Grünthal - Wahlströmkataloget

Databasesøgningerne resulterer i bruttolister over registrerede rystelser, som kræver nærmere evaluering af en seismolog. Automatisk genererede jordskælvslistor indeholder bl.a. rystelser, som er registreret på blot en enkelt eller to seismografer, og hvor usikkerheden på det angivne epicenter nemt kan overstige 100 km. Dette er bl.a. tilfældet med den automatisk genererede jordskælvsliste, som kan findes på www.geus.dk. I denne rapport er disse små og meget usikkert bestemte rystelser fjernet fra jordskælvslisten.

Forsvaret sprænger ofte gamle miner i de danske farvande. Rystelserne fra disse sprængninger registreres på seismograferne. I mange tilfælde oplyser SOK GEUS om sprængningerne, så de kan fjernes fra listerne over mulige jordskælv. Det er dog ikke altid, GEUS får disse oplysninger, hvorfor jordskælvslistor kan indeholde rystelser, som stammer fra sprængninger. Sprængninger, som ikke er oplyst, kan i nogle tilfælde identificeres ved nærmere granskning af seismogrammerne, men i tvivlstilfælde beholdes rystelsen på listen.

6.3 Instrumentalt bestemte epicentre 1930–2012 på og omkring Lolland

Der er foretaget databasesøgninger inden for en radius af ca. 50 km fra Rødbyhavn.

Søgningen resulterede i 3 unikke events, som ikke entydigt er markeret som eksplosioner. Ingen af disse events har epicentre på Lolland. En yderligere sortering blev herefter foretaget. Det ene event, fra 1930, findes kun i GEUS database uden nærmere kildeangivelse. Da rystelsen har sit epicenter på Sjælland, og i øvrigt er lille (2,0 på Richterskalaen) er den ikke medtaget i det følgende.

Efter denne sortering står 2 rystelser tilbage, som er markeret på kortet. Den ene er så lille, at det ikke har været muligt at beregne et Richtertal, den anden måler blot 1,8 på Richterskalaen (Fig. 11).

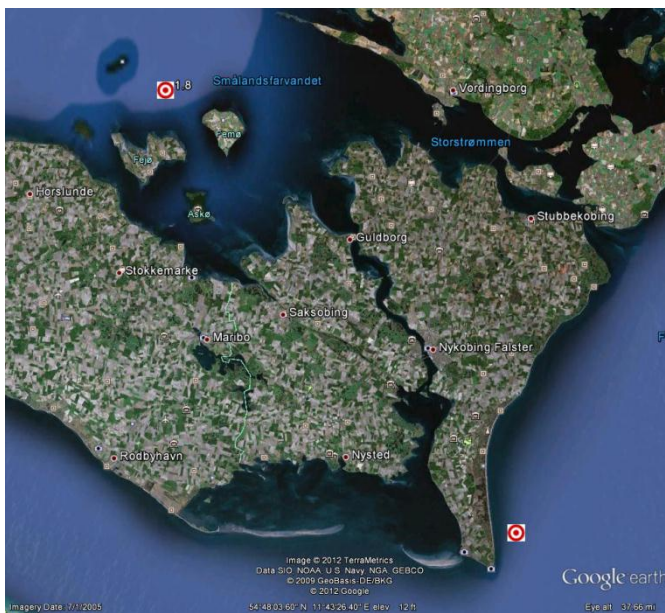


Fig.11. Kort som viser jordskælvsepicentre omkring Lolland.

6.4 Præ-instrumentelle rystelser på og omkring Lolland

Præ-instrumentelle jordskælv kendes kun fra beretninger, og især i ældre beretninger kan det være svært at skelne jordskælv fra andre naturfænomener såsom storm og tordenvejr. Uden håndfaste målinger kendes, som ovenfor anført, hverken epicenter eller jordskælvet størrelse på Richterskalaen. I nogle tilfælde er det muligt at angive et omtrentligt epicenter og Richtertal, men disse skøn er behæftede med betragtelige usikkerheder.

Historiske beretninger indeholder mange værdifulde oplysninger om ældre jordskælv. Det er dog vigtigt at læse de historiske beretninger kritisk, da de neutrale beskrivelser af rystelserne ofte blandes med mere eller mindre fantasifulde fortolkninger og følgeslutninger på grund af datidens begrænsede forståelse af geofysiske processer. Det er også vigtigt at søge historiske oplysninger om en rystelse over et større geografisk område, og derved sammenstykke et retvisende billede af rystelsernes udbredelse. F.eks. kunne det store, ødelæggende Lissabon-jordskælv i 1755 mærkes tydeligt over det meste af Europa, men

hvis der kun hentes oplysninger om dette jordskælv fra meget lokale kilder i Danmark, kan man fejlagtigt tro at der var tale om et lokalt, dansk jordskælv.

De historiske danske kilder indeholder ingen oplysninger om jordskælv på Lolland. Det tætteste vi kan komme er Harboe (1915), som nævner nogle lette jordrystelser, der fandt sted "Natten den 14–15 Septbr. 1906 paa Femern og nogle danske Øer". Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) anslår det pågældende jordskælvs epicenter til positionen 55,5002°N, 11,15°Ø med en usikkerhed på ± 30 km. Jordskælvet er ikke medtaget i Grünthal & Wahlström-kataloget (2012).

6.5 Diskussion

Danmark og især de danske farvande rammes jævnlige af meget små jordskælv. De færreste af disse jordskælv er kraftige nok til, at mennesker kan opfange de svage rystelser. Det hænder dog at de danske jordskælv er kraftige nok til, at også mennesker lægger mærke til rystelserne, men egentlige bygningskader forårsagede af rystelser fra jordskælv er meget sjældne. Der har dog været enkelte historiske eksempler på skader. Særligt jordskælvet i 1841 i Nordvestjylland som med stor sandsynlighed forårsagede en mindre, men synlig forskydning i jordoverfladen er bemærkelsesværdigt. Lignende forskydninger er observeret ved moderne jordskælv i udlandet, f.eks. jordskælvet i Kaliningrad i 2004, som målte 5,0 på Richterskalaen. Her blev det konkluderet at mindre forskydninger i jordlagene skyldtes sekundære effekter – sedimenter som satte sig pga. rystelserne – og at der ikke var tale om dybere forskydninger på en overfladenær forkastning.

Seismisiteten i hele Danmark er meget lav, men en lille smule højere i det nordvestlige Jylland end i resten af landet.

6.6 Konklusion

Intet tyder på at Lolland er seismisk aktiv. Hverken historiske kilder eller de instrumentelle målinger detekterer nogen seismisk aktivitet på øen.

7. Grundvand og drikkevand

For begrænset vands strømning væk fra depotet bør det ligge på/i lavpermeable bjergarter. Det er bedst med lange strømningsveje og ringe strømning af grundvand. Der skal tages hensyn til drikkevandsinteresser og ses bort fra OSD-områder. Det skal sikres, at der ikke sker forurening af drikkevandsressourcer (Beslutningsgrundlaget fra 2007).

7.1 Generelle grundvandsforhold

I Rødbyhavn-området er der ingen dybe eller overfladenære grundvandsmagasiner, men der er et mindre regionalt sandmagasin lige øst for Rødbyhavn, hvor den præcise udbredelse dog er ukendt. Der er ingen grundvandsindvinding i området til offentlige vandværker, markvanding og erhverv. Nord for Rødbyhavn-området er der flere indvindingsboringer i det regionale sandmagasin. Der er tre tilladelser til indvinding af overfladevand på det sydlige Lolland omkring Rødbyhavn, men kun én tilladelse lige øst for Rødbyhavn tæt ved kysten (Fig. 15).

Dybtliggende salt grundvand kendes fra områder med højtliggende permiske saltstrukturer (diapirer) bl.a. fra Nordjylland, Sjælland og Lolland-Faster. Det høje porevandttryk i de prætertiære lag kan få saltvandet til at bevæge sig opad. Forekomst af vandstandsende tertiære (Palæogene og Neogene) lerlag vil medvirke til at det dybe saltvand ikke trænger opad. I skrivekridtet på Sydlolland er dybtliggende grundvandet fundet mere eller mindre saltholdigt.

7.2 Drikkevandsområder

De vigtigste grundvandsressourcer for drikkevandsforsyningen er udpeget som 'områder med særlige drikkevandsinteresser' (OSD), som skal dække det nuværende og fremtidige behov for vand af drikkevandskvalitet. I disse områder skal der gøres en målrettet, ekstra indsats for at beskytte grundvandet, som giver mulighed for at forebygge forurening og for at fjerne allerede eksisterende forurening.

OSD er kerneområderne i den målrettede grundvandsbeskyttelse. Det medfører, at sådanne områder betragtes som strategiske indvindingsområder, og at kommunerne i deres fysiske planlægning skal tage hensyn til grundvandsressourcerne samt indvindingsoplandene til almene vandværker.

Ved forstudierne blev OSD-områderne ikke inddraget i kortlægningen, men det var ikke muligt helt at undgå OD-områderne.

Fordeling af drikkevandsområder i Rødbyhavn-området kan ses på fig. 12. Det mest af området er klassificeret som område med begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser, men den nordlige del når lige ind i et OD-område. I en afstand på 3–5 km nord for Rødbyhavn-området er et areal klassificeret som område med særlige drikkevandsinteresser (OSD).

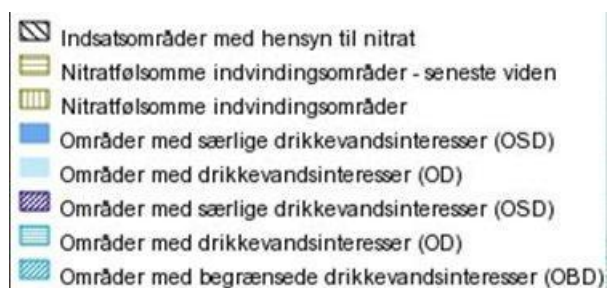
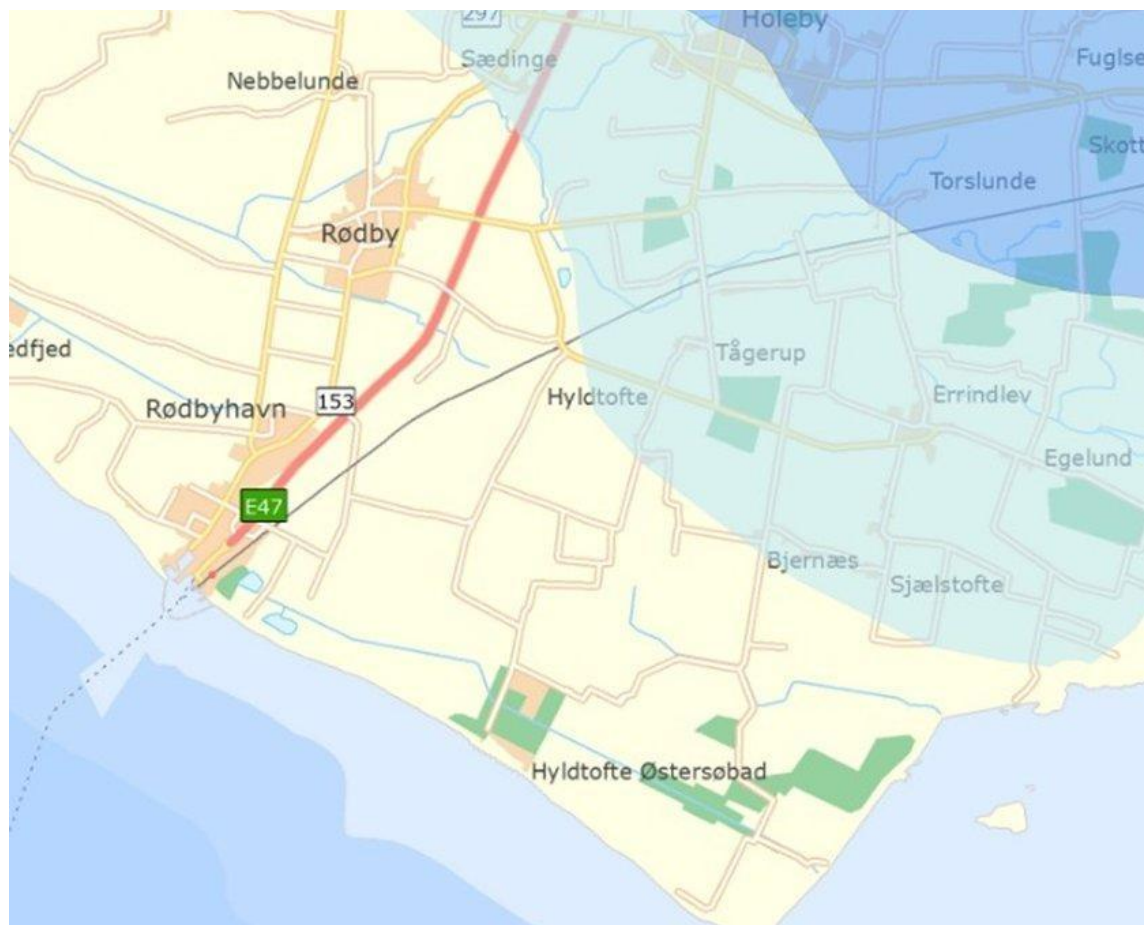


Fig. 12. Kort over drikkevandsinteresser omkring området. Med gult er markeret OBD-områderne. (Fra www.miljoportalen.dk).

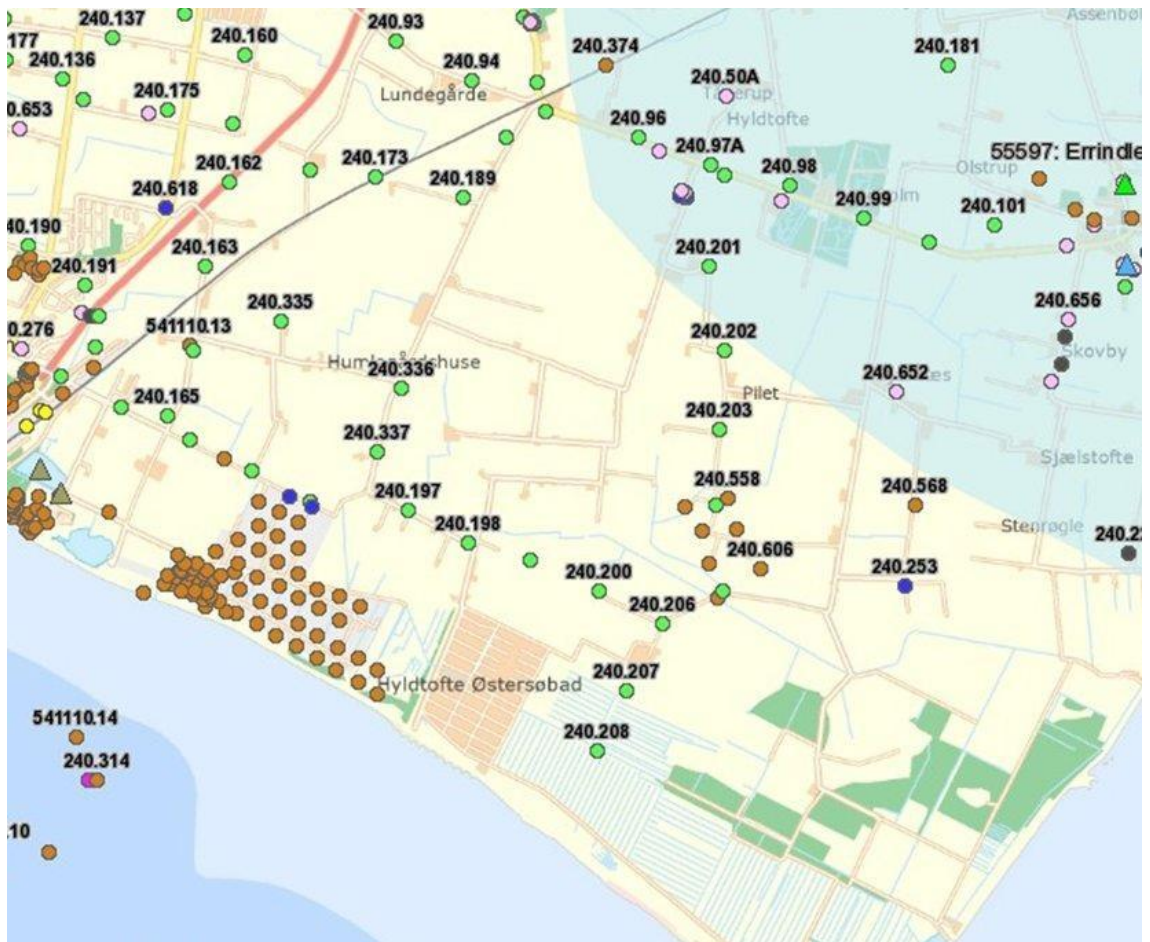


Fig. 13. Kort over vandforsyningsinteresser i området. Med gult er markeret OBD-områderne (Fra www.miljoeportalen.dk).

7.3 Lokale forhold

I Rødbyhavn-området er der ingen grundvandsindvinding i området til offentlige vandværker, markvanding og erhverv. Der er en tilladelse til at indvinde overfladevand lige øst for Rødbyhavn tæt ved kysten (Fig. 15).

Grundvandstrømning vurderes at være mod Østersøen og Femern Bælt.

Der er et begrænset kendskab til eventuelle tidsmæssige ændringer i kloridindholdet i grundvandet i Rødbyhavn-området. Femogtyve år gamle kloridanalyser i indvindingsboringer på Errindlev vandværk beliggende nord for området indikerer stigende koncentrationer af klorid i intervallet fra 250–500 mg Cl/l.

7.4 Konklusion

Der er kun meget begrænsede lokale grundvandsmagasiner i områder, da der ikke findes store sand-grus-enheder i området. Dybereliggende skrivelag indeholder salt grundvand.

8. Klima og klimaændringer

Klimaændringer og havstigninger bør ikke kunne påvirke slutdepotet i væsentlig grad.

8.1 Temperatur og nedbør, storme og ekstreme

DMI's beregninger med globale og regionale klimamodeller viser følgende generelle udvikling for klimaet i Danmark i 2100 i forhold til 1990 for A2- og B2-scenarierne (Fra DMIs hjemmeside):

- En stigning i den årlige middeltemperatur på 0,7–4,6° C. Opvarmningen er størst om natten. Der er kun lille forskel på temperaturstigningen sommer og vinter.
- En moderat stigning i vinternedbøren (20–40 % af den nuværende nedbør).
- En tendens til flere episoder med meget kraftig nedbør, især om efteråret.
- I vækstsæsonen længere perioder uden nedbør (øget tørkerisiko).
- Jordfugtighed aftager, især i forårs- og sommermånederne.
- Styrken i de kraftigste storme omkring Danmark vil sandsynligvis forøges.
- Havniveauet ved alle danske kyster undtagen i Nordjylland er stigende, og stigningerne forventes at blive kraftigere i de næste 100–200 år på grund af klimaforandringer. Stigningsraten er forbundet med en del usikkerhed - især på grund af usikkerhed i bidraget fra smeltende gletsjere og iskapper. Havspejlet omkring Danmark forventes at stige 0,2 m – 1,4 m frem til år 2100. Stigningen kompenseres delvist af landhævninger, ligesom der er mindre forskelle i havspejlsændringerne mellem landsdelene. Ændringerne i havniveau vil sammen med ændrede vindmønstre føre til øgede stormflodshøjder. Se mere i temaet: Fremtidens vandstand.

8.2 Havniveauændringer

For det globale havområde regnes der med en havstigning på grund af smeltning af de store gletsjere ved polerne og på grund af varmeudvidelse af havvandet. Der findes en række forskellige modeller (IPCC's modeller) som giver forskellige forudsigelser frem til 2100: Mellem 11 og 65 cm's stigning, mellem 16 og 75 cm's stigning og mellem 10 og 90 cm's stigning. De forholdsvis store forskelle i modelforudsigelserne skyldes modelusikkerheder. Nyere forudsigelser peger på endnu højere stigninger af havspejlet omkring Danmark på 80 ± 60 cm til max. 1,5 m år 2100. Mod år 2200 kan der komme yderligere stigninger, men estimerer heraf er yderst vanskelige og behæftet med meget stor usikkerhed.

Store dele af Rødbyhavn-området ligger mellem kote + 0,5 m og kote + 4 m og terrænet er fladt. Helt mod syd ved Hyltofte Fælland er der terræn under kote 0 m.

Selv om der f.eks. påregnes en stigning på maks. 1,5 m i det danske havområde (år 2100), er det vanskeligt at forudsige, hvordan en sådan stigning vil slå igennem langs Lollands sydkyst. Langs sydkysten findes et dige med digekrone, som er mindst i kote + 4,0 m så ved den påregnede maksimale stigning på 1,5 m vil området stadig ikke blive oversvømmet

i roligt vejr. Men størrelsen på 1,5 m skal i stormvejrssituationer tillægges et bidrag fra en stuvningseffekt og en bølgehøjde, og så er det samlede vandstands niveau vil være tæt ved de 4 m., og eventuelt over. Man må dog forvente, at der sker en øgning af digekronen i takt med en eventuel havspejlsstigning, ligesom der formentlig vil ske en øgning af digekronen af hensyn til sikkerheden omkring den kommende faste forbindelse til Tyskland.

Det kan desuden bemærkes, at der inden for de sidste 100 år er sket en beskedent netto havniveaustigning på ca. 1 mm/år, målt på station ved Gedser. Endelig er den vertikale landhævning i området vurderet til at være ca. 0 mm pr. år, hvorfor den hverken vil øge eller reducere effekten af havspejlsstigningen.

8.3 Ekstreme hændelser

Rødbyhavn-området har forud for det omfattende digebyggeri i løbet af 1870'erne været eksponeret for stormfloder og oversvømmelser på grund af det lavtliggende terræn i kombination med den geografiske placering ud til Østersøen. I november 1872 blev kysterne langs de indre danske farvande, og i særlig grad Lolland og Falster ramt af den værste stormflod i nyere tid. De højeste vandstande nåede 3,3 m over daglig vande; de daværende diger blev gennembrudt, store lavtliggende områder blev oversvømmet og mere end 90 mennesker mistede livet. Stormfloden blev så alvorlig fordi store vandmasser efter adskillige dage med kraftig vestenvind var stuvet op i den østlige del af Østersøen. Da vinden over Østersøområdet og Danmark derefter slog om i nordøst og med stormstyrke sendte store vandmasser ned gennem Østersøen samtidig med at vandet også fra Kattegat blev presset sydpå, opstod den katastrofale stormflodssituation, der særligt ramte den sydvestlige del af Østersøen.

Efter stormfloden, i løbet af 1870'erne og afbrudt af endnu en stormflod, gennemførte man store kystbeskyttelsesarbejder i området, bl.a. etableringen af det nuværende dige til 4 m over daglig vande. Selv om det var samspillet af en række forskellige vejr-situationer, der foranledigede den voldsomme stormflod, og en tilsvarende situation ikke i samme styrke har vist sig siden, kan det ikke udelukkes, at det vil ske igen.

Så sent som 1. november 2006 indfandt der sig en stormflodssituation, der er karakteriseret som historisk. De fleste steder i de indre danske farvande nåede havniveaulet op på 1,6-1,8 meter hvilket er de højeste vandstande, der er målt i løbet af de godt 100 år, der systematisk er blevet registreret vandstande. Ved Rødby nåede vandet 160-170 cm. og diger på Lolland og Lilleø (nord for Lolland) blev gennembrudt og evakuering kom på tale. Stormfloden kom ikke til at koste menneskeliv, men ca. 100 får druknede.

Det 4 m høje dige skal beskytte mod oversvømmelser af havvand. Der er ingen danske eksempler på hvorledes en større stormflod af havvand har forurenede kystnære borer og grundvandsmagasiner over længere tid. Der findes få udenlandske studier af sådanne situationer. Effekter af 2004 Tsunamien i brønde og grundvandsmagasiner langs østkysten af Sri Lanka viste, at 1 til 1½ år efter oversvømmelsen var de øverste 2,5 m af grundvandsmagasinerne vendt tilbage til ferskvandsforhold. På basis af modelberegninger vil alt det salte oversvømmelsesvand være skyllet ud af grundvandsmagasinet til stor dybde.

I den forbindelse må der peges på den lave saltholdighed i Østersøen. Mens Nordsøen har en saltholdighed på 35 promille, aftager saltholdigheden ned gennem de danske bæltter til en saltholdighed i den centrale Østersø på omkring 7–8 promille (med dybden dog 8–13 promille).

8.4 Salt grundvand

I kystzonen, hvor der er en direkte udstrømning af grundvand til havet, vil man normalt finde en fersk grundvandszone underlejret af tungere salt grundvand. Det salte grundvand strækker sig i en kileform ind under det ferske grundvand (Fig. 14). Hvor man i homogene grundvandsmagasiner finder en enkelt veldefineret kile, kan der i mere heterogene magasiner etablere sig flere saltvandskiler i forskellig dybde (Se også bilag B).

Hvis grundvandet strømmer direkte mod kysten, vil skillefladen til det salte vand være karakteriseret ved en gradvis overgang fra det ene lag til det andet. Dette skyldes, at grænsens beliggenhed ikke er stabil, men ændrer sig i takt med f.eks. havspejlsvariationer (tidevand) og variationer i grundvandsstrømmen.

Det er vigtigt at bemærke, at da de udvalgte områder som undersøges nærmere med henblik på deponering af Risø affaldet er beliggende i lavpermeable sedimenter vil der være behov for en mere avanceret beskrivelse af salt-ferskvandsgrænsen, der tager højde for disse lokale hydrogeologiske forhold.

Det 4 m høje dige skal beskytte mod oversvømmelser af havvand. Inden for diget på landsiden er der et omfattende dræningssystem i form af grøfter, som er etableret 1–3 m under havniveau for at holde landoverfladen tør. Pumpestationer inden for forskellige oplande pumper grundvand og overfladevand ud i havet (Fig. 15). Grundvandsspejlet tættest ved kysten kan derfor ligge lavere end i havet uden for diget. I forbindelse med havspejlsstigninger vil det antagelig være af betydning om dræningen på landsiden fortsætter som hidtil (head-controlled system), idet positionen af salt-ferskvandsgrænsen må forventes at flytte sig mere terrænnært, hvis havet stiger samtidig med at grundvandsspejlet på landsiden fastholdes.

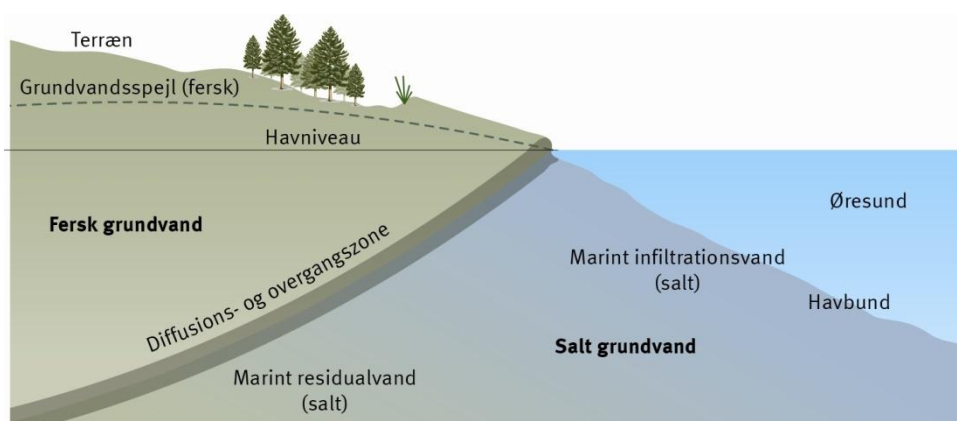


Fig. 14. Relationer mellem fersk grundvand og salt grundvand ved kysten (Efter Kristiansen et al. 2009).

Omvendt vil salt-ferskvandsgrænsens placering kun i lille grad blive påvirket hvis grundvandspejlet kan stige frit i takt med at havvandspejlet eventuelt stiger (Flux-controlled system). De to skitserede scenarier bør gennemregnes med numeriske modeller med udgangspunkt i lokale hydrogeologiske forhold og saltkoncentrationer i grundvand og havvand i området ved Rødbyhavn.



Fig. 15. Pumpningsoplande vist med forskellige stregsignaturer. Blå prikker viser beliggenhed af overfladeindvinding (Fra Femern, Sund og Bælt, 2011).

8.5 Konklusion

Fremtidige klimæændringer vil generelt have begrænset betydning for området. Stigende havniveau vil ikke overstige de nuværende diger, men i ekstremesituationer med stormforhold vil der blive et voksende pres på digerne. Stigende havniveau vil også give øget salt grundvand under land, men den lave saltholdighed i Østersøen vil mindske denne påvirkning.

9. Arealplanlægning og bindinger

Inden for og i områderne rundt om Rødbyhavn har arealanvendelse og planlægningen medført en række reguleringer under forskellige plan- og miljølove. Disse forhold vil blive berørt nedenfor.

I og omkring Rødbyhavn-området er opgjort fordeling og antal indbyggere samt afstand til bymæssig bebyggelse.

Fordeling af antal indbyggere:

Rødbyhavn: 1814 indbyggere (2011)

Rødby: 2185 indbyggere (2011)

Errindlev: 309 indbyggere (2011)

Holeby: 1558 (2011)

Afstand til bymæssig bebyggelse:

Rødbyhavn: Ca. 0,5 km fra området

Rødby: Ca. 1,5 km fra området

Errindlev: Ca. 0,6 km fra området

Holeby: ca. 4 km fra området

Rødbyhavn er en havneby lige vest for området, mens Rødby ligger mod nordvest.

Den vestlige del af området er krydset af jernbanen. Resten af området er overvejende landbrugsområde. De fleste af husene er beliggende langs vejene, hvor der også ligger store marker. Vindmøller er lokaliseret i de østlige dele af området vest for Bjernæs Husby og syd for Bjernæs.

Kapitel 9 bygger overvejende på informationer i notatet fra Lollands Kommune (2012).

9.1 Bindinger

Område 4 - Bindinger

Rødbyhavn Lolland

Udarbejdet: April 2012

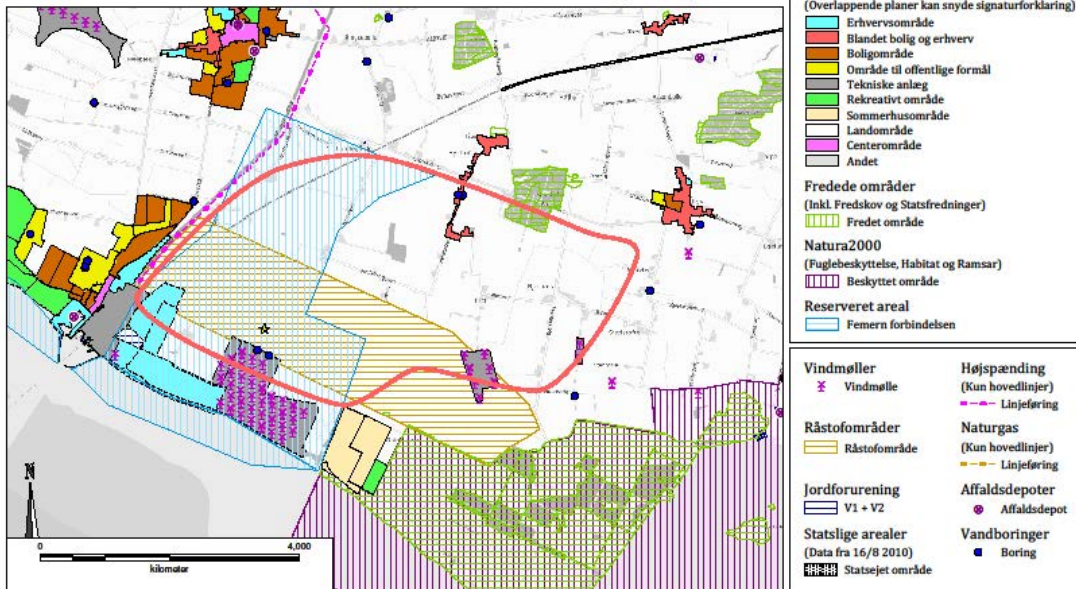


Fig. 16. Kort over bindinger inden for og omkring Rødbyhavn-området (Naturstyrelsen, 2012).

Kortet er udarbejdet af Naturstyrelsen april 2012 på baggrund af de mest opdaterede data (se bilag C). Kortene viser de eksisterende bindinger på området. Udover de viste bindinger er der også en generel 300 m strandbeskyttelseslinje. Området er også omfattet af kystnærhedszonen. Afgrænsningen for Rødbyhavn området (rød linje) er ifølge den oprindelige udpegning, se Fig. 1.

9.2 Udvikling

Udviklingsområdet Maribo-Holeby-Rødbyhavn er afgørende for Lolland Kommunes fremtidige udvikling (Fig. 17). I disse år flytter virksomhederne ind på de store arealer, der er udlagt langs motorvejen, og den udvikling ventes at tage til frem mod åbningen af den faste Femern forbindelse.

Desuden er Lolland Kommune, i forbindelse med kommuneplanrevisionen, i gang med at flytte udlagte erhvervsarealer ved sydkysten op mod nord, hvilket yderligere vil beslaglægge arealer i den vestlige del af området.

Helt mod nord i området er BaneDanmark i samarbejde med Lolland Kommune i gang med planlægning af en ny togstation til afløsning af stationen i Rødbyhavn. I den forbindel-

se vil hele arealet omkring Lundegårde blive udlagt til byudviklingsområde i den kommende kommuneplan (Fig. 17).

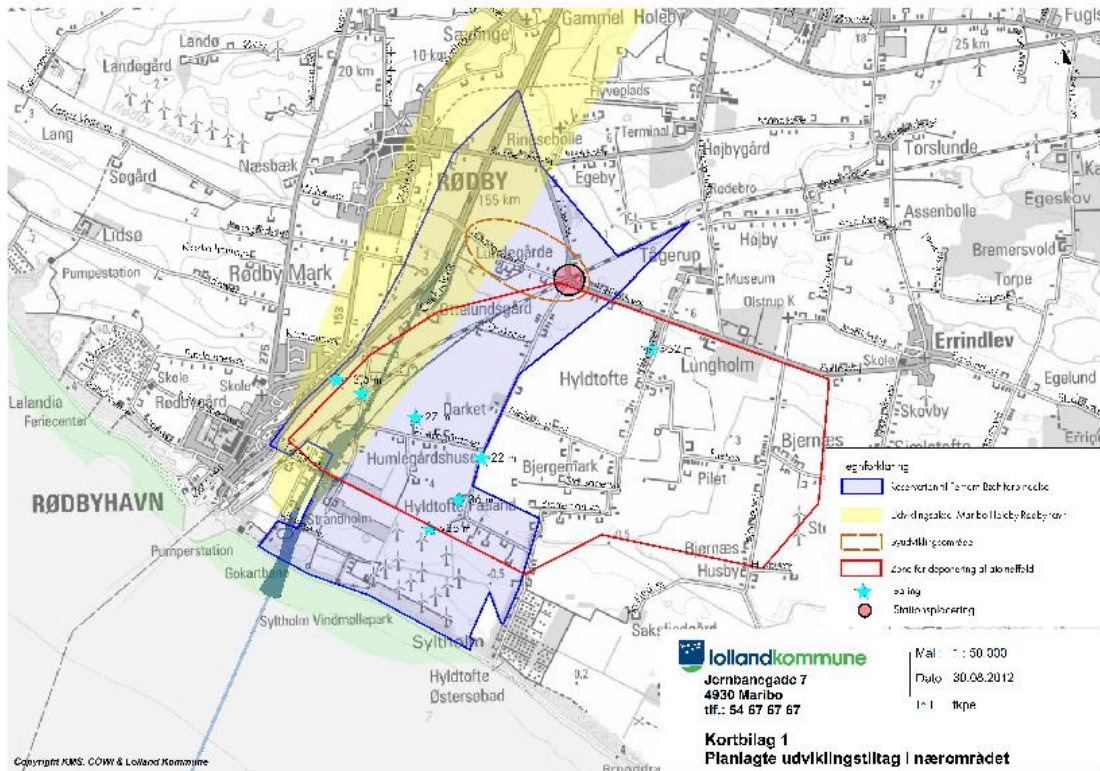


Fig. 17. Kort over planlagte udviklingstiltag inden for og omkring området (Fra Lolland Kommune, 2012).

Den vestlige del af området er reserveret til Femern Forbindelsen. I forbindelse med anlæggelsen har Femern A/S fremlagt et forslag, der er godkendt af Lolland Kommunes byråd, om at etablere et nyt forland langs kysten, der skal ligge som et stort naturområde og i sammenhæng med dette en "strandpark" på den østlige side af Rødbyhavn (Fig. 17 og 18). Hele forlandet skal bindes sammen med baglandet via stisystemer. Det forventes, at arealet på sigt kan udvikle sig til et meget værdifuldt naturområde. Det forventes ligeledes, at den nye strandpark vil medføre et stort antal turister til Rødbyhavn-området, både danske og udenlandske.

Lige syd for området er et større sommerhusområde, Østersøbadet, beliggende tæt på området. Lige vest for Rødbyhavn, et par km fra grænsen til området ligger Lalandia, der er Lolland Kommunes største turistattraktion og Danmarks største feriecenter.

9.3 Natur, naturpleje og fredninger

Inden for området er der flere beskyttede vandhuller, hvoraf nogle af dem er fine vandhuller med tilstedeværelse af padder opført på Habitatdirektivets bilag IV (Fig. P). Derudover er

der økologisk forbindelse som gennemskærer området. Denne økologiske forbindelse er den eneste i området, og den bør ikke påvirkes (Fig. 18).

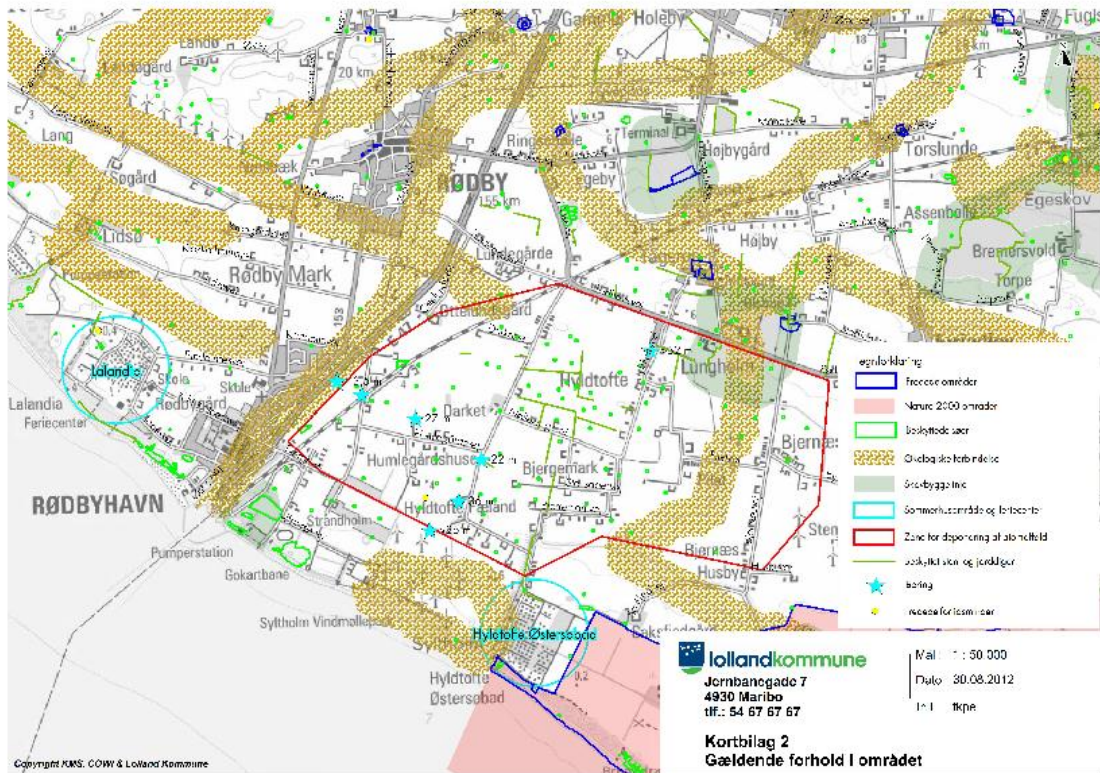


Fig. 18. Kort som viser bestemmelser om naturforholdene i området (Fra Lolland Kommune, 2012).

Uden for området ligger fine naturområder i Saksfjed Inddæmning og Lungholm Inddæmning. Disse områder ligger både inden for fredningen og inden for NATURA2000 (Fig. 18 og 19). I den nordøstlige del af området ligger herregården Lungholm omgivet af skov, der kaster skovbyggetype i henhold til naturbeskyttelsesloven (Fig. 18).

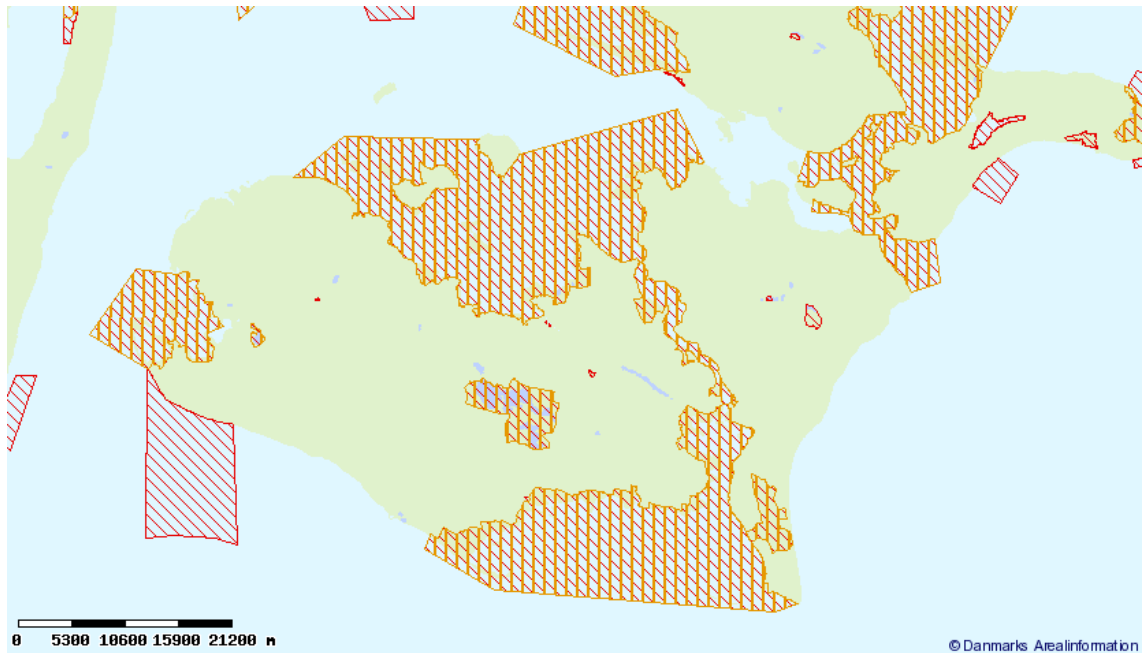


Fig. 19. Kort over NATURA2000-områder (Fra www.miljoportalen.dk).

9.4 Historiske mindesmærker og fredninger

I det udpegede område ligger flere beskyttede sten- og jorddiger som hovedsageligt er placeret i den vestlige del af området. I den østlige del ligger endvidere et fredet fortidsminde (Fig.18 og 20). Størstedelen af undersøgelsesområdets østlige del har umiddelbart ingen bindinger i medfør af museumsloven (Fig. 18).

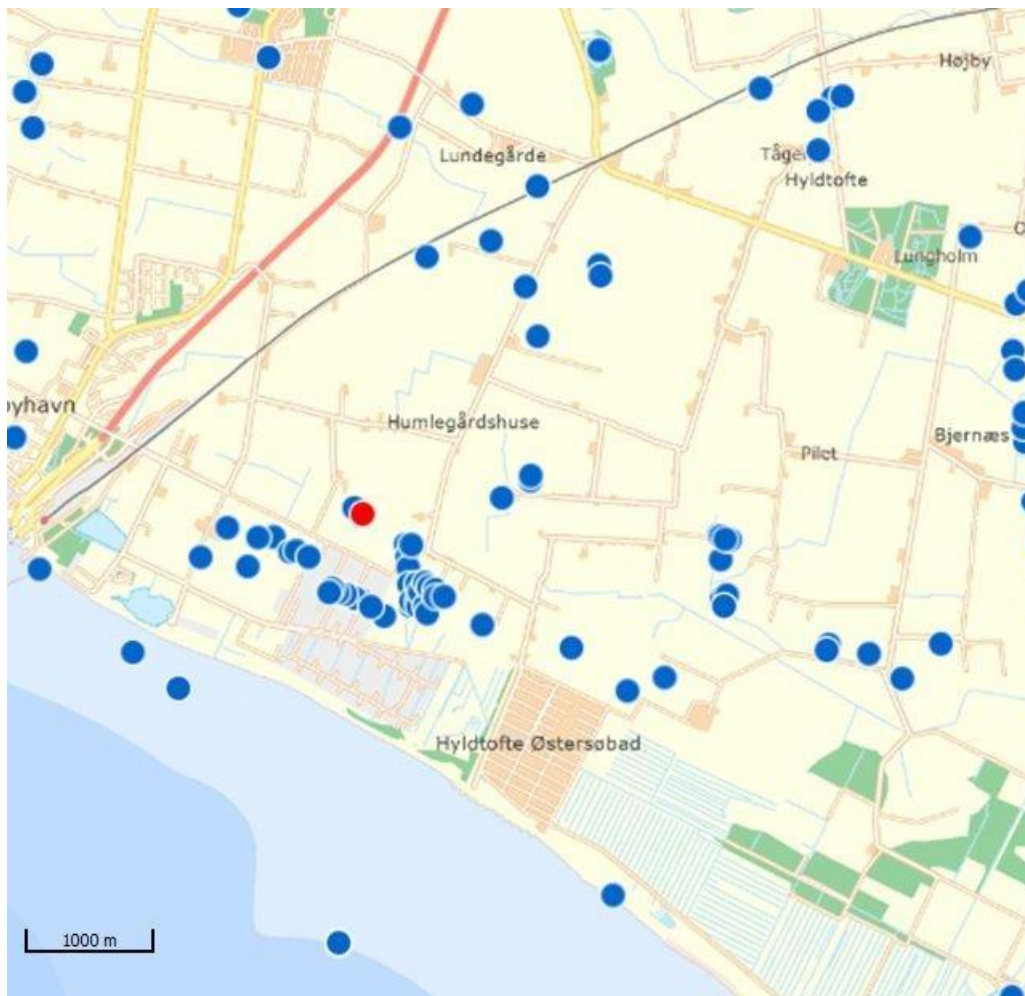


Fig. 20. Kort over fortidsminder. Fredede fortidsminder: rød prik. Ikke fredede fortidsminder: blå prikker (Fra www.kulturarv.dk).

9.5 Råstofplanlægning

Den sydligste del af området er udlagt som råstofområde, hvor der i 1990-1994 blev påvist ca. 400 mio. m³ bentonit. Bentonit-forekomsten er ikke hidtil blevet udnyttet (Fig. 16).

En eventuel anvendelse af råstofforekomsten viger p.t. for areal udlagt i forbindelse med etablering af Femern Bælt forbindelsen (Region Sjælland, 2008).

10. Afsluttende bemærkninger

Gennem Omegnsstudierne er der indsamlet og sammenstillet en lang række data om bl.a. geologi, jordskælv, grundvand, drikkevand, vandforsyning, planlægning og infrastruktur, naturforhold og fortidsminder, der til sammen belyser forholdene inden for Rødbyhavn-området.

Omfanget af studierne er defineret ud fra Beslutningsgrundlaget (2007) og behovene for informationer, som er opstået ud fra Forstudierne, men uden dog at være så detaljerede, som det vil blive krævet på et senere tidspunkt i processen.

Resultaterne fra Omegnsstudierne skal anvendes til at pege på 2–3 områder, der skal arbejdes videre med. Områderne indstilles til Ministeren for Sundhed og Forebyggelse, som skal have Folketingets tilsagn om at fortsætte med de udpegede områder.

Der skal bl.a. foretages Strategisk Miljøvurdering, og senere Vurdering af Virkninger på Miljøet (VVM) og bl.a. geotekniske, geologiske og grundvandsmæssige undersøgelser samt risikovurderinger i det mindre antal områder. De sidstnævnte undersøgelser vil komme til at ligge i en Projekteringslov.

11. Litteratur

11.1 GEUS rapporter fra projektet

Low- and intermediate level radioactive waste from Risø, Denmark. Location studies for potential disposal areas. Publiceret i GEUS Rapport Serie.

- Report No. 1. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2010: Data, maps, models and methods used for selection of potential areas. GEUS Report no. 2010/122, 47 sider.
- Report No. 2. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2010: Characterization of low permeable and fractured sediments and rocks in Denmark. GEUS Report no. 2010/123, 78 sider.
- Report No. 3. Pedersen, S.A.S. & Gravesen, P., 2010: Geological setting and tectonic framework in Denmark. GEUS Report no. 2010/124, 51 sider.
- Report No. 4. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Bornholm. GEUS Report no. 2011/44, 85 sider.
- Report No. 5. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Falster and Lolland. GEUS Report no. 2011/45, 76 sider.
- Report No. 6. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Sjælland. GEUS Report no. 2011/46, 85 sider.
- Report No. 7. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Langeland, Tåsinge and Fyn. GEUS Report no. 2011/47, 119 sider.
- Report No. 8. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of Areas. Eastern Jylland. GEUS Report no. 2011/ 48, 117 sider.
- Report No. 9. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Limfjorden. GEUS Report 2011/49, 138 sider.
- Report No. 10. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Nordjylland. GEUS Report 2011/50, 51 sider.
- Report No. 11. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Dansk og engelsk resume. Danish and English resume. GEUS Report no. 2011/51, 64 sider.

11.2 Andre publikationer fra projektet

- Dansk Dekommissionering (DD), 2011: Pre-feasibility study for final disposal of radioactive waste. Disposal concepts. Main Report. Prepared by Cowi A/S for DD, 404 sider.
- Dansk Dekommissionering (DD), De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) & Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for strålebeskyttelse (SIS), 2011: Forstudier til slutdepot for lav – og mellemaktivt affald – sammendrag indeholdende hovedkonklusionerne og anbefalinger fra tre parallelle studier. Rapport til

- den tværministerielle arbejdsgruppe vedr. udarbejdelse af beslutningsgrundlag med henblik på etablering af et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald, 44 sider.
- Gravesen, P., Nilsson, B., Binderup, M. & Pedersen, S.A.S., 2011a: Forstudier: regional kortlægning. Kriterier og metoder til udvælgelse af 6 områder ud af 22 områder, som kan anvendes til et potentielt slutdepot for Risø's lav- og mellemaktive radioaktive affald.. Notat til den Tværministerielle arbejdsgruppe under Indenrigs og Sundhedsministeriet. GEUS-NOTAT nr.. 08-EN2011-28, 12 sider.
- Gravesen, P., Binderup, M., Nilsson, B. & Petersen, S.A.S., 2011b: Geological Characterisation of potential disposal areas for radioactive waste from Risø, Denmark. Bull. Geol. Surv. Denm. and Greenl., Vol. 23, 21-24.
- Gravesen, P., Binderup, M., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S., Thomsen, H.S., Sørensen, A., Nielsen, O.K., Hannesson, H., Breddam, K. & Ulbak, K., 2011c: Slutdepot for Risø's radioaktive affald. Geviden, geologi og geografi nr.2, 19 sider.
- Gravesen, P., Nilsson, B., Binderup, M. & Pedersen, S.A.S., 2012: Risøområdet: Geologi og grundvand vurderet i forbindelse med slutdepotprojektet. Udarbejdet til Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse. GEUS-NOTAT nr.: 05-VA-12-06. 18 sider.
- Indenrigs- og Sundhedsministeriet, 2005: Slutdepot for radioaktivt affald i Danmark. Hvorfor? Hvordan? Hvor?. Juni 2005, 18 sider.
- Indenrigs- og Sundhedsministeriet, 2007: Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. Udarbejdet af en arbejdsgruppe under Indenrigs – og Sundhedsministeriet, april 2007, 47 sider.
- Ministeren for Sundhed og Forebyggelse, 2009: Redegørelse om Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. Præsenteret for Folketinget. Januar 2009, 13 sider.
- Nilsson, B., Gravesen, P., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2012: Final repository for Denmark's low- and intermediate level radioactive waste. AGU Fall Meeting 3-7 December 2012 San Francisco, USA, (Poster).
- Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS), 2011: Radiation doses from transport of radioactive waste to a future repository in Denmark – A model study, 50 sider.

11.3 Anvendt litteratur

- Andersen, L.J., 1976: Hydrologiske forhold i relation til de palæocæne og eocæne aflejringer i Jylland og på Fyn. I: Atomenergikommisionen: Affald fra kernekraftværker, april-maj 1976, 101-109.
- Andersen, L.P., 1996: Bentonit og knald-ler på Lolland. GeologiskNyt nr. 2/96, side 8.
- Andersen, S.A., 1937: De vulkanske Askelag i Vejgennemskæringen ved Ølst og deres Udbredelse i Danmark. Danm. Geol. Unders. II Series, No. 59, 50 sider.
- Andersen, S. A., 1957: Lolland i den sidste istid. Meddr. Dansk Geol. Foren. Bd. 14 hf, 4, 225-235.
- Arnbjerg-Nielsen, K., 2008: Forventede ændringer i ekstremregn som følge af klimaændringer. IDA Spildevandskomiteen, Skrift nr. 29. Institut for Vand og Miljøteknologi, DTU.

- Atomenergikommissionen, 1976: Affald fra kernekraftværker, Handelsministeriet april-maj 1976, 133 sider.
- Bøggild, O.B., 1918: Den vulkanske Aske i Moleret. Danm. Geol. Unders. Ser. II, 33, 84 sider.
- Bøggild, O.B., 1943: Danmarks Mineraler. Danm. Geol. Unders., II række, Nr. 71, 68 sider.
- Cappelen, J. 2009: Ekstrem nedbør i Danmark - opgørelser og analyser november 2009. Teknisk rapport 09-13. DMI. København 2009. 34 sider.
- Cappelen, J., P. Frich, and S. Rosenørn, S. 1989: The climate of Denmark 1988. Danish Meteorological Institute, Copenhagen.
- Cappelen, J. & Scharling, M. 2010: Mere – og mere intens – regn over Danmark. (Red.: N. Hansen) www.dmi.dk/dmi/mere_-_og_mere_intens_-_regn_over_danmark. DMI, 30. august 2010
- Climate Institute: <http://www.climate.org/index.html>
- Christiansen, C., J.T. Møller, and Nielsen, J., 1985: Fluctuation in sea-level and associated morphological response: examples from Denmark. *Eiszeitalter Gegw.*, 35, 89 – 108.
- Clausen & Huuse, 2002: Mid-Paleocene palaeogeography of the Danish area. *Bull. Geol. Soc. Denmark*, Vol. 49, Part 2, 171-186.
- Cowi as, 2003: Storstrøms Amt. Geofysiske undersøgelser på Syd-Lolland. Faktuel rapport, Etape 1, 20 sider + Bilag.
- Dinesen, B., 1961: Salt Mineralvand fra Danmarks dybere Undergrund. Danm. Geol. Unders. IV række, Bd.4, nr. 6, 20 sider
- Dinesen, A., Michelsen, O. & Lieberkind, 1977: A survey of the Paleocene and Eocene deposits of Jylland and Fyn. *Geol. Survey of Denmark, Series B, No.1*, 15 sider.
- DMI, 2010: Fremtidens klima. http://www.dmi.dk/dmi/index/klima/fremtidens_klima-2/ipcc.htm
- Edelvang, K., Ahlstrøm, A., Andreasen, C.S., Andersen, S.B., Bennike, O., Hansen, J.M., Kuijpers, A., Larsen, B. (GEUS), Buch, E., Andersen, K. K., Madsen, K. S. (DMI), 2012: Ændringer i havniveauet de næste 100-200 år. Notat til Klima-, Energi- og Bygningsministeriet. <http://www.geus.dk/>
- Fredericia, J., 1990. Saturated Hydraulic Conductivity of Clayey Tills and the Role of Fractures. *Nordic Hydrology*, 21(2), 119-132.
- Frich, P., Rosenørn, S., Madsen, H. & Jensen, J.J., 1997: Observed Precipitation in Denmark, 1961-90. DMI Technical Report 97-8
- Femern, Sund & Bælt, 2009: Lolland and Fehmarn, land connection area. Groundwater Conditions. Prepared by Rambøll, 26 sider.
- Femern, Sund & Bælt, 2011: Summary of geological conditions. GDR 01.3-002, Prepared by Rambøll Arup, April 2011, 53 sider.
- Gravesen, P. & Pedersen, S.A.S., 2005: De geologiske forhold ved Risø. Redegørelse udarbejdet på basis af eksisterende data. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2005/30, 40 sider.
- Gravesen, P. & Pedersen, S.A.S., 2009: Vurdering af lerforekomster i Danmark med henblik på anvendelse i cement. Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rapport 2009/85, 25 sider.
- Gravesen, P., Jakobsen, P.R., Kelstrup, N. & Ernstsen, V., 1999: Kortlægning af radon i danske jordarter 1. Indsamling af grunddata. Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rapport 1999/81, 37 sider + bilag.

- Gregersen, S., Hjelme, J. & Hjorten E., 1998: Earthquakes in Denmark, Bull. Geol. Soc. Denmark, Vol. 44, 115-127.
- Gregersen, S., Wiejacz, P., Debski, W., Domanski, B., Assinovskaya, B., Guterch, B., Mäntyniemi, P., Nikulin, V.G., Pacesa, A., Puura, V., Aronov, A.G., Aronova, T.I., Grünthal, G., Huseby, E.S. & Sliupa, S., 2007: The exceptional earthquakes in Kaliningrad District, Russia on September 21, 2004, Phys. Earth and Planet. Int., Vol. 64, 63-74.
- Gry, 1935: Petrology of the Paleocene Sedimentary Rocks of Denmark. Geol. Surv. of Denmark, II Series, No. 61, 171 sider.
- Hansen, J. M., Aagaard, T. & Binderup, M. 2011: Absolute sea levels and isostatic changes of the eastern North Sea to central Baltic region during the last 900 years. Boreas DOI: 10.1111/j.1502-3885.2011.00229.x.
- Harboe, E.G., 1915: Meddelelser og Jordskælv og Vulkanudbrud i Danmark med Bilande i Tidsrummet 1909-1913, Medd. Dansk Geol. For., 4, 395-424.
- Heilmann-Clausen, C., 1985: Dinoflagellate stratigraphy of the uppermost Danian to Ypresian in the Viborg 1 borehole, central Jylland, Denmark. Danm. Geol. Unders., Serie A, No.7, 69 sider.
- Heilmann-Clausen, C., 1995: Palæogene aflejringer over Danskekalken. I: Nielsen, O.B. (red.): Danmarks geologi fra Kridt til i dag. Aarhus Geokompender Nr. 1. Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 69-114.
- Heilmann-Clausen, C., Nielsen, O.B. & Gersner, F., 1985: Lithostratigraphy and depositional environments in the Upper Paleocene and Eocene of Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, vol. 33, 287-323.
- Houmark-Nielsen, 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, Vol. 36, part 1-2, 187 sider.
- Hyde, G., Pedersen, K.E. & Pedersen, D., 1993: Bentonit – især på Lolland. Varv nr.2 1993, 55-62.
- Håkansson, E. & Pedersen, S.A.S., 1992: Geologisk kort over den danske undergrund. VARV, 1992.
- IAEA, 1994: Siting of Near Surface Disposal Facilities. Safety Guides. Safety series no. 111-G-3.1, 37 sider.
- IAEA, 1999: Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Requirements. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-1, 29 sider.
- IAEA, 2005: Borehole Facilities for the Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards Series, 102 sider.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability
- Jensen, H.E. & Jensen, S.E., 2001: Jordfysik og Jordbrugsmeteorologi – Det fysiske miljø for plantevækst. DSR Forlag, Frederiksberg C, Danmark.
- Jørgensen P.R. & Fredericia, J., 1992. Migration of nutrients, pesticides and heavy metals in clayey till, Géotechnique, 42, 67-77.
- Jørgensen, P.R., Hoffmann, M., Kistrup, J.P., Bryde, C., Bossi, R & Villholth, K.G., 2002: Preferential flow and pesticide transport in a clay-rich till: Field, laboratory, and modeling analysis WRR, 38(11), 28-1 – 28-11.
- 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., 2009: Kortlægning af begravede dale i Danmark. Opdatering 2007-2009, GEUS, 374 sider.
- Klint, K.E.S., 2001: Fractures in Glacigene Deposits; Origin and Distribution. Ph.D. Thesis. Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rapport 2001/129, 40 sider + Bilag.
- Klint, K.E.S. & Gravesen, P., 1999: Fractures and Biopores in Weichselian Clayey Till Aquitards at Flakkebjerg, Denmark. *Nordic Hydrology*, Vol. 30, No. 4/5, 267-284.
- Klint, K.E.S. & Rasmussen, L.Aa., 2004: Geological map of Denmark. 1:50.000, Maribo. Copenhagen. Danm. og Grøn. Geol. Unders.
- Klitten, K., 2003: Log-stratigrafi for Selandien Lellinge Grønsand formationen og Kerteminde Mergel formationen. *Geologisk Tidsskrift* 2003/2, 20-23.
- Knudsen, B., 1993: Plastisk ler – geotekniske problemer. *GeologiskNyt* 1/93, 9-11.
- Konradi, P., 1994: Geologien under Femer Bælt. DGU Information jan. 1994, 4-5.
- Kristiansen, S.M.; Christensen, F.D. & Hansen, B., 2009: Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. GEUS 2009. 107 sider.
- Lehmann, I., 1956: Danske jordskælv, *Bull. Geol. Soc. Denmark*, Vol. 13, 88-103.
- Leydecker, G., 2009: Earthquake Catalogue for the Federal republic of Germany and Adjacent Areas for the Years 800-2007. Data file <http://www.bgr.de/quakecat>
- Lolland Kommune, 2010: Forslag til Kommuneplan 2010-2022. Hovedstruktur. 5 Femern Bælt, 38-50.
- Lolland Kommune, 2012: Vurdering af forhold af plan-, natur- og miljømæssig betydning i relation til atomaffaldsdepot., 3 sider + 2 kortbilag.
- McKay, L., Fredericia, J., Lenczewski, M., Morthorst, J. & Klint, K.E.S., 1999: Spatial variability of Contaminant Transport in a Fractured Till, Avedøre, Denmark. *Nordic Hydrology*, Vol. 30, 4/5, 333-360.
- MC Nykøbing, GEUS & Århus Universitet, 2009: Grundvandskortlægning på Lolland. Anvendelse af SkyTEM. Trin 2. Statusrapport fra 1. workshop (trin 2) den 23. og 24. juni 2008, 36 sider.
- Mikkelsen, H.E. & Olesen, J.E., 1991: Sammenligning af metoder til bestemmelse af potentiel vandfordampning. Statens Planteavlsvforsøg. Beretning nr. S2157, 68 sider.
- Miljøministeriet, By- og landskabsstyrelsen (2010a). Forslag til Vandplan Hovedvandopland 2.5 Smålandsfarvandet. Høring, Oktober 2010.
- Miljøministeriet, By- og landskabsstyrelsen (2010b). Forslag til Vandplan Hovedvandopland 2.6 Østersøen. Høring, Oktober 2010.
- Nilsson, B., Sidle, R.C., Klint, K.E., Bøggild, C.E. & Broholm, K., 2001: Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogeneous glacial till - sandy aquifer system. *Journal of Hydrology* 243, 162-179.
- Ovesen, N.B.; Iversen, H.L.; Larsen, S.E.; Müller-Wohlfeil, D.-I.; Svendsen, L.M.; Blicher, A.S. & Jensen, P.M., 2000: Afstrømningsforhold i danske vandløb. Faglig rapport fra DMU, nr. 340. Miljø- og Energiministeriet.
- Pedersen, A.D., 1992: Bentonitefterforskning på Lolland. *GeologiskNyt* 2/92, 10-12.
- Pedersen, D.L., 2004: En geologisk og hydrogeologisk undersøgelse af inhomogeniteter i moræner. Kandidatafhandling, Geologisk Institut, Københavns Universitet. Juni 2004. + Bilag.
- Pedersen, S.A.S., (ed.)1989: Jordartskort over Danmark 1:200.000. Four maps: Nordjylland, Midtjylland, Sydjylland og Fyn, Sjælland, øer og Bornholm. Danmarks Geologiske Undersøgelse, 1989.

- Ploug, C., 1992: Bentonitprojekt Lolland. Reflektionssseismiske profiler. Rødbyhavn., januar 1992, 31 sider.
- Rambøll, 2003: Storstrøms Amt. Regional strømningsmodel for Lolland. Opstilling af geologisk model. Udarbejdet for Storstrøms amt april 2003, 54 sider + Bilag.
- Region Sjælland, 2008: Råstofplan 2008 for Region Sjælland, 48 sider + Bilag.
- Sandersen, P.B.E. & Jørgensen, F., 2003: Buried Quaternary valleys in western Denmark—occurrence and inferred implications for groundwater resources and vulnerability. *Journal of Applied Geophysics* 53 (2003), 229– 248
- Sheldon, E. & Nøhr-Hansen, H., 2010a: Fehmarn Belt Fixed Link Pre-Quaternary Biostratigraphy – a mid-term status report for Rambøll/Arup JV. *Geol. Surv. Denm Greenl. Report 2010/27*, 32 sider + Bilag.
- Sheldon, E. & Nøhr-Hansen, H., 2010b: Fehmarn Belt Fixed Link Pre-Quaternary Biostratigraphy – a final status report for Rambøll/Arup JV. *Geol Surv. Denm. and Greenl. Report 2010/134*, 53 sider + Bilag.
- Sheldon, E., Gravesen, P. & Nøhr-Hansen, H., 2012: Geology of the Femern Bælt area between Denmark and Germany. *Geol. Surv. Denm. and Greenl. Bull.* 26, 13-16.
- Sidle R.C., Nilsson, B., Hansen, M. & Fredericia, J., 1998: Spatially varying hydraulic and solute transport characteristics of a fractured till determined by field tracer tests, Funen, Denmark. *Water Resources Research*, Vol. 34, No. 10, 2515-2527.
- Sonnenborg, T.O.; Christensen, B.S.B.; Roosmalen, L. van; & Henriksen, H.J., 2006: Klimændringers betydning for vandkredsløbet i Danmark. *Danm. og Grøn. Geol. Unders. Rapport 2006/22*. GEUS, 75 sider.
- Sorgenfrei, Th, 1951: Oversigt over prækvartærets topografi, staigrafi iog tektonik i området Fy-Sydsjælland-Lolland-Falste Møn. *Meddr. Dansk Geol, Foren. Bd. 12*, 166-171.
- Sorgenfrei, Th. & Buch, A., 1964: Deep Tests in Denmark 1935-1959. *Danm. Geol. Unders. III række, nr. 36*, 146 + bilag.
- Storstrøms amt, 1991: Bentonitprojekt Lolland. Fase 2: Geoelektriske undersøgelser ved Rødbyhavn og Sandbjerg. *Miljøkontoret*, 16 sider + Bilag.
- Storstrøms amt, 1992: Bentonitprojektet Lolland, Fase 3: Supplerende feltundersøgelser samt analyser og vurdering af leret ved Rødbyhavn, *Miljøkontoret*, 28 sider + Bilag..
- Storstrøms amt, 1994: Bentonit-projekt Lolland. Fase 4, afsluttende rapport. *Teknik- og miljøforvaltningen*, 30 sider.
- Storstrøms Amt (2004). Basisanalyse – Del 1. Karakterisering af grundvandsforekomster og opgørelse af påvirkninger. Prepared by former Storstrøms County, Nykøbing.
- Sundhedstyrelsen, 1987: Radioaktive stoffer i drikkevand. *SIS*, 23 sider.
- Tank, R.W., 1963: Clay Mineralogy of some Lower Tertiary (paleogene) sediments from Denmark. *Danm. Geol. Unders., IV ser., no. 9*, 54 sider.
- Thomsen, E., 1995: Kalk og kridt i den danske undergrund. I: Nielsen, O.B.(red.): Danmarks geologi fra Kridt til i dag. *Aarhus Geokompender Nr. 1*, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, 31-67.
- Thomsen, E. & Heilmann-Clausen, C., 1985: The Danian-Selandian boundary at Svejstrup with remarks on the biostratigraphy of the boundary in western Denmark. *Bull. Geol. Soc. Denm.* 33, 3-4, 339-360.
- Werner, A.D. & Simmons, C.T., 2009: Impact of sea-level rise on sea water intrusion in coastal aquifers. *Ground Water*, Vol. 47 (2), 197-204.
- Vithanage, M., Engesgaard, P., Villholth, K.G. & Jensen, K.H., 2012: The effect of the 2004 Tsunami on a coastal aquifer in Sri Lanka. *Ground Water*, Vol. 50 (5), 704-714.

Hjemmesider

www.miljoeportalen.dk

www.kulturarv.dk

www.dmi.dk

www.geus.dk

www.isc.ac.uk

www.emec.gfzpotsdam.de/pub/EMEC_Online/emec_online_frame.html

www.ocean.dmi.dk/case_studies/surges/01nov06.php

12. Bilag

Bilag A. Notat fra Lolland Kommune

Bilag B. Saltvand-ferskvandsforhold i kystzonen.

Bilag C. Baggrundsdata for kort over bindinger

Bilag D. Bindinger

12.1 Bilag A



GEUS
Att. Peter Gravesen
pg@geus.dk

6. september 2012

Dok. nr. 6320922
Sags id. 6307895

Lolland Kommune

Jernbanegade 7
4930 Maribo

Postadr.:
Jernbanegade 7
4930 Maribo

T: +45 54676767
F: +45 54790010

lolland@lolland.dk
www.lolland.dk

Kontaktperson
MIHE

T
lolland@lolland.dk

Vurdering af forhold af plan-, natur- og miljømæssig betydning i relation til atomaffaldsdepot

I forlængelse af møde den 29. juni 2012 i Maribo mellem GEUS og Lolland Kommune fremsendes her som aftalt et "tekniker-notat" med en vurdering af de plan-, natur- og miljømæssige forhold i relation til etablering af et atomaffaldsdepot øst for Rødbyhavn.

Dette notat omhandler ikke Lolland Kommunes holdning til depotet, men udelukkende faktuelle oplysninger og faglige vurderinger.

Planmæssige forhold

Den vestlige del af det område som GEUS har peget på som muligt atomaffaldsdepot er reserveret til Femern Bælt Forbindelsen.

Aksen mellem Maribo, Holeby og Rødbyhavn er afgørende for Lolland Kommunes fremtidige udvikling. I disse år flytter virksomhederne ind på de store arealer, der er udlagt langs motorvejen, og den udvikling ventes at tage til frem mod åbningen af den faste forbindelse.

Desuden er Lolland Kommune, i forbindelse med kommuneplanrevisionen, i gang med at flytte udlagte erhvervsarealer ved sydkysten op mod nord, hvilket yderligere vil beslaglægge arealer i det vestlige område af udpegningsområdet.

Helt mod nord i GEUS udpegningsområde er BaneDanmark i samarbejde med Lolland Kommune i gang med planlægning af en ny station til afløsning af stationen i Rødbyhavn. I den forbindelse vil hele området omkring Lundegårde blive udlagt til byudviklingsområde i den kommende kommuneplan.

I forbindelse med anlæggelsen af Femern Forbindelsen har Femern A/S fremlagt et forslag, der er godkendt af Lolland Kommunes byråd, om at etablere et nyt forland langs kysten, der skal etableres som et stort naturområde og i sammenhæng med dette en "strandpark" på den østlige side af Rødbyhavn. Hele forlandet skal bindes sammen med baglandet via stisystemer. Det forventes at naturområdet på sigt kan udvikle sig til et meget værdifuldt naturområde. Det forventes ligeledes at den nye strandpark vil medføre et stort antal turister til området, både danske og udenlandske.

Side 1/3

Mod syd i det udpegede område er et større sommerhusområde, Østersøbadet, beliggende tæt op til udpegningsområdet. Mod vest, et par km fra grænsen til det udpegede område ligger Lalandia, der er Lolland Kommunes største turistattraktion og Danmarks største feriecenter. Umiddelbart vest for det udpegede område ligger Rødbyhavn, der er en havneby med knap 2.000 indbyggere.

Grundvandsinteresser

Den vigtigste grund til udpegningen af området ved Rødbyhavn er forekomsten af bentonit i det tertiære plastiske ler. De undersøgelser ved Rødbyhavn som Lolland Kommune har set har vist, at det plastiske ler strækker sig fra 13,5 m dybde til 90 m dybde. Rigeligt til sikkert at indkapsle affaldet. Men disse undersøgelser er lavet indenfor det område der er reserveret til Femern Bælt projektet.

En gennemgang af borer i området viser dog, at der bliver ret dybt til det plastiske ler i den østlige del af det udpegede område idet nogle borer her viser mere end 50 m til det plastiske ler (Hyldtofte). Her er der desuden et grundvandsførende sandgruslag på over 10 m, der kan have hydraulisk kontakt med det for Lolland vigtige grundvandsmagasin ved Holeby.

Der er en markant mangel på data i den østligste del af det udpegede område. GEUS oplyste på mødet med Lolland Kommune, at de ville foretage to borer i løbet af august i dette område. Lolland Kommune kender ikke resultatet af disse borer.

I GEUS egen beskrivelse af området nævnes, at der er tre forkastninger der krydser området, og at det ikke kan udelukkes at der kan være seismisk aktivitet. Kortet over seismisk aktivitet i det skandinaviske område, viser dog ingen jordskælv i netop dette område, så det er snarere baseret på det forhold, at området ligger på sydkanten af den såkaldte Ringkøbing-Fyn grundfjeldshøjderyg, på randen af det Dansk-Tyske sedimentbassin, der fortsat er i aktiv indsynkning.

På det nuværende oplyste grundlag må det samlet set bemærkes, at selv om de kendte informationer viser at bentonitten ved Rødbyhavn kunne være et udmærket deponeringssted for lavradioaktivt affald, er viden om området udenfor Femern Bælt reservationszonen alt for begrænset, og der bør laves langt mere dybtgående undersøgelser inden man kan tage nogen beslutninger om dette område.

Museumsloven

I det udpegede område ligger flere beskyttede sten- og jorddiger som hovedsageligt er placeret i den vestlige del af området. I den østlige del ligger endvidere et fredet fortidsminde. Størstedelen af undersøgelsesområdets østlige del har umiddelbart ingen bindinger i medfør af museumsloven.

Naturforhold

Inden for undersøgelsesområdet er der flere beskyttede vandhuller, hvoraf nogle af dem er fine vandhuller med tilstedeværelse af padder opført på habitatdirektivets bilag IV. Derudover er der en økologisk forbindelse som gennemskærer området. Denne økologiske forbindelse er den eneste i området, og den bør på ingen måde påvirkes af et evt. atomaffaldsdepot.

Uden for undersøgelsesområdet ligger nogle meget fine naturområder i Saksfjed Inddæmning og Lungholm Inddæmning. Disse områder ligger både inden for fredningen og inden for natura 2000, og bør under ingen omstændigheder påvirkes af et evt. atomaffaldsdepot.

I den nordøstlige del af området ligger herregården Lungholm omgivet af skov, der kaster skovbyggelinje i henhold til naturbeskyttelsesloven.

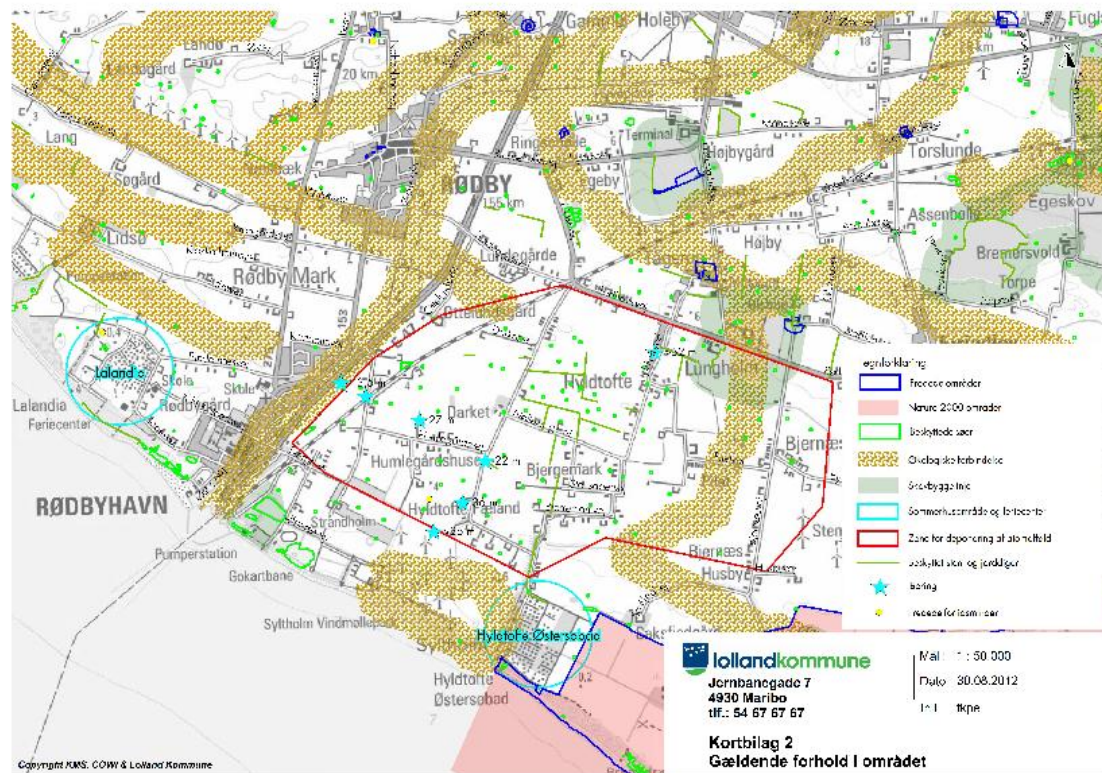
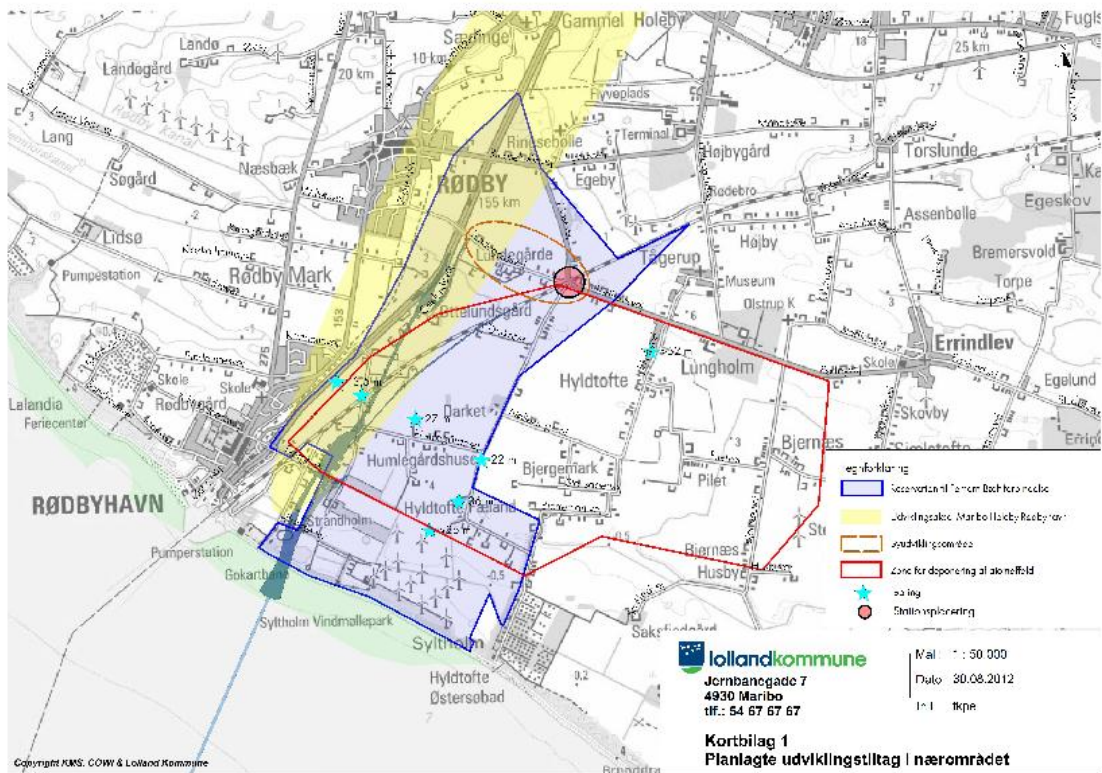
Med venlig hilsen

Miriam Helsing

Souschef

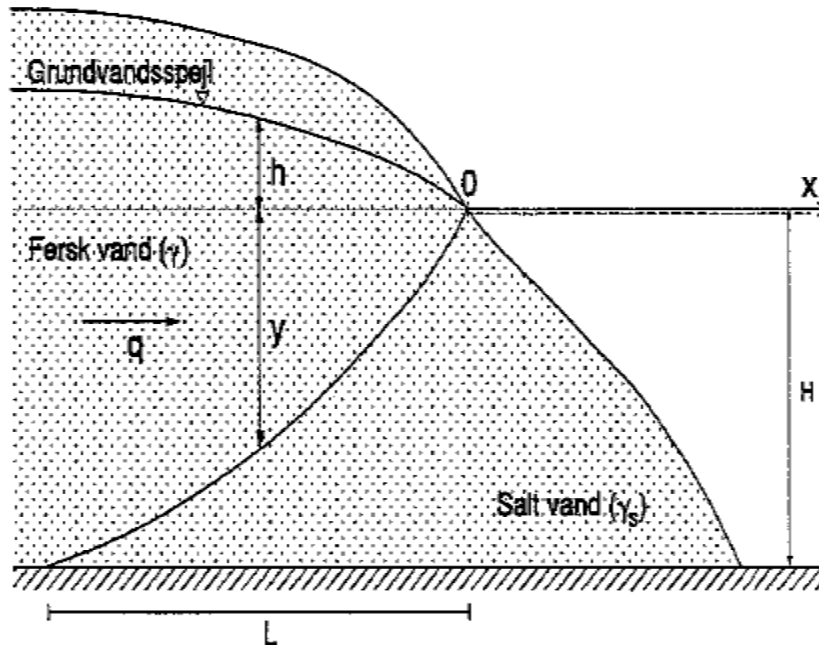
Vedhæftet

- Kort med angivelse af planlagte udviklingstiltag i nærområdet
- Kort med angivelse af en række gældende forhold i området



12.2 Bilag B

Saltvandskilens placering kan i den mest simple situation ved frie magasinforhold beregnes med Ghyben-Herzbergs model. På figur 1 er der skitseret en idealiseret Ghyben-Herzberg model for en saltvandskile i et frit magasin.



Figur 1. Ghyben-Herzbergss model for saltvandskile ved frit grundvandsmagasin

Skillefladens beliggenhed under havniveau (y) beskrives ved Ghyben-Herzberg ligningen (Lign. 1), hvor det forudsættes ens hydrostatisk trykfordeling på begge sider af saltferskvandsgrænsen:

$$y = \frac{\gamma}{\gamma_s - \gamma} h = \frac{h}{\Delta} \quad (\text{Lign. 1})$$

hvor ligningens enkeltled betyder: Specifik tyngde af ferskvand (γ); Specifik tyngde af saltvand (γ_s); Grundvandsspejlets højde over havniveau (h); Relativ tyngdeforskel $(\gamma_s - \gamma)/\gamma = \Delta$. En typisk værdi for Δ er 0,025, svarende til at ferskvandet vertikalt strækker sig ca. 40 gange længere ned under havniveau end over.

12.3 Bilag C

Kilder til kort over arealbindinger (Naturstyrelsen 2012).

Kildeangivelse vedr. Deponering af radioaktivt affald fra Risø

| <i>Navn Tema</i> | <i>Kilde</i> |
|-----------------------------|--|
| Potentielle områder | |
| Område 1, 4, 10, 17, 20, 21 | Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelse rapport 2011/51 |
| Fredninger | |
| Fortidsminder | Kulturstyrelsen |
| Fredede områder | Danmarks Miljøportal |
| Statsfredning | Naturstyrelsen |
| Fredsskov | Digitalt matrikelkort, KMS |
| Planlægning | |
| Vedtagne lokalplaner | PlansystemDK, Naturstyrelsen |
| Vedtagne Kommuneplansrammer | PlansystemDK, Naturstyrelsen |
| Statsejede områder | |
| Statsejede områder | Udarbejde af Naturstyrelsen i forbindelse med vindmølleplacering. |
| Tekniske anlæg | |
| Vindmøller | Vindmøller over 10 m, Top10DK, KMS |
| Højspænding | Top10DK, KMS |
| Gastransmissionsnet | EnerginetDK |
| Geologi | |
| Råstofområder | Naturstyrelsen |
| Jordforurening | |
| Jordforurening V1 | Danmarks Miljøportal |
| Jordforurening V2 | Danmarks Miljøportal |
| Affaldsdepoter | Miljøstyrelsen |
| Drikkevandsinteresser | |
| Drikkevandsinteresser | Danmarks Miljøportal |
| Vandforsyningsboring | Jupiter-boringer, GEUS JUPITOR |
| Natura2000 | |
| EF-fuglebeskyttelsesområder | Dansk Miljøportal |
| EF- habitat | Dansk Miljøportal |
| Ramsarområder | Dansk Miljøportal |
| Femern område | |
| Reservationsområde | Fra www.femern.dk , Anlægsfasen |

12.4 Bilag D

Udarbejdet af Naturstyrelsen, 2012

Beskrivelse vedr. Deponering af radioaktivt affald fra Risø Område 4 - Rødbyhavn, Lolland

| <i>Bindinger i området</i> | <i>Binding</i> | <i>Notat</i> |
|---------------------------------|----------------|---|
| Arealer | | |
| Område 4 | 2.005 | Hektar |
| Reservet af femern forbindelsen | 1.228 | Hektar (889 + 165 + 174) |
| Fredninger | | |
| Fortidsminder | 1, (0) | (uden femern området) |
| Fredede områder | Nej | |
| Statsfredning | Nej | |
| Fredsskov | Ja | Et mindre areal ved Lungholm Huse |
| Planlægning | | |
| Lokalplan | Ja | Et mindre areal har planlagt anvendelse. |
| Kommuneplan Rammer | Ja | Et mindre areal har planlagt anvendelse. |
| Statsejede områder | | |
| Statsejede områder | Nej | |
| Tekniske anlæg | | |
| Vindmøller | 13, (10) | (uden femern området) |
| Højspænding | Nej | Ingen hovedledning. |
| Gastransmissionsnet | Nej | Ingen hovedledning. |
| Geologi | | |
| Råstofområder | Ja | Et større område indeholder råstoffer i undergrunden. |
| Jordforurening | | |
| Jordforurening V1 | Nej | |
| Jordforurening V2 | Nej | |
| Affaldsdepoter | Nej | |
| Drkkevandsinteresser | | |
| Særlige | Nej | |
| Almindelig | Nej | |
| Begrænsede | Ja | |
| Vandforsyningsboring | 5, (3) | (uden femern området) |
| Natura2000 | | |
| EF-fuglebeskyttelsesområder | Nej | |
| EF-habitat | Nej | |
| Ramsarområder | Nej | |