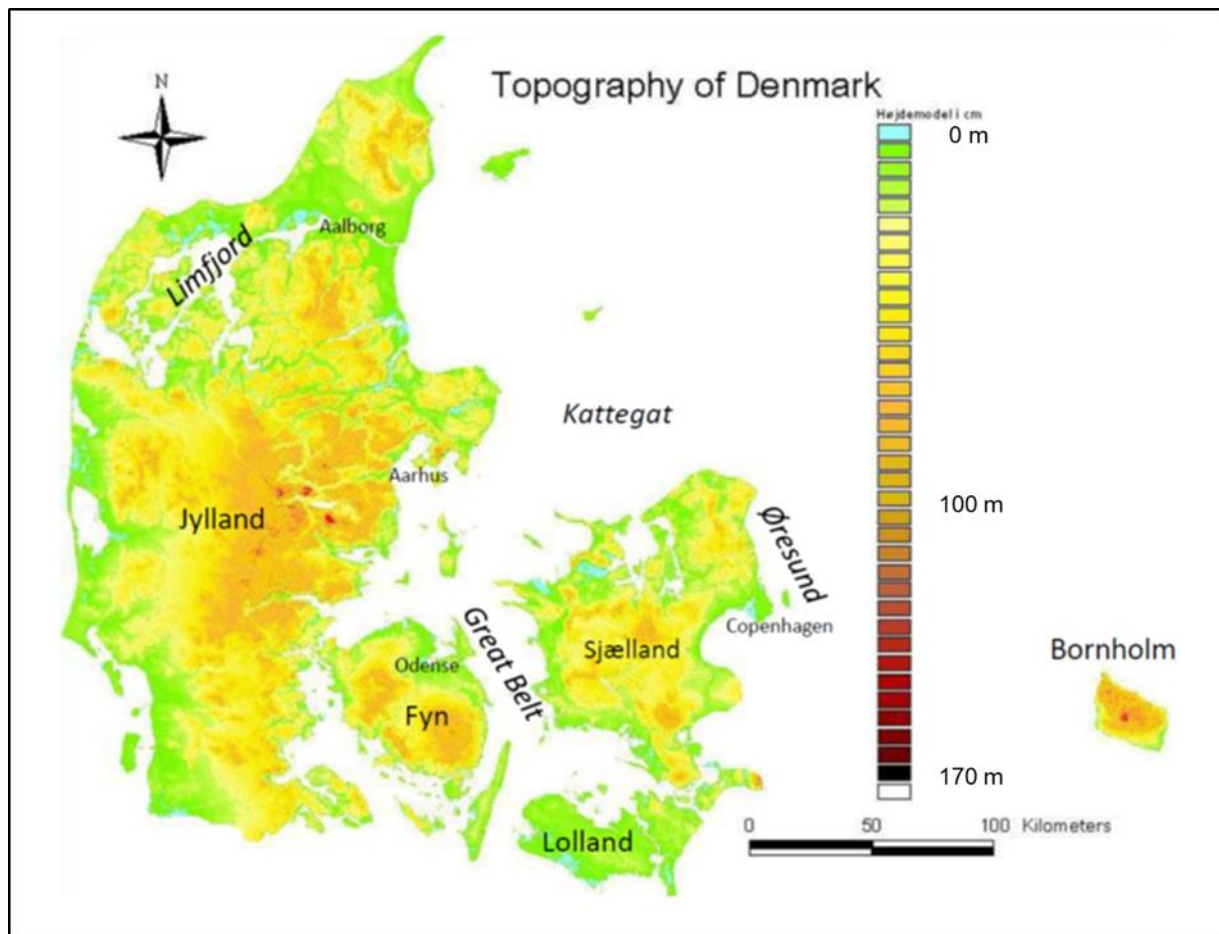


Geologisk slutdepot inden for det danske landområde i ca. 500 m dybde

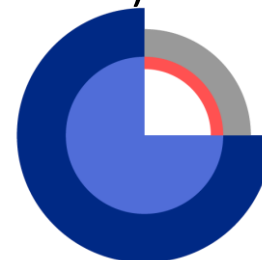
Projektleder Helle H. Midtgaard, GEUS

Det Nationale Kontaktforum UFM 6. februar 2020



Status af arkiv- og databasestudier:

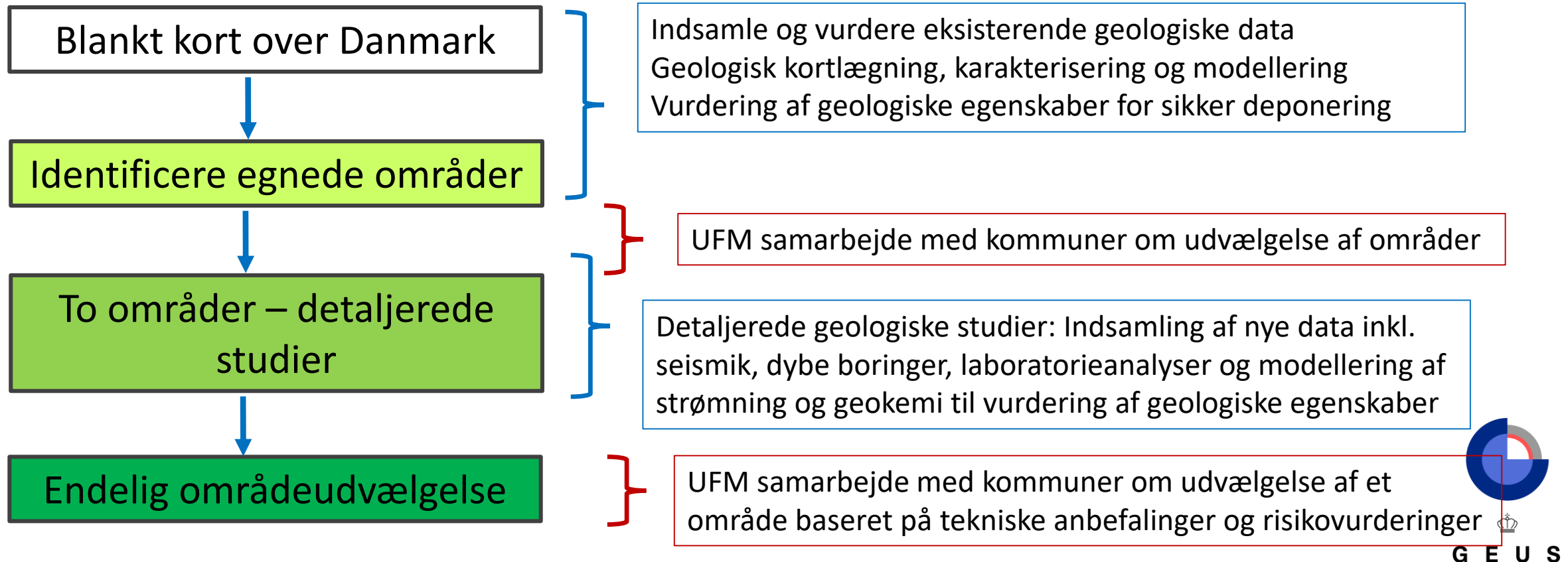
- Geologisk opbygning af Danmark
- Krav og kriterier for udvælgelse
- Beskrivelse af lersten (Nedre Kridt og Jura)
- Beskrivelse af granit (Prækambrium)
- Beskrivelse af Kridt og kalksten (Øvre Kridt)
- Klima, havniveau, istider, jordskælv
- Analyser og modeller
- Mulige områder



GEUS

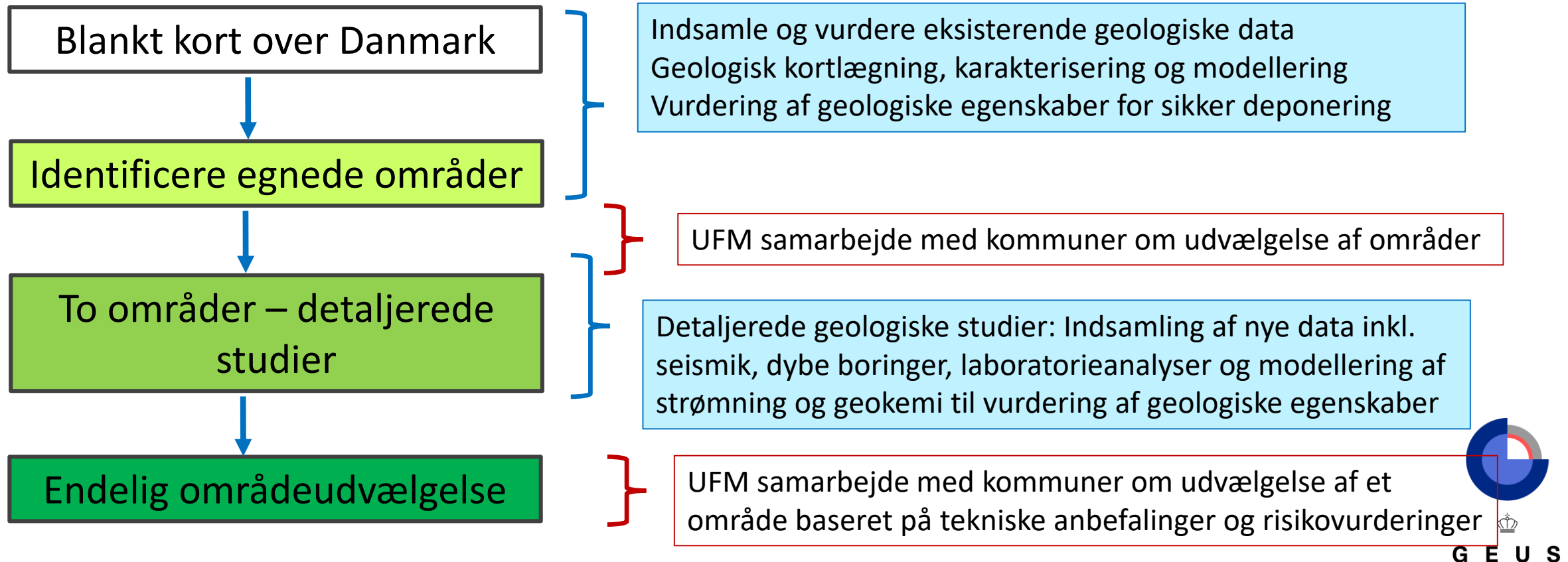
Proces for geologiske studier

Lokalisering af egnet lokalitet for dybt geologisk slutdepot



Proces for geologiske studier

Lokalisering af egnet lokalitet for dybt geologisk slutdepot – GEUS opgaver



Identifikation af geologiske områder for sikker deponering af radioaktivt affald

- Data indsamling og review
- Kvalitetssikring og vurdering af relevans og pålidelighed
- Identificere relevante data og internationale erfaringer fra identificering og etablering af dybe geologiske slutdepoter (Nagra, SKB, Andra m. fl.)

Definere kriterier for sikker geologisk deponering:

- Geologisk langvarig stabilitet
- Gode forseglingssegenskaber i bjergarten
- Pålidelighed og kvalitet af geologiske data
- Bjergartsstabilitet for dybe underjordiske konstruktioner

Kortlægning af geologiske lag i 500 m dybde under terræn

- Mesozoiske lersten
- Øvre Kridt kalksten
- Krystallinsk grundfjeld (granit & gnejs)

Karakterisering af forseglingspotentiale feks. permeabilitet, sprækker og tykkelse, samt mulighed for kortlægning, geoteknisk stabilitet mm.

Modellering af forseglingspotentiale og sammenligning af bjergarter (lithologier)

Evaluerings af geologisk stabilitet og naturlige langtidsændringer

- Fremtidige glaciationer
- Oversvømmelser / klima
- Jordskælv
- Grundvand

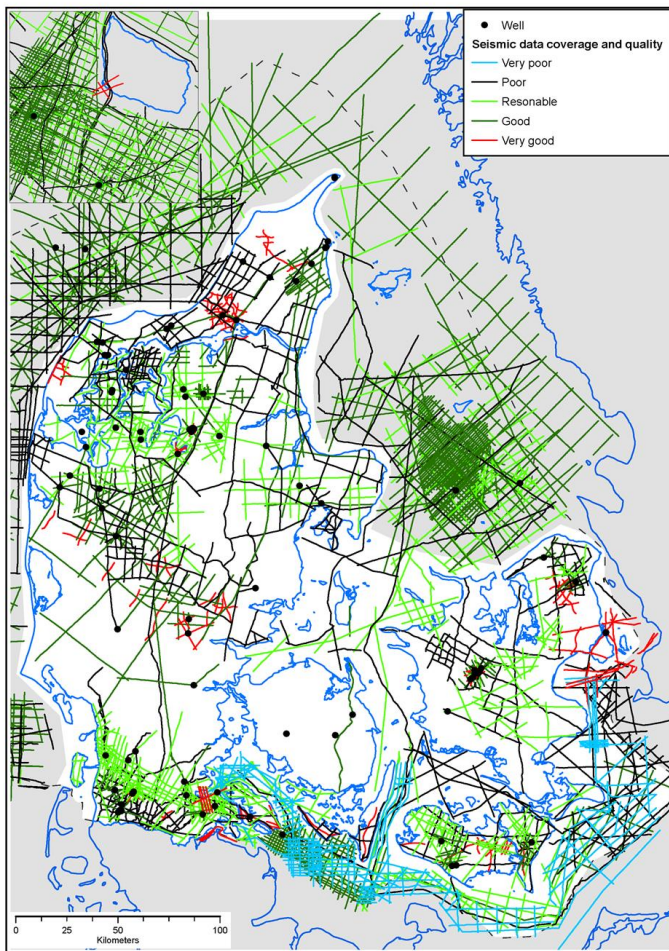
Identifikation af områder der har potentiale for sikker dyb geologisk deponering



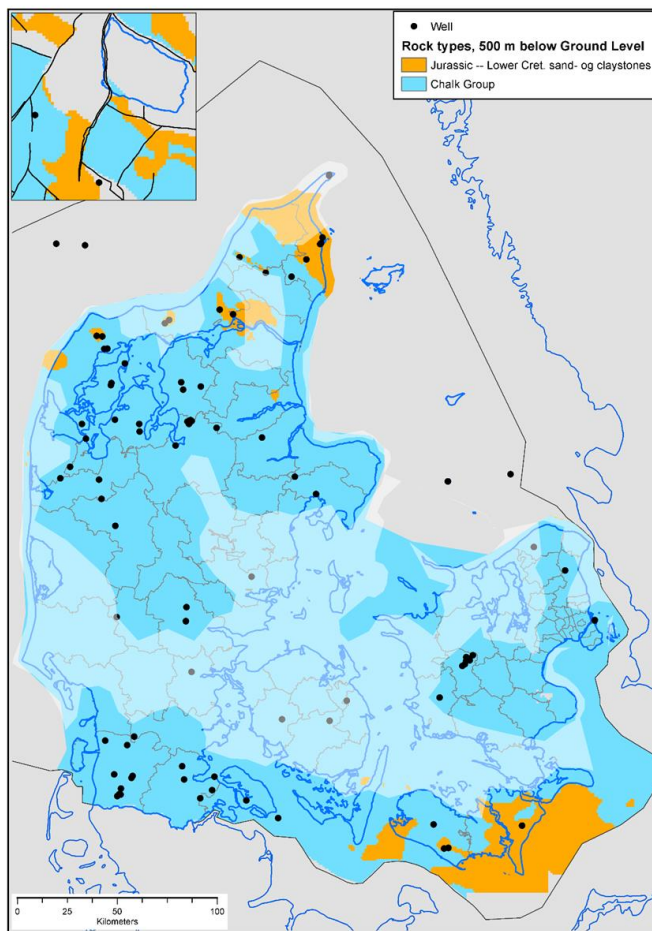
Seismisk kortlægning af bjergarter i 500 m dybde

Seismisk datakvalitet er vist med farver

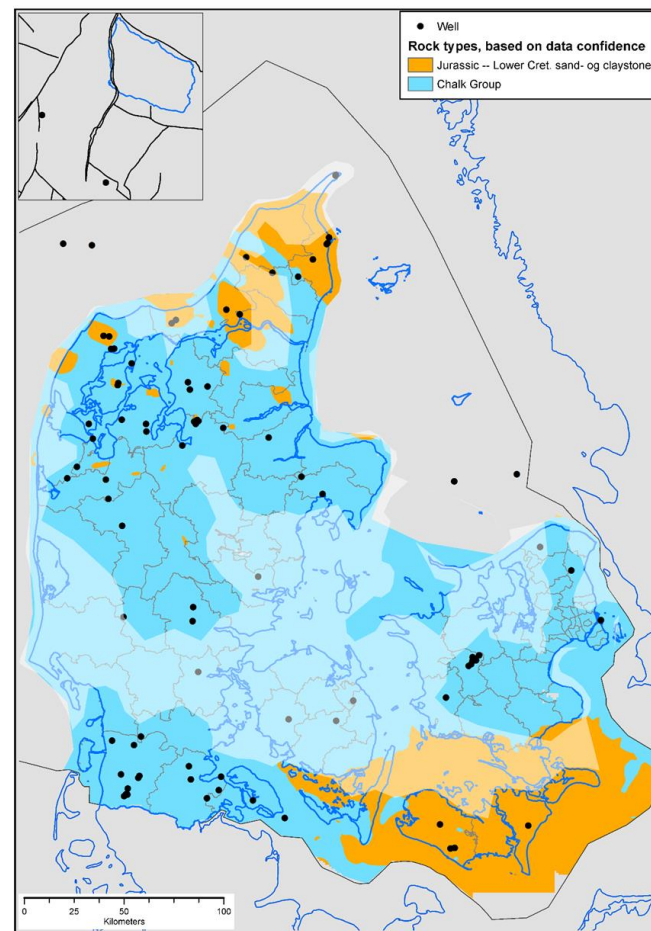
Seismiske data og dybe boringer



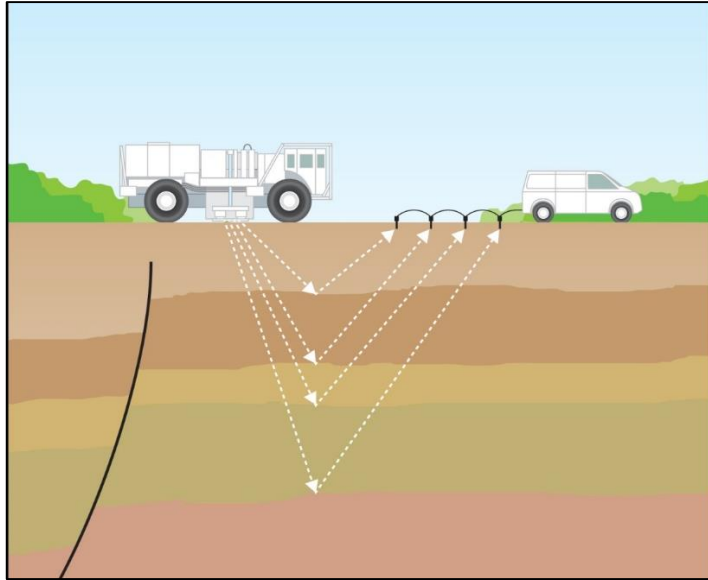
Bjergarter kortlagt 500 m under terræn



Eksempel på data-usikkerhed for kortlægning 500 m under terræn



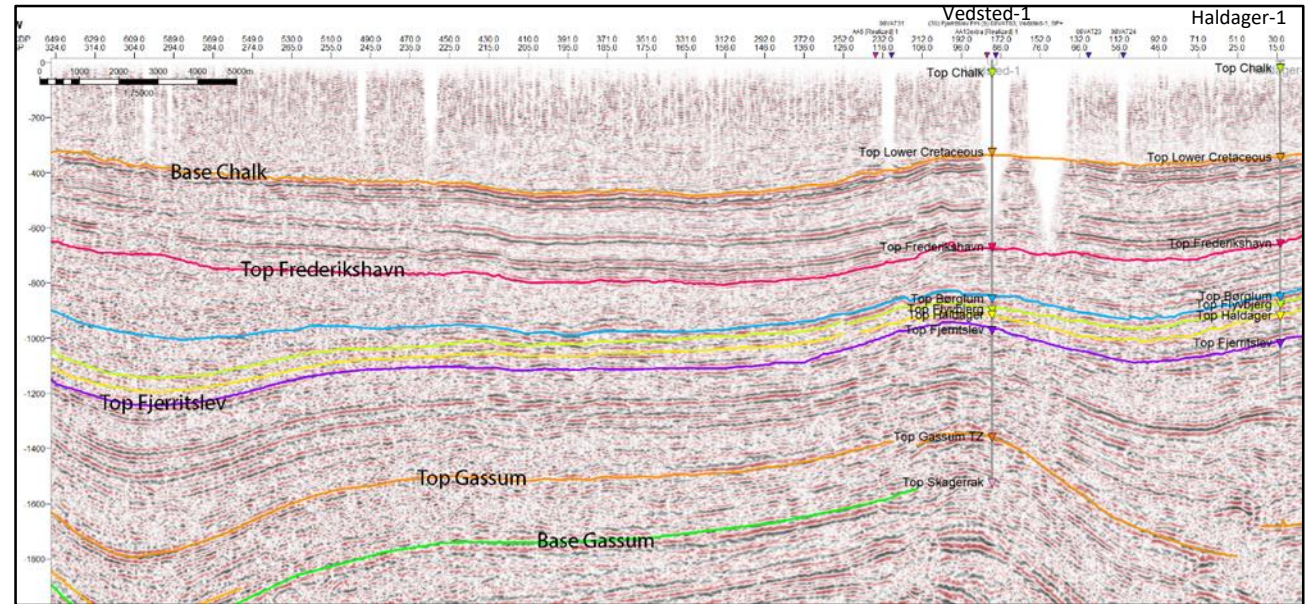
Seismisk kortlægning af geologi i undergrunden



Indsamling af seismiske data indsamles på land foregår ved at et vibratorkøretøj sender et lydsignal ned i undergrunden ved hjælp af vibratører. Dele af lydsignalet reflekteres tilbage til overfladen, hver gang det seismiske lydsignal møder en markant laggrænse på sin vej ned gennem undergrunden. De reflekterede lydsignaler registreres af geofoner på terrænoverfladen og indsamles af køretøjet (til højre). Disse data omsættes i computere til seismisk profiler, som kan bruges til at kortlægge dybden til geologiske lag i undergrunden.

Terræn
overflade

Stigende dybde

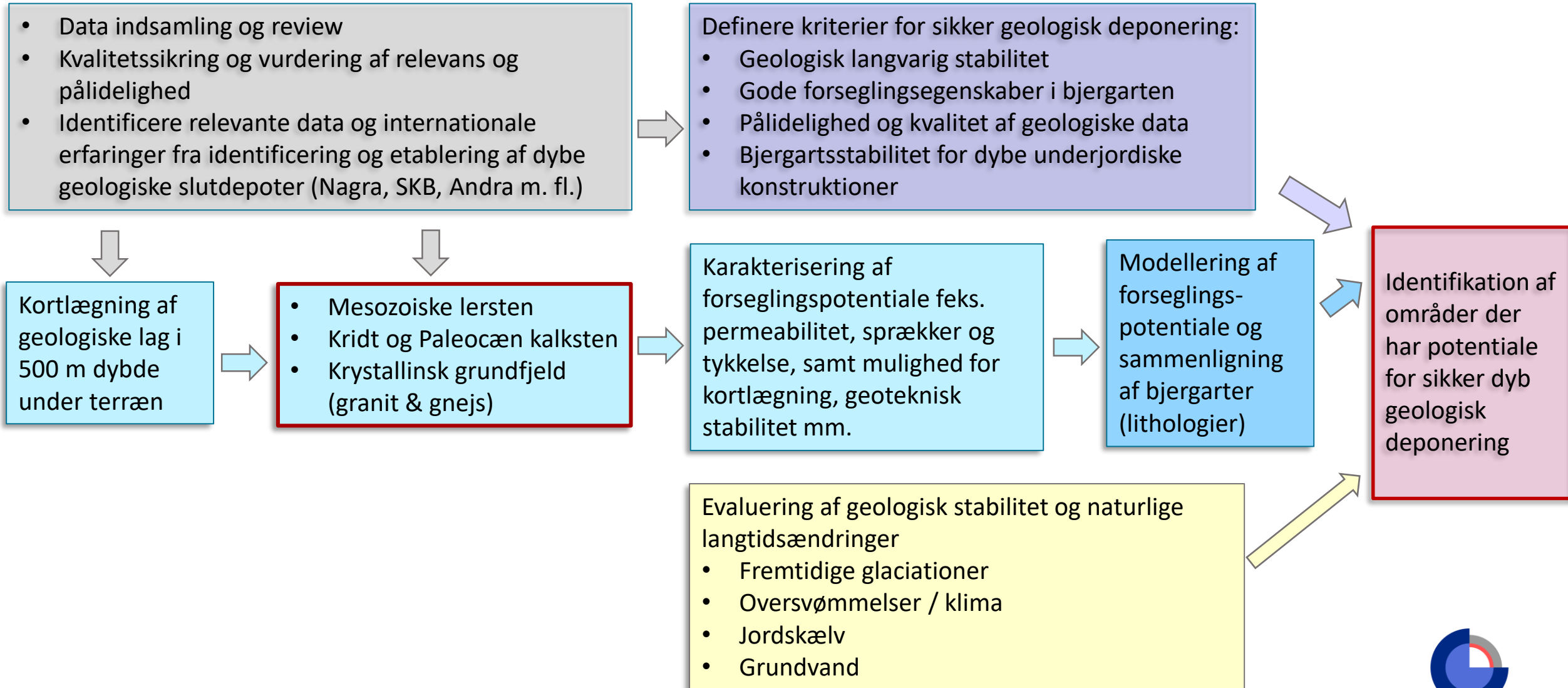


Seismisk profil til kortlægning af geologiske lag i undergrunden. De kortlagte laggrænser er vist med forskellige farver. Ved at kombinere seismiske data med informationer fra boringer om bjergartstyper kan de forskellige geologiske lag i undergrunden kortlægges.



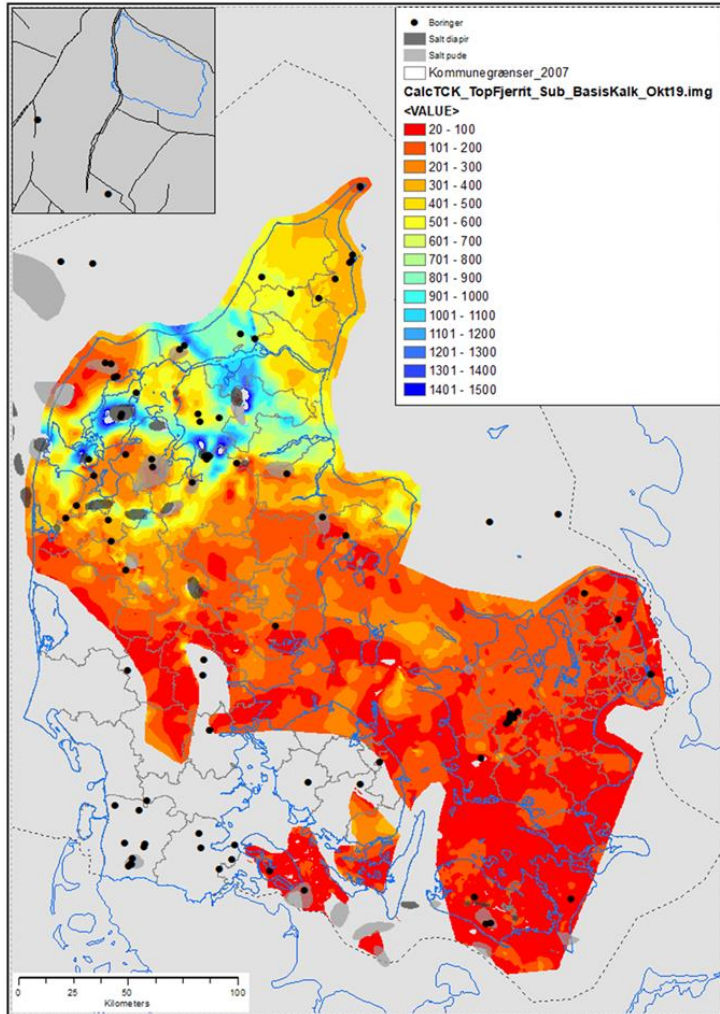
GEUS

Identifikation af geologiske områder for sikker deponering af radioaktivt affald



Jura og Nedre Kridt lersten kortlægning og karakterisering

Tykkelseskort Jura og N. Kridt lersten



Borekernebeskrivelser

- Varierende homogenitet fra ren lersten til lersten vekslede med tynde silt og sandlag

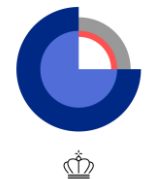
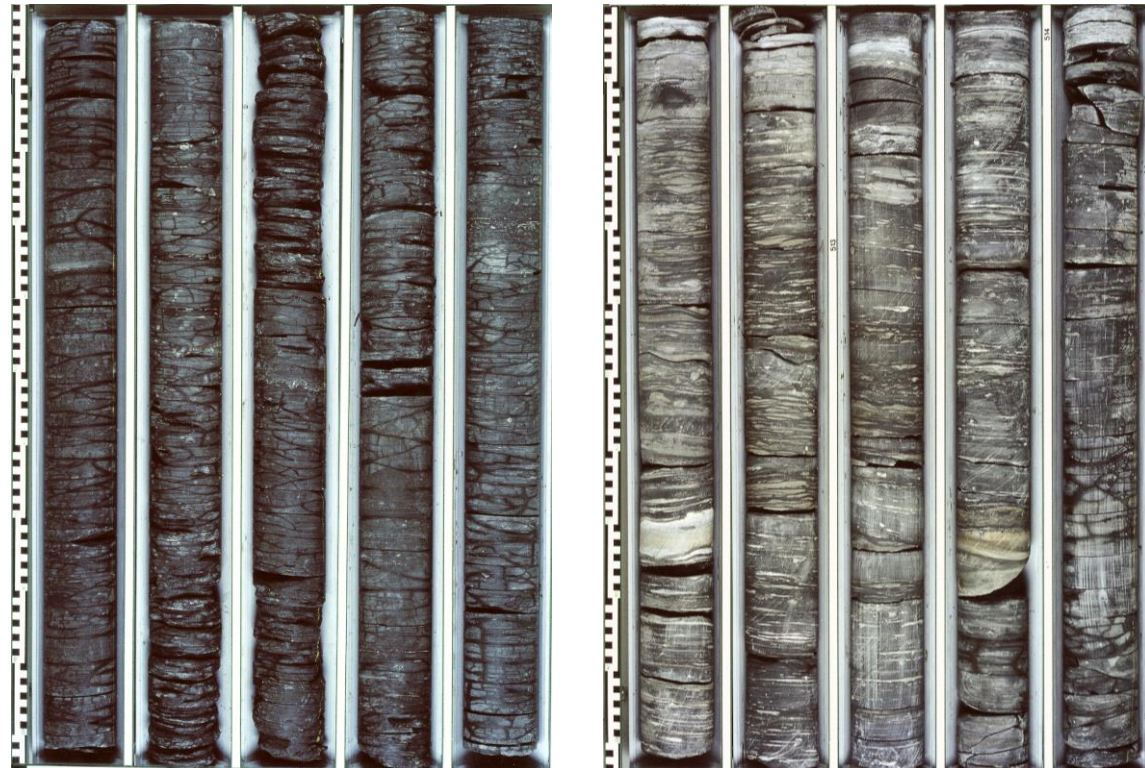
Mineralogi

- Ler indeholder kaolin

Porositet og permeabilitet

- Få data da dybe boringer hovedsagelig har data fra lag med høj porositet og permeabilitet

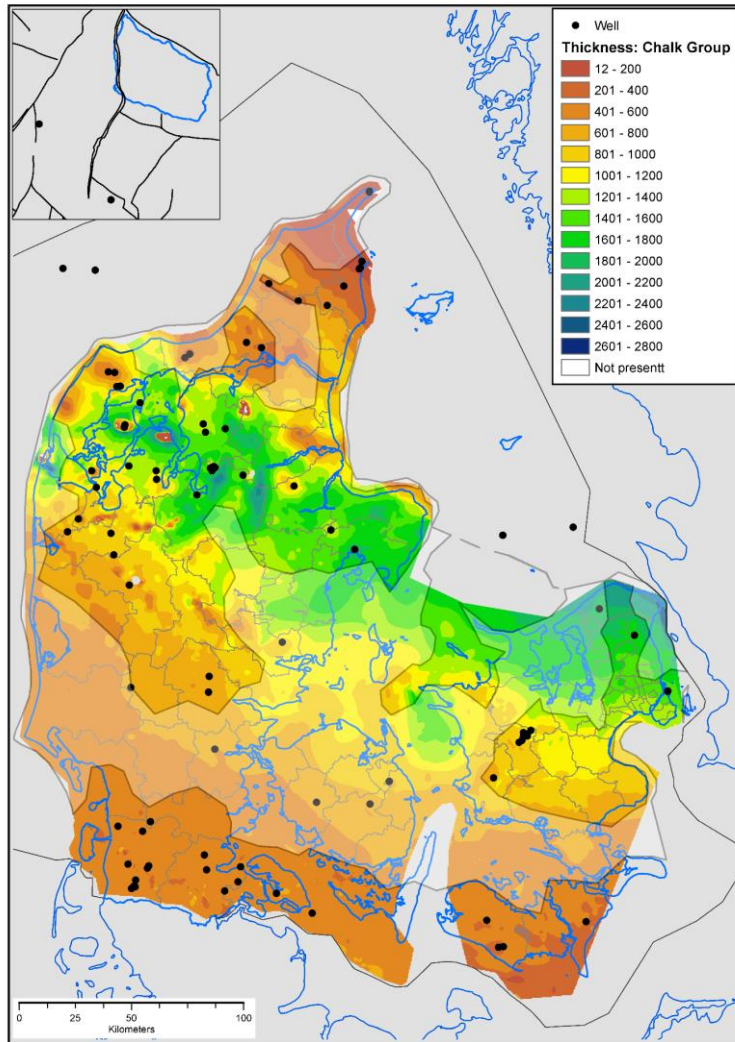
Borekerner 1 m lange



GEUS

Øvre Kridt kalksten og kridt kortlægning og karakterisering

Tykkelseskort Chalk Group i Danmark



Boesdal Mb i Stevns-1 borekernen har vekslende lag af kalksten og lerholdig kalksten (mergel)
Mergel indeholder illite / smectite lerminerale



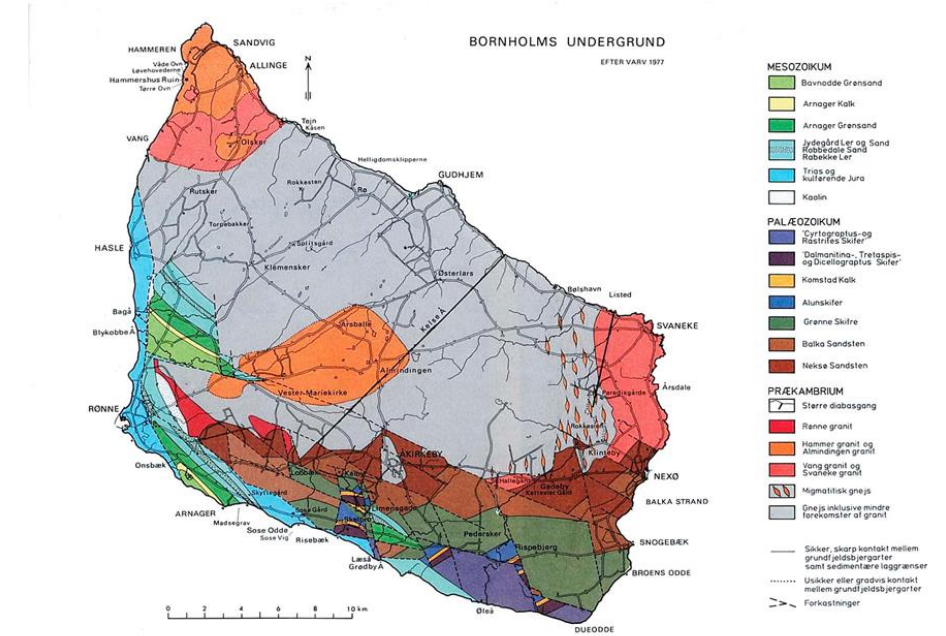
Sigerslev Member i Sigerslev kalkbrud indeholder sprækker (frakturer) i de overfladenære lag
I Stevns-1 borerne i 500 m dybde er der ikke observeret sprækker i kalken



GEUS

Gnejs og granit – kortlægning og karakterisering

Data fra terrænoverflader, stenbrud og borer



- I Rønne granit ved Stubbøløkken ses sprækker ned til ca 50 m under terræn
- Nogle sprækker observeret i 100-200 m dybde fra vandboringer
- Ingen information fra 500 m dybde
- Erfaringer indhentes fra eksisterende studier i nabolande

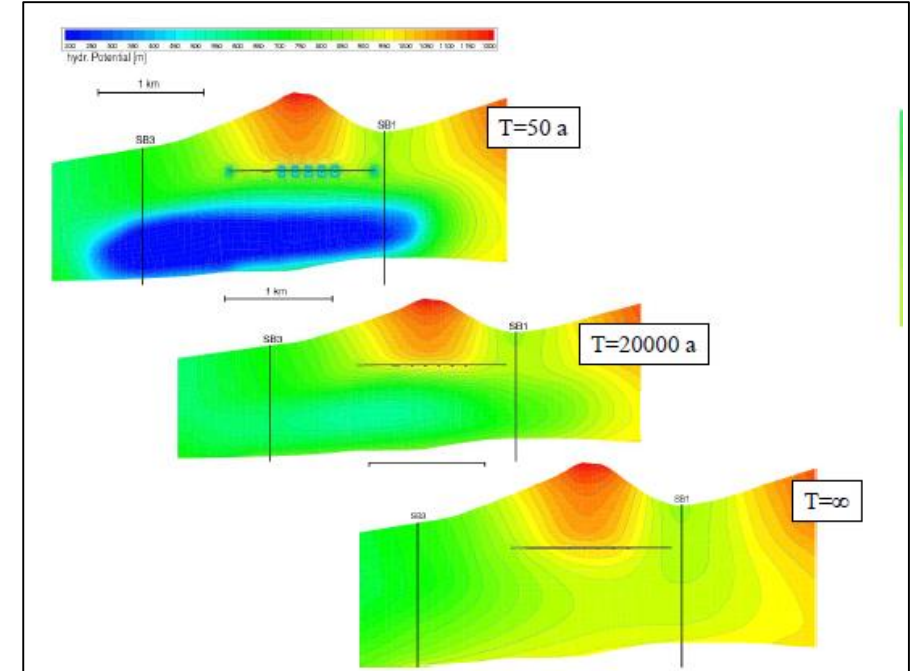
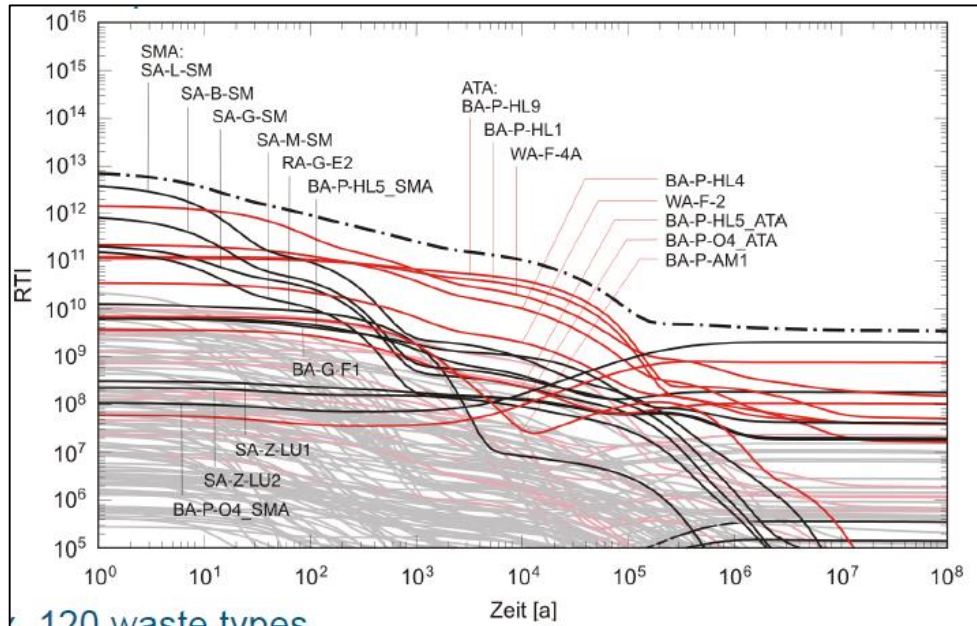


GEUS

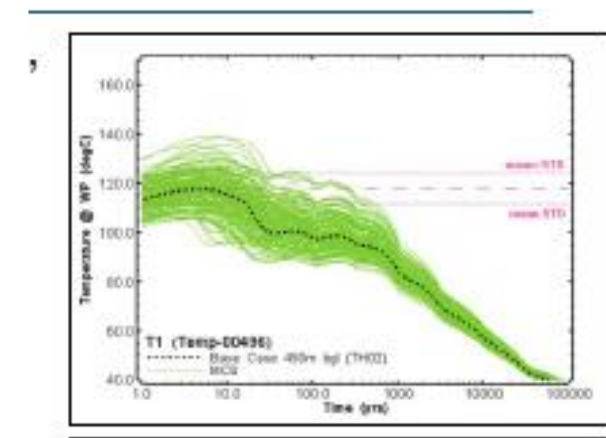
Computermodellering og følsomhedsstudier

Bjergarternes forseglingsegenskaber afhængighed af bl.a.:

- Tykkelsen af det geologiske lag
- Permeabilitet
- Forekomst af sandlag
- Sprækker i bjergarten
- (Og mange andre parametre)

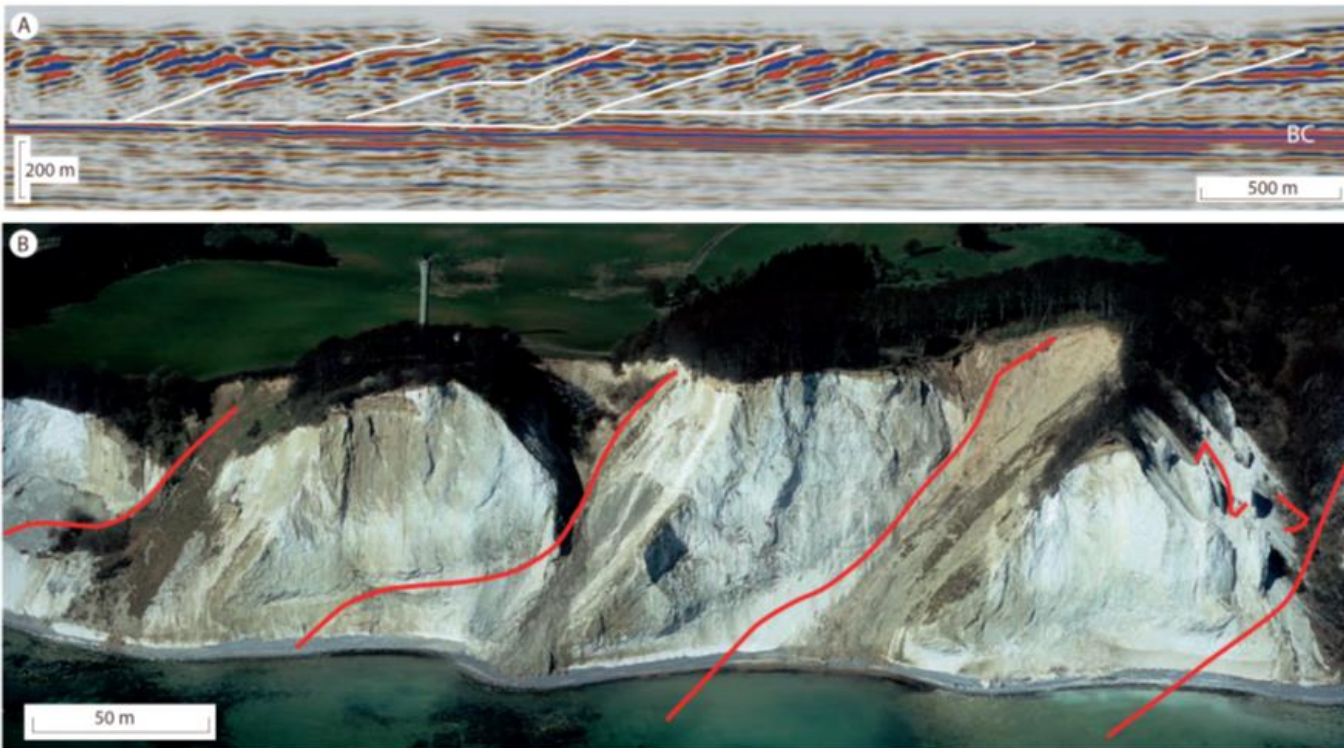


Computermodellering,
eksempler fra Nagra,
Schweitz

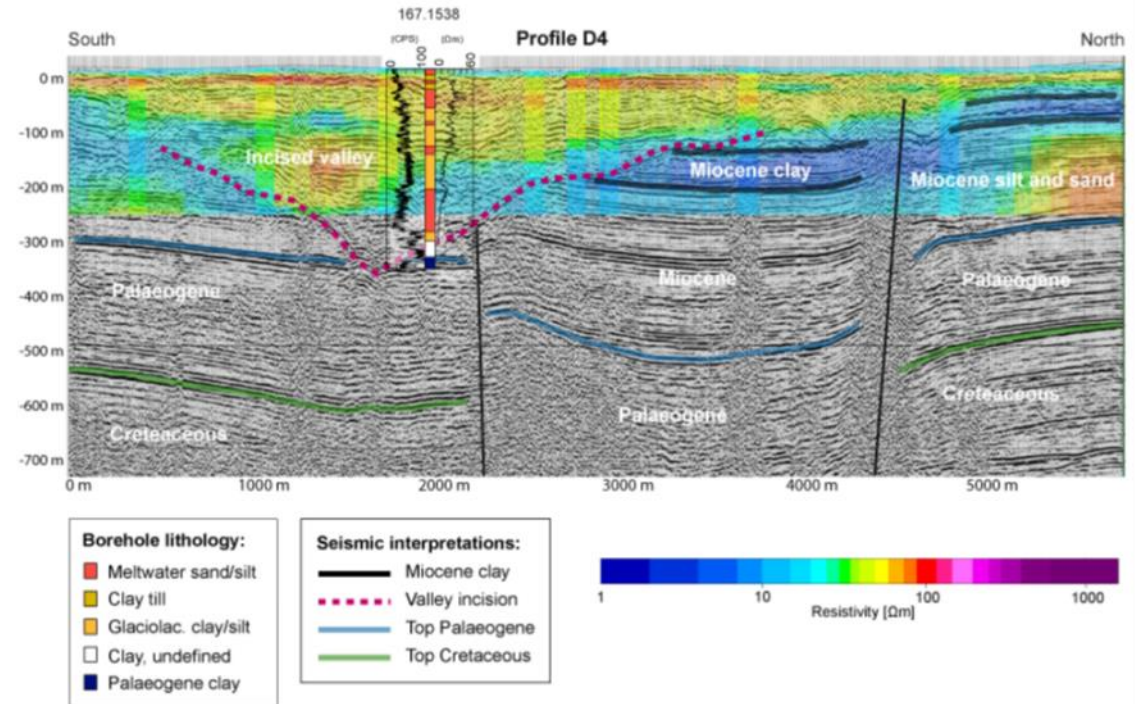


Mulige forstyrrelser ved fremtidige istider i Danmark

Erosionsniveau 300-400 m under terrænoverfladen



- A. Sesimisk linie der viser forskydninger i undergrunden som er dannet ved isbevægelser, Jammerbugten
- B. Møns Klint glacialtektonisk kompleks

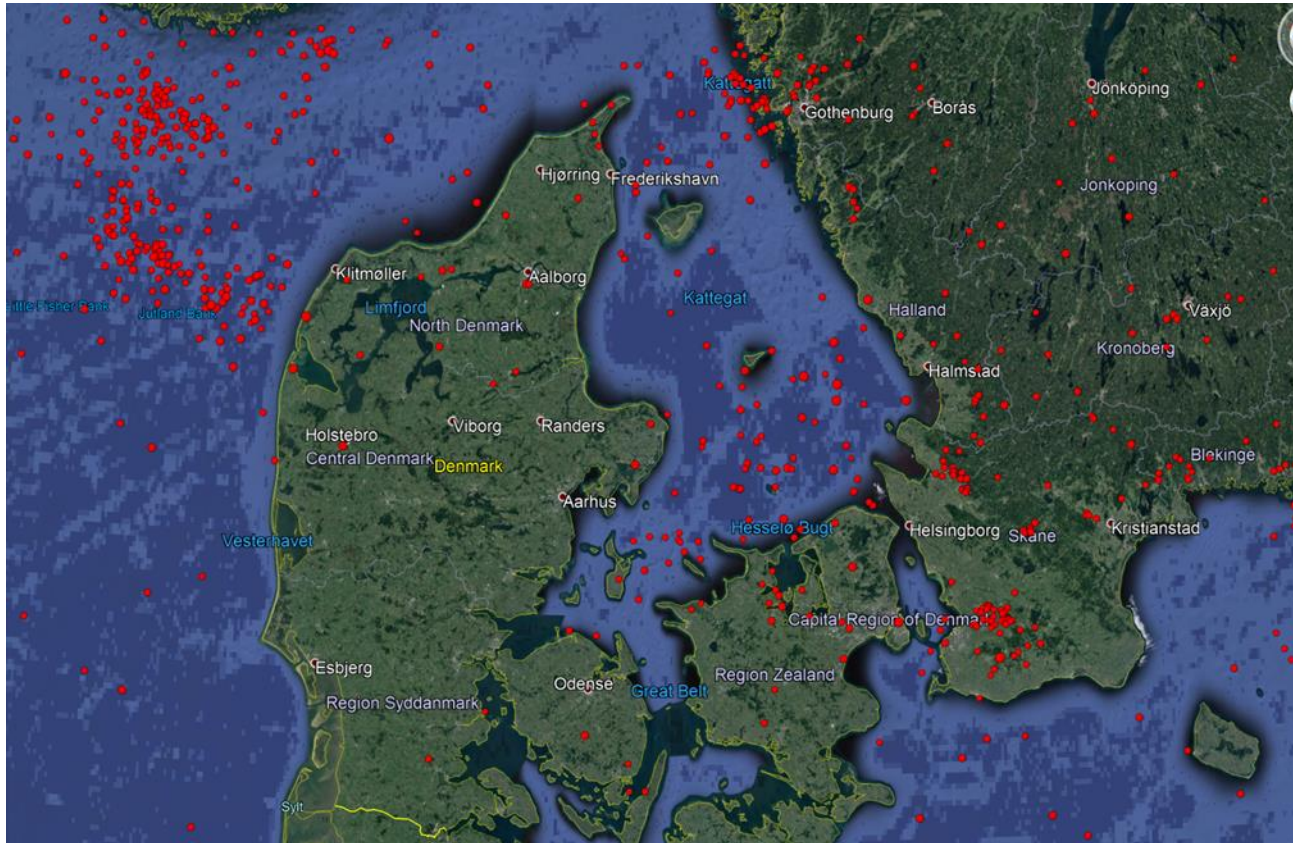


Kortlægning af en dyb, begravet tunneldal (~300 m) ved Tønder, Sydvestdanmark

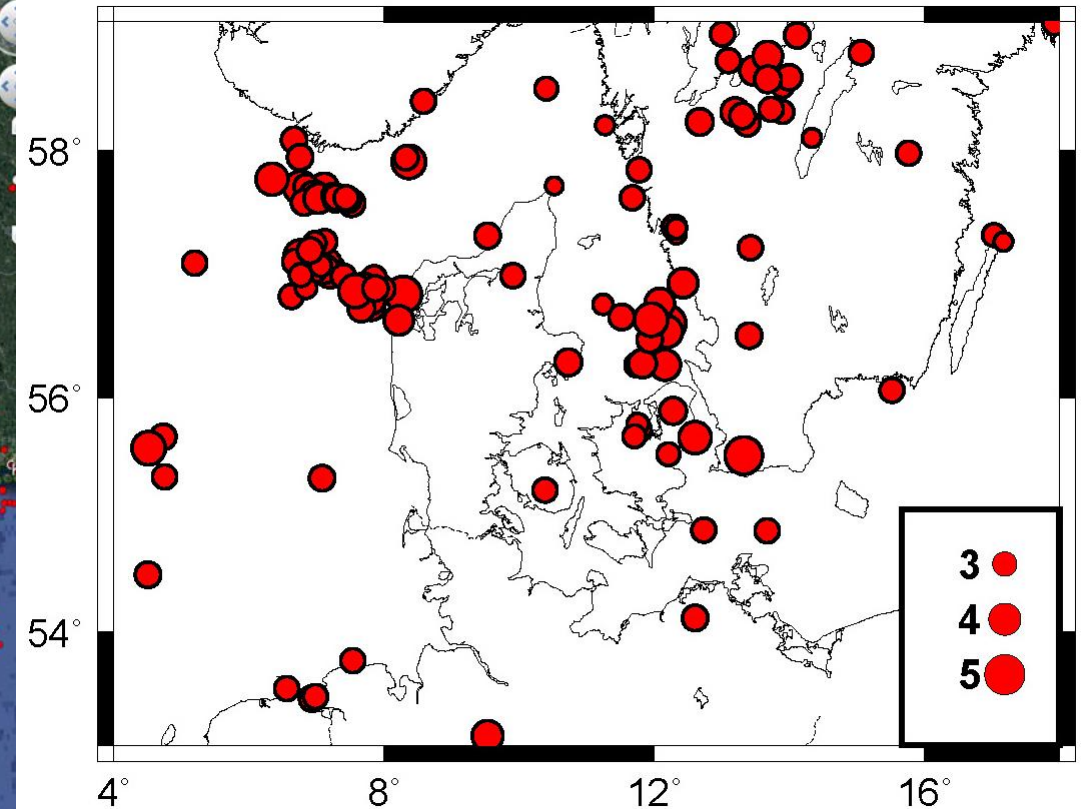


Seismisk aktivitet i Danmark, lokaliteter og størrelse

Kun mindre jordskælv



Jordskælv i og omkring Danmark 1970 til 2008. Epicentre (røde prikker) er fra GEUS' jordskælvsdatabase og katalog over jordskælv i Nordeuropa (fra Universitetet i Helsinki).



Kortet viser placering af de største registrerede jordskælv og deres størrelse på Richter skalaen



Udarbejdelse af system til scoring og sammenligning af bjergartsegenskaber og datagrundlag

Processen er igangværende – baseret på internationale erfaringer

Bjergartsegenskaber	Lersten	Kalksten	Granit
Formationer med stor tykkelse			
3D kortlægning er mulig	3	3	3
Homogen lithologi			
Lav permeabilitet			
Lav porositet			
Lermineralogi favorabel for sorption			
Lermineralogi favorabel for selv-heling			
Geoteknisk stabilitet			
Ingen dybe sprækker			

EKSEMPEL – IKKE DET ENDELIGE SKEMA

Geologisk
egenskaber
scoring

	Meget god
	God
	Ringe
	Ingen information

Data
kvalitet /
konfidens

3	Meget god
2	God
1	Ringe
0	Ingen information

Udarbejdelse af system til scoring og sammenligning af bjergartsegenskaber og datagrundlag

Processen er igangværende – baseret på internationale erfaringer

Geologiske Bjergartsegenskaber	Område 1		Område 2		Område 3
Tykkelse > xx m	3	120 m kendes fra boring abc-1 i området og kontinuert på nyere seismiske data	1	100-120 m baseret på seismik med stor linieafstand	180 m baseret på seismik, nærmeste boring Fgh-1 er 17 km mod nord
3D-kortlægning af tykkelse mulig					
Ingen store forskastninger					
3D-kortlægning af sprækker er mulig					
Geokemisk tilbageholdelse af nuklider					
Geologisk stabilt område					
Lav risiko for jordskælv					
Lav risiko for dyb glacial erosion					

EKSEMPEL – IKKE DET ENDELIGE SKEMA

Geologisk
egenskaber
scoring

	Meget god
	God
	Ringe
	Ingen information

Kvalitet og
konfidens af
eksisterende
data

3	Meget god
2	God
1	Ringe
0	Ingen information

- Beskriv hvorvidt nye data kan øge konfidensniveauet og reducere usikkerheden
- Angiv hvilke metoder og analyser der kan anvendes



GEUS

Geologiske undersøgelser

Kortlægning, beskrivelse, karakterisering og modellering med henblik på at identificere mulige bjergarter og områder til dybt slutdepot for radioaktivt affald

Igangværende studier baseret på eksisterende data

- **Geologisk ramme i Danmark**
- **Seismisk kortlægning**
- **Kalksten Øvre Kridt (Chalk & Limestone)**
- **Lersten fra Mesozoikum**
- **Krystallinsk grundfjeld (granit og gnejs)**
- **Klima og havniveauændringer, fremtidige glaciationer, jordskælv, grundvand**
- **Kriterier for udvælgelse af bjergarter (favorable bjergartsegenskaber) til geologisk forseglings**
- **Modellering af strømning og forseglingssegenskaber i forskellige bjergarter - følsomhedsanalyser**
- **Identifikation af mulige områder for sikker deponering – til UFM for udvælgelse af 2 områder til detaljerede studier**

Forventes
afsluttet
forår 2020

Forventes
afsluttet
slut 2020