Rapport til den tværministerielle arbejdsgruppe vedr. udarbejdelse af beslutningsgrundlag med henblik på etablering af et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald

Forstudier til slutdepot for lav- og mellemaktivt affald – sammendrag indeholdende hovedkonklusionerne og anbefalinger fra tre parallelle studier

Udarbejdet af Dansk Dekommissionering (DD), De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og Sundhedsstyrelsen, Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS)

Maj 2011

Indhold:

Indhold: 3

Forord 5

1 Depotkoncepter, DD 7

1.1 Baggrunden for studierne 7

1.2 Konklusioner og anbefalinger 9

1.2.1 Generelle anbefalinger vedr. depotplacering m.m. 9
1.2.2 Generelle anbefalinger vedr. konstruktion, indretning, fyldning og drift af depoterne 10
1.2.3 Anbefalinger baseret på den præliminære sikkerhedsanalyse 13
1.2.4 Anbefalinger vedr. fremtidige studier m.m. 20
1.2.5 Den videre proces 22

2 Transport af radioaktivt affald, SIS 24

2.1 Transportformer og regler 24

2.2 Modellering 24

2.3 Resultater 25

2.4 Konklusioner 26

3 Regional kortlægning, GEUS 28

3.1 Indledning 28

3.2 Baggrund 28

3.3 Data 29

3.4 Kriterier, metoder og udpegning 29

3.4.1 Kriterier 30
3.4.2 Metoder 30
3.4.3 Udpegning 31

3.5 Beskrivelse og vurdering af områderne 33

3.5.1 Bornholm (Rapport nr. 4) 33
3.5.2 Falster og Lolland (Rapport nr. 5) 34
3.5.3 Sjælland (Rapport nr. 6) 35
3.5.4 Langeland-Tåsinge-Fyn (Rapport nr. 7) 36
3.5.5 Østjylland (Rapport nr. 8) 37
3.5.6 Limfjorden (Rapport nr. 9) 39
3.5.7 Nordjylland (Rapport nr. 10) 41

3.6 De 6 områder til videre arbejde 41

3.7 Feltundersøgelser på 1-3 områder 41

3.8 Afsluttende bemærkninger 42

3.9 Rapporter udarbejdet ved den regionale kortlægning 42

3.10 Andre Referencer 43

4 Samlet konklusion 44

Forord

Folketinget gav i 2003, i beslutningsforslag nr. B 48 om afviklingen af de nukleare anlæg på Risø, samtykke til at regeringen påbegyndte udarbejdelsen af et beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. En arbejdsgruppe under Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse udarbejdede som resultat heraf i 2008" Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald". I Beslutningsgrundlaget blev det anbefalet at gennemføre tre parallelle forstudier: Et for depotkoncepter med formålet at fremskaffe det nødvendige beslutningsgrundlag til valg af hvilke koncepter, der skal arbejdes videre med i processen omkring etablering af et slutdepot, et om transport af det radioaktive affald til depotet, samt et om regional kortlægning med formålet at karakterisere områder som egnede eller uegnede til lokalisering af et slutdepot.

Nærværende rapport indeholder hovedkonklusionerne af hvert af de tre parallelle studier i forhold til den videre lokaliseringsproces.

1 Depotkoncepter, DD

Dansk Dekommissionering (DD) har udført forstudier med henblik på at fremskaffe det nødvendige beslutningsgrundlag til valg af hvilke koncepter, der skal arbejdes videre med i processen omkring etablering af et slutdepot for det danske radioaktive affald.

1.1 Baggrunden for studierne

Opgaven i forbindelse med forstudiet er beskrevet nærmere i "Beslutningsgrundlag for et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald, Ministeriet for Sundhed og Forebyggelse, 2008", herefter kaldet Beslutningsgrundlaget.

Dansk Dekommissionering indgik i efteråret 2009 kontrakt med rådgivningsvirksomheden COWI til at udføre den tekniske del af opgaven. COWI har i denne sammenhæng arbejdet sammen med underrådgiverne Studsvik (nuklear teknologi og affaldsbehandling), og arkitektfirmaet Hasløv og Kjærsgaard.

Forstudierne har omfattet en teoretisk gennemgang af tre overordnede depotkoncepter kombineret med fire udvalgte, typiske danske geologier, indledende sikkerhedsanalyser for disse kombinationer, samt et overslag over udgifterne direkte forbundet med de forskellige depottyper.

De tre overordnede depotkoncepter, der er arbejdet med i forstudierne er:

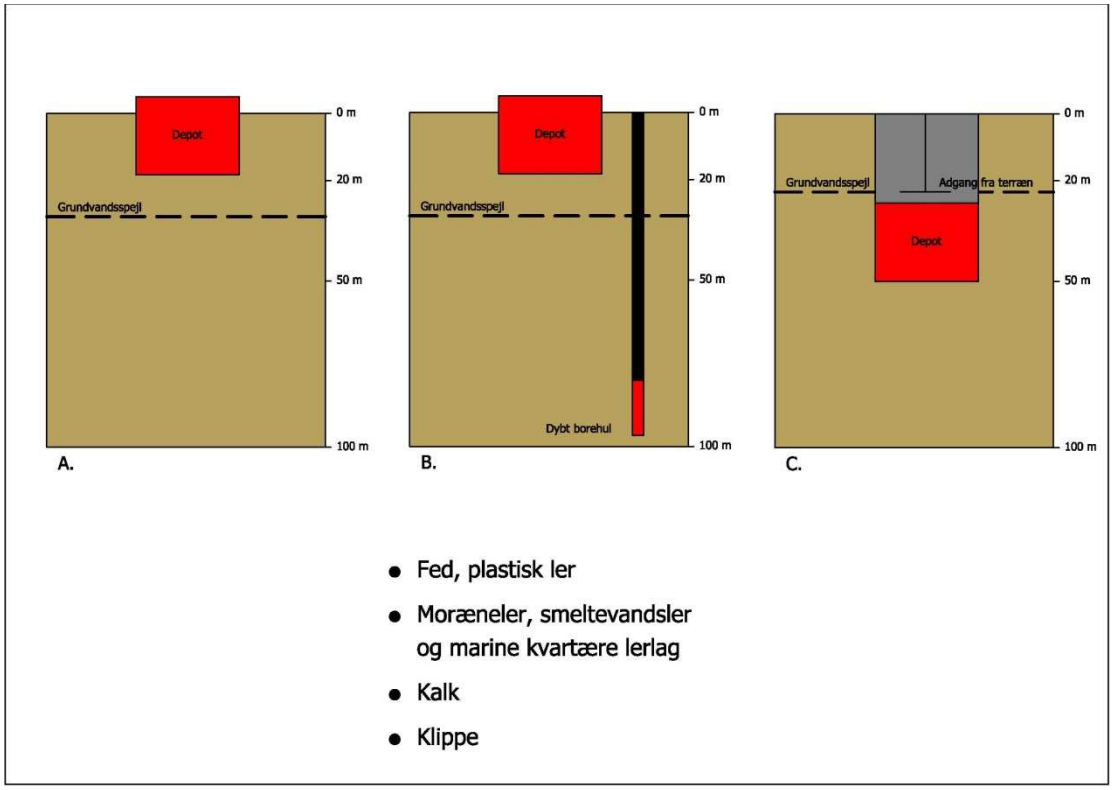
- Terrænnært depot (på overfladen og ned til maks. 30 m under terræn)
- Terrænnært depot i kombination med et borehul
- Mellemdybt depot (30-100 m under terræn)

Hvert af de tre overordnede depotkoncepter er undersøgt i forbindelse med fire forskellige typiske, danske geologier:

- Fed, plastisk tertiært ler
- Moræneler, smeltevandsler og marine kvartære lag
- Kalk
- Klippe

I forstudiet indgår:

- Indledende sikkerhedsanalyser
- Skitseprojektering af konditionering og slutdepot
- Vurdering af reversibilitet
- Økonomiske overslag for koncepterne
- Beskrivelse og økonomiske overslag for de efterfølgende faser



Skitse af de tre overordnede depotkoncepter som har indgået i forstudierne. Koncepterne er hver især undersøgt i forbindelse med de fire viste geologier.

De indledende sikkerhedsanalyser har omfattet samhørende vurdering af sandsynlighed og konsekvens for en række potentielle uheldshændelser samt en vurdering af den potentielle påvirkning af en referenceperson som følge af den givne langsigtede udsivning fra depotet.

Grundlaget for sikkerhedsanalyserne har dels været de skitserede depotvarianter, herunder om depoterne skal være helt, delvist eller ikke reversible, dvs. at affaldet skal kunne udtages af depotet igen inden for en nærmere årrække. Dels har grundlaget været de udvalgte generiske geologier.

Disse geologier samt de recipienter, der i givet fald vil kunne modtage udsivende grundvand, der er påvirket af depotet, er i de i sikkerhedsanalysen anvendte modeller beskrevet ud fra i Danmark typisk forekommende forhold. Derudover er den potentielle påvirkning af en repræsentativ person baseret på typiske forhold i Danmark, herunder foreliggende data for indtag af relevante fødevaregrupper.

Der er i forbindelse med sikkerhedsanalyserne udført vurdering af variabiliteten af de relevante parametre og dennes betydning for sikkerhedsanalysernes resultat. Det skal i denne forbindelse understreges, at omfanget af datagrundlaget for parametrene varierer, og at en række parametre derfor er mere usikkert estimeret end andre. Generelt vil det således være væsentligt, at der i det videre arbejde gennemføres supplerende sikkerhedsanalyser for de konkret udpegede potentielle lokaliteter, og at der evt. i forbindelse med disse etableres et mere omfattende datagrundlag også for andre mindre stedsspecifikke data,

såfremt disse vurderes at have væsentlig indflydelse på analysens resultat.

Udover potentielle påvirkninger via udsivning fra depotet er tillige udslip af gasformige nuklider fra depotet vurderet.

Sikkerhedsanalysernes modeller har beregnet konsekvenser af udslip frem til og med år 10.000 efter etablering af depotet. På dette grundlag er der udført overslagsberegninger for potentiel påvirkning som følge af nuklider, som til dette tidspunkt stadigt forekommer i depotet i niveauer over de af IAEA skitserede frigivelseskriterier.

På basis af de udførte sikkerhedsanalyser m.m. er uddraget en række konklusioner med hensyn til relevant konditionering af affaldet samt forslag til valg af depotkoncept.

Der er foretaget økonomiske overslagsberegninger på de forskellige depotkoncepter samt for den videre proces frem mod etablering af depotet.

1.2 Konklusioner og anbefalinger

I det efterfølgende gengives konklusionerne fra hovedrapporten udarbejdet for Dansk Dekommissionering af COWI. Henvisninger til appendices m.m. henviser til hovedrapporten.

Anbefalingerne er baseret på de udførte sikkerhedsanalyser med hensyn til forventelig langtidspåvirkning, risikoen for mulige uheld samt generelle anbefalinger til sikring af en lang levetid for depotet.

1.2.1 Generelle anbefalinger vedr. depotplacering m.m.

Ved valg af depotplacering er det vigtigt at sikre en god beskyttelse mod påvirkninger, som kan føre til tidligere eller øget påvirkning fra depotet, såsom oversvømmelse. Der gives derfor følgende generelle anbefalinger:

Et depot bør placeres i områder, der ikke er udsat for oversvømmelser fra havet eller stigende grundvand[1] samt erosion. Depotet bør endvidere placeres således, at vandet strømmer væk fra og ikke ind i depotområdet i tilfælde af voldsomme regnskyl. Endelig bør der ved placering af depotet tages højde for forventelige havstigninger som følge af f.eks. klimaændringer.

Et depot bør ikke placeres i områder med kendt risiko for jordskælv eller væsentlig risiko for sætninger.

Et depot bør placeres tilstrækkeligt langt fra større kommercielle lufthavne, således at risikoen for uheld som følge af flystyrt minimeres. Ved valg af en konkret lokalitet, bør der foretages en specifik vurdering af risiko ved flystart og landing gældende for både kort og langt sigt.

Hvis der i depotopbygningen anvendes armeret beton i de ydre dele af konstruktionen, skal det sikres, at klorid indholdet i det omgivende miljø ikke udgør en risiko med hensyn til korrosion. Tilsvarende må der heller

[1] Væsentligt udover, hvad der er forudsat ved projekteringen af depotet.

ikke findes en væsentligt jævnstrømskilde i nærheden, f.eks. katodiske beskyttelsessystemer af ledninger eller underjordiske stålkonstruktioner.

1.2.2 Generelle anbefalinger vedr. konstruktion, indretning, fyldning og drift af depoterne

1.2.2.1 Visuel fremtoning af depotet

Det er foreslået, at depotets visuelle fremtoning bliver karakteristisk og af en art, som også i en fjern fremtid sikrer, at man vil være opmærksom på, at lokaliteten indeholder noget usædvanligt, og som vil styrke den kollektive hukommelse omkring anlæggets historie.

Det er foreslået, at depotanlægget designes med en yde afgrænsning, der kan forbinde anlægget med omgivelserne og samtidigt fastholde anlæggets indre geometriske form, således at det vil være muligt at genkende depotanlægget fra luften i lang tid fremover. Det er således foreslået, at anlæggets indre geometri opbygges, således at det ligner det internationale symbol for radioaktivitet. En uddybning af dette forslag findes i Kapitel 5 og i Appendiks L i hovedrapporten.

1.2.2.2 Reversibilitet

Det har været ønsket, at depoterne evt. skulle være reversible, således at relevante affaldstyper kunne udtages på et senere tidspunkt. Dette vil have betydning for dels udformningen af depotet, dels mulighederne for anvendelse af fyldmaterialer i depotet. I både skitseringen og den indledende sikkerhedsanalyse er dette vurderet. Nærværende afsnit indeholder de overordnede konklusioner.

Da beholdernes levetid generelt er mindre end f.eks. 300 år[2], må det forventes, at processen med udtagning vil være kompliceret og forbundet med større risiko end processen med placering af beholderne i depotet. Såfremt man ønsker at kunne udtage visse affaldstyper på et senere tidspunkt, og da det næppe vil dreje sig om alle affaldstyper, bør dette indgå i den overordnede organisering af affaldets placering i depotet.

Det er i skitseprojekteringen anbefalet, at der anvendes sand eller bentonit som fyld i depotet, såfremt det skal være reversibelt, og ellers sand eller beton[3], se nærmere detaljer under de enkelte depottyper i hovedrapportens Kapitel 4. For flere affaldstyper er det dog som følge af sikkerhedsanalyserne anbefalet, at der, for at reducere risikoen for forhøjede doser ved uheld eller ved den langsigtede påvirkning, anvendes enten bentonit eller beton til fyld omkring containere eller tromler, såfremt de er placeret direkte i depotet[4]. Procedurerne for fjernelse af fyldmaterialer vil være vanskeligere, såfremt der anvendes bentonit eller beton, hvilket vil øge prisen samt risikoen for nærkontakt med aktivt materiale.

Nogle af de arbejdsmiljømæssige problemer relateret til reversibilitet samt risikoen for de omkringboende ved en senere udtagning af affaldet er behandlet nærmere i Kapitel 8 i hovedrapporten. Det er en generel erfaring fra nukleare anlæg, at genhåndtering af affald skal udføres med stor forsigtighed.

---

[2] For de typisk anvendte beholdere mindre end 100 år.
[3] Anvendelse af et fyldmateriale i depotet, altså omkring containere og tromler vil være nødvendig for at sikre stabiliteten af depotet, også når containere og tromler er korroderet.
[4] Se detaljer i Kapitel 9.

Reversibilitet kan opretholdes i større eller mindre omfang, alt efter depotets øvrige udformning. I skitseprojekteringen er følgende muligheder for reversibilitet vurderet:

- Et depot placeret på overfladen vil i princippet altid være reversibelt, da afdækning og membraner samt fyld omkring affaldet (såfremt dette ikke er beton) vil kunne fjernes.
- Et depot placeret lige under jordoverfladen vil relativt enkelt kunne være reversibelt, så længe der ikke fyldes omkring containerne. Dette vil dog af hensyn til ulykker ikke være muligt for visse affaldstyper (se Kapitel 9 i hovedrapporten) allerede fra depotets indfyldning. Hvis depotet skal genåbnes efter det har været fuldstændigt lukket, skal de afskærende vægges stabilitet først vurderes, hvorefter membran og de beskyttende beton dæk kan afmonteres.
- Et mellem-dybt depot kan etableres både reversibelt og irreversibelt, hvilket vil have betydning for selve konstruktionen (se Kapitel 4 i hovedrapporten). Et reversibelt, mellem-dybt depot kan etableres med fyldning enten oppe fra eller indvendigt fra. Fordelen ved et depot med fyldning indefra er, at det i princippet vil være muligt at udtage bestemte affaldstyper efterfølgende uden at fjerne evt. overliggende affaldstyper. Ved et depot betjent oppefra vil senere udtagning af containerne endvidere afhænge af tilstanden af de løftekroge, der sidder på containerne. I øvrigt gælder de samme kriterier for de mellemdybe depoter som for et depot placeret nær overfladen.
- Et mellem dybt depot kan også etableres som et system af vandrette kaverner. Her er der principielt adgang til de enkelte "fingre", indtil disse lukket med en betonprop. Betonproppen kan også nedbrydes efter lukning i hvert fald i en periode op til 200 til 300 år. Adgangsskakten til fingrene kan holdes åben og om nødvendigt forstærkes på et senere tidspunkt.

Reversibilitet vil alt andet lige øge omkostningerne ved depotet med i størrelsesordenen 10 til 25 %, især afhængigt af depotets dybde. Heri indgår ikke udgifter til efterfølgende håndtering af affaldet samt afrensning af beholdere og containere for fyldmateriale og efterfølgende håndtering af dette fyldmateriale, som må forventes at indeholde et vist niveau af aktivitet afhængigt af, hvor længe der går, inden affaldet tages ud. Derudover vil en senere udtagning af affald fra depotet resultere i en øget risiko for påvirkning af omkringboende som følge af mulige uheld i forbindelse med udtagningen, ikke mindst fordi emballager m.m. kan risikere at være korroderede og skrøbelige.

1.2.2.3 Generelle anbefalinger vedrørende depotets konstruktion

Betonkonstruktioner skal udføres vandtæt i klasse 3 i henhold til DS/EN 1992-3:2006.

Design og udførelse af depotet skal udføres med henblik på at undgå sprækkedannelse i betonkonstruktionerne. Sprækker kan opstå som følge af dårligt kompaktering af betonen, forkert betonblanding, mangel på beskyttelse mod fordampning, dårligt udført støbning, termisk revnedannelse p.g.a. for store temperaturforskelle f.eks. mellem ny og tidligere støbt beton, for hurtig udtørring af betonen. Sådan sprækkedannelse skal minimeres ved omhyggelig udførelse.

Andre typer af revner er afhængige af design og kan minimeres ved bl.a. at sikre at betonen er forstærket korrekt, og at de mellemdybe depoter udføres som cirkulære konstruktioner.

Endvidere bør konstruktionerne være designet til at modstå forventelige jordskælv m.m.[5] indenfor den krævede levetid (min. 300 år).

De i tabellen nedenfor nævnte, primært kemisk relaterede, årsager kan have negativ effekt på betonkonstruktioner og bør modvirkes som beskrevet.

Mulige skadelige påvirkninger på konstruktionerne samt anbefalede modvirkninger

Nedbrydningsmekanisme	Vurdering og tiltag
Sulfat angreb	Dette kan imødegås gennem valg af cementtype eller specifikke blandinger, som kan sikre sulfatresistens i det konkrete miljø.
Forsinket ettringit dannelse (Delayed Ettringite Formation, (DEF)	Risikoen for DEF modvirkes ved et krav om maks. 65 °C under størkning. Brug af cement med et flyveaske indhold på 65-70 % minimerer også risikoen for DEF.
Alkali-aggregat reaktioner og alkali-karbonat reaktioner	Risikoen for reaktioner skal undgås ved passende valg af ikke reaktive aggregater. Fine såvel som grove skal testes med standard metoder for at udelukke risiko for alkali reaktioner.
Sprækkedannelse i nystøbt beton	Tidlig sprækkedannelse skal holdes under kontrol f.eks. ved hjælp af afkølingsprocedurer baseret på temperatur/stress analyser.
Udsivning	Udsivning skal begrænses via et lavt vand/cement forhold i betonen. På sigt kan ind- og udsivning til og fra depotet dog ikke undgås helt.

Betonkonstruktioner skal forsynes med en passende membran på ydersiden. Den konkrete placering er angivet for de enkelte depottyper i Kapitel 4. Denne membran er ikke medtaget som en barriere i sikkerhedsanalysen, da levetiden af den kan variere betragteligt.

Såfremt depotet er placeret i jord- og grundvandslag med et lavt klorid indhold af hensyn til potentiel korrosion af armering, vil karbonat induceret korrosion udgøre den afgørende parameter i forhold til design af depotkonstruktionen.

Udover ovenstående er der i hovedrapportens Kapitel 4 angivet en række specifikationer for materialer og udførelse for de enkelte depottyper, herunder krav til lertype og udførelse af lermembraner til depottypen placeret ovenpå jorden og til de anvendte plastmembraner. For denne depottype anbefales det endvidere, at der etableres et elektronisk lækage detektionssystem under plastmemebranen. Det er tillige væsentligt, at der er meget præcise krav til udførelse af membraner m.m. samt procedurer for rapportering og udbedring af skader på membraner og betonkonstruktioner under etableringen.

[5] Svarende til en forventelig 1000 års hændelse.

1.2.2.4 Generelle anbefalinger vedrørende depotets fyldning og drift

I forbindelse med opfyldningen bør der være etableret midlertidig afskærmning til reduktion af støvspredning ved evt. tab af tromler eller containere.

Affald, der er brændbart, bør straks efter placeringen i depotet afdækkes med passende fyld, se Kapitel 9 i hovedrapporten, for at undgå, at en evt. brand spredes til dette affald.

Der bør sikres tilstedeværelse af brandslukningsmateriel både på anlægget som helhed og ved selve depotet for at reducere konsekvensen i forbindelse med uheld relateret til brand.

Endvidere bør elektriske installationer være udført af ikke-brandbare materialer, ligesom der ikke bør placeres transformere inde i depoterne (eller i nærheden af området for midlertidig opbevaring af affaldet inden endelig deponering).

Der bør straks udlægges fyldmateriale omkring grafitaffaldet efter placeringen i depotet for at undgå, at en evt. brand opvarmer evt. ikke udglødet grafit. Der bør ikke placeres brændbart materiale (sådanne affaldstyper, paller m.v.) i nærheden af grafit affaldet.

Der skal for de relevante typer af særligt affald, se kapitel 9, tages højde for kritikalitet ved affaldets placering i depotet.

De affaldstyper, det er mindst relevant evt. at genudtage[6] bør ud fra dette synspunkt placeres nederst i depoterne tillige med de mest støvende affaldstyper.

De affaldstyper, det kan være mest relevant at genudtage, kan dog samtidigt være de affaldstyper, der er mest kritiske i forhold til potentiel påvirkning af omgivelserne, hvorfor det kan være mest hensigtsmæssigt at placere dem dybest af sikkerhedsmæssige hensyn. Derfor bør reversibilitetsspørgsmålet overvejes nøje, inden organiseringen af affaldets placering i depotet.

Der skal opstilles et moniteringsprogram, der overvåger depotets potentielle påvirkning af omgivelserne (grundvand, overfladevand, gasudsivning, planteoptag m.m.). Grundvandsovervågningen vil typisk omfatte 1 opstrøms og 3 nedstrøms boringer. Denne endelige udformning af programmet vil afhænge af den konkrete lokalitet og den valgte depottype.

1.2.3 Anbefalinger baseret på den præliminære sikkerhedsanalyse

1.2.3.1 Depotkoncepter

Der er i sikkerhedsanalysen vurderet på 2 typer af terrænnære depoter: en type placeret ovenpå jorden og en type placeret lige under jordoverfladen.

For disse to typer er placering henholdsvis ovenpå og nede i ler, moræne, kalk (skrivekridt) og klippe undersøgt. For depoterne under overfladen er både undersøgt en placering lige under overfladen og en placering i en

[6] F.eks. hvor genoparbejdning ikke er relevant

dybde på omkring 30 m under jorden. Ved de forskellige placeringer er der taget hensyn til sandsynlige tilgrænsende lag.

Der er i sikkerhedsanalysen vurderet depoter placeret mellemdybt for alle 4 geologier. For den højestliggende depottype (bund i ca. 50 m under terræn og den bredeste, se kapitel 4 i hovedrapporten for detaljer) er der beregnet for alle 4 geologier. For dette depot er der på basis af skitseprojekteringen set på både et depot betjent fra oven og et depot betjent indefra. For de dybere beliggende depoter er der kun regnet med betjening oppefra, idet betjening indefra vil optage en uhensigtsmæssig stor del af depotets volumen. Der er endvidere på basis af skitseprojekteringen også set på et mellemdybt depot opbygget som en kaverne i fed ler, kalk eller klippe. For den mellemste depottype er der beregnet for ler, kalk og klippe (bund i ca. 70 m under terræn) og for den dybest beliggende depottype er der beregnet for fed ler. Dette er valgt ud fra de sandsynlige dybder af de pågældende lag. Der er derudover set på, hvilke vandførende lag vil kunne forekomme i hvilke dybder i de pågældende formationer, således at der samtidigt kan foretages en vurdering af betydningen af dette.

Borehullet er i sikkerhedsanalysen foreslået placeret i kalk eller klippe i enten 100 til 150 meters dybde eller 250 til 300 meters dybde. Resultaterne vil også være gældende for depoter placeret i mellemliggende dybder.

Det vil være muligt med den opstillede model at vurdere placering i andre geologier efterfølgende.

Der er som tidligere nævnt foretaget indledende sikkerhedsanalyser af både potentielle uheldssituationer og af den mulige langsigtede påvirkning af en reference person. Sikkerhedsanalyserne er baseret på konservative, men realistiske forudsætninger.

Anbefalingerne er baseret på, at hændelser ikke bør give væsentlig risiko for en dosis per år hos referencepersonen på over 1 mSv, og at tillægsdosis fra den langsigtede eksponering ikke bør overstige 0,01 mSv per år.

De følgende anbefalinger søger at tage hensyn til den variation, der er for de relevante geologiske parametre, idet der jo er anvendt generiske geologier. Der er derfor inkluderet en vis sikkerhedsmargin i forhold til overholdelse af strålingskriteriet (i størrelsesordenen en faktor 1000 til 100.000, da usikkerheden på de resulterende dosisberegninger som følge af mulig variation i de afgørende parametre mindst er af denne størrelsesorden). Baseret på konkrete geologier og en stedsspecifik vurdering/undersøgelse vil variationen være mindre, hvorfor anbefalingerne evt. vil kunne ændres.

Endvidere er der skelet til, hvilke affaldstyper, der stadigt efter lang tid vil have et højt aktivitetsindhold, både absolut og per mængdeenhed, og som derfor i lang tid vil kunne give anledning til væsentlige doser, såfremt de ikke afskærmes.

Grundlaget for opgaven har jf. Beslutningsgrundlaget været, at de skitserede depoter skulle have en levetid på 300 år. De indledende sikkerhedsanalyser har som delresultat, at den samlede levetid af barrieresystemet for de anbefalede løsninger ligger i mellem 500 og 1000

år. Efter denne periode vil der stadigt være affaldstyper tilbage i depotet, som indeholder væsentlig aktivitet. Det drejer sig om følgende affaldstyper[7]:

- Type 1 (grafitaffald)
- Type 8 (sekundært affald fra dekontaminering)
- Type 12 (eksisterende affald fra Hot Cell)
- Type 13 (eksterne strålekilder)
- Type 14 (særlige strålekilder)
- Type 15 og 18 (bestrålet uran)
- Type 16 og 17 (bestrålet brændsel)
- Type 19 (ubestrålet uran)
- og i begrænset omfang type 21 (tailings).

Det er følgende nuklider, som giver anledning til aktiviteten:

C-14, Ra-226 samt uran og plutonium nukliderne samt disses døtre.

Det er således disse affaldstyper og nuklider, der er afgørende for sikkerhedsanalyserne relateret til den langsigtede udvikling.

Med de nedenfor beskrevne anbefalinger skønnes det årlige tillægsbidrag til dosis fra affaldsdepotet maksimalt at ligge på 0,00001 mSv for referencepersonen, når usikkerheden knyttet til beregningerne også tages i betragtning[8].

1.2.3.2 Generelle anbefalinger

Det er en generel konklusion, at placering af et depot, så vidt muligt ikke bør foretages tæt på væsentlige vandførende lag[9], da dette har større betydning end dybden af depotets placering.

Da sådanne er mere forekommende i morænelersformationer (og de typisk har højere hydraulisk ledningsevne), vil det generelt være nødvendigt at foretage større afskærmning af affaldet i disse formationer (i form af tykkere godstykkelse af beholdere og anvendelse af fyld både i og omkring beholdere og containere) for at opnå samme dosisniveau som for de øvrige geologier.

Med hensyn til mulige påvirkninger p.g.a. uheld vil der generelt være størst risiko ved depoter placeret nær overfladen, dels fordi de er mere udsat for f.eks. udslip forårsaget af boring og gravning, når depotet er "glemt" samt af flystyrt og meteoritter i hele depotets levetid, fordi spredning af støv vil være mere uhindret ved sådanne hændelser samt f.eks. tab af affald ved placering af dette og ved evt. udtagning af dette igen.

For alle depottyper undtagen et borehul[10], (der også som udgangspunkt betragtes som irreversibelt) vil der som følge af håndteringen af affaldet

[7] Se kapitel 9 for nærmere beskrivelse
[8] Dvs. når der er taget højde for den variabilitet og usikkerhed, der er knyttet til alle de parametre, der ligger til grund for den indledende sikkerhedsanalyse.
[9] I modellen er det regnet som direkte tilgrænsende lag.
[10] Hvor risikoen for at beholderne går i stykker er mindre på grund af den meget kraftige godstykkelse.

på lokaliteten, inden det fyldes i selve depotet[11], være risiko for at en referenceperson modtager en dosis støre end 1 mSv i forbindelse med, at depotet fyldes eller tømmes. Denne risiko vil være mindre end 1 x 10^{-6}, se også uddybningerne heraf i kapitel 8.5 i hovedrapporten.

1.2.3.3 Terrænnære depoter

På grundlag af sikkerhedsanalyserne kan de følgende vurderinger gøres.

Terrænnære depoter bør kombineres med et borehul, hvori følgende affaldstyper placeres: Type 12, 13, 14, 15, 16, 17 og 18[12]. Se den nærmere beskrivelse af disse affaldstyper i afsnit 1.2.3.1 samt i hovedrapportens kapitel 9.

Såfremt der ønskes et depot placeret på overfladen, bør det placeres på moræneler. For uopsprækket klippe og fed ler vil den hydrauliske ledningsevne være så lille, at udsivning gennem siderne af depotet kan føre til utilsigtet overfladisk afstrømning. Skrivekridt kan være meget opsprækket i de øverste lag, og den foretagne generiske analyse giver ikke et tilstrækkeligt grundlag for at vurdere disse forhold.

Når containere og tromler er placeret i et depot på overfladen, skal der udlægges fyldmateriale mellem containerne og tromlerne og ovenpå disse. Materialet skal kompakteres med skråninger på maksimalt 1:3 for at undgå erosion af lag udlagt oven på topmembranen. Afhængigt af, om der ønskes en reversibel eller ikke reversibel løsning kan der anvendes bentonit eller beton som fyldmateriale.

Terrænnære depoter i moræneler (under overfladen) bør ikke etableres i geologier, hvor moræneleren direkte overlejrer bryozokalk eller anden vandførende formation, da dette vil give mulighed for hurtig påvirkning af drikkevand.

For alle terrænnære depoter viser sikkerhedsanalyserne, at der skal anvendes bentonit eller beton som fyldmaterialer mellem containere/tromler for at sikre en tilstrækkeligt lille dosis.

Der bør etableres et drænsystem omkring et terrænnært depot, således at regnvand ledes bort fra depotet. Der bør endvidere i moniteringsfasen etableres monitering af grundvandsstand omkring depotet, således at der kan foretages grundvandssænkning om nødvendigt.

I opfyldningsperioden bør der etableres en form for midlertidig overdækning af et depot placeret på overfladen, således at der ikke kommer vand til affaldet for tidligt. Endvidere bør denne overdækning udføres, således at den også giver beskyttelse mod støvspredning i tilfælde af tab af affaldsbeholdere. For et depot placeret på overfladen bør depotets sider eller omkransning udføres på en sådan måde, at ekstreme regnhændelser ikke forårsager vandfyldning af depotet og udvaskning fra dette i opfyldningsperioden.

I overvågningsperioden bør måling af radioaktivitet i beplantningen på og omkring depotet indgå i moniteringsprogrammet. I denne periode bør grundvandsstanden også moniteres omkring depotet, og der bør være etableret mulighed for grundvandssænkning om nødvendigt.

[11] Håndtering i det temporære depot inden fyldning i selve depotet. Uheld kan skyldes tab af beholdere og brand.
[12] Evt. kun dele af type 12 og 13 afhængigt af den endelige karakterisering

Uheldshændelser med risiko for forhøjet påvirkning af referencepersonen er (udover de generelle risici, se under Generelt) knyttet til flystyrt og meteornedfald samt til gravning og boring i depotet, når det er "glemt". De samlede sandsynligheder for, at referencepersonen opnår en dosis større end 1 mSv som følge af alle typer uheld[13], vil ligge i størrelsesordenen 1 x 10^{-5} for begge typer terrænnære depoter.

For at reducere risikoen for uoverlagt udgravning i depotet anbefales det at der etableres en form for synlig advarsel omkring og over depotet, som kan advare om tilstedeværelsen af depotet i en udgravningssituation og bidrage til en lang kollektiv hukommelse af baggrunden for denne lokalitet.

Der er generelt en større risiko for utilsigtet udslip af radioaktivitet i tilknytning til uheldshændelser m.m. knyttet til de terrænnære depoter end til de mellemdybe. Det skyldes især den forholdsvis store sandsynlighed for gravning eller boring i et sådant depot tillige med den lidt større risiko for spredning af støv til naboer i forbindelse med uheld ved depotets fyldning.

1.2.3.4 Mellemdybe depoter

For de mellem-dybe depottyper giver sikkerhedsanalysen følgende vurderinger.

Medmindre depoterne placeres nær vandførende lag (se ovenfor) er det forventelige dosisniveau af samme størrelsesorden for kalk og fed ler[14]. Placering i klippe giver som forventet meget lave doser. Det skal dog understreges, at der i den indledende sikkerhedsanalyse er forudsat, at klippen er uopsprækket. Vurdering af transport i opsprækket klippe vil afhænge meget af de stedsspecifikke forhold og dermed af hvilke recipienter, der kan forventes at blive påvirket af transport i sprækkerne.

Ved placering nær vandførende lag vil det være nødvendigt med fyld af bentonit eller beton for at opnå tilstrækkeligt lave langsigtede doser. Dette er uanset, om noget af affaldet placeres i et borehul eller ej. Dog vil placering af affaldtype 13 i borehullet generelt medføre lavere langsigtede doser.

Der er generelt lille forskel i dosis mellem de forskellige skitserede typer af mellemdybe depoter, fordi der er lille forskel på det gennemstrømmede tværsnitsareal. Forskellen mellem de reversible og irreversible depottyper vil bero på det anvendte fyldmateriales effekt (henholdsvis bentonit og beton), se afsnit 1.2.3.7.

Risici for referencepersonen for at få en forhøjet dosis relateret til uheld i mellemdybe depoter er (udover de generelle risici, se under Generelt) knyttet til mulig brand i materiel anvendt i depoterne, som fyldes (eller tømmes) indefra.

Den samlede sandsynlighed for at en referenceperson modtager en dosis på mere end 1 mSv som følge af alle typer uheld, der kan forekomme ved et mellemdybt depot, er af størrelsesordenen 1x 10^{-6} [15]. Sandsynligheden er lidt større for depoter betjent oppefra end for de andre depottyper, da

[13] Inkl. håndteringsuheld.
[14] Generelt dog lidt lavere for kalk (skrivekridt) end for fed ler-
[15] Dog er maks. sandsynligheden lavere end for de terrænnære depoter

muligheden for spredning af støv er størst for depoterne betjent oppefra. Dette kan dog reduceres ved de tidligere anbefalede tiltag.

Det fremgår af sikkerhedsanalysen, at kun uheld i forbindelse med fyldning og tømning af depotet er relevant for de mellemdybe depoter p.g.a. den store afstand fra depotets top til jordoverfladen (> 30 m).

De mellemdybe depoter giver mindst risiko for spredning af forurenet støv til naboer i tilfælde af uheldshændelser[16]. Her er depottyperne, der betjenes indefra de mest sikre, da det er forudsat, at ffaldet sænkes ned via en elevator. For personalet er især skaktløsningerne dog mindst sikre, idet denne types konstruktion medfører lange flugtveje.

I tilfælde af brand vil især de depottyper, der betjenes indefra give større risiko for personalet end de terrænnære depoter. Det kan reduceres ved at etablere sikre flugttrapper og brandslukningssystemer. Sådanne løsninger skal selvfølgelig godkendes af arbejdsmiljø- og brandmyndigheder.

Det anbefales, at der opstilles klare procedurer for nedlukning af ventilation m.m. i tilfælde af brand for at reducere konsekvensen i forbindelse med uheld relateret til brand.

Der bør etableres filter på udluftningen af depotet, og afkastet bør som en del af moniteringsprogrammet undersøges løbende for aktivitet, ligesom der bør etableres mulighed for at lukke afkastet.

1.2.3.5 Borehuller

Sikkerhedsanalyserne viser, at den forventelige dosis ved placering af de nævnte affaldstyper i et borehul vil være meget lille. Der er ikke knyttet yderligere specifikke anbefalinger til borehuller.

1.2.3.6 Økonomi

På basis af skitseprojekteringen er følgende samlede omkostninger opstillet for de forskellige mulige depottyper, se Tabel 10.1 i hovedrapporten. Dette indeholder som nævnt ikke omkostninger til eventuel efterfølgende udtagning og håndtering af affald [17]fra et reversibelt depot. Overslaget indeholder omkostninger til placering af affaldet i depotet, monitering og drift af depotet i en 30-årig periode samt endelig lukning af depotet.

Den store variation i totalomkostningerne for en kaverneløsning afhænger af, om kaverne etableres i klippe eller materialer, der vil kræve afskæring af vand.

Udover omkostningerne i Tabel 10.1 tilkommer omkostninger til fyldmaterialer og til den videre proces frem til depotets etablering og fyldning. Størrelsesordenen er især afhængig af de nødvendige feltundersøgelser. De samlede omkostninger til dette udgør henholdsvis 1 til 5 mio. DKK til fyldmaterialer, afhængigt af depottype og valg af fyldmateriale, og 27 til 39 mio. DKK afhængigt af antallet af lokaliteter, der undersøges[18].

[16] Bortset fra borehullet.
[17] og evt. forurenede fyldmaterialer
[18] Det er som grundlag for overslaget forudsat, at der foretages indledende undersøgelser på 5 til 6 lokaliteter og mere detaljerede undersøgelser på 2 til 3 lokaliteter.

Derudover bør en endelig sikkerhedsanalyse inkl. samfundsmæssige omkostninger relateret til potentielle påvirkninger af naboer til den konkrete lokalitet. Relevante enhedsomkostninger er anført i afsnit 10.5 i hovedrapporten.

1.2.3.7 Konklusioner / anbefalinger vedr. konditionering

Det er en fordel, såfremt der kan anvendes et begrænset antal forskellige containere til konditionering af affaldet. Containere af samme størrelse og form er nemmere at håndtere og placere i depotet, end hvis de er af forskellig størrelse og form.

Generelt anbefales det, at efterfylde containere og hvor muligt tromler for at sikre mod sætninger af affaldet i depotet. Valg af fyld vil afhænge af ønsket om at kunne få adgang til evt. senere efterbehandling af affaldet eller ej, se Kapitel 1.2.2.2. De indledende sikkerhedsanalyser har ikke givet et tilstrækkeligt grundlag for at påvise væsentlige forskelle mellem fyldmaterialernes samlede effekt med hensyn til tilbageholdelse af nuklider på langt sigt[19]. Datagrundlaget for især vurdering af cement calcium granulatens egenskaber er endnu ikke er så stort[20]. Dette bør undersøges nærmere inden endeligt valg mellem fyldtyperne. Generelt afhænger tilbageholdelsesegenskaberne af en blanding af fyldets betydning for den samlede permeabilitet[21] og af de geokemiske forhold, som fyldet er med til at etablere, som dels har betydning for opløseligheden af nukliderne i affaldet og dels har betydning for fyldets evne til at binde nukliderne i en periode, hvorfor de er henfaldet yderligere, inden de kommer ud af depotet.

Generelt viser sikkerhedsanalyserne at anvendelse af fyld mellem containere m.m. vil reducere den langsigtede påvirkning med 2 - 3 størrelsesordener. Såfremt der ikke er foreslået en specifik fyldtype omkring containerne eller i depotet som helhed, er det af hensyn til stabiliteten af depotet anbefalet, at der efterfyldes med sand.

I Kapitel 9 i hovedrapporten er foretaget en opsamling af anbefalinger vedr. konditionering baseret på sikkerhedsanalyserne af både uheldssituationer og langsigtet påvirkning.

De affaldstyper, der er mest kritiske i forhold til spredning i forbindelse med uheldshændelser m.m., er grafitaffaldet (type 1), det sekundære affald fra Hot Cell (type 8), affaldet fra spildevandsrensningen (type 9) og det blandede affald (type 10). Dette skyldes primært deres brændbarhed eller at de i væsentligt omfang består af eller indeholder store mængder af finkornet materiale set i sammenhæng med den samlede mængde af den pågældende affaldstype.

Der skal foretages en yderligere vurdering af den specifikke konditionering af affaldstyperne 15 til 18 (bestrålet affald og bestrålet brændsel). Derudover er det meget væsentligt at tage hensyn til kritikalitet, når disse affaldstyper placeres i en depottype.

---

[19] Forskellen i effekt mellem beton og bentonit (som er de to fyldmaterialer, der er bedst belyst i litteraturen) vil også afhænge ag det enkelte nuklid, hvorfor en entydig afgørelse bliver vanskeligere.
[20] Den foreliggende begrænsede datamængde for granulaten tyder som forventeligt på gode egenskaber på grund af granulatens mulighed for at skabe et basisk miljø. Omvendt vil granulatens permeabilitet selv efter hærdning være større end for både bentonit og beton.
[21] Der bestemmer hvor hurtigt vandet kommer ind til beholderne og kan fremme deres korrosion, og hvor hurtigt vandet kommer ud af beholderne og depotet efter at have været i kontakt med affaldet.

Udover de nævnte anbefalinger, som primært tager udgangspunkt i hændelser i eller ved fyldning af depotet, bør der ved konditioneringen tages hensyn til den nødvendige sikkerhed ved selve håndteringen af affaldsbeholderne samt til krav, som kan blive stillet af hensyn til transporten fra Risø til depotet.

Derudover anbefales det, at der foretages en endelig karakterisering af affaldet i henhold til IAEAs og EU's bestemmelser for dette, inden endelig emballering og deponering. Man skal være opmærksom på, at en ændret klassificering (og dermed emballage) kan medføre ændringer i det nødvendige depotvolumen, hvorfor klassificeringen bør foretages, inden den egentlige projektering af depotetsåledes at der i projekteringen sikres et tilstrækkeligt volumen til mulige ændringer.

Da der kan opstå fejl eller skader ved pakningen af affaldet, fysisk skade på beholderne under håndtering i forbindelse med oplagringen og evt. korrosion af emballager under opbevaringen, er det vigtigt, at der etableres en procedure for tjek af alle affaldspakker, før de transporteres fra Risø til depotet.

1.2.4 Anbefalinger vedr. fremtidige studier m.m.

1.2.4.1 Klassificering af affald

Den i forstudiet foretagne opgørelse og fordeling af nuklider på affaldstyper er præliminær og udført med henblik på forstudiets formål. Der bør, inden endelig konditionering og organisering af affaldets placering i depotet (herunder placering i et borehul) og fastlæggelse af nødvendigt depotvolumen foretages en mere detaljeret karakterisering af affaldet, som også tager hensyn til de krav, der knytter sig til den faktiske lokalitet. Denne karakterisering bør udføres i overensstemmelse med IAEA's og EU's standarder herfor og danne baggrund for en samlet detaljeret opgørelse af affaldet indeholdende beskrivelse af materialet, volumen vægt, aktivitet og fordeling på specifikke nuklider.

Det bør vurderes nærmere, om affaldstyperne eller dele heraf med et væsentligt metalindhold kan dekontamineres eller evt. reduceres i volumen ved smeltning eller for aluminiummets vedkommende ved komprimering.

Det anbefales, at kravene til klassificering og konditionering indgår som grundlag for den endnu ikke udførte dekommisionering.

Andre muligheder for håndtering af det metalliske uran bør undersøges nærmere.

1.2.4.2 Sikkerhedsanalyser

Generelt er det væsentligt, at de næste sikkerhedsanalyser baseres på parametre, der mere konkret er gældende for de vurderede lokaliteter. Dette gælder både parametre knyttet til de geologiske og hydrologiske forhold[22] og til forhold vedrørende de konkrete naboer, der potentielt kan udsættes for en påvirkning i forbindelse med evt. uheldshændelser m.m. samt på langt sigt. Herunder bør mere realistiske parametre for andel af

[22] En eventuel placering af et overflade depot på fed ler eller klippe bør således baseres på lokalspecifikke forhold og ikke på generiske betragtninger.

påvirkede fødevarer, udendørs ophold, relevante recipienter m.m. inddrages[23]. Endvidere bør dosisberegninger udføres for flere aldersgrupper som defineret af ICRP.

Ved den videre analyse af eventuelle klippelokaliteter er det væsentligt at få sprækkesystemet, herunder sprækkeretningen, detaljeret beskrevet.

I de næste faser i processen anbefales det, at modelleringen af transport i grundvandszonen som et led i sikkerhedsanalysen gøres mere detaljeret og omfatter yderligere relevante forhold, såsom sprækketransport og stokastisk håndtering af heterogenitet baseret på en mere specifik viden om den konkrete lokalitet.

Det anbefales endvidere, at modellen omfatter hensyntagen til både kortvarige og langvarige transiente forhold (f.eks. grundvandspumpning, vandstandsvariation og på langt sigt konsekvenser af klimaændringer). Parametre, som er afhængige af de geokemiske forhold, bør også bestemmes i større detalje baseret på den konkrete lokalitet.

1.2.4.3 Design

I den videre design af depotet bør der inkluderes plads til den (relativt lille) fremtidige mængde af affald fra f.eks. industrielle kilder og sundhedssektoren, der skal placeres i depotet.

Der bør ligeledes foretages mere detaljerede studier af de nødvendige krav til den anvendte beton[24] baseret på de værst tænkelige forhold med hensyn til aggressivitet, der kan forventes på den konkrete lokalitet. Tilsvarende studier bør udføres med hensyn til kvalitet af de forskellige relevante membrantyper. Der bør foretages en stokastisk modellering til beregning af de nødvendige krav set i forhold til den samlede ønskede levetid af konstruktionerne. Derudover bør der udføres test af den valgte beton med mere i forhold til dens modstandsdygtighed med hensyn til fugtgennemtrængning, karbonatisering m.m. Formålet er samlet set, i forhold til design, armering og materialevalg, at opnå en så tæt beton som muligt med det mindst mulige antal og størrelse af revner og bestående af kompatible materialer.

1.2.4.4 Andet

Der bør udføres en specifik vurdering af risikoen relateret til overlagt indtrængen i depotet eller terror med henblik på at få fastlagt evt. nødvendige anbefalinger med hensyn til design, systemer til beskyttelse mod indtrængen samt alarmsystemer. Dette vil til dels være afhængigt af den konkrete placering.

Der bør i forbindelse med de undersøgelser af planter og afdækningsjord, der foretages i moniteringsperioden opstilles en procedure for, hvorledes der skal reageres, hvis der konstateres radioaktivt udslip.

Som et led i udvælgelsen af den endelige lokalitet på baggrund af de lokaliteter, som udpeges i forstudiet, foreslås det at anvende Landskabskaraktermetoden til at vurdere de enkelte lokaliteters landskabelige robusthed.

---

[23] Bl.a. er det hensigtsmæssigt konkret at vurdere, hvor stor en andel af tiden personer kan forventes at opholde sig udendørs på den konkrete lokalitet i forhold til de forudsatte 20 % af tiden.
[24] Herunder relevant tilsætningsstoffer, såsom flyveaske, micro silica m.m.

Det er væsentligt, at der udarbejdes en vedligeholdelsesplan for depotanlægget, og at depotet inkl. denne vedligeholdelsesplan er omtalt i relevante optegnelser og databaser, således at kendskabet til depotets eksistens i så vidt omfang som muligt bevares.

1.2.5 Den videre proces

Næste del af processen vedrørende etablering af et slutdepot for dansk radioaktivt affald vil omhandle en udpegning af potentielle lokaliteter for slutdepotet, herunder udførelse af detaljerede feltundersøgelser for disse lokaliteter, samt det forberedende arbejde til anlægslov, herunder projekteringslov, VVM-undersøgelse og skitseprojektering. Der er som et led i forstudiet udarbejdet en foreløbig aktivitets- og tidsplan med henblik på at kunne forudsige og planlægge det resterende forløb og den parallelle myndighedsbehandling m.m. mest hensigtsmæssigt.

Som basis er anvendt beslutningsgrundlaget og udbudsbetingelserne, input på møde med Dansk Dekommissionering den 29. november 2010 samt resultaterne af forstudiet.

1.2.5.1 Tidsplan for det resterende forløb

Der foreligger som resultat af nærværende forstudie en række anbefalinger med hensyn til valg af depottype, som giver mulighed for flere kombinationer, til dels afhængigt af geologierne på de sideløbende udpegede lokaliteter. Afhængigt af det samlede resultat fra alle forstudierne kan dette medføre en yderligere begrænsning i de samlede muligheder. Det er således bl.a. endnu ikke afklaret, hvorvidt der eventuelt bør etableres flere depottyper på samme lokalitet, eller om der vil blive tale om forskellige lokaliteter til forskellige depottyper. Da depoterne er indbyrdes afhængige, forudsættes det i det følgende, at myndighedsbehandlingen vil omfatte depotet/depoterne under et.

I tabellen nedenfor er givet et forslag til tidsramme for de enkelte delaktiviteter blandt andet baseret på Dansk Dekommissionerings viden om og forventninger til den videre proces. Tidsrammen er givet under forudsætning af, at der udvælges 5-6 lokaliteter til videre vurdering[25]. Hvis der indgår 20 lokaliteter, er det skønsmæssigt anslået, at undersøgelserne af disse at vare 1 - 2 år yderligere. Tidsrammen herfor er angivet i parentes.

[25] Det er ikke muligt uden nærmere kendskab til de konkrete lokaliteter at fastslå en tidsramme for op til 20 lokaliteter, da dette vil afhænge meget af, hvordan arbejdet kan planlægges, herunder tilgængeligheden af nødvendigt undersøgelsesudstyr og kvalificeret personale i de relevante perioder.

Forslag til tidsramme for de fremtidige delaktiviteter

Aktivitet	Tidsramme
Planlægning af det videre forløb	Primo 2011 – ultimo 2011
Udvælgelse af 5 - 6 (20) lokaliteter, herunder omegnsstudier og detaljerede feltundersøgelser	Primo 2011 – medio 2012
Vedtagelse af projekteringslov	Medio 2012 – primo 2013
VVM-proces og skitseprojektering	Primo 2013 – ultimo 2015 (2017)
Forslag til og vedtagelse af anlægslov	2016 (2018)
Detailprojektering og udbud	2017 (2019)
Arealerhvervelse Udførelse	2018 (2019) 2018-2019 (2020-2021)
Ibrugtagning, drift og vedligeholdelse	2019 – kontinuert (2021 -)
Overvågning	Kontinuert

1.2.5.2 Aktivitetsplan for det videre forløb

Der er udarbejdet et forslag til aktivitetsplan for det videre forløb af processen vedrørende etablering af et slutdepot for dansk radioaktivt affald. Aktiviteterne vil omfatte:

- Planlægning af det videre forløb
- Udpegning af mulige lokaliteter, herunder detaljerede feltundersøgelser Projekteringslov
- VVM-proces og skitseprojektering
- Forslag til og vedtagelse af anlægslov
- Detailprojektering og udbud
- Arealerhvervelse
- Udførelse
- Drift og vedligeholdelse samt overvågning

Detaljerne for denne plan fremgår af hovedrapoprtens Appendiks J tillige med et økonomisk overslag for aktiviteternes gennemførelse.

2 Transport af radioaktivt affald, SIS

Statens Institut for Strålebeskyttelse (SIS) under Sundhedsstyrelsen har udført forstudiet, der skal belyse risikoen ved transport af det radioaktive affald fra det nuværende opbevaringssted på Risø til et fremtidigt slutdepot for lav- og mellemaktivt affald.

Forstudiets gennemførelse er beskrevet i rapporten, *Radiation doses from the transport of radioactive waste to a future repository in Denmark – A model study.* Den tekniske rapport, der er på engelsk, indeholder et Executive summary og et Resumé på dansk. De følgende afsnit er stort set identiske med det danske Resumé.

2.1 Transportformer og regler

Transport af det danske radioaktive affald skal ske i overensstemmelse med danske bestemmelser og internationale retningslinjer, der begge er baseret på retningslinjer fra det Internationale Atomenergiagentur (IAEA). Modelleringen forudsætter således, at der anvendes egnede kolli (beholder med radioaktivt indhold), der opfylder IAEA's retningslinjer vedr. begrænsning af mængden af radioaktive materialer i kolli og på køretøjer samt standarder for kollienes ydeevne og deres vedligeholdelse.

I princippet kan transporten af det radioaktive affald gennemføres som en vej-, sø-, jernbane- eller lufttransport - eller som en kombination af disse. Baseret på en indledende vurdering af sikkerheden, praktiske forhold og økonomiske omkostninger for hver transportform er jernbane- og lufttransport blevet forkastet. Begge disse transportformer forudsætter vejtransport i både de indledende og afsluttende faser af transporten, hvilket øger omfanget af håndteringer og dermed de potentielle doser. Jernbanetransport indebærer endvidere gennemkørsel af bycentre, hvilket øger de potentielle konsekvenser af en ulykke, hvori der indgår store mængder transporteret affald. Endelig gælder det for lufttransport, at de forventede økonomiske omkostninger gør, at lufttransport må afvises. Studiet fokuserer derfor på modellering af vej- og søtransport.

2.2 Modellering

Der er opstillet konceptuelle modeller for vej- og søtransport, og disse er indarbejdet i modelværktøjet RADTRAN. RADTRAN er oprindeligt udviklet af Sandia National Laboratories for den amerikanske strålebeskyttelsesmyndighed, Nuclear Regulatory Commission (NRC). RADTRAN er efterfølgende blevet videreudviklet og anvendes nu i vid udstrækning af f.eks. det amerikanske Department of Energy (DOE) og IAEA.

Modellerne anvendes til at vurdere stråledoserne i forbindelse med transporter, hvor der ikke sker et uheld, samt for ulykkessituationer. Forskellige ulykkessituationer tildeles sandsynligheder hørende til deres alvorlighedsgrad. For at kunne gøre dette anvender modellen et omfattende sæt af inputparametre, herunder affaldstype, kemiske og fysiske egenskaber af affaldet, aktivitet og dosishastighed, type af kolli, type og dimensioner af køretøj, karakteristik af ruten, samt antal af

chauffører, besætningsmedlemmer, andre personer på og langs ruten. Desuden ses på ulykkesscenarier med forskellige kollityper.

For den overordnede sandsynlighed for en transportulykke er der benyttet statistiske analyser af trafikken i Danmark, mens en ulykkes særlige kendetegn i forhold til det radioaktive materiale stammer fra lande, der har udviklet detaljerede modeller for sådanne ulykker. I modellerne opdeles ulykkerne i 6 alvorlighedsgrader, der baseret på amerikanske undersøgelser er tildelt tilhørende sandsynligheder og fraktioner af frigjort radioaktivt materiale ved ulykken. Fraktionen af frigjort materiale, der er tildelt de forskellige kollityper, kan variere mere end en faktor 10 fra én kollitype til en anden, da kollienes evne til at tilbageholde indholdet i en ulykkesituation varierer i overensstemmelse med IAEA's retningslinjer. Endelig antages det, at det frigjorte radioaktive materiale i en ulykkessituation spredes med vinden, og at dette forårsager en forurening af et område langs vindretningen. RADTRAN anvender en standard (Gaussisk) atmosfærisk spredningsmodel til at simulere spredningen, og tilhørende standard spredningssparametre har været anvendt i dette studie.

Beregninger er i vid udstrækning gennemført med modellernes mindst gunstige randbetingelser. Resultaterne angiver således de højeste potentielle stråledoser et scenarie med rimelighed kan frembringe. Eksempelvis er transportafstanden modelleret som den størst mulige fra den nuværende opbevaringslokalitet. Ligeledes forudsættes det i ulykkescenarierne, at den mest kritiske affaldstype læsses i størst mulig mængde på ét køretøj. Ulykkesscenarierne benytter dog inputparametre for en gennemsnitlig vejrsituation selvom andre vejrsituationer end de benyttede kan medføre en anden fordeling af doserne i en ulykkessituation. For at opnå realistiske scenarier er det ligeledes valgt at bruge input parametre for gennemsnitlig hastighed, trafiktæthed og befolkningstæthed, baseret på de seneste danske observationer. Alt taget i betragtning er modellerne altså ikke en egentlig beskrivelse af virkeligheden, men et forholdsvist forsigtigt skøn, der giver et godt grundlag for en vurdering af en mulig transportform, der kan optimeres, såfremt den gennemføres.

2.3 Resultater

For vejtransport gælder, at alt det radioaktive affald kan transporteres i 250 individuelle transporter hver med en lastbil med anhænger. Den samlede kollektive stråledosis fra alle transporterne, såfremt der ikke sker et uheld, er i størrelsesordenen 40 person-mSv. Chaufførerne modtager ca. halvdelen, mens personer på og langs ruten modtager den anden halvdel. Den samlede kollektive dosis fra de i alt 10 søtransporter af alt det radioaktive affald, herunder håndtering og efterfølgende transport ad vej fra havnen til slutdepotet, er i størrelsesordenen 20 person-mSv. Besætningen modtager cirka tre fjerdedele heraf, mens personer på og langs ruten modtager den sidste fjerdedel.

I begge tilfælde udgør de berørte personer på og langs ruten en større gruppe. Det betyder, at for hver enkelt transport er stråledosis til den enkelte person lille, omkring en størrelsesorden på 0,0001 mSv. Selvom

modelleringen er udført konservativt, viser de beregnede stråledoser, at begge transportformer kan gennemføres godt indenfor de danske dosisgrænser, der er 20 mSv pr. år for arbejdstagere og 1 mSv pr. år for enkeltpersoner i befolkningen.

Anvendte begreber

Individuel dosis:	Stråledosis til en person udtrykt i mSv.
mSv (millisievert):	Enhed for stråledosis (effektiv dosis).
Kollektiv dosis:	Summen af de individuelle doser til alle personer i en defineret gruppe udtrykt i person-mSv.
person-mSv	Enhed for kollektiv dosis
Sandsynlighed på 1:20.000.000:	Èn ud af 20 millioner (fx én alvorlig ulykke ud af 20 millioner gennemførte transporter).

Den ulykkesituation, som beregnes til at medføre den højeste kollektive stråledosis, har en sandsynlighed på 1:20.000.000 for at forekomme for vejtransport og 1:33.000.000 for søtransport. Den beregnede kollektive stråledosis over 50 år fra disse ulykker er 9.500 person-mSv for vejtransport og 24.000 person-mSv for søtransport. I disse scenarier er antallet af berørte personer konservativt beregnet af standard spredningsmodellen til at udgøre 1,4 millioner, da der er anvendt en forstads-befolkningstæthed i hele det berørte område. Den kollektive stråledosis er mindre end 1 promille af den kollektive dosis (ca. 1 millioner person-mSv) den samme gruppe af personer modtager fra baggrundsstrålingen over den samme tidsperiode (De interne stråledoser fra naturligt forekommende radon ikke medregnet).

De højeste individuelle doser, der er beregnet for en ulykkessituation, er i størrelsesordenen 1 mSv for vejtransport og 10 mSv for søtransport, forudsat at de pågældende personer opholder sig i 24 timer inden for de nærmeste 30 meter fra ulykkestedet. Disse stråledoser er 1 til 10 gange den gennemsnitlige dosis, en person modtager årligt fra baggrundsstrålingen i Danmark (radon ikke medregnet).

Risiciene forbundet med de modellerede ulykkesscenarier er derfor vurderet til at være små, og dermed acceptable. I denne sammenhæng er det vigtigt at bemærke, at de beregnede stråledoser fra en ulykke ikke kan ganges proportionalt med tiden, da forskellige såvel umiddelbare som gradvist indførte beskyttelsesforanstaltninger, fx evakuering eller flytning af personer fra nærmeste område, kunne blive iværksat såfremt en ulykke indtræffer.

2.4 Konklusioner

De stråledoser, der er beregnet for transport af det danske radioaktive affald fra Risø til et fremtidigt slutdepot i Danmark, viser at risikoen forbundet med vej- og søtransport ikke begrænser den kommende

udvælgelse af en placering af depotet i Danmark. Fra et sikkerhedsmæssigt perspektiv synes både vej- og søtransport at være mulige transportformer.

De direkte transportomkostninger er estimeret at være 2 millioner kroner for vejtransport og 5 millioner kroner for søtransport. Disse estimater omfatter ikke eventuelle omkostninger til anskaffelse og klargøring af egnede affaldsbeholdere, der opfylder transportbestemmelserne.

3 Regional kortlægning, GEUS

3.1 Indledning

Lav og mellem aktivt radioaktivt affald fra Risø, reaktor bygningen, forskellige typer affald fra forskningsperioderne og radioaktivt affald fra hospitaler og industri samt forskningsinstitutioner og universiteter skal opbevares i et endeligt depot, et slutdepot for mindst 300 år (Indenrigs- og Sundhedsministeriet, 2007).

Opgaven er at lokalisere og finde sedimenter eller bjergarter med lav permeabilitet som kan isolere det radioaktive affald fra omgivende aflejringer, grundvandsressourcer, recipienter og fra menneskelig aktivitet.

Aflejringer eller bjergarter skal også fungere som beskyttelse, hvis radioaktivt affald siver ud fra depotet til omgivelserne. Dette mål kan nås, hvis der er lav grundvandstrømning og evne til at tilbageholde radioaktivt materiale i aflejringerne eller bjergarterne.

Geologiske aflejringer er tidligere blevet undersøgt som mulige deponeringsmedier for radioaktivt affald fra et eventuelt atomkraftværk med fokus på dybtliggende saltaflejringer og grundfjeldsbjergarter samt af tertiære leraflejringer på Fyn og Jylland .

Saltdiapirer, saltpuder og saltaflejringer og dybtliggende grundfjeldsbjergarter er ikke inkluderet i denne undersøgelse. Dels ligger disse aflejringer generelt for dybt, og dels har saltaflejringer vist at være ustabile i forhold til deponering (Tyske saltminer).

Beslutningsgrundlaget (Indenrigs - og Sundhedsministeriet, 2007) beskriver rammerne for dette forstudie: Den regionale kortlægning, som GEUS har udført. Kortlægningen skulle ende op med udpegning af ca. 20 potentielle områder, som skal danne udgangspunkt for at finde 1.-3 mulige lokaliteter. I forbindelse med forstudiet har GEUS udarbejdet 11 rapporter inklusiv dette resume, som indeholder beskrivelse af de udpegede områder. En oversigt over rapporterne kan ses i afsnit 3.9.9.

3.2 Baggrund

I Danmark findes der mange forskellige typer finkornede aflejringer og krystalline bjergarter fra jordoverfladen og ned til 300 meters dybde. Der findes derfor en lang række geologiske situationer, der inkluderer disse aflejringer og bjergarter af forskellig sammensætning og alder, og de er tillige fordelt geografisk ud over landet.

Disse aflejringer og bjergarter er kort beskrevet i Gravesen et al., (2010b) baseret på eksisterende informationer, hvor fem forskellige typer er inkluderet:

1. Krystalline graniter og gnejser på Bornholm fordi disse bjergarter anvendes i andre lande som deponerings bjergart, 2. Sandsten og skifre på Bornholm, 3. Skrivekridt og kalksten fordi disse i områder er lav-permeable lag, men samtidig mange steder bruges som grundvandsmagasiner, 4. Tertiære finkornede og ofte plastiske lerarter,

som er vidt udbredt og lav-permeable og kan nå stor tykkelse, 5. Kvartære leraflejringer af glacial, interglacial og senglacial oprindelse, som kan have stor tykkelse, være tætte og dermed kan være potentielle værtsbjergarter for depotet.

I europæiske lande pågår i disse år omfattende undersøgelser af geologiske aflejringer af ler (Belgien, Tyskland, Frankrig og Schweiz) og krystalline bjergarter (Sverige, Finland, Schweiz) for at lokalisere slutdepot for lav- og mellem radioaktivt affald.

Sand og grusaflejringer indgår ikke i denne undersøgelse på grund af deres høje permeabilitet og dermed ringe beskyttelsesevne samt hyppige anvendelse som grundvandsmagasiner. Sandaflejringer forekommer dog ofte sammen med de lav-permable aflejringer, under, mellem eller over dem, og de vil derfor blive inddraget i analyser i den endelige område beskrivelse, hvis det er relevant.

De overordnede geologiske forhold i Danmark og den tektoniske ramme er beskrevet i Pedersen & Gravesen (2010).

3.3 Data

Beslutningsgrundlaget fra 2007 (Indenrigs- og Sundhedsministeriet, 2007) anbefaler hvilke typer af eksisterende data og informationer, som skal inddrages, for at der kan foretages en foreløbig udvælgelse af depotområder. Anbefalingerne bygger på retningslinjer fra Det Internationale Atomenergiagentur (International Atomic Energy Agency. IAEA, 1994, 1999, 2005).

I Gravesen et al., (2010a) beskrives bredt de eksisterende data og samlinger af informationer, der findes herunder databaser, kort og geologiske modeller, som har været brugt ved arbejdet med at udpege og beskrive ca. 20 potentielle områder. De fleste informationer er opbevaret i GEUS databaser: Lokalisering og data fra borehuller, bjergarts - og sedimentdata, grundvandskemi, kort, geofysik m. m., men information er også indsamlet fra eksterne kilder og institutioner.

Forstudierne er foretaget på grundlag af eksisterende data. Dette betyder blandt andet, at de potentielle områder er beskrevet på et uens data og videns grundlag. De øverste geologiske aflejringer i Danmark (ned til ca. 300 meters dybde) har en meget heterogen karakter både med hensyn til sammensætning og strukturer bl.a. på grund af, at istidernes gletschere ved deres bevægelser hen over landet har skubbet og omformet ældre lag. Disse fænomener kan iagttages langs landets kystklinter, men inde i landet er det ofte beskedne mængder boringer og geofysiske undersøgelser, der skal anvendes og tolkes for at få en opfattelse af et områdes geologiske forhold.

3.4 Kriterier, metoder og udpegning

Nedenfor er de udvalgte potentielle områder gennemgået, og disse områder kan i forskellig grad opfylde de kriterier, som er sat op i Beslutningsgrundlaget og i Gravesen et al., (2010a,b). Da de geologiske

forhold i Danmark som udgangspunkt er heterogene, er det ikke muligt, at opfylde alle de opstillede kriterier indenfor et område. Der er derfor foretaget en vægtning af kriteriernes betydning i de enkelte områder.

3.4.1 Kriterier

Det geologiske, hydrogeologiske og hydrokemiske kriterier har sammen med terrænforhold været centrale for udvælgelsen. Da der ved forstudiernes start ikke var taget stilling til depottype, blev følgende kriterier valgt som centrale udvælgelseskriterier:

- Aflejringerne fra jordoverfladen og ned til så stor dybde som mulig skulle være homogene og lav-permeable. Dette betyder, at høj-permeable aflejringer som sand- og gruslag kun skulle have begrænset tilstedeværelse.
- Aflejringerne skulle kunne omslutte depotet, hvilket bedst sker ved tilstedeværelse af tykke udbredte lav-permeable lag, hvorfor stor tykkelse og stor horisontal udbredelse indenfor områderne er tilstræbt.

Desuden bevirker en række centrale forhold/kriterier, at områder er udeladt ved gennemgangen:

- Områder med specielle drikkevandsinteresser (OSD), er der helt set bort fra. Områder med drikkevandsinteresser (OD), som omfatter et meget stort areal i Danmark, har det ikke været muligt helt at undgå.
- Områder med grundvandsmagasiner af god status (GWB) er ikke inddraget, bortset fra hvis de har en helt lokal udbredelse.
- NATURA2000 naturbeskyttelsesområder er fravalgt, ligesom der er taget hensyn til andre fredninger og naturbeskyttelsesområder.
- Byområder i form af større byer og nærliggende områder er ikke inddraget.

Fremtidige klimaændringer kan have betydning ved udvælgelse af lokalitet. De nuværende prognoser fra det Internationale Klima Panel (IPCC) vedrørende mulige ændringer rækker ca. 100 år frem. Affaldsdepotet skal fungere mindst 300 år frem i tiden, men ud over de 100 år findes ingen fremskrivninger af mulige klimaændringer. Forudsigelserne af fremtidige havniveauændringer peger på stigninger på mellem 0,5 og 1,0 m ved danske kyster på en 100 års periode, men mulige større havstigninger er blevet forudsagt, hvis klimaændringene som følge af menneskelig aktivitet ikke bremses op.

3.4.2 Metoder

Metoderne for at finde frem til områderne er beskrevet i flere detaljer, og beskrivelsen er direkte baggrund for udvælgelsen af områder. Metoderne har været som følger:

- De geologiske forhold i Danmark er gennemgået ved hjælp af de beskrevne datasamlinger og informationer. Der blev herved bestemt hvilke aflejringer og bjergarter, der skulle indgå i det videre arbejde.

- Det næste skridt var at identificere og udelade arealer (OSD-områder hvorved f.eks. store dele af Sjælland og Fyn blev fravalgt, NATURA2000 områder, Byområder). Der er ikke er foretaget en gennemgang af de geologiske forhold indenfor disse arealer.
- De geologiske forhold blev derefter gennemgået og analyseret indenfor de resterende arealer ud fra hovedkriteriet om at identificere lav-permeable aflejringer/lag fra jordoverfladen til så stor dybde som mulig og med stor horisontal udbredelse. Dermed blev aflejringer med f.eks. tykke eller hyppigt forekommende sand - og gruslag fravalgt. En række arealer er således fravalgt som f.eks. det meste af Syd- og Midtjylland, hvor aflejringsforholdene ikke opfylder de opstillede kriterier med lav-permable aflejringer.
- Ud fra gennemgang og analyser af de arealer som derefter var tilbage, blev der udpeget 22 mindre områder, som vurderes at være egnede til at rumme en lokalitet, hvor et slutdepot kunne placeres. De 22 områder vurderes på det nuværende grundlag i udstrakt grad at opfylde kriterierne, men dette vil skulle verificeres gennem feltarbejde.

Hvert område er udvalgt i en størrelse som er væsentlig større en det, som skal bruges til den endelige *lokalitet*. Dette betyder, at der skal tages hensyn til andre former for begrænsninger, der vil være indenfor områderne, når den endelige lokalitets areal skal fastlægges. Dette vil bl.a. foregå indenfor kommende Omegnstudier.

3.4.3 Udpegning

Ved den endelige udvælgelse er der undersøgt og beskrevet 22 områder, og deres beliggenhed kan ses på fig.1. Det fremgår af kortet, at der er områder, hvor der er en ”koncentration” af mulige områder, mens der er store dele af landet, hvor der ingen er eller kun få udpeget som f.eks. i Vest - og Sønderjylland, Vendsyssel eller Sjælland. Dette skyldes især de geologiske og hydrogeologiske kriterier, hvor højtliggende tykke lerlag uden sandlag har haft første prioritet og områder med særlige grundvands/drikkevandsinteresser er fravalgt.

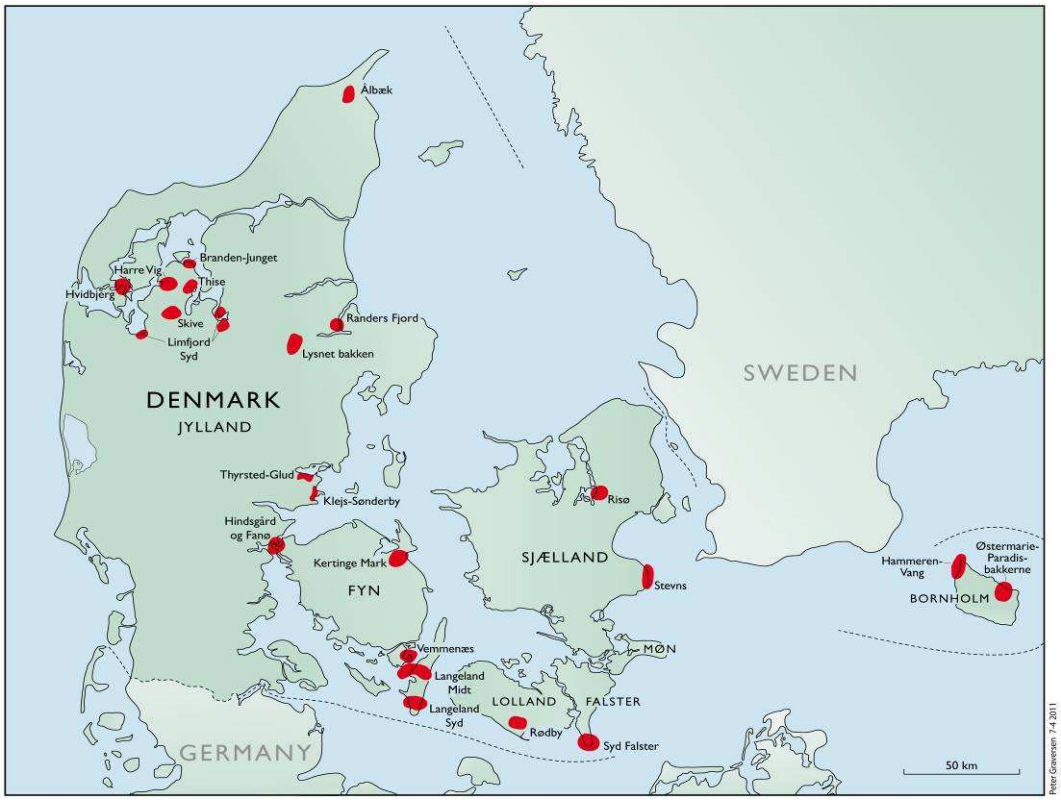


Fig.1. Beliggenhed af de 22 potentielle områder.

Der er indenfor de 22 områder tale om følgende bjergarter og/eller sedimenter af forskellig geologisk alder (Fig. 2), som alle er dækket af forskellige tykkelser af moræneler:

- 17 områder med finkornede, fede og meget fede plastiske lerarter fra Palæogen.
- 2 områder med fedt kvartært ler og silt.
- 2 områder med krystalline graniter og gnejser.
- 1 område med kalksten/kridt fra Danien/Kridt.

Der er ikke indenfor forstudiernes første fase foretaget en prioritering af områderne.

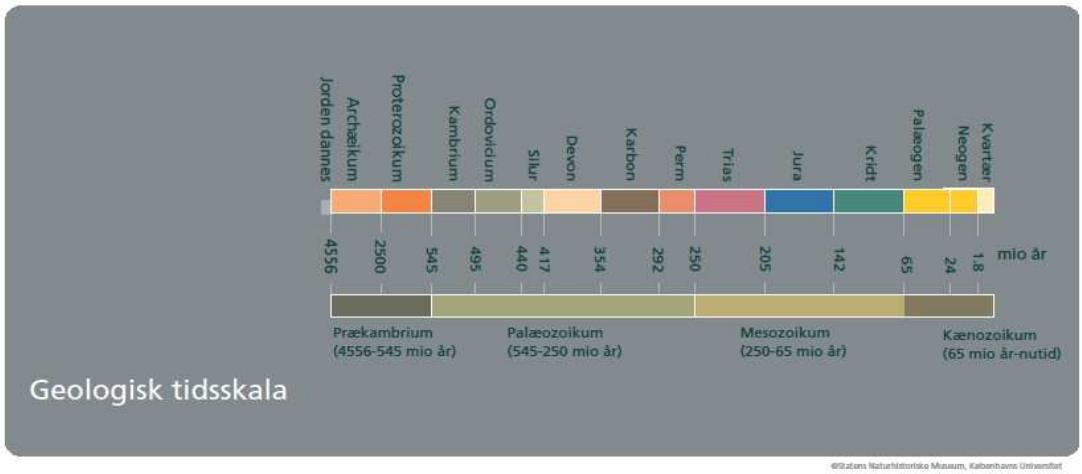


Fig. 2. Geologisk tidsskala. De aflejringer og bjergarter, der omtales i teksten, henføres til: Prækambrium, Palæogen som omfatter tidsafsnittene: Palæocæn, Eocæn og Oligocæn, Neogen som indeholder Miocæn og Kvartær (Fra Geologisk Museums Hjemmeside).

3.5 Beskrivelse og vurdering af områderne

For hvert område er der foretaget et kort resume, som angiver fordele og bagdele ved en udvælgelse.

3.5.1 Bornholm (Rapport nr. 4)

På Bornholm er nærmere undersøgt og beskrevet to områder: Område 1. Østermarie-Paradisbakkerne på Østbornholm og Område 2. Hammeren og Vang Granitbrud på Nord- og Vestbornholm.

Områderne består af tynde istidslag af især sandet moræneler som overlejrer krystalline graniter og gnejser fra Prækambrium. Områdernes geologi er interessant, fordi der i andre lande som f.eks. Sverige og Finland bygges depoter i lignende grundfjeldsbjergarter.

3.5.1.1 <u>Vurdering af Område 1 – Østermarie-Paradisbakkerne, Bornholm</u>

Geologien i Område 1 nord for Paradisbakkerne kendes især fra de nærliggende gnejs/migmatitbrud i nordkanten af Paradisbakkerne og kystprofiler på nordkysten af Bornholm. Området er et højtliggende forholdsvis fladt terræn i kote + 65 til + 80 m, men det er gennemskåret af få dale.

Bjergarterne er tætte og lav-permable, men gennemsat af horisontale og vertikale sprækker. Antallet af sprækker antages at aftage i dybden, men dette vides ikke med sikkerhed.

Der er kun lokale drikkevands/grundvandsinteresser i området. Der er kun i beskedent omfang fredninger, og ingen NATURA2000 områder. Fremtidige klimaændringer vurderes ikke at ville påvirke et depot i væsentlig grad. De krystalline gnejstyper kan sammenlignes med de bjergarter, som er depotbjergarter i Sverige og Finland, hvor sprække problemstillingen også kendes, og hvor omfattende risiko-undersøgelser har fundet sted i en lang årrække.

3.5.1.2 Vurdering af Område 2 – Hammeren og Vang granitbrude, Bornholm

Område 2 består af to delområder: Hammeren Granitbrud og granitbruddene i Vang Granitten. Terrænet varierer fra høje områder i kote + 80 til + 90 m til væsentlig lavere i bunden af bruddene, hvor søer forekommer. Moræneler over granitterne varierer i tykkelse fra 0 til 10 m. Granitterne er gennemsat af horisontale og vertikale sprækkesystemer, og de er desuden ofte stærkt forvitrede i sprækkezonerne. Fordelen ved områderne med disse granitområder er, at der kan være en mulighed for, at starte den øverste del af et depotanlæg i bunden af de eksisterende stenbrud.

Der er ingen grundvands/drikkevandsinteresser omkring bruddene. Der er en del fredninger og Natura2000 interesser omkring bruddene. Fremtidige klimaændringer vurderes ikke at ville påvirke et anlæg.

3.5.2 Falster og Lolland (Rapport nr. 5)

På Falster er et område beskrevet: Område 3: Gedesby-Nyby, Sydfalster.

Området består af 2-20 m tykke istidsaflejringer bestående af moræneler med få lag af smeltevandssand og grus ovenpå mere end 60-80 m tykke lag af fedt ler (Palæocæn), hvis tykkelse tiltager mod syd. Derunder følger skrivekridt fra Kridt Perioden.

På Lolland er et område undersøgt: Område 4: Rødbyhavn.

Området er beliggende lige øst for byen, hvor der tidligere er kortlagt plastisk ler som led i råstofefterforskning. Det finkornede og meget fede plastiske ler ligger under 14-36 m hård, kompakteret (”cementeret”) moræneler. Moræneleret er tyndest mod vest ved byen, mens der bliver længere ned til det plastiske ler mod øst, hvor der dog er en begrænset datadækning. Det palæocæne ler er op til 80 m tykt, underlejret af skrivekridt fra Kridt.

3.5.2.1 Vurdering af Område 3 – Gedesby Nyby-Gedser, Sydfalster

Det lille område mellem Gedesby Nyby og Gedser består mest af lav-permeable leraflejringer, som kan være grundlag for et depot. Der er beskedne grundvandsinteresser, men lokal vandforsyning pågår. NATURA2000 områder og fredninger findes ikke i selve området, men de grænser op hertil. Området begrænses af Østersøen mod vest, hvorfor Område 3 ligger i kote 0 m i den del af området, mens terrænet stiger ind i land (kote + 5 m). Fremtidigt stigende havniveau og stormfloder kan blive et problem. Forekomst af salt havvand kan give korrosion på konstruktioner, og fremtidig hævning af havniveau kan gøre det nødvendigt at vurdere hvordan beliggenheden af salt/ferskvandsgrænsen vil ændres.

3.5.2.2 Vurdering af Område 4 – Rødbyhavn, Sydlolland

Områdets geologiske opbygning består mest af lav-permeable leraflejringer, som kan rumme og indeslutte et depot. Der er ingen NATURA2000 eller fredninger på området. Der er begrænsede eller ingen grundvands/drikkevandsinteresser i området. Området ligger i op til kote + 4 m over nuværende havniveau og selv om det i dag er beskyttet af et

4 m højt dige, skal der tages højde for stigende havniveau og stormfloder. Forekomst af salt havvand og evt. hævet salt/ferskvandsgrænse skal vurderes i forhold et depots konstruktioner.

En del af område 4 er båndlagt til Femern Bælt forbindelsen. Femern Bælts forbindelsens linjeføring fra kysten til motorvejen skal afklares i foråret 2011. Det er muligt, at de to konstruktioner kan eksistere sammen, men ellers bør der søges en placering så nordligt og østligt som muligt for depotet.

3.5.3 Sjælland (Rapport nr. 6)

På Sjælland er to områder undersøgt: Område 5: Risø og Område 6: Stevns.

Område 5 omfatter Forskningscenter Risø´s areal og et areal øst for Frederiksborgvej, et terræn som veksler fra kote 0 m til ca. + 38 m. De kvartære aflejringer består af op til 30 m tykke holocæne hav- og ferskvandsaflejringer og istidsaflejringer i form af moræneler, smeltevandsler og smeltevandssand og grus. Disse aflejringer overlejrer delvis olivengråt palæocænt fedt ler og kalk (op til 10-15 m tykke) og delvis hvid Danian kalk. Områdets prækvartære aflejringer er gennemskåret af tre nord-syd gående forkastninger.

Område 6 består af det yderste område på Stevns halvøen ovenfor Klinten, hvor terrænet er en nogenlunde plan flade i kote + 30-35 m. Istidsaflejringerne består alene af op til 15 m tykt moræneler, som hviler på 15-25 m tyk Danien kalksten, der igen ligger ovenpå skrivekridt fra Kridt Perioden.

3.5.3.1 <u>Vurdering af Område 5 – Risø, Sjælland</u>

Risø halvøen og arealet vest og øst for Frederiksborgvej består af en varierende geologi og er især præget af, at Roskilde og Risø Forkastningsystemerne krydser igennem arealerne. Området er OD klassificeret, men der er ingen grundvandsinteresser på selve halvøen. Risø har sin egen vandforsyning ved Frederiksborgvej. Mod øst grænser området op til det vigtige OSD og kildeområde for Københavns Energi, Marbjerg og Brokilde Kildepladser. Der er ingen NATURA2000 og fredningsområder men området grænser op til mod Roskilde Fjord med NATURA2000 hensyn. De lavtliggende dele af Risø området (omkring kote 1 m) vil meget sandsynligt være sårbare over for havstigninger og stormfloder, og der vil ligeledes kunne ske erosion i morænelersklinten på halvøen. Området er det eneste, hvor en – omend lille seismisk aktivitet i undergrunden er registreret. Denne kan muligvis relateres til de eksisterende forkastningssystemer orienteret nord-syd langs Roskilde Fjord, men dette kan dog ikke direkte kan bevises.

3.5.3.2 <u>Vurdering af Område 6 – Stevns halvøen, Sjælland</u>

Det yderste af Stevns halvøen oven over kystklinten, som består af moræneler og kalk, er udpeget, da Danien kalkaflejringer flere steder i Danmark er udnyttet til installationer i form af underjordiske gange, depoter, beskyttelsesrum og militære anlæg, som f. eks. Koldkrigsfortet ved Stevns. Området, som er OD område mod vest, har lokal vandforsyning, mens der mod øst langs kysten er et område med

begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Der er råstoftinteresser ved Sigerslev kalkgrav. Både moræneler og kalkbjergarter er gennemsat af horisontale og vertikale sprækker. Selve klinten er fredet og forsøges optaget på listen over Unesco verdensarvområde. Havområdet ud for klinten er NATURA2000 område.

3.5.4 Langeland-Tåsinge-Fyn (Rapport nr. 7)

På Langeland er to områder undersøgt: Område 7: Langeland syd og Område 8: Langeland midt, Strynø og Siø.

Område 7 på Sydlangeland har et terræn, der varierer fra kote + 2-3 m til kote + 20-25 m. Området består af istidslag, især moræneler (25-50 m tykt) som overlejrer mindst 60 m tykke fede plastiske lerarter fra Eocæn.

Område 8 på Midtlangeland består af et område på Langeland og af Strynø og Siø. Langeland har et terræn i ca. kote + 15-40 m, mens Siø ligger i kote + 0-5 m og Strynø i kote + 0-12 m. Geologisk ligner området område 7 med de samme gode geologiske egenskaber. Moræneler som er mellem 2-50 m tykt overlejrer op til 100 m tykke eocæne og palæocæne lag af finkornet, fedt og meget fedt plastisk ler. Få forkastninger ser ud til at krydse området. På de små øer Siø og Strynø ligger det eocæne og palæocæne plastiske ler meget højt.

På Tåsinge er et område undersøgt: Område 9 Vemmenæs. Det er et forholdsvis lille område med terræn i kote + 5-10 m, hvor mindst 25 m palæocænt ler findes under 2-30 m moræneler. Aflejringerne kan være glacialtektonisk forstyrrede.

På Fyn er to områder undersøgt: Område 10: Kertinge Mark og Område 11: Hindsgavl og Fænø.

Kertinge Mark nær Kerteminde er en halvø med et fladt terræn omkring kote + 20 m hældende ud mod kysten. Geologien kendes fra få boringer mod sydøst. Moræneler (op til 30 m tykt) overlejrer mindst 40 m tykke lag af palæocænt ret fedt ler, men den totale tykkelse kendes ikke.

Ved Hindsgavl og Fænø, hvor lagene godt kan være glacialtektonisk forstyrrede, findes der under op til 40 m istidslag (moræneler), finkornet fedt ler og meget fedt plastisk ler fra Oligocæn, Eocæn og Palæocæn samt kalk fra Danien ned til 175 meters dybde. Terrænet er omkring kote + 20-25 m, men hælder både på Hindsgavl og Fænø ud mod havet.

3.5.4.1 Vurdering af Område 7 – Sydlangeland

Ud fra de geologiske forhold vil område 7 kunne indeholde et depot baseret på de store tykkelser af lav-permeable leraflejringer. Istidslagene er dog relativt tykke. Drikkevands/grundvandsinteresserne er lokale (OD-område), men andre dele af området har begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Effekter af fremtidige klimaændringer vil sandsynligvis ikke påvirke et depot udover at havstigninger kan overskylle de laveste områder. Området er omkranset af NATURA2000 områder.

3.5.4.2 Vurdering af Område 8 – Langeland midt, Strynø og Siø

Område 8 består af tre delområder. På Langeland dominerer lavpermable leraflejringer, hvor de ældste lag synes gennemsat af forkastninger. Det vurderes at være muligt, at områdets tykke leraflejringer vil kunne

rumme et slutdepot. Grundvandsindvindingen til Rudkøbing foregår nord for området, men lokal vandforsyning forekommer (OD-område). Effekter af fremtidige klimaændringer vurderes ikke at ville påvirke et depot. Et NATURA2000 områder omkranser området.

På Siø og Drejø er der velegnede geologiske forhold uden vandindvindingsinteresser, men begge øer indgår i et NATURA2000 område. Fremtidige havstigninger og stormfloder vil kunne påvirke begge delområderne.

3.5.4.3 Vurdering af Område 9 – Vemmenæs, Tåsinge

Vemmenæs er et mindre, begrænset område, hvor moræneler ligger over fedt palæocænt ler. Lagene kan være glacialtektonisk forstyrrede, men alligevel vil området kunne være egnet på grund af de lavpermeable lag. Der er stedvis lokale grundvindsinteresser og indvinding til vandværk (OD-område). Effekter af fremtidige klimaændringer vil sandsynligvis ikke påvirke et depot nævneværdigt. Der er ingen frednings eller NATURA2000 begrænsninger.

3.5.4.4 Vurdering af Område 10 – Kertinge Mark, Fyn

Halvøen Kertinge Mark består ligeledes af lavpermeable leraflejringer, men forholdene er begrænset belyst på grund af spinkelt datagrundlag. Informationer udenfor området understøtter, at det med fordel kan undersøges, om området vil være velegnet til at kunne rumme et slutdepot. Der er begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser på halvøen. Effekter af klimaændringer vil sandsynligvis ikke påvirke et depot, hvis det placeres på højreliggende arealer væk fra kysten. Der er ingen NATURA2000 begrænsninger.

3.5.4.5 Vurdering af Område 11- Hindsgavl og Fænø, Fyn

Området består af Hindsgavl halvøen og Fænø. På Hindsgavl er de geologiske forhold velegnede med fede og meget fede lavpermeable lerarter, men området ligger tæt ved både Middelfart og Fredericia, hvilket kan gøre området mindre attraktivt. På Fænø, hvor der er begrænsede oplysninger, ser de geologiske forhold også egnede ud. Begge delområder har begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Effekter af klimaændringer vil ikke påvirke et depot, hvis det placeres væk fra kysten. Der er ingen NATURA2000 begrænsninger.

3.5.5 Østjylland (Rapport nr. 8)

I Østjylland er fire områder undersøgt: Område 12: Klejs-Sønderby og Område 13: Thyrsted- Glud begge på Juelsminde halvøen øst for Horsens, Område 14: Lysnet Bakker sydvest for Randers og Område 15: Støvring nordøst for Randers.

På Juelsminde halvøen har en række mindre områder hvor kombinationen af lav-permeabelt fedt og meget fedt plastisk ler med overlejrende moræneler vurderes at kunne være egnede til placering et slutdepot. Klejs-Sønderby er opdelt i to delområder. Ved Klejs er terrænet meget bakket og når op i ca. kote + 90-100 m, mens terrænet ved Sønderby går fra kote 0 m i nord til kote + 39 m mod syd. Det hælder fra vest mod øst. Under 2-20 m af fortrinsvis moræneler findes op til 130 m siltet ler, ret fedt ler og plastisk ler fra Eocæn og Oligocæn.

Thyrsted-Glud området hælder jævnt fra syd i ca. kote + 50 m mod nord ved kysten til Horsens Fjord. Under moræneler (op til 20 m tykt) findes mindst 90 m siltet ler og fedt ler fra Eocæn og Oligocæn.

Lysnet Bakker er et højtliggende bakkeparti, som når op til ca. kote + 100 m. I området ligger Oligocæne og Eocæne aflejringer af fedt ler og meget fedt ler (op til 100 m tykke) højt kun dækket af tynde istidsaflejringer af moræneler med lidt sand, som dog stedvis kan blive op til 30 m tykke. Lagene ligner dem som graves i lergravene ved Ølst og Hinge.

Ved Støvring findes et lille område, som består af et bakket parti mod vest, der når op i ca. kote + 65 m og et lavtliggende område mod øst i kote + 0-1 m. Det består af lav-permeabelt fedt palæocænt og eocænt ler (op til 75 m tykt) under op til 40 m tykt moræneler.

3.5.5.1 Vurdering af Område 12 – Klejs og Sønderby, Juelsminde halvø, Østjylland

Området er opdelt i to delområder: Klejs og Sønderby. Ved Klejs findes højtliggende plastisk ler i højtliggende plateau begrænset af dale. De fede lerarter vil kunne omslutte et potentielt depot. Det antages at området er noget præget af glacialtektonik. Der er begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser, men lokal forsyning. Der er ingen NATURA2000 områder eller fredninger. Effekter af klimaændringer vil ikke kunne påvirke et slutdepot.

Ved Sønderby og Pyt strand tættere ved kysten ligger det plastiske ler tættere ved terræn. Også i dette område vil en potential depotlokalitet kunne placeres. Der er lokal vandforsyning i området, og det grænser op til et OSD område mod nord. Dele af området ligger lavt, hvilket kan være et problem i forbindelse med fremtidige havstigninger og stormfloder, som der skal tages højde for.

3.5.5.2 Vurdering af område 13 – Thyrsted-Glud, Juelsminde halvø, Østjylland

Mellem Thyrsted og Glud langs Horsens Fjords sydkant findes højtliggende fedt og siltet glimmerler (Oligocæn), som overlejrer fedt plastisk ler (Eocæn). Disse lag er dækket af moræneler. De prækvartære aflejringer er begrænset af en forkastning mod Horsens Fjord, men der er ikke registret seismisk aktivitet. Aflejringerne forventes at være egnede til at være underlag eller til at omslutte et affaldsdepot. Området har lokal vandforsyning, ingen fredninger eller NATURA2000 områder eller råstofinteresser. Effekter af klimaændringer kan påvirke kystzonen i form af havstigninger og storme, hvilket der skal tages højde for.

3.5.5.3 Vurdering af Område 14 – Lysnet bakker, Randers, Østjylland

Ved Lysnet Bakker findes højtliggende plastisk ler under et forholdsvis tyndt dække af istidslag, som stedvist mangler. Aflejringerne er glacialtektonisk forstyrrede til større dybde, men vil formodentlig vil kunne fungere som underlag eller omslutte et depot. Der er vandindvinding fra overfladenære lag og underliggende kalklag i en del af området (OD). NATURA2000 dækker et mindre areal midt i området. Effekter af klimaændringer forventes ikke at ville påvirke et potentielt depot.

3.5.5.4 Vurdering af Område 15 – Støvring, Randers, Østjylland

Det lille område ved Støvring ligger helt ud til Randers Fjord og indeholder fede leraflejringer, som forventes at kunne være underlag eller omslutte et slutdepot. Aflejringer er delvis glacialtektonisk forstyrrede. Der er mindre drikkevandsinteresser (OD), og området grænser op til et OSD område. Der er ingen NATURA2000 begrænsninger, men området grænser op til interesser i fjorden. Fremtidige klimaændringer kan forårsage havstigninger, der vil kunne påvirke et potentielt depot på det lavtliggende område, hvilket der må tages højde for.

3.5.6 Limfjorden (Rapport nr. 9)

I det sydvestlige Limfjordsområde er seks områder undersøgt: Område 16: Limfjorden-syd, Område 17: Hvidbjerg, Område 18: Harre Vig, Område 19: Branden-Junget, Område 20: Thise og Område 21: Skive vest.

Limfjorden-syd omfatter tre delområder langs kysten af Limfjorden: Handbjerg, Vorde og Lyndelse, hvor der træffes store tykkelser af kvartært Elster smeltevandsler ned til ca. 120 meters dybde, ofte overlejret af op til 20 m moræneler. Handbjerg ligger ved Venø Bugt og terrænet skråner fra ca. 30 m til 0 m ved bugten. Vorde og Lyndelse ligger ud til Hjarbæk Fjord. Vorde består af et bakket terræn op til ca. kote + 50 m og er skrånende ned til fjorden. Lyndelse ligger i op til ca. kote 40 m og er ligeledes hældende ud mod fjord

Ved Hvidbjerg på nordsiden af Thyholm ligger terrænet i ca. kote + 10-20 m hældende mod Limfjorden. Området træffes på nordsiden af Uglev Salthorsten med op til 80 m tykke lag af siltet ler og fedt ler fra Oligocæn, som bliver gradvis tykkere mod nord. Lagene er overlejret af 4-20 m tykke kvartære lag.

I Harre Vig området på Vestsalling findes der flere flade bakker i op til ca. kote + 50 m som hælder mod Harre vig, men også gennemskæres af gennemgående dale. Der er 0-30 m tykke istidslag, især moræneler, ovenpå tykke lag af siltet ler og fedt ler fra Oligocæn, som underlejres af meget fedt plastisk ler fra Eocæn og Palæocæn, ialt ca. 265 m.

Det lille område ved Branden-Junget på Nordsalling ligger, hvor det er højest, i ca. kote + 20 m og hælder ud mod Limfjorden. Der træffes fedt ler på op til 100 meters tykkelse fra Oligocæn nord for den tætliggende Batum salthorst. De overliggende kvartære lag af bl.a. moræneler er op til 10 m tykke.

Midt på Østsalling omkring Thise ligger terrænet som en flad bakke op til ca. kote + 40 m, hvorfra terrænet hælder nedad til alle sider. Området indeholder siltet ler og fedt ler fra Oligocæn på op til 150 m´s tykkelse under istidslag af moræneler på op til 15 m´s tykkelse og stedvis også af smeltevandsler.

Området vest for Skive ligger i et terræn, hvor den nordlige del når op til ca. kote + 40 m. Terrænet hælder stejlt ned til den sydlige del, der udgøres af en øst-vest orienteret dal i ca. kote + 5-6 m. Geologisk består området af op til 150 m siltet ler og fedt ler fra Oligocæn overlejret af istidslag, som kan være op til 40 m tykke.

3.5.6.1 Vurdering af Område 16 – Limfjorden syd

De tre delområder har store lagtykkelser af fedt smeltevandsler og moræneler og kunne derfor tænkes, at rumme et potentiel slutdepot. Ved Handbjerg ligger området ud til havet med risiko for indtrængning af havet ved en fremtidig havstigning på grund af klimaændringer, hvilket der må tages højde for. Der er begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser langs kysten, men inde i land er der tale om et OD-område. Der er ingen NATURA2000 områder.

Ved Vorde er terrænet højere end ved Handbjerg, hvilket kan skyldes glacialtektonik. Drikkevandsforholdene er som ved Handbjerg. Der er ingen NATURA2000 områder, hvilket der er på det tilstødende havområde. Vorde området er præget af tæt bebyggelse.

Ved Lynderup veksler fede leraflejringer med moræneler. Drikkevandsforholdene er som ved de to andre delområder. Der er ligeledes ingen NATURA2000 områder. For alle tre områder gælder, at eventuelle havstigninger kan påvirke et slutdepot på de lave araler, hvilket der må tages højde for.

3.5.6.2 Vurdering af Område 17 – Hvidbjerg, Thyholm, vestlige Jylland

Det lille område på Thyholm nord for Uglev salthorsten har et fladt terræn, som hælder ud mod kysten. Området kan i nogen grad være præget af glacialtektonik, men de relativt tykke lerlag vurderes at ville være velegnede til et slutdepot. Området er klassificeret som et område med begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Området grænser op til NATURA2000 områder på havet. Effekter af fremtidige klimaændringer forventes ikke at påvirke området.

3.5.6.3 Vurdering af Område 18 – Harre Vig, Salling, Jylland

De højtliggende leraflejringer ved Harre Vig vurderes at kunne danne underlag eller omslutte et slutdepot. Istidslagene, som mest består af moræneler, er stedvis tynde, og de ældre lag af fedt ler ser ud til at ligge uforstyrrede på plads med stor horisontal udbredelse. Den tykke lagserie går fra fedt ler til meget fedt plastisk ler med dybden. Området har begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser ud mod Harre Vig, men et OD-område findes mod øst. Der er lokal vandforsyning. Der er ingen NATURA2000 områder eller fredninger. Fremtidige effekter af klimaændringer vil formodentlig kunne påvirke i kystzonen, hvilket der må tages højde for.

3.5.6.4 Vurdering af Område 19 – Branden-Junget, Salling, Jylland

Det fede Branden ler ligger på nordsiden af Batum salthorsten, hvorfor lagene hælder mod nordøst. Glacialtektonik præger hele denne kyststrækning. Området er forholdsvis lille og har begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. NATURA2000 områder findes på havet. Klimaændringer vil kunne påvirke kystzonen ved havstigninger og stormfloder, hvilket der må tages højde for.

3.5.6.5 Vurdering af Område 20 – Thise, Salling, Jylland

Ved Thise træffes fedt ler og siltet ler fra Oligocæn under tynde istidslag af moræneler og smeltevandsler. Det horisontalt udbredte lagfølge vurderes at vil kunne udgøre mulighederne for at rumme et muligt slutdepot. Der er begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser langs

kysten, men et OD-område findes inde i land. Der er ingen NATURA2000 områder. Fremtidige klimaændringer vil formodentlig ikke påvirke et depot.

3.5.6.6 Vurdering af Område 21 – Skive, vest, Jylland

De sammenhængende oligocæne leraflejringer med forholdsvis tynde istidslag over i området vest for Skive vurderes at kunne rumme et slutdepot. Det meste af området er klassificeret som havende begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Der er ingen NATURA2000 områder. Fremtidige klimaændringer vil formodentlig kun have begrænsede påvirkninger på et depot på de lavtliggende arealer, hvilket der må tages højde for.

3.5.7 Nordjylland (Rapport nr. 10)

I Nordjylland er et område undersøgt: Område 22: Ålbæk, hvor de udbredte marine kvartære aflejringer i Nordjylland når stor tykkelse. Terrænet ligger i ca. kote + 4 – 15 m.

3.5.7.1 Vurdering af Område 22 – Ålbæk, Nordjylland

De op til 200 m tykke marine ler-, silt- og finsandsaflejringer vil kunne omkredse et slutdepot.

Aflejringerne kan indeholde fri methan. Det må afklares om dette ville udgøre et problem. Der er begrænsede eller ingen drikkevandsinteresser. Der ingen NATURA2000 områder, men et større NATURA2000 område ligger syd for. Havstigninger som følge af fremtidige klimaændringer kan muligvis påvirke et potentielt depot, hvilket der må tages højde for.

3.6 De 6 områder til videre arbejde

Arbejdet i den næste fase foreslås koncentreret om nedenstående 6 områder, som er valgt ud af de 22 områder. De 22 områder er udvalgt, så de alle opfylder kriterierne eller store dele af kriterierne. Derfor er de 6 nedenstående områder kun vurderet lidt bedre ende de øvrige områder. De 16 områder kan derfor betragtes som reserveområder, som kan inddrages, hvis de fortsatte undersøgelser kasserer de 6 områder.

Områderne, som ikke her bliver beskrevet yderligere, er følgende:

Område 1: Østermarie – Paradisbakkerne, Bornholms regionkommune

Område 4: Rødbyhavn, Lolland kommune

Område 10: Kertinge Mark, Kerteminde Kommune

Område 17: Hvidbjerg, Thyholm, Struer kommune

Område 20: Thise, Salling, Skive kommune

Område 21: Skive vest, Skive kommune

3.7 Feltundersøgelser på 1-3 områder

Beskrivelse, udpegning og vurdering af de 22 områder er foregået på grundlag af eksisterende data. Når de 22 områder er reduceret til 1-3

områder vil det vil være nødvendigt med detaljerede undersøgelser af bjergartstyper, strukturforhold og grundvand m.m. ved boringer, geofysiske undersøgelser, grundvandstests, laboratorieundersøgelser og modellering.

En kort oversigt over de nødvendige undersøgelser følger nedenfor:

Boringer. Boringer skal udføres for at supplere de eksisterende boringer. Antallet afgøres ud fra områdets størrelse og de ældre boringers kvalitet. De skal udføres som kerneboringer, således at det intakt prøvemateriale kan bruges til at bestemme bjergartsenheder og lagfølger, alder og forskellige fysiske og kemiske forsøg.

Geofysiske undersøgelser. Geofysiske undersøgelser anvendes til at påvise sammenhæng i lagfølgerne mellem boringerne samt påvise især tektoniske strukturer. Geofysiske logs i boringerne skal bruges til supplere lagfølgebeskrivelserne og beskrive fysisk-kemiske forhold.

Andre feltundersøgelser. Grundvandsundersøgelser som pumpetest, geotekniske feltforsøg og geologisk feltkarakterisering skal anvendes for at beskrive vigtige parameter for et depots lokalisering.

Laboratorieundersøgelser. Der skal udføres en række laboratorieanalyser: Aldersbestemmelse af lagene ud fra fossilindhold, Kornstørelsesanalyser, mineralogi, bestemmelse af organisk indhold, hydrauliske tests, porøsistet, permeabilitet og vandkemi. Alle analysere til at karakterisere aflejringer og grundvand for at sikre at forholdene er optimale for et depot.

Modellering. 3 D Geologisk modellering samt numerisk strømnings og reaktiv transport modelling skal udføres for at have det bedst mulig grundlag for etablering af depotet, vurdering risici og optimering et overvågningssystem.

3.8 Afsluttende bemærkninger

Forstudierenes regionale geologiske kortlægning baseret på eksisterende data er afsluttet med at pege på 22 forskellige områder I Danmark. Der forestår herefter yderligere undersøgelser for at bringe de 22 områder ned til de 1-3 områder, hvor der skal udføres feltstudier, før den endelige lokalitet kan udpeges.

3.9 Rapporter udarbejdet ved den regionale kortlægning

Low- and intermediate level radioactive waste from Risø, Denmark. Location studies for potential disposal areas. Published in GEUS Report Series.

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 pages.

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 pages.

Report No. 3. Pedersen, S.A.S. & Gravesen, P.., 2010: Geological setting and tectonic framework in Denmark. GEUS Report no. 2010/124, 51 pages.

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.

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.

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.

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.

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.

Report No. 9. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Limfjorden. GEUS Report 2011/49.

Report No. 10. Gravesen, P., Nilsson, B., Pedersen, S.A.S. & Binderup, M., 2011: Characterization and description of areas. Nordjylland. GEUS Report 2011/50.

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.

3.10 Andre Referencer

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 pages.

IAEA, 1994: Siting of Near Surface Disposal Facilities. Safety Guides. Safety series no. 111-G-3.1, 37 pages.

IAEA, 1999: Near Surface Disposal of Radioactive Waste. Requirements. IAEA Safety Standards Series No. WS-R-1, 29 pages.

IAEA, 2005: Borehole Facilities for the Disposal of Radioactive Waste. IAEA Safety Standards Series, 102 pages.

4 Samlet konklusion

Forstudierne peger på 22 områder, hvoraf det anbefales at gå videre med seks i omegnsstudierne.

Forstudierne viser endvidere, at alle de undersøgte depotkoncepter vil være mulige løsninger ud fra et sikkerhedsmæssigt synspunkt. Der vil dog være større risici forbundet med depoter nær overfladen, fordi de er mere udsat for tilsigtet eller utilsigtet indtrængen. Samlet vil et mellemdybt depot være den sikkerhedsmæssigt mest hensigtsmæssige løsning, men det er samtidig en dyrere løsning end det overfladenære depot. Både terrænnære og mellemdybe depoter kan gøres reversible, men det vurderes at øge de samlede omkostninger, og kan medføre øget risiko i forbindelse med uheld ved udtagningen.

Forstudierne opstiller en række konklusioner og anbefalinger vedrørende de fremtidige studier i relation til depotkoncepter og sikkerhedsanalyser, blandt andet set i forhold til den konkrete geologi på de valgte lokaliteter.

Transportstudierne viser, at transporten ikke begrænser valget af lokation af radiologiske årsager.