



Miljø- og  
Fødevareministeriet  
Miljøstyrelsen

# GrundRisk

## Metode til at estimere lertykkelse under jordforureninger, der er kortlagt på V1 og V2

Miljøprojekt nr. 1888

Oktober 2016

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Anders Juhl Kallesøe, GEUS

Jakob Molander, GEUS

Claus B. Ditlefsen, GEUS

Lars Troldborg, GEUS

Marianne B. Wiese, GEUS

Martin Hansen, GEUS

Knud Erik S. Klint, GEUS

ISBN: 978-87-93529-24-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

## Indhold

1.	Introduktion .....	3
1.1.	Indledende overvejelser .....	3
1.2.	Koncept .....	3
2.	Udsøgning af boringsdata og beregningsmodul (Delelement 1) .....	6
2.1.	Boringsudsøgning ved V1 og V2 kortlagte grunde .....	6
2.2.	Grunddata fra Danmarks Miljøportal .....	8
2.3.	Beregningsmodulbaseret på Jupiter databasen .....	9
3.	Data fra den Nationale Vandressource Model (Delelement 2) .....	14
3.1.	Forbehold ved anvendelse af DK-modellen i GrundRisk projektet .....	15
3.2.	Anvendelse af grundvandsmagasiner fra DK-modellen .....	15
3.3.	Parameterværdier for øverste grundvandsmagasin .....	16
4.	Øvrige parameterbidrag .....	20
4.1.	Heterogen geologi (Delelement 3) .....	20
4.2.	Geofysik (Delelement 4) .....	22
4.3.	Redoxgrænse .....	23
4.4.	Hydrauliske ledningsevner (konduktiviteter) .....	23
4.5.	Porøsitet .....	26
5.	Applikationen (Delelement 5) .....	28
5.1.	Resultat-tabeller .....	28
5.2.	Opslag af referenceværdier baseret på faglitteratur .....	32
5.3.	Datakilder og opdatering .....	34
5.4.	Visualisering af resultater .....	36
5.5.	Perspektiver – webbaseret screeningsværktøj .....	38
6.	Referencer .....	40

Bilag 1	Indledende dataanalyse (notat til delelement 0.1)
Bilag 2	Dokumentation af grunddata
Bilag 3	Beskrivelse af databeregner
Bilag 4	Notat vedr. sprækkefordeling i moræner (notat til delelement 3)

Appendix A: Indledende tests og resultater fra forprojekt

Appendix B: Visualisering af resultater ved tre udvalgte testlokaliteter

## 1. Introduktion

Miljøstyrelsen ønsker at forbedre og målrette nuværende metoder og principper for den offentlige indsats overfor de mange jordforureninger, der kan udgøre en risiko for Danmarks drikkevandsressourcer. Det er derfor et prioriteret mål at få udviklet en effektiv metode til nationalt at risikoscreene kortlagte jordforureninger (V1 og V2), således at de grundvandstruende jordforureninger identificeres på et tidligt stadium. Miljøstyrelsen har på denne baggrund igangsat et projektsamarbejde med DTU Miljø, hvor GEUS er inddraget som projektdeltager med henblik på at inddrage geologiske data til risikoscreeningen /1/.

### 1.1. Indledende overvejelser

Der er i den indledende fase af projektsamarbejdet afsøgt og vurderet forskellige muligheder for at estimere af lertykkelser under kortlagte jordforureninger. De fundne muligheder er blevet vægtet og vurderet i forhold til de opsatte ønsker og mål med GrundRisk projektet. Følgende muligheder blev vurderet:

- Udtræk af lertykkelser fra geologiske og hydrostratigrafiske lokalmodeller udarbejdet i forbindelse med den statslige grundvandskortlægning.
- Lertykkelseskort baseret på geofysiske data tilgængelige i GEUS' Gerda database.
- Vurdering af lertykkelser baseret på udtræk fra den Nationale Vandressource Model (DK-modellen).
- Vurdering af lertykkelser ved målrettet udtræk af boringsinformation fra den nationale boringsdatabase Jupiter.

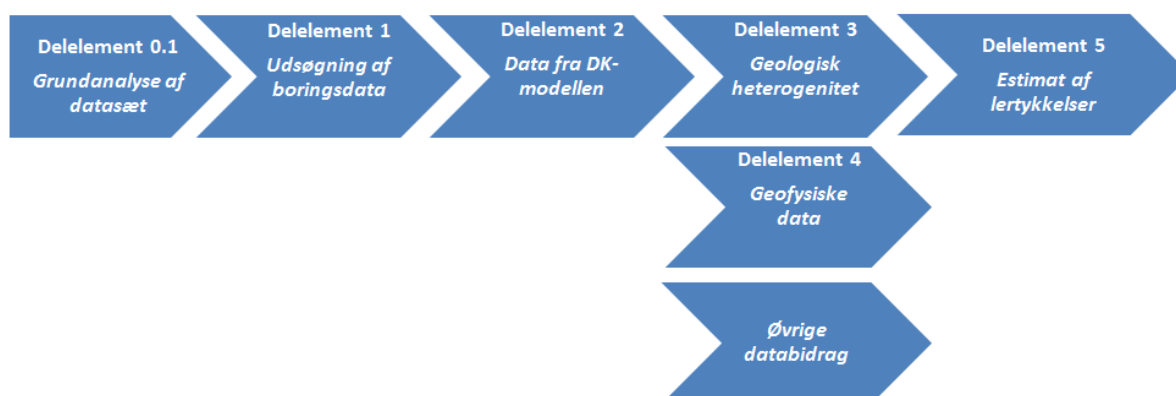
Vurderingen af de forskellige løsningstilgange resulterede i en afprøvning og test af en målrettet udsøgning af boringsdata i den nationale Jupiter database kombineret med en undersøgelse af muligheden for en direkte inddragelse af geofysiske data, se Appendix A. Fravalget af udtræk fra eksisterende geologiske modeller skyldes et ønske om brug af de nyeste tilgængelige data. De tilgængelige lokalmodeller udgør et ufuldstændigt datasæt, der ikke er dækkende i hele landet og som er udarbejdet over en længere årrække, hvor de nyeste boringsinformationer i eksempelvis byzoner ofte ikke er inddraget. Der blev ligeledes forudset et stort arbejde i at sammenstille alle de tilgængelige modeller.

Valget af Jupiter-databasen som beregningsmotor til estimering af lertykkelser under kortlagte forurenede grunde blev dermed valgt som basis for det opstillede koncept for en applikation til estimering af lertykkelser, se afsnit 1.2.

### 1.2. Koncept

Nærværende rapport beskriver en metode til at estimere lertykkelser under jordforureninger, der er kortlagt på hhv. V1 og V2. GEUS har udviklet metoden i samarbejde med Miljøstyrelsen og DTU Miljø under GrundRisk delprojekt 1. Metoden estimerer lertykkelser over det øverste grundvandsmagasin defineret i den Nationale Vandressource Model (DK-modellen) /2/. Som input benyttes et koordinatsat landsdækkende datasæt af kortlagte V1 og V2 grunde der rekvireres fra Danmarks Miljøportal. Der inddrages desuden andre væsentlige hydrogeologiske parametre i GEUS applikationen, som er vurderet vigtige i den følgende risikoscreening af de kortlagte jordforureninger.

Figur 1.1 skitserer de projektrin, der har ført til udvikling af den endelige applikation:



Figur 1.1. Delelementer i udviklingen af den endelige estimering af lertykkelser (delelement 5).

### Krav og forudsætninger

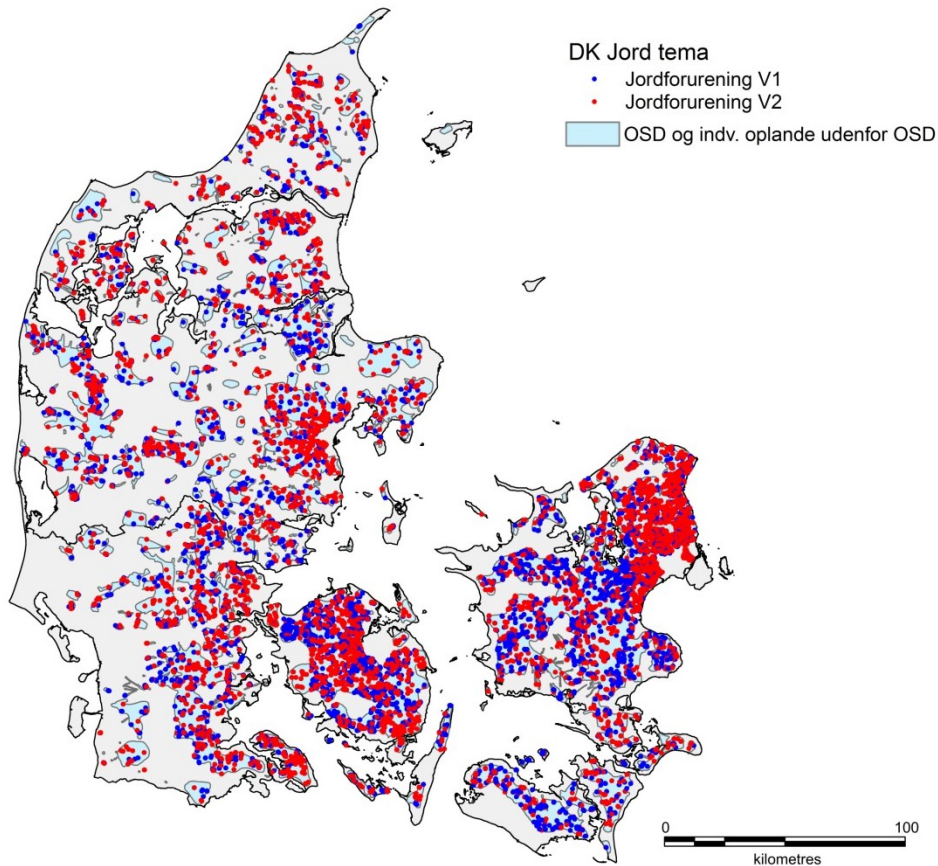
Der er indledende stillet følgende grundlæggende krav til udviklingen af applikationen:

- **En automatisk landsdækkende estimering.** Den automatiske landsdækkende estimering skal resultere i et landsdækkende dataudtræk indeholdende estimerede lertykkelser på alle V1 og V2 kortlagte grunde beliggende i de aktuelle OSD (områder med særlige drikkevandsinteresser) og indvindingsoplande udenfor OSD.
- **Anvendelse af opdaterede geologiske data.** Estimeringen skal basere sig på opdateret geologisk viden fra den nationale boringsdatabase (Jupiter), hvor beregninger og udtræk sker online fra Jupiter.
- **Håndtering af ændringer i det gældende tema for V1 og V2 kortlagte grunde.** Estimeringerne skal baseres på de seneste GIS temaer for V1 og V2 kortlagte grunde (DK Jord) på [Danmarks Miljøportal](#).
- **Håndtering af ændringer i plantemaer som OSD og indvindingsoplande udenfor OSD.** Estimeringerne skal baseres på de seneste GIS temaer for drikkevandsinteresser og indvindingsoplande på [Danmarks Miljøportal](#).

Udover de opstillede krav er der nogle gældende forudsætninger, som er klarlagt i projektets opstartsfasen og hvilke det er væsentligt at være bevidst om:

- **Manglende indberetning af miljøboringer og geotekniske boringer i Jupiter databasen.** Dette medfører, at udførte miljøboringer, der ikke er indberettet med lithologisk information i Jupiter databasen, ikke vil indgå i estimeringen af lertykkelser på det givne tidspunkt, hvor en kørsel med værktøjet gennemføres.
- **Anvendelse af dybden til øverste magasin i DK-modellen.** Dybden til det øverste grundvandsmagasin/grundvandsforekomst er en nødvendig parameter for at vurdere risikoen for spredning af forurening i grundvandet. Her er DK-modellen vurderet til være det bedste nuværende datasæt, der dækker hele Danmark /2/, se kapitel 3.
- **Anvendelse af landsdækkende datasæt til vurdering på punktniveau.** Det er væsentligt at være bevidst om at flere af datakilderne, herunder også DK-modellen, baserer sig på landsdækkende datasæt, hvis formål ikke oprindeligt har været at udtrække informationer på punktniveau.
- **Datatomme områder.** Der vil forekomme kortlagte V1 og V2 grunde i områder uden geologiske data.
- **Det gældende tema for V1 og V2 kortlagte grunde er dynamisk og grundene kan ændre status,** hvilket også er inddraget som en præmis i udviklingen af estimeringsalgoritmen.
- **Begrænsninger ved direkte anvendelse af geofysiske data.** Den direkte anvendelse af geofysiske data i lertykkelsesberegningerne er ikke vurderet muligt på et landdækkende screeningsniveau, da en generel oversættelse af geofysiske modstande til lithologier kan være problematisk.

De enkelte krav og gældende forudsætninger beskrives nærmere i de følgende kapitler. Det grundlæggende koncept for boringsudsøgning og estimering af lertykkelser ud fra den nationale boringsdatabase Jupiter, beskrives i kapitel 2. I kapitel 3 gøres rede for, hvorledes DK-modellen er inddraget, mens geologiske data fra øvrige kilder beskrives i kapitel 4. Resultat-tabellerne der genereres ved datakørsler beskrives under kapitel 5. På nedenstående figur 1.2 ses fordelingen af V1 og V2 kortlagte grunde indenfor OSD og indvindingslande udenfor OSD (data fra Miljøportalen i juni 2016).



**Figur 1.2. Fordeling af V1 og V2 kortlagte grunde indenfor OSD og indvindingsoplande udenfor OSD (data fra Miljøportalen, juni 2016).**

## 2. Udsøgning af boringsdata og beregningsmodul (Delelement 1)

Den nationale boringsdatabase Jupiter ([www.geus.dk](http://www.geus.dk)) danner datagrundlag for udsøgning af boringsdata og de derpå følgende beregninger af estimerede lertykkelser under jordforureninger der er kortlagt på V1 og V2. På baggrund af en indledende dataanalyse (bilag 1) er der opstillet et koncept for, hvorledes udsøgningen af boringer gennemføres, samt hvordan de udvalgte boringer indgår i en intervalopdelt beregning af lertykkelser og øvrige lagtykkelser i dæklagene. I nedenstående afsnit 2.1 beskrives, hvorledes de lithologiske informationer i boringsdata er grupperet i lagtyper, samt de anvendte kriterier til vurdering af datatætheden ved de enkelte grunde. I afsnit 2.3 gennemgås selve beregningsmodulet og de elementer der indgår i den programmerede algoritme.

Der er i bilag 2 og 3 vedlagt en teknisk beskrivelse vedr. hhv. dokumentation af datakompilation og opbygningen af den bagvedliggende algoritme.

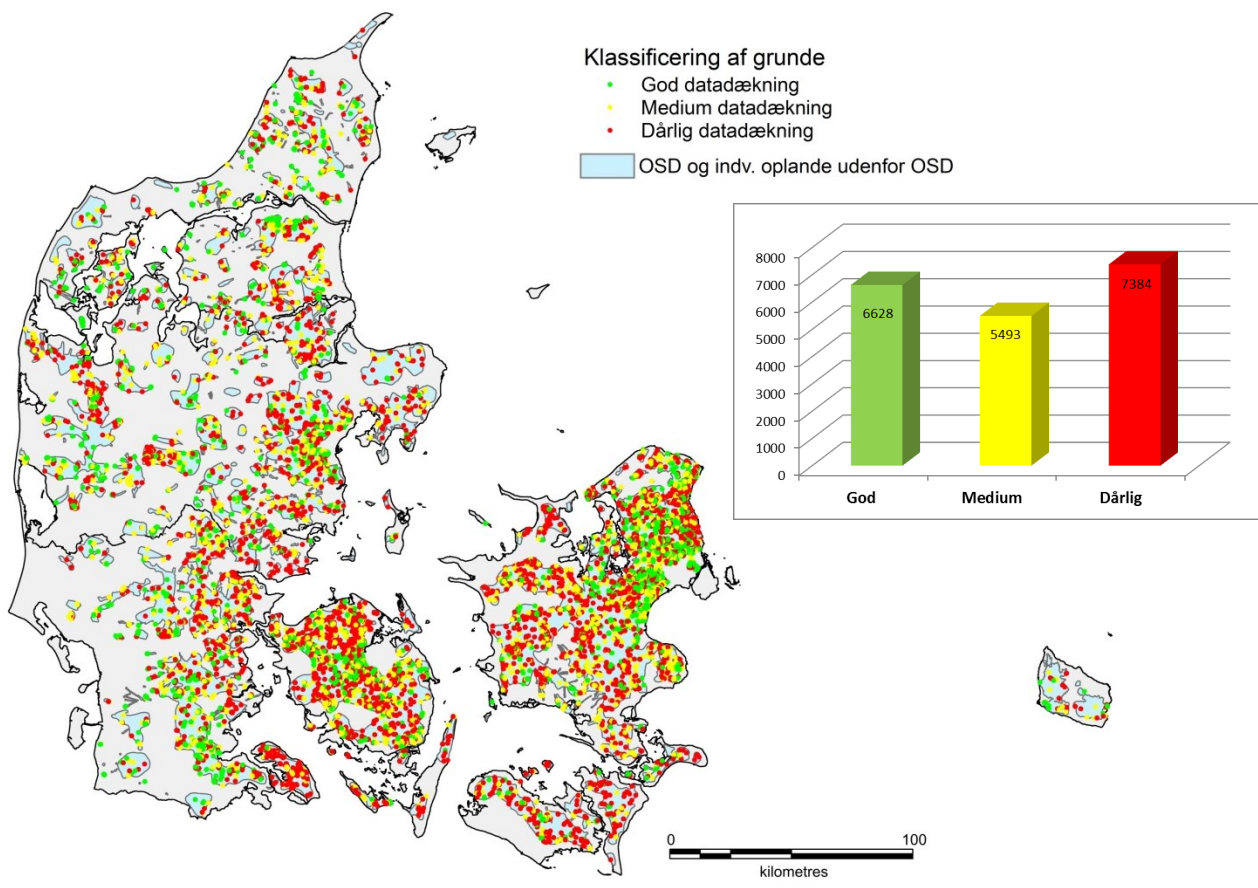
### 2.1. Boringsudsøgning ved V1 og V2 kortlagte grunde

Både brøndborer- og geologbeskrevne boringer tilgængelige i Jupiter databasen inddrages til beregning af fordelingen af lagtyper under de kortlagte grunde, se tabel 2.1. Der er i forbindelse med udarbejdelse af værktøjet gennemført en analyse af datatætheden ved de kortlagte V1 og V2 grunde, hvilket har resulteret i en kvantitativ vurdering af, hvornår en kortlagt grund besidder hhv. en god datadækning, en medium datadækning eller en svag datadækning, se bilag 1. De fastlagte kriterier er angivet i tabel 2.1, og fordelingen af de klassificerede grunde er vist på oversigtskort og diagram nedenfor, se figur 2.1

**Tabel 2.1. Definerede kriterier for udsøgning af boringsdata, valgt gruppering af lithologier, og kriterier for klassificering af kortlagte V1 og V2 grunde**

<b>Boringsniveau</b> Kriterier for udsøgning af boringer ved V1 og V2 kortlagte grunde	
<b>Beskrevne boringer</b>	Boringer med lithologiske oplysninger fra enten brøndborer-beskrivelse eller geolog-beskrivelse, dvs. Rocksymbol <> "b" og "x" (brønd og ukendt).
<b>Gruppering af lithologier</b>	De lithologiske beskrivelser i de enkelte boringer grupperet i 7 overordnede lithologigrupper samt "ukendt": <i>Gruppe 1) Fed ler</i> <i>Gruppe 2) Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspecificeret)</i> <i>Gruppe 3) Sand</i> <i>Gruppe 4) Grus og sten</i> <i>Gruppe 5) Gytje, tørv og brunkul</i> <i>Gruppe 6) Kalk</i> <i>Gruppe 7) Fyldjord</i> <i>Gruppe 8) Ukendt</i>
<b>Grundniveau</b> Kriterier for klassificering af V1 og V2 grund ud fra tilgængelige boringsdata	
<b>Grunde med GOD datadækning</b>	Mindst 4 beskrevne boringer i en 300 m bufferzone omkring grunden OG Mindst 2 beskrevne boringer der træffer øverste grundvandsmagasin i DK modellen indenfor en 300 m bufferzone omkring grunden.

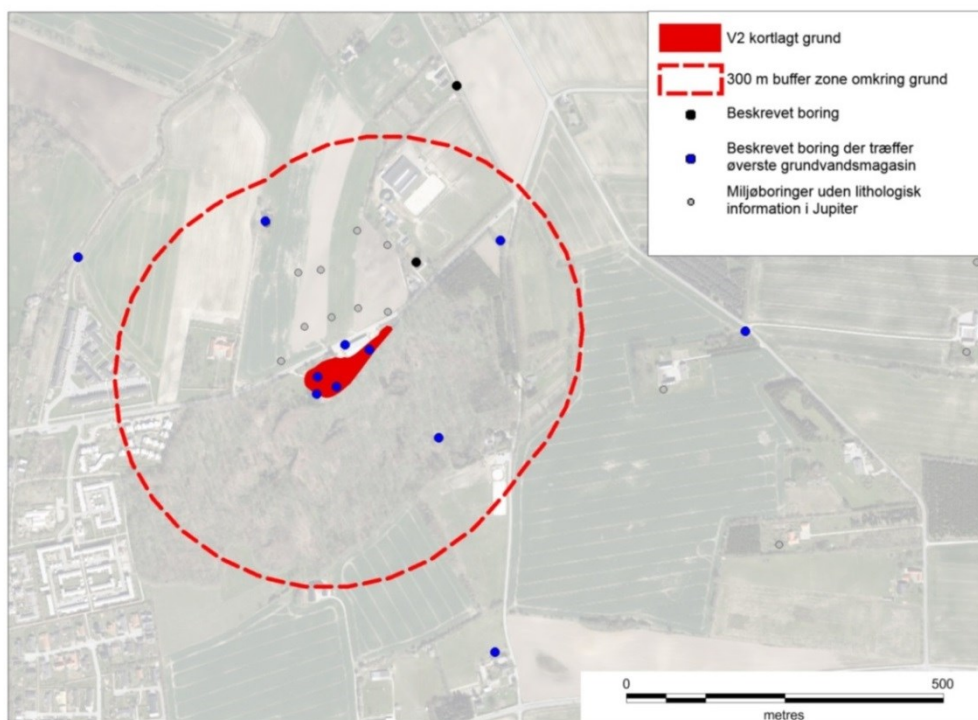
<b>Grunde med MEDIUM datadækning</b>	Mindst 2 beskrevne boringer i en 300 m bufferzone omkring grunden OG Mindst 1 beskrevet boring der træffer øverste grundvandsmagasin i DK modellen indenfor en 1000 m bufferzone omkring grunden.
<b>Grunde med SVAG datadækning</b>	Klassen omfatter de resterende V1 og V2 kortlagte grunde, der ikke opfylder kriterierne for god og medium datadækning.



**Figur 2.1. Klassificering af kortlagte grunde ud fra datadækning (data fra Miljøportalen og Jupiter, juni 2016).**

Zonen på hhv. 300 m og 1000 m er baseret på en buffer omkring de enkelte grunde (arealpolygoner defineret i de gældende DK Jord temaer fra Miljøportalen). På figur 2.2 er vist et eksempel på udsøgning af boringsdata ved en kortlagt V2 grund. Grunden opfylder kriterierne for grunde med god boringsdækning, og i beregningen af estimeret lertykkelse indgår alle boringer indenfor 300 m, se afsnit 2.3. Det ses af figur 2.2, at tre boringer ligger på selve den kortlagte V2 grund.





Figur 2.2. Eksempel på boringsudsøgning ved V2 kortlagt grund (lok nr. 751-00497). Datadækningen er klassificeret som god, da der på grunden findes 9 beskrevne borer indenfor den viste 300 m buffer. 8 af de beskrevne borer træffer det øverste grundvandsmagasin (blå prik). Det ses, at der nær grunden desuden er registreret 9 borer uden lithologisk information i Jupiter.

### Udstrakte kortlagte grunde (arealpolygoner)

Der forekommer kortlagte grunde i datasættet, som har atypiske kortlagte arealformer, såsom aflange arealer ved banelegemer eller lignende. Her er det vanskeligt at angive en retvisende repræsentation af geologien og hydrogeologien for hele grunden. Problemets omfang er blevet undersøgt og der er lavet en liste med meget udstrakte arealer, så det synliggøres hvilke grunde der adskiller sig markant i udstrækning. Problemstillingen omfatter ca. 1 % af de kortlagte jordforureninger, og er beskrevet nærmere i bilag 2.

### 2.2. Grunddata fra Danmarks Miljøportal

Med henblik på at anvende de seneste gældende grunddata for jordforureninger og administrative temaer for drikkevandsområder, er GEUS applikationen sat op til at trække data automatisk fra Danmarks Miljøportal via WFS (Web Feature Service) kald. Web Feature Service er en web-standard, der går på tværs af brugerflader og som benyttes i arbejdet med geografiske objekter. De gældende temaer hentes automatisk hver gang der gennemføres en ny landsdækkende beregning. De pågældende datasæt er givet i tabel 2.2 nedenfor.

Tabel 2.2. Grunddata til GEUS applikationen der hentes via WFS (Web Feature Service) kald fra Danmarks Miljøportal. Web Feature Service er en web-standard, der går på tværs af brugerflader og som benyttes i arbejdet med geografiske objekter.

Grunddata til beregningsmodulet	
<b>Jordforureningstema fra <a href="#">Danmarks Miljøportal</a></b>	V1 og V2 kortlagte grunde. Automatiseret datatræk fra Miljøportalen via WFS.
<b>Drikkevands- og grundvandstema fra <a href="#">Danmarks Miljøportal</a></b>	Områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD) og indvindingsoplande udenfor OSD. Automatiseret datatræk fra Miljøportalen via WFS.

### 2.3. Beregningsmodulbaseret på Jupiter databasen

Jupiter databasen er som nævnt det primære datagrundlag i applikationen til estimering af lertykkelser over grundvandsressourcen, og i dette afsnit beskrives de elementer, som er implementeret i den bagvedliggende algoritme, der definerer det endelige resultat-output.

Indledende klassificeres datadækningen (god, medium eller svag, se afsnit 2.1) på de kortlagte grunde. Denne har videre betydning for hvor langt væk fra grunden, der medtages boringer i beregningen for den enkelte grund:

- Klassificeres datadækningen på grunden som **god** gennemføres en beregning, hvor alle beskrevne boringer indenfor 300 m buffer omkring grundens areal indgår.
- Klassificeres datadækningen på grunden som **medium** gennemføres en beregning, hvor alle beskrevne boringer indenfor 1000 m buffer omkring grundens areal indgår.
- Klassificeres datadækningen på grunden som **svag** gennemføres en beregning, hvor alle beskrevne boringer indenfor 1000 m buffer omkring grundens areal og supplerende laginformation fra DK-modellen inddrages.

I beregningsprocessen foretages en lineær vægtning af boringerne, så boringer på selve grunden eller tæt på grunden vægtes mest i beregningen af lertykkelser, mens boringernes vægtning falder med en stigende afstand til grunden. Der udover benyttes nogle supplerende kriterier og parametre ved beregning af lertykkelser på den enkelte grund. Alle anvendte kriterier er angivet i nedenstående tabel 2.3 og er beskrevet nærmere i de følgende underafsnit:

Tabel 2.3. Liste med de beregningslementer, der er implementeret i algoritmen i værktøjet.

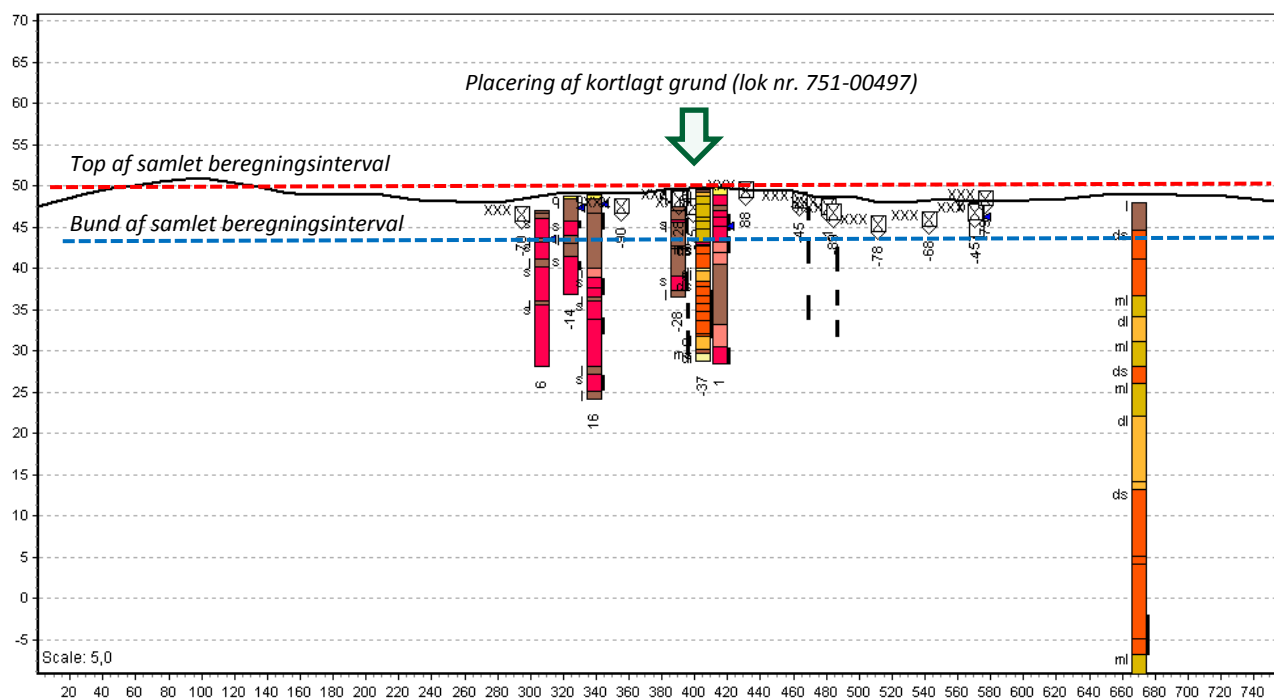
<b>Beregningslementer i algoritmen</b>	
<b>Klassificering af grund</b>	Datadækningen ved den enkelte grund klassificeres ud fra opsatte udsøgningskriterier (jf. afsnit 2.1).
<b>Top af samlet beregningsinterval</b>	Toppen af det samlede beregningsinterval defineres af grundens koteniveau.  <i>Datakilde:</i> 100x100 m højdemodel grid fra DK-modellen.
<b>Bund af samlet beregningsinterval</b>	Bunden af det samlede beregningsinterval defineres ud fra en udsøgning af mindste dybde til det øverste grundvandsmagasin i en 300 m zone fra centroiden for den enkelte grund.  <i>Datakilde:</i> Dataudtræk for øverste magasin i DK-modellen, se nærmere beskrivelse i afsnit 0.
<b>5 m beregningsintervaller</b>	Tykkelser af lagtyperne summeres og beregnes indenfor 5 meters dybdeintervaller (0-5 m, 5-10 m, 10-15 m) ned til bund af beregningsinterval.
<b>Gennemsnit indenfor 5m interval</b>	Lagtyperne beregnes i de enkelte dybdeintervaller som vægtede gennemsnit afhængig af den enkelte borings afstand til grunden.
<b>Vægtning af boringer i beregning</b>	Der foretages en lineær vægtning af boringsdata, så boringer tættest på grunden vægtes højest i beregningen.
<b>Beregning for hhv. geologi- og brøndborer-beskrivne boringer</b>	Lagtyperne beregnes separat for 2-kode lithologi-symboler ("ml", "ds" etc.) og 1-kode lithologi-symboler ("l", "s" etc.). Dvs. at det indenfor hvert beregningsinterval er muligt at se fordelingen af lithologier, der blot er brøndborer beskrivne (1 kode) og lag, der er vurderet af en geolog (2-kode).
<b>Inddragelse af information fra DK-model ved grunde klassificeret som datasvage</b>	Ved grunde klassificeret som datasvage inkluderes laginformation fra DK modellen.
<b>Nærmeste aktive vandforsyningsboring</b>	Den nærmeste aktive vandforsyningsboring udsøges i Jupiter databasen.
<b>Nærmeste boring uden beskrevet ler</b>	Den nærmeste beskrivne boring uden beskrevet indhold af ler, og som træffer det førstkomende grundvandsmagasin udsøges i Jupiter databasen.

## Top og bund af beregningsinterval

Toppen af det samlede beregningsinterval defineres ud fra terrænkoten på den enkelte grund. Toppen af beregningen er indført som en øvre grænse for at undgå, at eventuelt beskrevet ler i borerne beliggende højere end den enkelte grund ikke medregnes som et bidrag i den estimerede lertykkelse. Kriteriet har primært betydning i lokalområder med store terrænvariationer.

Bunden af det samlede beregningsinterval defineres af dybden til det øverste grundvandsmagasin, hvilket er en kritisk parameter i estimeringen af beskyttende lerlag over grundvandsressourcen (jf. afsnit 0). Der er i praksis udtrykt en dybde til grundvandsmagasinet ud fra to tilgange: a) udtræk af den mindste dybde til magasinet indenfor 300 m fra den enkelte grund, samt b) dybden til toppen af magasinet udtrykt i centroiden af den enkelte kortlagte grund, se nærmere under afsnit 0.

På figur 2.3 er anvendelsen af top og bund principperne vist ved en V2 kortlagt grund. Grunden er beliggende i kote 50 m, hvilket dermed er øvre grænse i beregningerne. Den mindste dybde til toppen af øverste grundvandsmagasin i DK-modellen er indenfor 300 m fra grunden udsøgt til at findes 6 m.u.t., hvilket er markeret som den nedre afskæring for lertykkelsesberegningen på figur 2.3, hvilket i dette tilfælde er kote 44 m. I centroiden af grunden er dybden til toppen af magasinet fundet 7 m.u.t. Det ses på profilet, at der ved grunden findes flere miljøboringer uden information i Jupiter (angivet med xxx), samt at borerne ved grunden viser en kompleks geologi.



**Figur 2.3. Tværsnit gennem en V2 kortlagt grund (lok nr. 751-00497). Center af grunden af vist med pilen, mens den røde stiplede linje angiver toppen af beregningsintervallet og den blå stiplede linje repræsenterer bunden af det samlede beregningsinterval (mindste dybde til grundvandsmagasin). Sort streg repræsenterer terrænniveau og stavene repræsenterer borerne med beskrevet lithologi. Borerne uden lithologisk information er angivet med "xxx", og det ses at de beskrevne borerne indikerer en kompleks geologi. Profilsnittet er vist med en overhøjning på 5.**

## Vægtning af boringer

De boringer som inddrages i beregningen af dæklagstykkelse ved en given grund er vægtes forskelligt alt efter boringernes afstand til grunden. Matematisk er den lineære vægtning ( $w_i$ ) defineret ved:

$$w_i = 1 - \frac{\text{afstand}}{\text{tærskel}},$$

hvor  $w_i$  beskriver vægtningen af den enkelte boring, *afstand* er boringens afstand fra grunden, og *tærskel* er hhv. 300 eller 1000 m afhængig af om grunden er kategoriseret til at have en god, medium eller dårlig datadækning (jf. afsnit 2.1). Vægtningen betyder, at boringer på selve den kortlagte grund (afstand = 0) vægtes 100 % i beregningerne, mens boringernes vægtning aftager som følge af stigende afstand til grunden.

## 5 m beregningsintervaller og vægtet gennemsnit

Som anført i tabel 2.3 beregnes de vægtede gennemsnit fra den lithologiske information i 5 meters dybdeintervaller fra beregningstop til –bund, hvorefter disse summeres til en samlet værdi for hele beregningsintervallet. Anvendelse af 5 m's intervaller er valgt ud fra en afvejning af, hvad der er beregningsmæssigt gennemførligt på et landsdækkende datasæt af boringer, og at der samtidig opnås en acceptabel detaljegrad af jordprøvebeskrivelserne. Det er nødvendig for at gennemføre beregning i fastlagte intervaller for at opnå en retvisende summering af lagtykkelser i boringsdata og for lagfølgen på grunden som helhed.

De vægtede gennemsnit er beregnet ud fra følgende udtryk:

Vægtet gennemsnit:  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i}$ , hvor  $w$  angiver vægtning og  $x$  angiver tykkelse af jordprøvebeskrivelse (inddelt efter valgte lithologigrupper).

På figur 2.4 ses, hvorledes beregningen ved en kortlagt grund (lok nr. 751-00497) er opdelt på dybdeinterval 0-5 m og 5-10 m (kolonnen INTERVAL) samt fordelt på lithologigrupper og på om jordprøverne er brøndborerbeskrevet (CODE=1) eller geologbeskrevet (CODE=2). I eksemplet nedenfor findes bunden af det samlede beregningsinterval 6 m.u.t., så her bliver der i 5-10 m intervallet i realiteten kun beregnet lertykkelser og dæklagstykkelser i intervallet 5-6 m.

	A	B	C	D	E	F	G
1	GRUNDID	GOOD	INTERVAL	LITHOLOGIGRUPPE	CODE	BOREHOLES	BOREHOLE_COUNT
181057	34078	G	00-05	Fyld		1 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804	8
181058	34078	G	00-05	Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspec)		1 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804	8
181059	34078	G	00-05	Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspec)		2 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804	8
181060	34078	G	00-05	Sand, morænesand og silt		1 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804	8
181061	34078	G	00-05	Sand, morænesand og silt		2 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804	8
181062	34078	G	05-10	Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspec)		1 99. 455; 99. 554; 99. 804; 99. 804	7
181063	34078	G	05-10	Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspec)		2 99. 455; 99. 554; 99. 804; 99. 804	7
181064	34078	G	05-10	Sand, morænesand og silt		1 99. 455; 99. 554; 99. 804; 99. 804	7
181065	34078	G	05-10	Sand, morænesand og silt		2 99. 455; 99. 554; 99. 804; 99. 804	7

Figur 2.4. Tabeludsnit fra GEUS applikationen ved beregning af lithologifordeling ved lokalitet nr. 751-00497. I tabellen ses dybdeintervaller fordelt på lithologigruppe, samt hvorvidt jordprøverne er brøndborerbeskrevet (CODE =1) eller geologbeskrevet (CODE=2).

## Inddragelse af information fra DK-model ved grunde klassificeret som datasvage

Kortlagte grunde klassificeret som datasvage (jf. afsnit 2.1) er placeret i områder, hvor der i Jupiter databasen kun findes få eller ingen beskrevne boringer nær grundene. For at imødekomme den problemstilling bedst muligt er der inddraget laginformation fra seneste version af DK-modellen. I praksis indregnes en "pseudoboring", der placeres i centroiden af den "svagt" kategoriserede grund, og dermed vægtes 100 %.

Bidraget til beregningen defineres af det øverste lag i DK-modellen, 0-3 m under terræn (input fra Jordartskort), og et eventuel resterende dæklagsinterval fra 3 m.u.t. til toppen af grundvandsmagasinet hentes som laginformation fra DK-modellen og vil i praksis udgøres af et lerlag med forventede samme hydrogeologiske karakteristika som lagtypen moræneler (lithologigruppe 2), jf. afsnit 2.1.

Jordartskort inddraget fra DK-modellen anvender en simplificeret jordartsfordeling fordelt ift. den dominerende jordart inden for de enkelte 100x100 m grid (50x50 m for Bornholm). Jordarterne sand, ler, tørv, kalk mv. er oversat til de anvendte lithologigrupperinger, jf. afsnit 2.1.

### Nærmeste aktive vandforsyningsboring

Udsøgningen af aktive vandforsyningsboringer i Jupiter databasen baserer sig på boringer med en gældende indvindingstilladelse, som ikke er sløjfet, og hvor anvendelsen er angivet som enten vandforsyningsboring, vandværksboring, reserveboring eller reserve-/nødvandsboring. Markvandingsboringer og private brønde mv. er ikke medtaget i udsøgningen, se bilag 2. I udtrækket angives følgende:

- DGU nr. på den nærmeste forsyningsboring.
- Afstanden fra randen af den kortlagte grund til boringen.
- En vinkel i grader (Nord = 0°) der angiver retningen fra grund til boring.

De gennemførte dataudtræk indgår som selvstændige kolonner i den endelige resultattabel.

### Nærmeste boring uden beskrevet ler (sårbar boring)

Udsøgning af nærmeste boring uden beskrevet ler er en indikator på om der i umiddelbar nærhed af et V1 og V2 grund er risiko for direkte nedsivning til det øvre grundvandsmagasin uden tilstedeværelse af potentielt beskyttende lerede aflejringer. Der gennemføres en beregning af afstanden fra hver grund til den nærmeste boring uden et beskrevet indhold af ler. Kriterierne for udsøgning er:

- Boringen skal træffe den fundne mindste dybde til øverste grundvandsmagasin
- Boringen skal indeholde boringsinformation
- Der må ikke forekomme lithologigruppe 1 (fed ler) eller 2 (moræneler) over øverste grundvandsmagasin.

### 3. Data fra den Nationale Vandressource Model (Delelement 2)

Den Nationale Vandressource Model (DK-modellen) indgår som et centralt element i estimering af lertykkelser, da DK-modellen er vurderet til at være det bedste landsdækkende datasæt til udtræk af flere nødvendige hydrologiske og hydrogeologiske parametre. DK-modellens er udarbejdet til en anvendelse inden for den nationale grundvandsovervågning, grundvandskortlægning og forvaltning af ferskvandsressourcen i Danmark, hvilket betyder, at anvendelsen i GrundRisk, der er punktkilde orienteret, nødvendiggør visse forbehold, se afsnit 0.

I tabel 3.1 angives de parametre fra DK-modellen der er udtrukket i applikationen, se afsnit 3.2 og 3.3 for detaljer.

Tabel 3.1. Data fra DK-modellen der indgår i værktøjet.

<b>Databidrag fra DK-modellen</b>	
<b>Dybde til øverste grundvandsmagasin</b>	Dybden til det øverste grundvandsmagasin beregnes ud fra DK-modellen og de kriterier, der definerer grundvandsmagasiner, se afsnit 3.2.
<b>Dybde til grundvandsspejl</b>	Dybde til grundvandsspejlet, og dermed tykkelsen af den umættede zone er estimeret ud fra beregnet vandspejl i DK-modellen. Værdien for grundvandsspejlet ved den enkelte grund er beregnet ud fra centroiden af grunden.
<b>Parametre for det øverste grundvandsmagasin</b>	
<b>Strømningsretning</b>	Ved en antagelse af homogene hydrauliske forhold i det øvre grundvandsmagasin er der ud fra simuleret trykniveau beregnet en strømningsretning i magasinet.
<b>Hydraulisk gradient</b>	Der er beregnet en gradient på grundlag af simuleret trykniveau grid.
<b>Infiltration</b>	Der er foretaget en beregning af infiltrationen til det øverste grundvandsmagasin (jf. afsnit 3.3).
<b>Magasintype</b>	Typen af det øverste magasin udsøges ud fra centroiden på den enkelte grund.

### 3.1. Forbehold ved anvendelse af DK-modellen i GrundRisk projektet

Formålet med DK-modellen er på nationalt plan at kunne vurdere vandbalancen og grundvandsdannelse på oplandsniveau og dermed i forhold til kortlagte grundvandsforekomster. Modellens formål er ligeledes at belyse grundvandsressourcens størrelse under hensynstagen til arealanvendelse, klimavariationer og vandindvinding /3/. Brugen af data fra DK-modellen i GrundRisk projektet adskiller sig fra den naturlige anvendelse af modellen, idet GrundRisk er et screeningskoncept med fokus på punktkilder. Dette introducerer nogle forbehold, der er væsentlige at understrege:

- **Modelskala.** DK-modellen er opbygget med diskretisering på 500x500 m celler og et ensartet detaljeringsniveau for hele Danmark. Geologiske heterogeniteter på en mindre skala, f.eks. sprækker, mindre sandlommer samt smalle begravede dale er ikke indbygget direkte i modellen. DK-modellen kan fungere som en ramme til detailmodeller, men modellen har ikke til formål at levere data på punktniveau.
- **Beskrivelse af grundvandssystemet på oplandsniveau.** DK-modellens styrke er en rumlig modellering af det samlede grundvandssystem, mens fokus i GrundRisk primært er viden om dæklagen over de kortlagte grundvandsmagasiner.
- **Variierende geologisk og hydrostratigrafisk input i DK-modellen.** DK-modellens detaljegrad i forhold til afgrænsning af magasiner og geologisk tolkning af dæklag har afgørende betydning for den punktinformation der udtrækkes fra modellen. DK-modellen er i varierende grad opdateret med den seneste geologiske/hydrostratigrafiske viden, hvilket medfører varierende usikkerheder på de parameterværdier, der udtrækkes fra DK-modellen. Eksempelvis er DK-modellen for Jylland ikke opdateret med nyeste geologiske viden for de seneste syv år. Det er dog vanskeligt at kvantificere graden af usikkerhed på de enkelte lokaliteter.

### 3.2. Anvendelse af grundvandsmagasiner fra DK-modellen

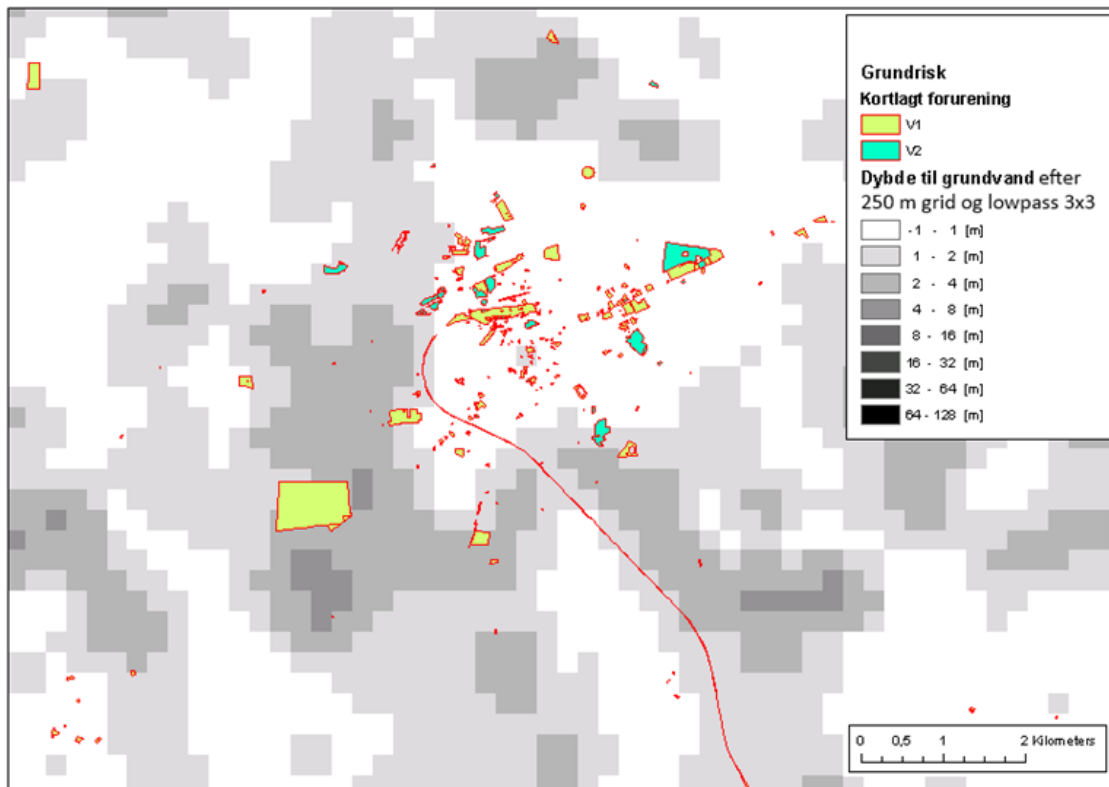
Magasiner i DK-modellen er afgrænset ud fra tre delvist administrative kriterier: 1) En minimum magasintykkelse på 3 m; 2) En minimum udbredelse af magasiner på 25 ha; samt 3) Krav til, at den kalibrerede transmissivitet skal være over en fastlagt afskæringsværdi. Kravet til transmissivitet er inddraget for at repræsentere hydrogeologisk heterogenitet i kortlagte kalkmagasiner /2/. Det er toppen af disse mest terrænnære grundvandsmagasiner, der er benyttet som beregningsbund i estimeringen af lertykkelser.

I beregningen anvendes et grid for dybden til det øverste grundvandsmagasin i DK-modellen. Dette er et sammensat tema af de øverste definerede grundvandsforekomster, hvilket medfører, at der indenfor 300 og 1000 m fra de kortlagte grunde typisk vil forekomme forskellige springende dybder til det øverste grundvandsmagasin beregnet fra terrænniveau. Dette kan fx ske hvis et terrænnært magasin kiler ud, med det til følge, at et andet dybereliggende magasin dermed bliver det øverste. Betydningen af variabiliteten i dybden til det øverste grundvandsmagasin er undersøgt i den indledende dataanalyse (se bilag 1).

På baggrund af analysen er det besluttet, at udtrække dybden til toppen af det øverste magasin både i centroiden af den enkelte kortlagte grund, samt den *mindste dybde* til magasinet inden for 300 m fra grundens centroide. Udsøgningen af den *mindste* dybde til magasinet inden en 300 m zone skal ses som et forsigtighedsprincip, der er introduceret for at opnå en konservativ beregning af lertykkelserne. Der er derved genereret to særskilte tabeludtræk, hvor hhv. dybden til magasinet i centroiden, og den *mindste* dybde til magasinet, indgår i beregningen af lertykkelser og dæklag.

På figur 3.1 er vist et eksempel på hvorledes dybden til det øvre magasin kan variere i umiddelbar nærhed af en grund, da dybden til det øverste grundvandsmagasin udgør et tema sammensat af forskellige grundvandsmagasiner med magasintop i varierende koter.





Figur 3.1. Eksempel på variationer i dybden til det øvre grundvandsmagasin i området omkring Slagelse by. Hvid repræsenterer, at toppen af grundvandsmagasinet er kortlagt i terrænniveau, mens grålige til sorte nuancer angiver større dybde af det øverste magasin, se legenden. De benyttede gridceller har dimensionerne 250x250 m.

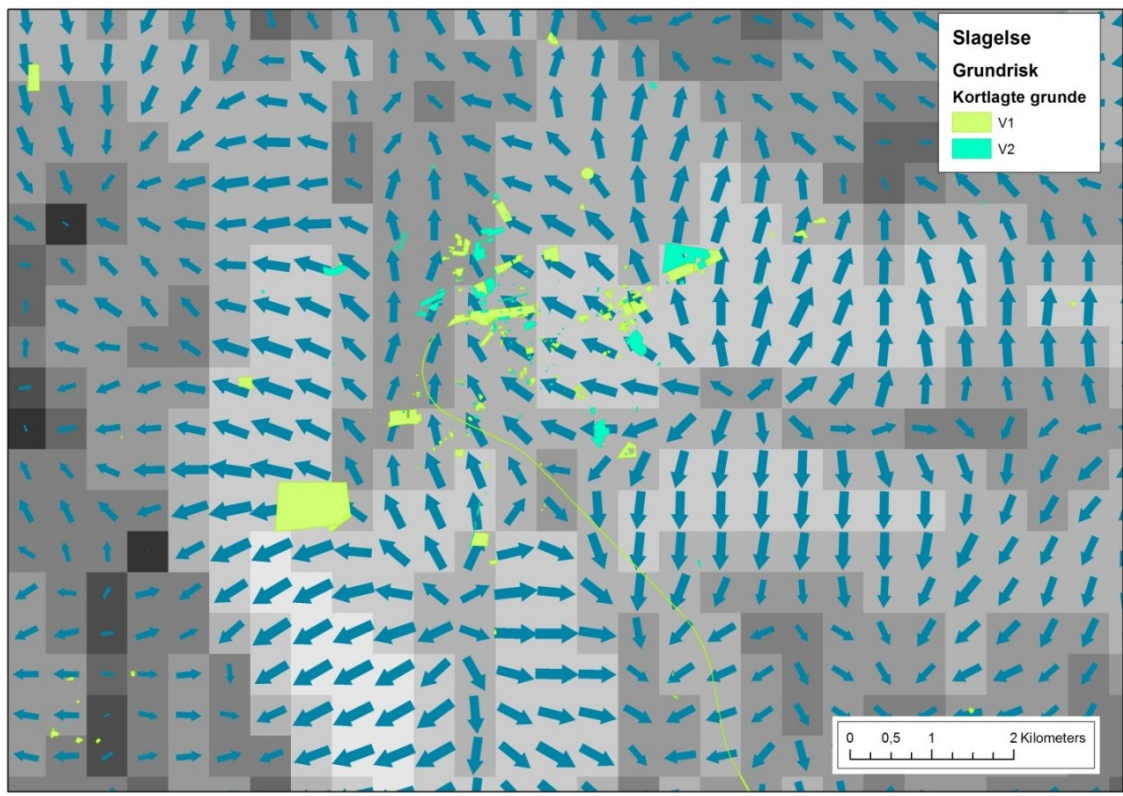
### 3.3. Parameterværdier for øverste grundvandsmagasin

#### Strømningsretning og hydraulisk gradient

Der er på grundlag af den simulerede dybde til grundvandsspejlet i DK-modellen gennemført simple beregninger vha. ArcGIS af hydraulisk gradient og strømningsretning for hver 500x500 m gridcelle (Bornholm i 250x250 m). Den beregnede retningsvektor er gældende i centrum af hver gridcelle, hvilket er eksemplificeret på nedenstående figur 3.2. Her ses gridnettets placering med beregnet strømningsretning i centrum af en gridcelle. Ved grunde, hvor vektoren er lille, vil den hydrauliske gradient og strømningsretning være usikker, som følge af en forventet lille grundvandsstrømning.

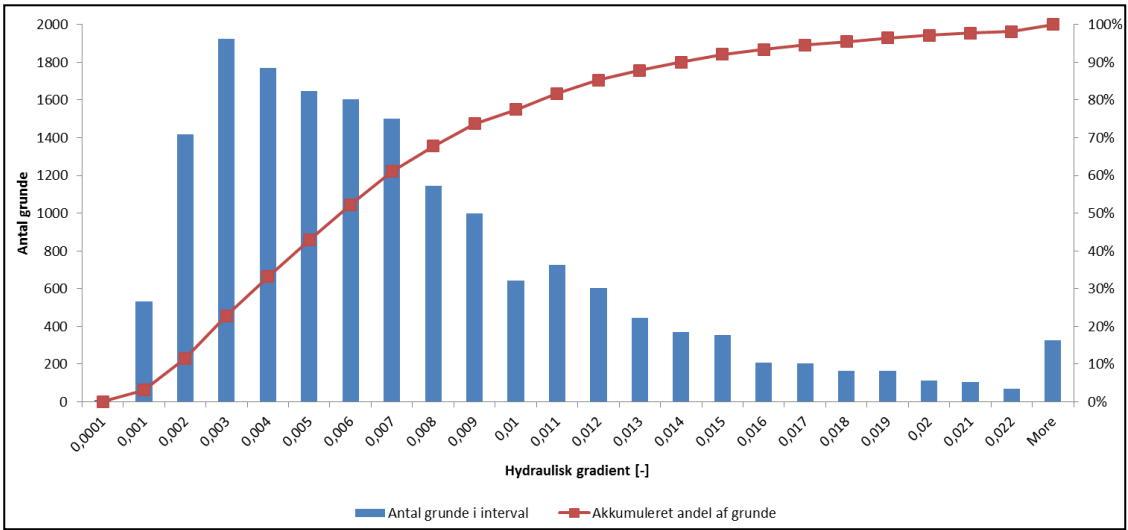
Udtrækket af dybden til grundvandsspejlet er udglattet med et 3x3 filter før der er lavet beregninger af strømningsretning og -størrelse. Et 3x3 filter (FocalMean) er en statistisk tilgang, som returnerer et mere udjævnet grid. Resultatet bliver, at peak-værdier i det oprindelige grid bliver mindre, men at datatrends i griddet fortsat fastholdes. Beregningerne af strømningsretning og hydraulisk gradient er beregnet i ArcGIS (DarcyFlow) på baggrund af det udglattede grundvandsspejl og under antagelse af simple homogene magasin forhold (porøsitet, magasin tykkelse og hydraulisk konduktivitet). For en nærmere beskrivelse af DarcyFlow-værktøjet i ArcGIS henvises til:

<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-darcy-flow-and-darcy-velocity-work.htm>.



**Figur 3.2.** Eksempel på visualisering af simuleret strømning af grundvandet i området omkring Slagelse by. Strømningens retning er visualiseret ved blå pile, hvor små pile indikerer en lav grundvandsstrømning og strømningens retning er derfor her mere usikker. De grå celler repræsenterer 500 x 500 m gridceller. Farvenuancerne af de grå celler illustrerer usikkerheden på den beregnede retning af grundvandsstrømningen. Mørk farve angiver, hvor usikkerheden på strømningens retning er størst.

På figur 3.3 ses de beregnede værdier for hydrauliske gradienter fordelt på antal kortlagte grunde. Det ses, at der ved ca. 80 % af grundene er beregnet en hydraulisk gradient på < 0,01.



**Figur 3.3.** Fordeling af beregnet hydraulisk gradient.

## Magasintype

Der er udtrukket informationer om magasintyper fra DK-modellen. I modellen er grundvandsmagasinerne opdelt på følgende typer. I parentes er angivet den kode, magasintypen angives med i værktøjets resultattabel:

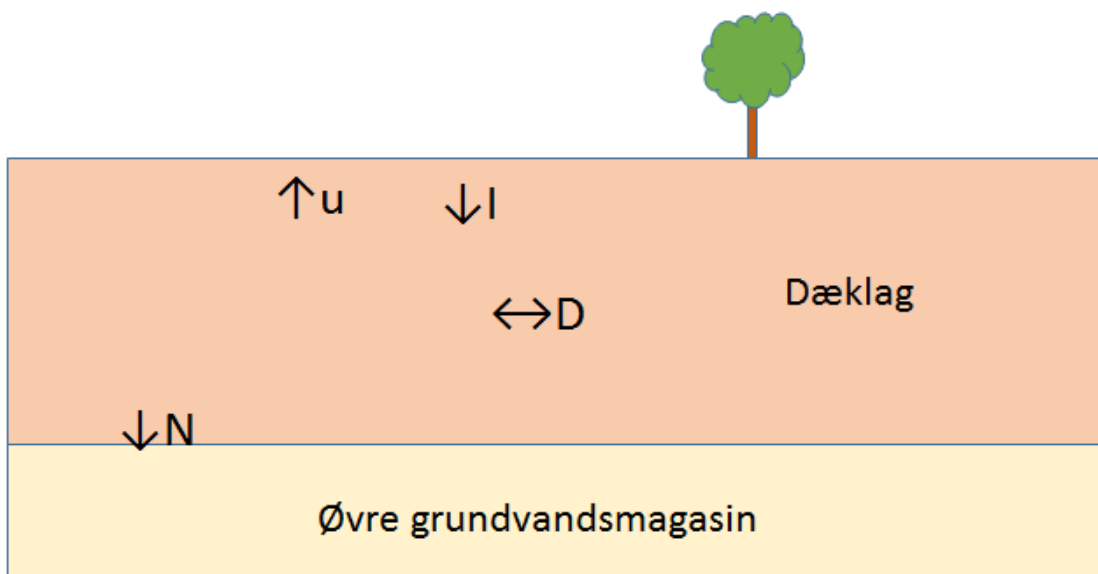
- **Kvartært sand** (*lithocode 1*)
- **Prækvartært sand** (*lithocode 2*)
- **Kalk** (*lithocode 3*)

Bornholm adskiller sig geologisk fra den resterende del af landet, og her arbejdes i DK-modellen med følgende magasintyper:

- Kvartært sand
- Prækvartært sand
- **Sandsten** (*lithocode 4*)
- **Grønne skifre** (*lithocode 5*)
- **Opsprækket granit/grundfjeld** (*lithocode 6*)

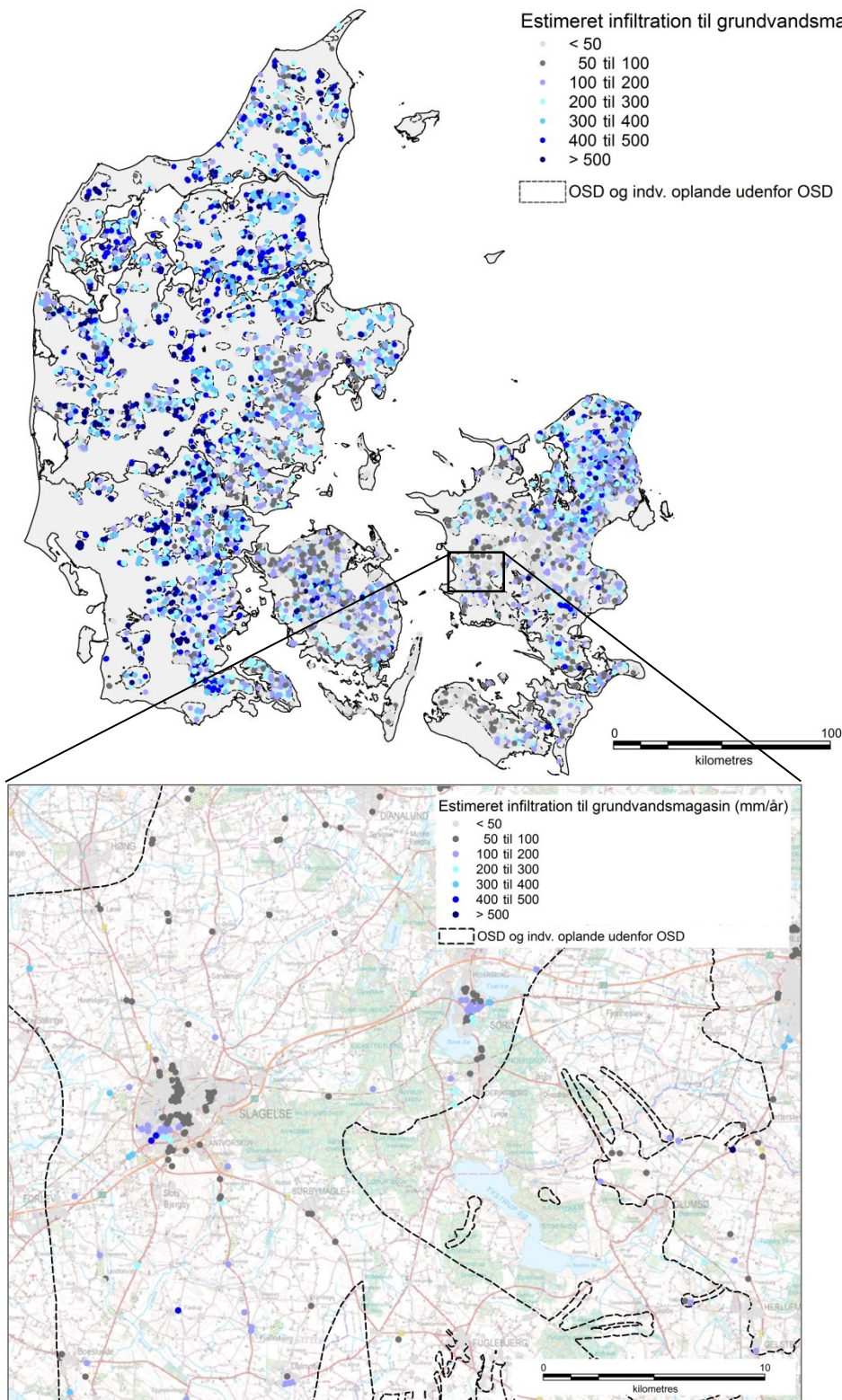
## Infiltration til grundvandsmagasin

Estimerer for infiltrationen til det øverste grundvandsmagasin er en væsentlig parameter i den videre risikoscreening af potentielle grundvandstruende jordforureninger. Der er derfor beregnet et landsdækkende grid for infiltrationen ned til det øverste grundvandsmagasin, angivet N i nedenstående figur 3.4. Teknisk set er der udtrukket vertikal strømning til det øverste magasinlag i DK-modellen (beregningsslag 3 fra toppen og ned, hvor beregningsslag 1 er tre meter tykt og hydrogeologisk distribueret vha. jordartskortet, og beregningsslag 2 er et kvartært ler dæklag af varierende tykkelse, der kan være 0 m). Størrelsen og retningen af den vertikale strømning varierer over tid, hvorfor der i denne sammenhæng er udtrukket gennemsnitlige daglige værdier for den vertikale strømning for en tyve års periode (1991-2010). Den nedadrettede del af denne vertikale strømning beskriver den gennemsnitlige grundvandsdannelse til det øvre magasin i mm/år (se figur nedenfor). I beregningerne med DK-modellen vil der være enkelte celler med meget store urealistisk gennemsnitlige værdier for grundvandsdannelse, som i det efterbearbejdede landsdækkende datasæt er erstattet med 750 mm/år.



Figur 3.4. Skitse der illustrerer infiltrationen (den gennemsnitlige grundvandsdannelse, N) til øverste magasin. I angiver nettonedbøren på overfladen, mens D angiver afløb af vand der ikke infiltreres til magasinet, og u er fordampning. Her er N=I-D-u. Skitsen er udarbejdet af DTU Miljø.

Det samlede udtræk for den estimerede infiltration til øverste grundvandsmagasin er vist på nedenstående figur 3.5, hvor der også er zoomet ind på området omkring Slagelse. Det er i beregningen af infiltrationen taget højde for områder der udgøres af befæstede arealer.



Figur 3.5. Øverst: Estimeret infiltration til grundvandsmagasin ved kortlagte grunde inddraget i screeningen. Nederst: Zoom på området ved Slagelse. Data er beregnet og udtrukket fra DK-modellen i juni 2016.

## 4. Øvrige parameterbidrag

Der er identificeret og anvendt yderligere fire væsentlige datasæt, som er relevante i forståelsen af geologien og hydrogeologien ved de kortlagte grunde, og dermed centrale i den videre risikovurdering af de grundvandstruende jordforureninger.

I de følgende afsnit beskrives hvorledes landsdækkende tilgængelig viden om geomorfologi (afsnit 4.1), geofysik (afsnit 4.2), redoxdybder (afsnit 0) samt hydrauliske ledningsevner og porøsiteter (afsnit 4.4 og 4.5) er indbygget som selvstændige parametre i datasættet.

### 4.1. Heterogen geologi (Delement 3)

Heterogene geologiske miljøer udviser en stor vekslen i geologisk lagfølge, og vil mange steder udgøres af forstyrrede/skråtstillede geologiske lag. Det gælder områder, der en eller gentagne gange er blevet glacialtektonisk deformeret, såsom randmorænezoner. Glacialtektonisk forstyrrede områder kan derved medføre hydraulisk kontakt fra overflade til grundvandsmagasin til trods for en forholdsvis stor andel af ler i boringerne, hvilket er vigtigt at have for øje i en videregående risikovurdering.

#### Geomorfologiske kort

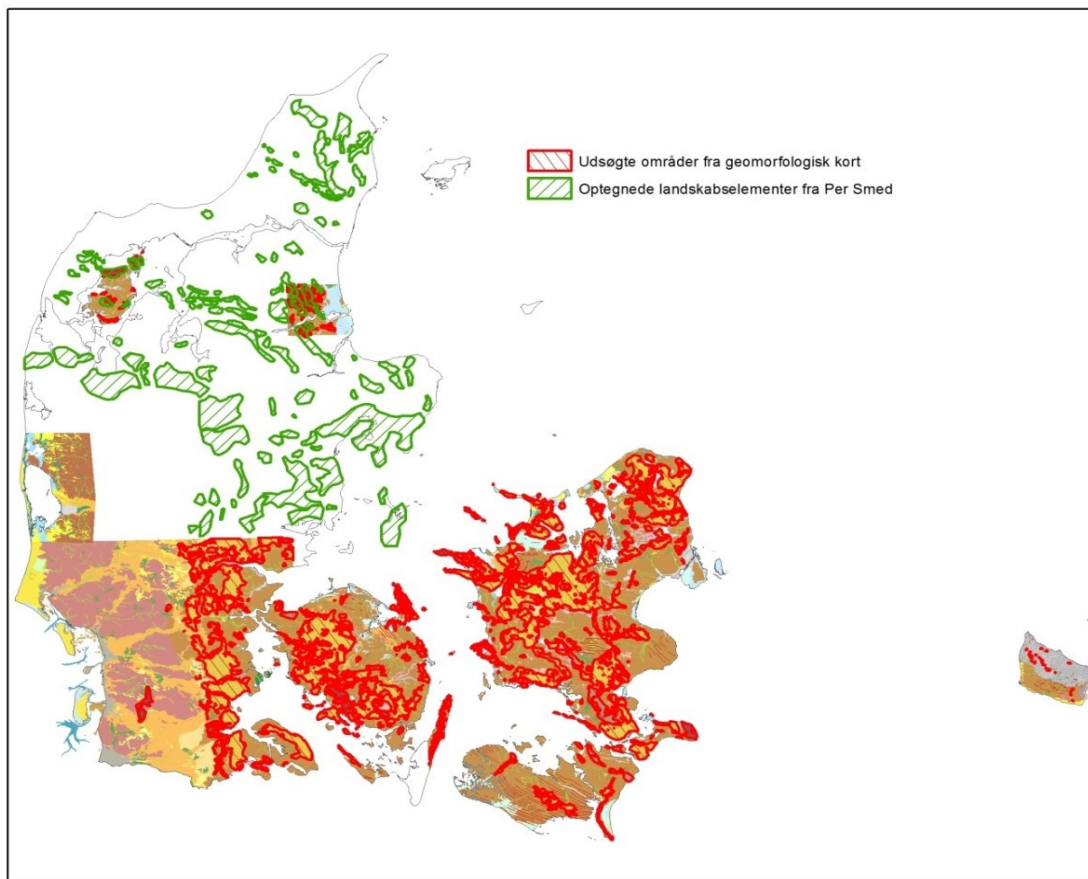
For at fremhæve områder med kompleks overfladenær geologi er viden om landskabstyper og kortlagte landskabselementer inddraget til overordnet at vurdere, om de kortlagte V1 og V2 arealer er placeret i glacialtektonisk forstyrrede områder eller ej, se tabel 4.1. Datagrundlaget er det digitale geomorfologiske kort udarbejdet af GEUS /4/ og suppleret med Per Smeds Landskabskort i de områder, hvor det digitale geomorfologiske kort endnu ikke er publiceret /5/.

Tabel 4.1. Landskabselementer med vurderet kompleks overfladenær geologi.

Landskabselementer fra digitalt geomorfologisk kort og Per Smeds Landskabskort	
<b>Landskabselementer med vurderet kompleks overfladenær geologi</b>	Isoverskredet randmoræne Randmorænebakker Dødislandskaber

Det digitale geomorfologiske kort dækker foreløbig Sjælland, Fyn og det sydlige Jylland. Det har derfor været nødvendigt at anvende mere overordnede landskabselementer i den del af Jylland der endnu ikke er kortlagt, se figur 4.1 og /4/. Landskabselementerne klassificeres ud fra geomorfologien, og anvendelse af landskabselementer vil derfor ikke kunne tage højde for glacialtektonisk forstyrret geologi, som ikke giver sig til kende i landskabsformerne. Et samlet digitalt geomorfologisk kort er pt. under udarbejdelse og forventes fuldført ved udgangen af 2016.

Som en del af applikationen returneres i resultat-tabellen et JA eller NEJ under kolonnen "Complex" alt efter om geologien ved den enkelte grund vurderes til at være præget af en kompleks geologi eller ej.



**Figur 4.1.** Med røde områder ses udsøgte landskabselementer (randmoræne og dødispræg) fra det foreløbige geomorfologiske kort for Danmark. Grønne skraverede områder angiver randmorænezoner og landskaber med dødispræg optegnet ud fra Per Smeds landskabskort. Det foreløbige geomorfologiske kort for Danmark er vist som baggrundstema.

### Geologisk heterogenitet på punktniveau – sandlinse/sprækkefordeling i moræneler

Det er en kendt problemstilling, at sprækker og sandlinser i morænelersforekomster udgør en transportvej til forureningsspredning. GEUS har i en årrække arbejdet med vurdering af lerområdets sårbarhed og sprækkefordeling, samt de parametre der er betydende for sprækkefordelingen i moræneler. Denne viden om sprækker og sandlinser i moræneler er fremkommet ved detailstudier på lokalitetsniveau med indgående analyser af de terrænnære jordlag og deres dannelsesmiljø.

I nærværende projekt har GEUS udarbejdet et notat med henblik på at vurdere muligheden for anvendelsen af de opsamlede erfaringer omkring sprækkefordeling i en landsdækkende screeningsproces, se bilag 4. Notatet konkluderer, at det i indeværende projekt, iht. tidshorizont og ressourcebehov, ikke er muligt at inddrage en landsdækkende vurdering af sprækkefordeling i ler. Det fremhæves dog, at der er perspektiver i at etablere et landsdækkende erfaringsbaseret sårbarhedskort baseret på det opstillede "Polymorfologiske koncept" (PM konceptet) /6/, med henblik på inddragelse af mere detaljeret viden om dæklagenes sårbarhed overfor nedsivning af forurening fra punktkilder, se bilag 4.

## 4.2. Geofysik (Delelement 4)

Den nationale geofysiske database (Gerda) indeholder store mængder geofysiske data, der overvejende er indsamlet i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning. I den indledende fase af nærværende projekt er det derfor undersøgt, hvorledes den geofysiske viden om den øvre lagserie, indenfor den gældende projektramme, kan inddrages i estimeringen af lertykkelser. Hittidige erfaringer fra grundvandskortlægningen og indledende tests med anvendelse af geofysikken viste, at en fuld integration af geofysiske data i estimering af lertykkelser er meget kompleks. Den primære årsag hertil er, at det ikke er muligt at fremkomme med én oversætterfunktion fra målte elektriske modstande til jordarter, der er repræsentativ for hele landet. Det skyldes, at der er store regionale forskelligheder i sammenhængen mellem niveauerne for de geofysiske modstande og lithologier. Samtidig er en stor andel af de kortlagte V1 og V2 arealer beliggende i byområder uden geofysiske data, hvilket begrænser muligheden for at bruge data. På baggrund heraf er det i indeværende projekt besluttet alene at udsøge og fremhæve de kortlagte V1 og V2 arealer der faktisk er dækket af et tilstrækkeligt geofysisk datagrundlag, og derved kan inddrages som et databidrag en nærmere vurdering af den enkelte lokalitet.

Det er i udsøgningen alene valgt data målt med en geofysisk metode der har en tilstrækkelig vertikal opløselighed af de øvre jordlag. Udvælgelsen baserer sig på de enkelte geofysiske målemetoders styrker og fra tests ved udvalgte testlokaliteter, hvilket er uddybet i et forprojekt til GrundRisk - delprojekt 1, se appendix A.

De valgte kortlægningsmetoder omfatter:

- PACES ("Slæbegeoelektrik")
- MEP (Multi Elektrode Profilerings)
- SkyTEM (transiente elektromagnetiske sonderinger)

PACES metoden giver en god opløsning af de øverste ca. 10-15 m af lagserien og anvendes primært til sårbarhedskortlægning. MEP metoden har en større indtrængningsdybde på ned til ca. 50 m's dybde under optimale forhold, og benyttes i kortlægning af sårbarhed og grundvandsmagasiner. SkyTEM er en udbredt luftbåren geofysisk metode, der benyttes til grundvandskortlægning, og hvor især de nyere 2. generations SkyTEM kortlægninger viser en forholdsvis god opløsning af den øvre del af geologien.

### Udsøgning af geofysiske målepunkter ved kortlagte grunde

I den nationale Gerda database ([www.data.geus.dk](http://www.data.geus.dk)) søges efter geofysiske målepunkter indenfor 300 m fra den enkelte kortlagte grund. Tabel 4.2 angiver hvornår det vurderes, at det geofysiske datagrundlag er tilstrækkeligt til at det giver mening at inddrage data i en senere meget detaljeret vurdering af geologien. Det er vurderet, at der bør være mindst 10 geofysiske datapunkter inden for 300 m for, at databidraget vurderes tilstrækkeligt, se bilag 1.

Tabel 4.2. Udsøgning af geofysiske målepunkter indenfor 300 m fra kortlagt grund

Geofysiske data ved kortlagte V1 og V2 arealer		
<b>Forventet tilstrækkelig geofysik</b>	>= 10 geofysiske målepunkter	JA (1) returneres i resultattabel
<b>Ingen eller utilstrækkelig geofysik</b>	0-9 geofysiske målepunkter	NEJ (0) returneres i resultattabel

I GEUS applikationen returneres et *ja* eller *nej* i resultat-tabellen alt efter om der vurderes at være et tilstrækkeligt antal geofysiske data, som kan bidrage med geologisk information ved grunden.

### 4.3. Redoxgrænse

Viden om dybden til den øvre redoxgrænse er en vigtig parameter i vurderingen af stoffers nedbrydning i jord og grundvand, da oxiderede zoner over redoxfronten i lerede sedimenter typisk indikerer mere opsprækket ler, og dermed en potentiel større nedsivning af forurening. Det er derfor valgt at inddrage data fra det nationale redoxkort over dybden til redoxgrænsen i applikationen /7/.

Det nationale redoxkort angiver en opdeling af oxiderede og reducerede sedimenter baseret på sedimenternes farveskift fra oxiderede til reducerede forhold i boringer. Redoxkortet, der senest er opdateret i 2014, baserer sig på 13.085 boringer, og i beregningsceller, der ikke indeholder oplysninger fra boringer, er der foretaget ekspertvurderinger af redoxfrontens beliggenhed /7/. Angivelse af redoxgrænse ved de enkelte kortlagte grunde baserer sig på celleværdier for redoxgrænsen i centroiden af grundene, se tabel 4.3.

**Tabel 4.3. Dybden til den øvre redoxgrænse fundet ud fra landsdækkende dybdegrid /7/.**

Dybde til øvre redoxgrænse	
<b>Udsøgning af dybde til redoxgrænse</b>	Udsøgning foretages i landsdækkende grid med 500x500 m gridceller for dybden til redoxgrænsen (på Bornholm 250x250 m grid) /7/. De udvalgte gridceller findes ud fra centroiden af kortlagt grund.

### 4.4. Hydrauliske ledningsevner (konduktiviteter)

Den hydrauliske ledningsevne (benævnt K) er et udtryk for et medies evne til at transportere vand. Sand- og grusaflejringer har høje ledningsevner, hvorimod ler har lave ledningsevner. Den hydrauliske ledningsevne varierer normalt en del inden for samme geologiske formation, og der kan forekomme retningsbestemte variationer (anisotropi), som relaterer til hvorledes sedimenterne er blevet aflejret /3/.

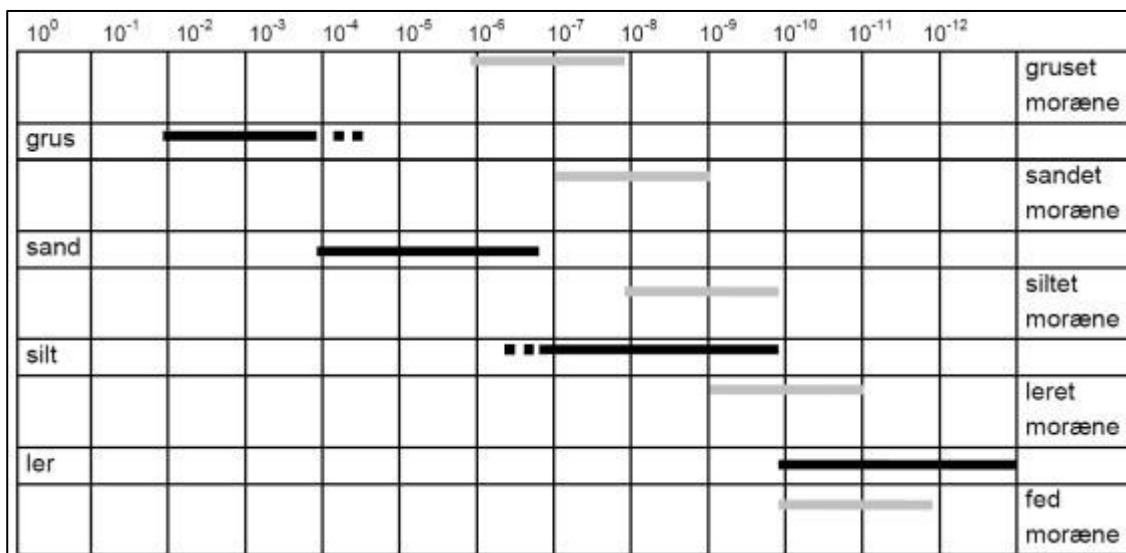
Det er i GrundRisk valgt at benytte ledningsevneværdier baseret på tabelværdier fra faglitteratur /8, 9, 10, 11, 13/. I nærværende projekt skelnes mellem vertikale hydrauliske ledningsevner for dæklagslithologier og horisontal ledningsevne i øvre grundvandsmagasin.

Det er vigtigt at fremhæve, at de teoretisk udvalgte tabelværdier ikke direkte kan relateres til de enkelte kortlagte grunde, men at værdierne er baseret på veletablerede gennemsnitsværdier for de enkelte materialer. Ved eventuelle senere detailstudier af specifikke kortlagte V1 eller V2 grunde kan parameterværdierne revurderes, så de lokale hydrogeologiske forhold afspejles bedst muligt i risikovurderingen.



## Vertikal hydraulisk ledningsevne for dæklagslithologier

Størrelsen af de hydrauliske ledningsevner varierer meget for forskellige sedimenttyper, hvilket er eksemplificeret i nedenstående figur 4.2, der viser typiske intervaller for jordarters hydrauliske ledningsevne /8, 9/. Til venstre i figur 4.2 ses de overordnede sedimentklasser "grus", "sand", "silt" og "ler", mens forskellige moræneaflejringer er angivet i den højre stillede kolonne.



Figur 4.2. Den horisontale hydrauliske ledningsevnes størrelse og variation i m/s der er hentet fra modelrapporten til Den Nationale Vandressourcemodel (DK-modellen) – opdatering 2009 /8/ (modificeret efter /9/). De vertikale hydrauliske ledningsevner vurderes som følge af anisotropi at være en faktor 10-100 lavere /8/. De overordnede klasser "grus", "sand", "silt" og "ler" er angivet med sorte intervallinjer, mens moræne-aflejringer er vist med grå intervallinjer.

De hydrauliske ledningsevner for moræneler spænder vidt afhængig af bl.a. sedimentsammensætning og sprækkeintensitet. Undersøgelser har vist, at hydrauliske ledningsevner for overfladenær moræneler typisk er forholdsvis høje (10<sup>-5</sup>-10<sup>-4</sup> m/s) sammenlignet med dybereliggende sekvenser af moræneler, hvor den hydrauliske ledningsevne blev vurderet til mellem 10<sup>-8</sup>-10<sup>-7</sup> m/s /10/. Også de hydrauliske ledningsevner i kalk er meget styret af sprækkeintensitet, hvilket ligeledes medfører stor variation i ledningsevnen /8, 9/.

Der er foretaget en sammenstilling af vertikale hydrauliske ledningsevner fra faglitteraturen /9, 10, 11, 12, 13, 14, 15/ med de otte fastlagte lithologigrupper, hvilket ses i nedenstående tabel 4.4.

Tabel 4.4. Valgte tabelværdier for vurderet vertikal hydraulisk ledningsevne fordelt på de valgte lagtyper i GrundRisk. Tabelværdierne baserer sig på værdier fra faglitteratur /9, 10, 11, 13/

Dæklagstyper (lithologigruppering)	Vurderet ledningsevne (m/s) baseret på /8, 9, 10, 11, 13, 14, 15/
<i>Fed ler</i>	10 <sup>-13</sup> til 10 <sup>-10</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-10</sup>
<i>Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspecificeret)</i>	10 <sup>-11</sup> til 10 <sup>-4</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-6</sup>
<i>Sand</i>	10 <sup>-7</sup> til 10 <sup>-4</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-5</sup>
<i>Grus og sten</i>	10 <sup>-5</sup> til 10 <sup>-3</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-4</sup>
<i>Gytje, tørv, brunkul</i>	1·10 <sup>-6</sup>
<i>Kalk</i>	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-3</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-4</sup> (bulk værdi)
<i>Fyld</i>	10 <sup>-6</sup> til 10 <sup>-4</sup> , valg af værdi = 1·10 <sup>-5</sup>

Som beskrevet ovenfor varierer både den vertikale og horisontale hydrauliske ledningsevne meget for de enkelte lithologigrupper, hvilket ikke gør det muligt at udvælge fuldstændigt repræsentative tabeværdier. Lithologigruppen indeholdende moræneler er særligt vigtigt, da den i store dele af Danmark udgør det terrænnære dæklag, der potentielt kan beskytte mod nedsivning af punktkildeforurening til grundvandet. Det anbefales derfor at benytte en værdi for moræneler i den høje ende af spændet ( $1 \cdot 10^{-6}$  m/s) for ikke at overvurdere morænelerets forureningsstandsende effekt i den landsdækkende risikoscreening. Samme konservative tilgang er benyttet i valget ledningsevneværdier for af de øvrige lagtyper.

Der er i 2014 udarbejdet en geologisk og hydrologisk vidensopsamling vedr. strømning og stoftransport i kalklagene på den københavnske vestegn /14/. Beskrevne undersøgelser af kalklagenes hydrologiske egenskaber i Københavnsområdet viser overvejende værdier for hydrauliske ledningsevner i intervallet  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s til  $1 \cdot 10^{-5}$  m/s /14/. På denne baggrund er der valgt en tabelværdi for kalk i dæklagene på  $1 \cdot 10^{-4}$  m/s.

### Horisontal hydraulisk ledningsevne i grundvandsmagasinet

Den horisontale hydrauliske ledningsevne i det øverste grundvandsmagasin er en nødvendig parameter for at kunne lave en risikovurdering af potentiel spredning af forurening i grundvandet. Ledningsevnen er sammen med den hydrauliske gradient og porøsiteten betydende for, hvor hurtigt en eventuel forurening kan sprede sig i grundvandet.

Kvartære og prækvartære sandenheder antages at have den samme hydrauliske ledningsevne. Indenfor begge af disse magasintyper antages den horisontale ledningsevne at ligge i intervallet  $10^{-5}$  til  $10^{-3}$  m/s. Den vertikale ledningsevne for sand antages at være en faktor 10 mindre /8/.

Den horisontale hydrauliske ledningsevne i kalkmagasiner er i høj grad styret af sprækkeintensiteten. Ledningsevnen forventes derfor, at kunne variere betydeligt med værdier mellem  $10^{-9}$  til  $10^{-3}$  m/s, hvor de højeste værdier vil være forbundet med meget opsprækkede zoner, mens de laveste værdier vil findes i tætte ikke opsprækkede kalkpartier /8/.

De værdier for de horisontale hydrauliske ledningsevner, der vil blive anvendt i GrundRisk er baseret på tabelværdier fra faglitteratur. Gennemgangen af tabelværdier fra faglitteraturen /8, 9, 10, 11, 13, 14, 15/ er sammenholdt med magasintyper registreret i DK-modellen, se tabel 4.5. I nedenstående tabel er også givet et bedste bud på horisontale hydrauliske ledningsevner for de overordnede magasintyper kortlagt på Bornholm.

**Tabel 4.5. Udvalgte tabelværdier for horisontale ledningsevner fordelt på magasintyper i DK-modellen. Tabelværdierne baserer sig på faglitteratur omhandlende bjergarters hydrogeologiske egenskaber /8, 9, 10, 11, 13, 14, 15/. Bornholms geologi adskiller sig fra den resterende del af Danmark og er derfor behandlet særskilt.**

Magasintyper i DK-modellen	Vurderede ledningsevner (m/s) baseret på /8, 9, 10, 11, 13, 14, 15/
<i>Kvartært sand</i>	$10^{-5}$ til $10^{-3}$ , valgt værdi = $1 \cdot 10^{-4}$
<i>Prækvartært sand</i>	$10^{-6}$ til $10^{-4}$ , valgt værdi = $1 \cdot 10^{-4}$
<i>Kalk</i>	$10^{-9}$ til $10^{-3}$ , dobbelt porøst magasin med stort spænd – valgt værdi = $1 \cdot 10^{-4}$ (bulk værdi)
<b>Magasintyper på Bornholm</b>	
<i>Sandsten</i>	$10^{-7}$ til $10^{-5}$ , valgt værdi = $1 \cdot 10^{-6}$
<i>Grønne skifre</i>	$10^{-7}$ til $10^{-4}$ , valgt værdi = $1 \cdot 10^{-5}$
<i>Opsprækket granit/grundfjeld</i>	$10^{-8}$ til $10^{-6}$ , valgt værdi = $1 \cdot 10^{-7}$

Det anbefales, at der for kalkmagasiner i det videre arbejde vælges en relativ høj horisontal ledningsevne, da vandforsyningsboringer i risiko for eventuel forurening fra punktkilder primært vil være relateret til porøse dele af kalken, der er egnet som magasin /8/. Det vides dog ud fra datatrækket ikke, om kalken er opsprækket under selve den kortlagte grund. Den valgte tabelværdi er dermed baseret på en konservativ betragtning om ikke at overestimere de beregnede transporttider af eventuel forurening i grundvandsmagasinet.

#### 4.5. Porøsitet

Porøsiteten beskriver porerumsvolumenet i de geologiske materialer, og der skelnes mellem total porøsitet og effektiv porøsitet. Den effektive porøsitet beskriver de sammenhængende porerum i bjergarten, der rummer den generelle vandstrømning, og er typisk mindre end den totale porøsitet, som også omfatter helt isolerede porerum /16/.

Naturstyrelsen har i 2014 udarbejdet et notat med anbefalinger for brug af effektive porøsiteter for danske aflejringer /16/. Baggrunden for notatet var at opnå en mere ensartet hydrologisk modellering i regi af den statslige grundvandskortlægning. De anbefalede effektive porøsiteter for forskellige danske aflejringer fra notatet er vist i nedenstående tabel 4.6 hentet fra /16/.

**Tabel 4.6. Tabelværdier for anbefalede effektive porøsiteter /14/.**

Geologisk lag	Effektiv Porøsitet (%)	Anbefalet Effektiv Porøsitet (%)
<i>Ler</i>	30 – 60	40
<i>Moræneler</i>	10 – 30	25
<i>Silt (morænesilt)</i>	35 – 50	40
<i>Sand</i>	25 – 40	30
<i>Grus</i>	20 – 35	27
<i>Sand og grus (usorteret)</i>	15 – 35	25
<i>Kalk – primære (matrix)</i>	5 – 30	20
<i>Kalk – sekundære (sprækker)</i>	0,1 – 5	--
<i>Opsprækket Kalk (dobbeltporøse)</i>	0,1 – 15	5
<i>Sandsten</i>	5 - 30	15

Den effektive porøsitet spænder bredt for de fleste aflejringstyper, og det anbefales at anvende en effektiv porøsitet midt i spændet. De anbefalede værdier for effektive porøsiteter vurderes som de bedste estimerede udgangsværdier i den efterfølgende risikoscreening. Det er dog væsentligt at fremhæve, at værdierne ikke kan relateres direkte til de enkelte kortlagte grunde, men at de er baseret på dokumenteret faglitteratur.

## Porøsitet for dæklag

De ovenfor beskrevne tabelværdier for forskellige aflejringer er sammenholdt med lagtyper der benyttes i beregningerne af lertykkelser og dæklagstykkelser, se tabel 4.7.

**Tabel 4.7. Valgte tabelværdier for anbefalet effektiv porøsitet fordelt på lithologi-grupperingerne i GrundRisk. Tabelværdierne baserer sig på et notat vedr. anbefalinger til afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande i hydrologisk modellering, herunder også anbefalinger for brug af effektive porøsiteter for danske aflejringer /8/**

Dæklagstyper (lithologigruppering)	Vurderet effektiv porøsitet (%) baseret på /14,16/
<i>Fed ler</i>	40
<i>Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspecificeret)</i>	25
<i>Sand</i>	30
<i>Grus og sten</i>	27
<i>Gytje, tørv, brunkul</i>	30
<i>Kalk</i>	5
<i>Fyld</i>	30

Den effektive porøsitet for kalk afhænger af, hvorvidt det vurderes, at kalken er opsprækket eller ikke. Da der i GrundRisk er fokus på den mest terrænnære geologi er det sandsynligt, at kalken vil være opsprækket. Derfor er der valgt en lav effektiv porøsitet i henhold til de anbefalede værdier angivet i tabel 4.6.

## Effektiv porøsitet i grundvandsmagasinet

Magasinbjergartens effektive porøsitet har betydning for transporttiderne af potentiel forurening gennem grundvandsmagasinet. Generelt vurderes, at jo større effektiv porøsitet, jo længere bliver transporttiderne gennem grundvandsmagasinet /16/. De effektive porøsiteter er sammenholdt med de magasintyper, som er registreret i DK-modellen, se tabel 4.8.

**Tabel 4.8. Valgte tabelværdier for anbefalet effektiv porøsitet fordelt på magasintyper i DK-modellen. Tabelværdierne baserer sig på et notat vedr. anbefalinger til afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande i hydrologisk modellering, herunder også anbefalinger for brug af effektive porøsiteter for danske aflejringer /16/.**

Magasintyper i DK-modellen	Vurderet effektiv porøsitet (%) baseret på /14/
<i>Kvartært sand</i>	30
<i>Prækvartært sand</i>	27
<i>Kalk</i>	5

I forhold til at vurdere transporthastigheder af eventuel forurening er værdier for porøsiteten i kalkmagasinet afgørende i risikoscreeningen. Med en høj vurderet porøsitet i kalken kan transporthastigheden fra punktkilde til f.eks. en vandforsyningsboring blive undervurderet. Lighed med beskrivelsen af kalk under afsnittet om dæklag er valgt en effektiv porøsitet på 5.

Bornholms geologi udgøres i høj grad af grundfjeld, sandsten og skifre, hvor spækkeintensiteten er afgørende for den effektive porøsitet.

## 5. Applikationen (Delelement 5)

### 5.1. Resultat-tabeller

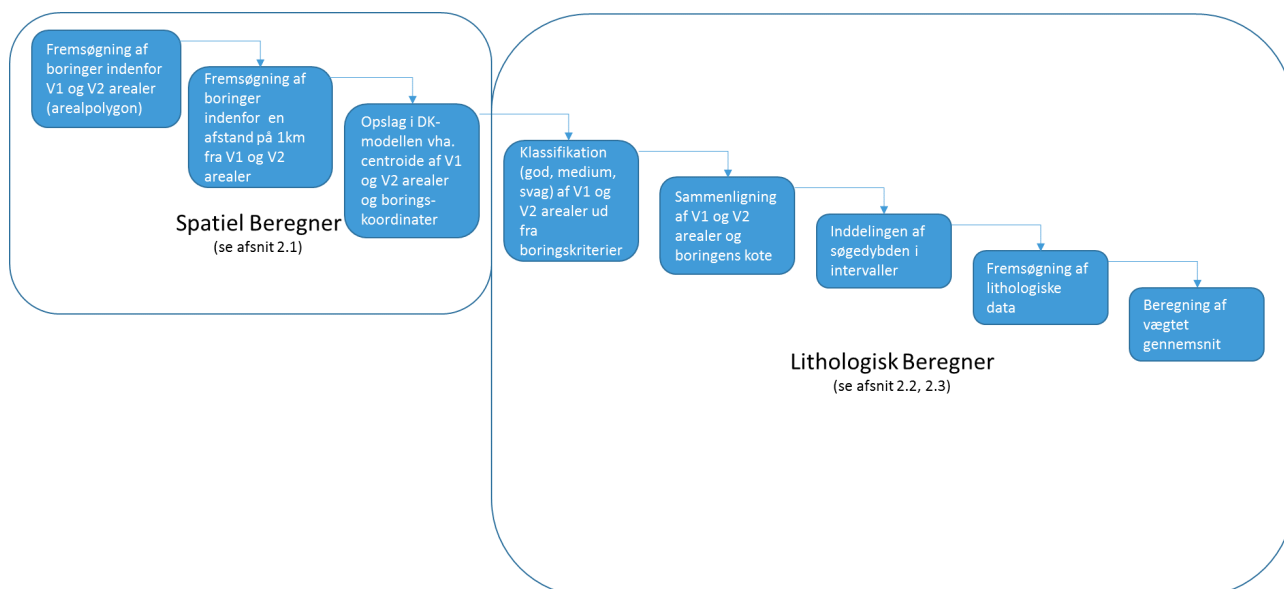
I GrundRisk er udviklet en applikation, der sammenfatter dataudtræk og beregninger fra alle de inddragede datakilder, beskrevet under kapitel 2 til 4. I nedenstående flowdiagram, se figur 5.1, er rækkefølgen af databeregningerne i algoritmen illustreret (se også bilag 3). P.t. igangsættes applikationen manuelt, hvorefter der returneres en samlet resultattabel (Microsoft Excel-format) indeholdende en resultatrække for hver kortlagt V1 og V2 areal, der er placeret i et drikkevandsområde (OSD/IOL) (se tabel 5.1). Udover selve resultattabellen genereres også en datatabel med baggrundsregninger af lertykkelser og tykkelser af øvrige dæklag (se tabel 5.2). Ligeledes genereres en tabel, der angiver afstand til og DGU nr. på nærmeste beskrevne boring, hvor der ikke er beskrevet ler, og som træffer det øvre grundvandsmagasin (se tabel 5.3). Endelig medfølger en referencetabel med repræsentative værdier for hydrauliske ledningsevner og porøsiteter, se afsnit 4.4, 4.5 og 5.2.

Tabel 5.1 viser de estimerede lertykkelser, dæklagstykkelser og dataudtræk der er inddraget i den primære resultattabel (Extract). De enkelte kolonne-overskrifter er herunder kort forklaret og enhederne på parameterværdierne er angivet i højre kolonne.

Under afsnit 0 er medtaget flere af resultaterne fra tabeludtrækket visualiseret ved oversigtskort. Ligeledes er der i Appendix B lavet en gennemgang af resultatudtrækket fra tre udvalgte grunde ved oversigtskort og tværsnitsprofiler.

Der gøres opmærksom på, at det ved omtrent 0,3 % af de kortlagte arealer ikke har været muligt at gennemføre et estimat af dæklagstykkelser og eventuelle lerlagstykkelser (tykkelserne angives her med 0 i tabellerne). Årsagerne hertil er flere og knyttet til Jupiter databasens store spænd i datakvalitet. Boringer der ligger i Jupiter er indsamlet over en 90 årig periode, så der er stor forskel i indberetning, beskrivelse og i f.eks. kvaliteten af koordinaterne.

Desuden vil der forekomme et fåtal af arealer, hvor de fastlagte principper for valg af top og bund for samlet beregningsinterval medfører et meget begrænset beregningsinterval uden dataindhold.



**Figur 5.1. Flowdiagram for dataudtræk og beregninger i den udviklede applikation. Først foretages en fremsøgning af spatielle data, hvorefter der gennemføres beregning af lertykkelser i den lithologiske beregningsdel.**

Tabel 5.1. Oversigt og forklaring af de kolonner der indgår i resultat-tabellen Extract. Enhederne på de enkelte parameterværdier er angivet i tredje kolonne.

Kolonner i Extract	Forklaring	Enhed
<b>GRUNDID</b>	Reference id til Exports tabellen	-
<b>TEMANAVN</b>	V1 eller V2 status	-
<b>CVR_NAVN</b>	Angivelse af region	-
<b>LOKALITET_NR</b>	Lokalitet nr.	-
<b>OSD</b>	<b>1:</b> Indenfor OSD <b>0:</b> ikke i OSD	-
<b>U_OSD</b>	<b>1:</b> indenfor IOL u OSD <b>0:</b> ikke i IOL u OSD	-
<b>COMPLEX</b>	<b>1:</b> Kortlagt grund placeret i område med vurderet kompleks geologi. <b>0:</b> Øvre geologi er mindre kompleks	-
<b>GOOD_MEDIUM_WEAK</b>	Kategorisering datadækning ved kortlagte grunde ud fra opsatte kriterier, jf. afsnit 2.1	-
<b>BOREHOLE_COUNT</b>	Det maksimale antal beskrevne borer, der indgår i beregningerne.	-
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_1</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 1 – Fed ler	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_2</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 2 – Moræneler	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_3</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 3 – Sand	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_4</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 4 – Grus og sten	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_5</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 5 – Gytje, tørv og brunkul	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_6</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 6 – Kalk	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_7</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 7 – Fyldjord	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG_GRP_8</b>	Vægtet sum for tykkelse af gruppe 8 – "Ukendt"	m
<b>SUM_WEIGHTED_AVG</b>	Samlet sum for tykkelse af dæklag	m
<b>AQUIFERDEPTH</b>	Dybde til øverste grundvandsmagasin (to udtræk gennemført, se afsnit 3.2)	m.u.t.
<b>GROUNDWATERDEPTH</b>	Dybde til grundvandsspejl	m.u.t.
<b>ELEVATION</b>	Terrænkote ved kortlagt grund	m
<b>FLOW_DIRECTION</b>	Retning af strømningsgradient	Grader (0° = nord)
<b>HEAD_GRADIENT</b>	Beregnet hydraulisk gradient inden for 500x500 m gridceller	-
<b>INFILTRATION</b>	Infiltration til det øvre grundvandsmagasin	mm/år

<b>LITHOCODE</b>	Magasintype for øverste grundvandsmagasin i DK-modellen 1: kvartært sand; 2: prækvartært sand; 3: kalk/kridt; 4: sandsten; 5: skifre; 6: opsprækket granit/grundfjeld	-
<b>REDOX</b>	Dybden til øvre redoxgrænse	m.u.t.
<b>GEOPHYSICS</b>	1: JA, 10 eller flere geofysiske data punkter indenfor 300 m 0: NEJ, ikke tilstrækkeligt med geofysiske data indenfor 300 m	-
<b>Nærmeste aktive indvindingsboring</b>		
<b>BOREHOLE</b>	DGU nr. på den nærmeste aktive vandforsyningsboring	
<b>DIST</b>	Afstand til den nærmeste aktive vandforsyningsboring	m
<b>ANGLE</b>	Retning til den nærmeste aktive vandforsyningsboring	Grader (0° = nord)

Under fanebladet "Exports" findes alle baggrundsregninger til de enkelte kortlagte grunde, se tabel 5.2. Her er angivet mellemregninger for hvert 5 m interval, antallet af boringer der indgår i beregningerne i hvert interval, samt en angivelse af DGU numrene på de inddragede boringer. Denne baggrundstabel er koblet til resultattabellen Extract ved kolonnen GRUNDID.

**Tabel 5.2. Oversigt og forklaring af kolonner i baggrundstabellen Exports. Tabellen viser beregninger fordelt på 5 m's intervaller, lithologigruppering og prøvebeskrivelse.**

Kolonner i Exports	Forklaring	Enhed
<b>GRUNDID</b>	Reference ID til Extract tabellen	-
<b>GOOD_MEDIUM_WEAK</b>	Kategorisering af datadækningen på kortlagte grunde ud fra opsatte kriterier, jf. afsnit 2.1.	-
<b>INTERVAL</b>	Beregningsinterval. Angiver dybdeintervaller 0-5 m, 5- 10 m etc. Dybdeintervaller er defineret af top og bund af samlet beregningsinterval, jf. afsnit 2.3.	m
<b>LITHOLOGIGRUPPE</b>	De valgte lithologigrupper: <i>GRP_1) Fed ler</i> <i>GRP_2) Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspecificeret)</i> <i>GRP_3) Sand</i> <i>GRP_4) Grus og sten</i> <i>GRP_5) Gytje, tørv og brunkul</i> <i>GRP_6) Kalk</i> <i>GRP_7) Fyldjord</i> <i>GRP_8) Ukendt</i>	-
<b>CODE</b>	1: brøndborer beskrevet jordprøve (fx "l") 2: GEUS/geolog beskrevet jordprøve (fx "ml")	-
<b>BOREHOLES</b>	DGU nr. på de boringer i Jupiter som er inddraget i beregningerne	-
<b>BOREHOLE_COUNT</b>	Antal beskrevne boringer der indgår i beregningen i det pågældende interval	-
<b>TOTAL_THICKNESS</b>	Total tykkelse af den enkelte lagtype (lithologigruppe)	m
<b>AVG_THICKNESS</b>	Gennemsnitlig tykkelse af lithologigruppen i det pågældende interval	m
<b>VAR</b>	Varians på tykkelse af lithologitype	-
<b>STD_DEV</b>	Standard afvigelse på tykkelse af lithologitype	-
<b>WEIGHTED_AVG</b>	Vægtet beregning af lithologitype indenfor 5 m's interval	m



Under fanen "No\_clay" angives DGU nr. og afstand til nærmeste boring, hvor der ikke er beskrevet ler og som træffer den fundne mindste dybde til øverste grundvandsmagasin, se afsnit 2.3. Der er én række for hver kortlagt V1/V2 areal i tabellen. Der er vist en oversigt i tabel 5.3 nedenfor.

**Tabel 5.3. Kolonner i tabellen "No clay" der angiver DGU nr. og afstand til nærmeste boring uden beskrevet ler.**

Kolonne i regneark	Kort forklaring	Enhed
<b>GRUNDID</b>	Reference id til extract tabellen	-
<b>BOREHOLENO</b>	DGU nr. på nærmeste udsøgte boring	-
<b>DISTANCE</b>	Afstand til nærmeste udsøgte boring	m

Fanebladet "Max Radius" i resultattabellen angiver meget udstrakte, og dermed atypiske, kortlagte V1 og V2 arealer med en radius > 300 m, jf. 2.1 og bilag 2.

### 5.2. Opslag af referenceværdier baseret på faglitteratur

Der er i den samlede resultat-tabel tilknyttet en fane med valgte referenceværdier for hydrauliske ledningsevner og porøsiteter, se fanen "Hydraulic". Udvælgelse og gennemgang af referenceværdier for ledningsevner og porøsiteter tilknyttet de forskellige lithologiske grupper er beskrevet indgående under afsnit 4.4 og 4.5. Tabel 5.4 viser den tilknyttede tabel med referenceværdier til brug i den nationale risikoscreening. Ved eventuelle senere detailstudier af specifikke kortlagte V1 eller V2 arealer kan parameterværdierne revurderes så de lokale hydrogeologiske forhold afspejles bedst muligt i risikovurderingen.

Tabel 5.4. Tabellen viser fanebladet "Hydraulic" i den samlede resultattabel, der indeholder repræsentative hydrauliske ledningsevner og effektive porøsiteter for dæklag og magasintyper. Tabelværdierne er udvalgt på grundlag af faglitteratur om bjergarters hydrogeologiske egenskaber /9, 10, 11, 12, 13/.

<b>Hydrauliske ledningsevner og porøsiteter - Referenceværdier (tabelopslag i faglitteratur)</b> <b>(Fanen "Hydraulic" i resultat-tabel)</b>			
<b>Dæklag</b>			
	<b><i>Lithologigrupper</i></b>	<b><i>K<sub>z</sub> - Vertikal hydraulisk ledningsevne (m/s)</i></b>	<b><i>n - Porøsitet</i></b>
	GRP 1) Fed ler	1,00E-10	40
	GRP 2) Moræneler, sandet ler, st. siltet ler, ler (uspecificeret)	1,00E-06	25
	GRP 3) Sand	1,00E-05	30
	GRP 4) Grus og sten	1,00E-04	27
	GRP 5) Gytje, tørv og brunkul	1,00E-06	30
	GRP 6) Kalk	1,00E-04	20
	GRP 7) Fyldjord	1,00E-05	30
	GRP 8) Ukendt	?	?
<b>Øvre grundvandsmagasin</b>			
	<b><i>Magasintype i DK-modellen</i></b>	<b><i>K<sub>H</sub> - Horisontal hydraulisk ledningsevne (m/s)</i></b>	<b><i>n - Porøsitet</i></b>
	Kvartært sand	1,00E-04	30
	Prækvartært sand	1,00E-04	30
	Kalk	1,00E-04	5
	<b><i>Bornholm</i></b>		
	Sandsten	1,00E-06	30
	Grønne skifre	1,00E-05	30
	Opsprækket granit/grundfjeld	1,00E-07	30

### 5.3. Datakilder og opdatering

I nærværende afsnit gives en samlet oversigt over alle inddragede datakilder og beskrivelse af datakildernes behov for opdatering ved fremtidige kørsler. Datakilder fra Danmarks Miljøportal og GEUS' Jupiter og Gerda databaser opdateres automatisk ved hver kørsel af screeningsværktøjet, mens der nedenstående er angivet et oplæg til opdateringscyklus for de øvrige parametre og tilknyttede datakilder, se tabel 5.5.

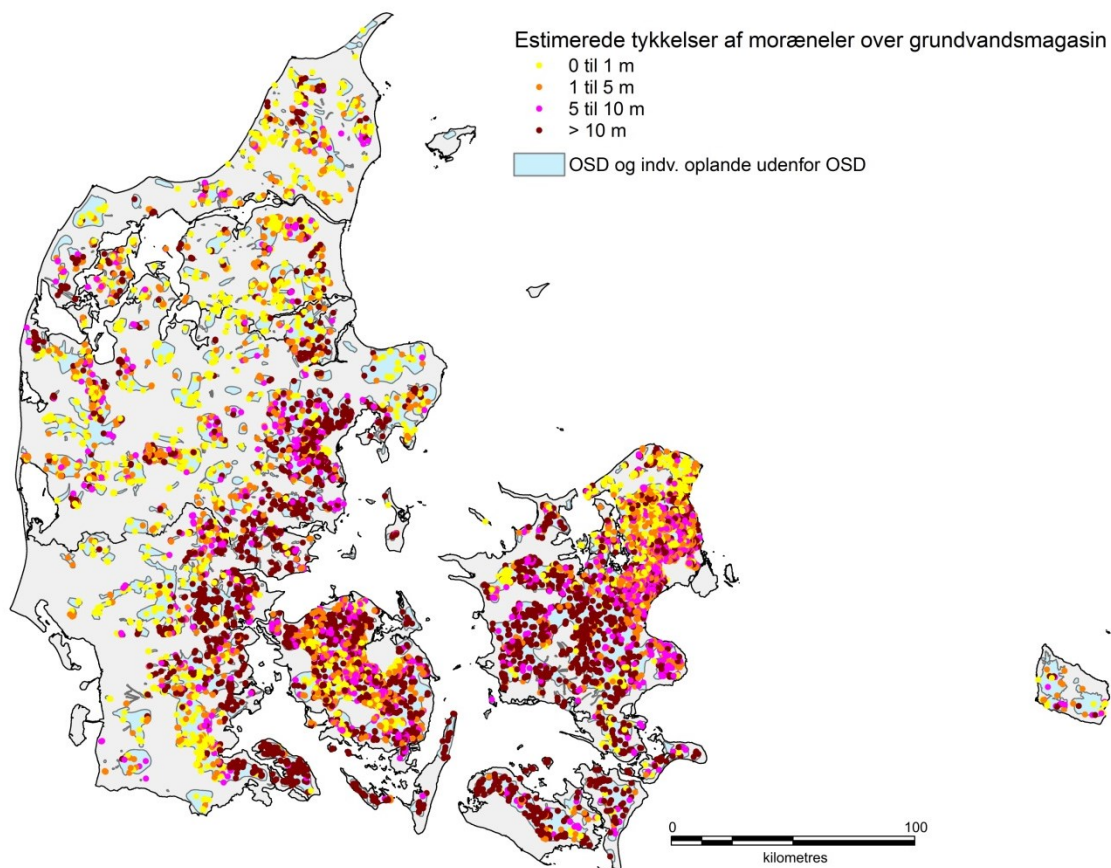
Tabel 5.5. Oversigt af parametre og tilknyttede datakilder, samt oplæg til fremadrettet opdateringscyklus.

Parameter/data	Datakilde	Oplæg til opdateringscyklus af datakilder
<b>Grunddata</b>	Danmarks Miljøportal: Gældende temaer for jordforurening og drikkevand	Grunddata opdateres automatisk hver gang der gennemføres en ny kørsel i værktøjet.
<b>Beregningsmodul (beregning af estimerede lertykkelser og dæklagstykkelser)</b>	Online GEUS Jupiter database	De estimerede lertykkelser og dæklag er baseret på en fuldt opdateret Jupiter database ved dato for ny kørsel.
<b>Afstand til nærmeste aktive vandforsyningsboring</b>	Online GEUS Jupiter database	De aktive indvindingsboringer til almene vandværker er opdateret ved dato for ny kørsel.
<b>Dybden til øverste grundvands-magasin</b>	DK-modellen, Udtræk af øverste magasinenheder	Opdateres, såfremt DK-modellen gennemgår betydende opdatering.
<b>Dybden til grundvandsspejl</b>	DK-modellen, beregnet landsdækkende potentialekort	Opdateres, såfremt DK-modellen gennemgår betydende opdatering.
<b>Strømningsretning i magasin</b>	DK modellen, beregnet ud fra simuleret trykniveau	Opdateres, såfremt DK-modellen gennemgår betydende opdatering.
<b>Hydraulisk gradient</b>	DK-modellen, beregnet ud fra simuleret trykniveau	Opdateres, såfremt DK-modellen gennemgår betydende opdatering.
<b>Infiltration</b>	DK-modellen, beregning af netto infiltration til øverste grundvandsmagasin	Opdateres, såfremt DK-modellen gennemgår betydende opdatering.
<b>Jordartskort</b>	Udtræk af oplysninger om jordarter fra den seneste version af DK modellen	Opdateres såfremt det gældende jordartskort i DK-modellen opdateres.
<b>Digitalt geomorfologisk kort</b>	Det digitale morfologiske kort over Danmark 1:200.000; Sjælland, Øerne og Bornholm. GEUS; Jakobsen P.R. 2014 /4/ Per Smed Landskabskort, Geografforlaget, 1982 /5/	Opdateres når det landsdækkende geomorfologiske kort er publiceret (2016-2017)
<b>Geofysik</b>	Geofysik GEUS Gerda database	Udtræk af oplysninger om geofysiske data er baseret på en fuldt opdateret Gerda database ved dato for ny kørsel.

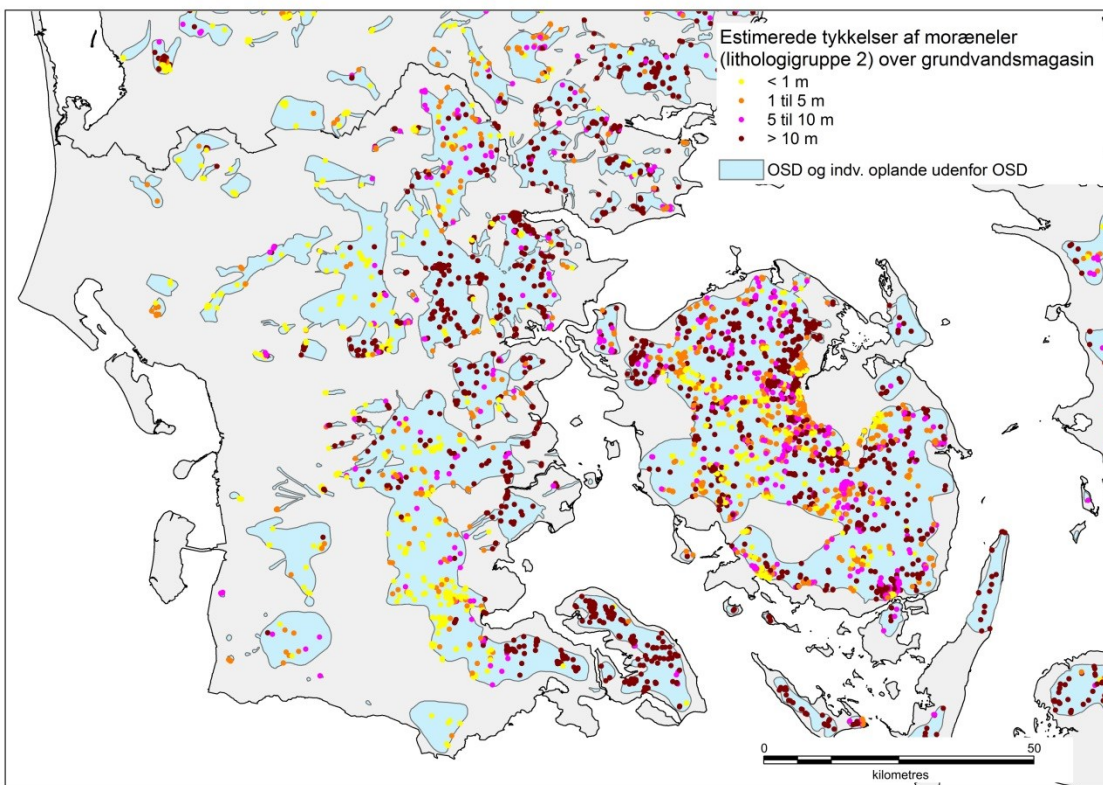
<p><b>Hydrauliske ledningsevner og porøsiteter</b></p>	<p>Repræsentative tabelværdier for <b>hydrauliske ledningsevner</b> fra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Højberg AL., Troldborg L., Nyegaard P., Ondracek M., Stisen S., Christensen BSB. &amp; Nørgaard A (2008): <i>National Vandressource Model: Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008</i>, GEUS rapport 2008/65</li> <li>- Carlsson, L. &amp; G. Gufstafson (1984): <i>Provpumpning som geohydrologisk undersøkningsmetodik</i>, Byggeforskningsradet, Chalmers Tekniske Högskola, Göteborg. R41:1984</li> <li>- Harrar, W. G. &amp; Nilsson, B. (1998), <i>Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till</i> 1998 GSA Annual Meeting, ISSN 0016-7592</li> <li>- Nilsson, B., Sidle, R.C., Klint, K.E., Bøgild, C.E. &amp; Broholm, K. (2001): <i>Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogenous till-sand aquifer system</i>, Journal of Hydrology 243, 162-179.</li> <li>- Freeze, R.A. and J.A. Cherry (1979): <i>Groundwater</i>, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey</li> <li>- Domenico, P.A. and F.W. Schwartz (1990): , <i>Physical and Chemical Hydrogeology</i>, John Wiley &amp; Sons, New York</li> </ul> <p>Repræsentative tabelværdier for <b>porøsiteter</b> fra:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Naturstyrelsen (2014): Præcisering af anbefalinger i GeoVejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannede oplande</i>”, notat, oktober 2014.</li> </ul>
--	--

#### 5.4. Visualisering af resultater

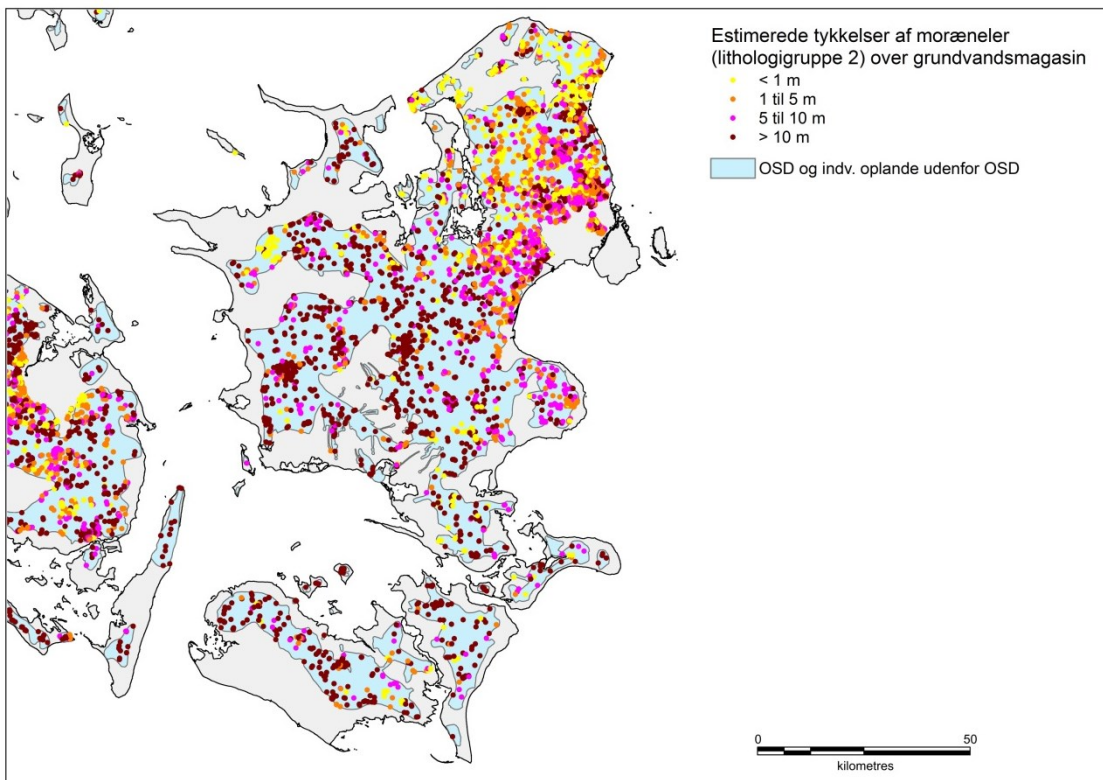
I dette underafsnit er vist fire korteksempler på udtræk af estimerede lertykkelser ved kortlagte V1 og V2 grunde gennemført på nationalt plan med GEUS applikationen. Tykkelserne er visualiseret i fire tykkelsesintervaller, og beregninger og udtræk fra applikationen er gennemført i juni 2016. Figur 5.2 viser et landsdækkende kort med estimerede lertykkelser af moræneler (lithologigruppe 2) over øverste grundvandsmagasin. På figur 5.3 og figur 5.4 er der zoomet ind på hhv. Region Syddanmark og Sjælland, også med visning af estimerede morænelertykkelser over grundvandsmagasinet. Figur 5.5 viser en landsdækkende oversigt med estimerede lertykkelser af terrænnært fed ler (lithologigruppe 1) ved de kortlagte grunde.



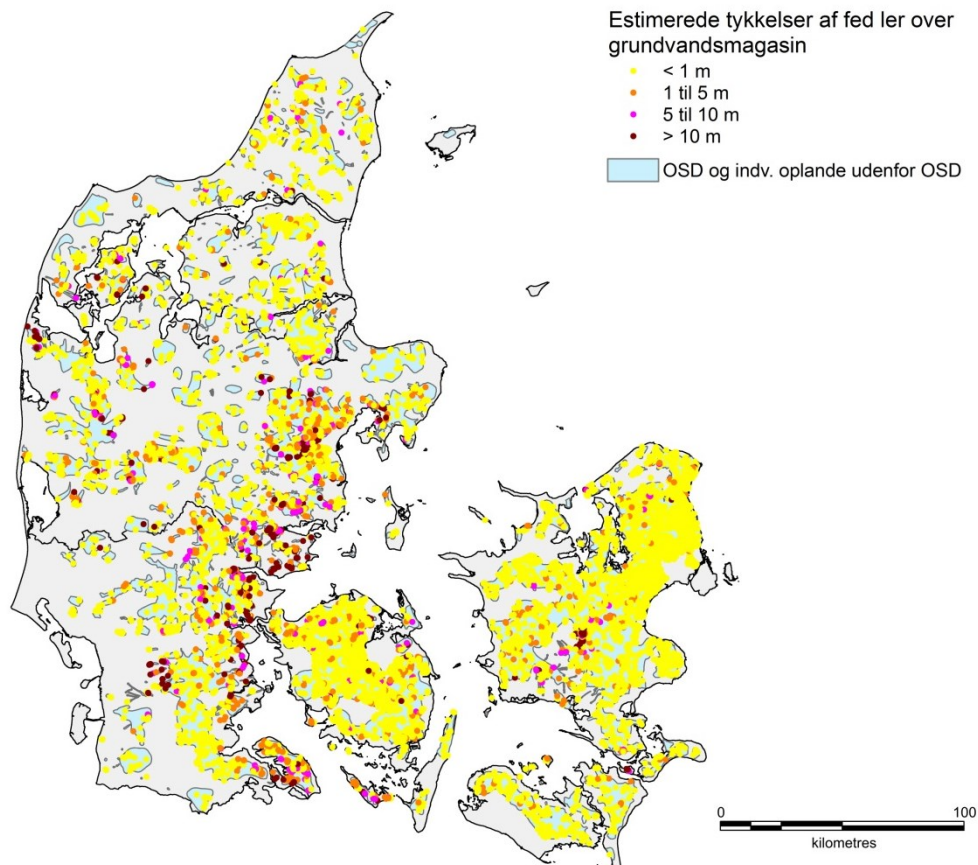
**Figur 5.2.** Danmarkskort med estimerede tykkelser af moræneler (lithologigruppe 2) over øverste grundvandsmagasin ved kortlagte grunde indenfor OSD eller indvindingsoplande udenfor OSD. Dybden til grundvandsmagasinet i DK-modellen er udtrukket fra centroiden af den kortlagte grund. Beregninger og udtræk er gennemført i juni 2016.



Figur 5.3. Estimerede lertykkelser af moræner (lithologigruppe 2) ved kortlagte grunde i Region Syddanmark. Legende ses øverst til højre.



Figur 5.4. Estimerede lertykkelser af moræner (lithologigruppe 2) ved kortlagte grunde på Sjælland og Lolland-Falster. Legende ses øverst til højre.

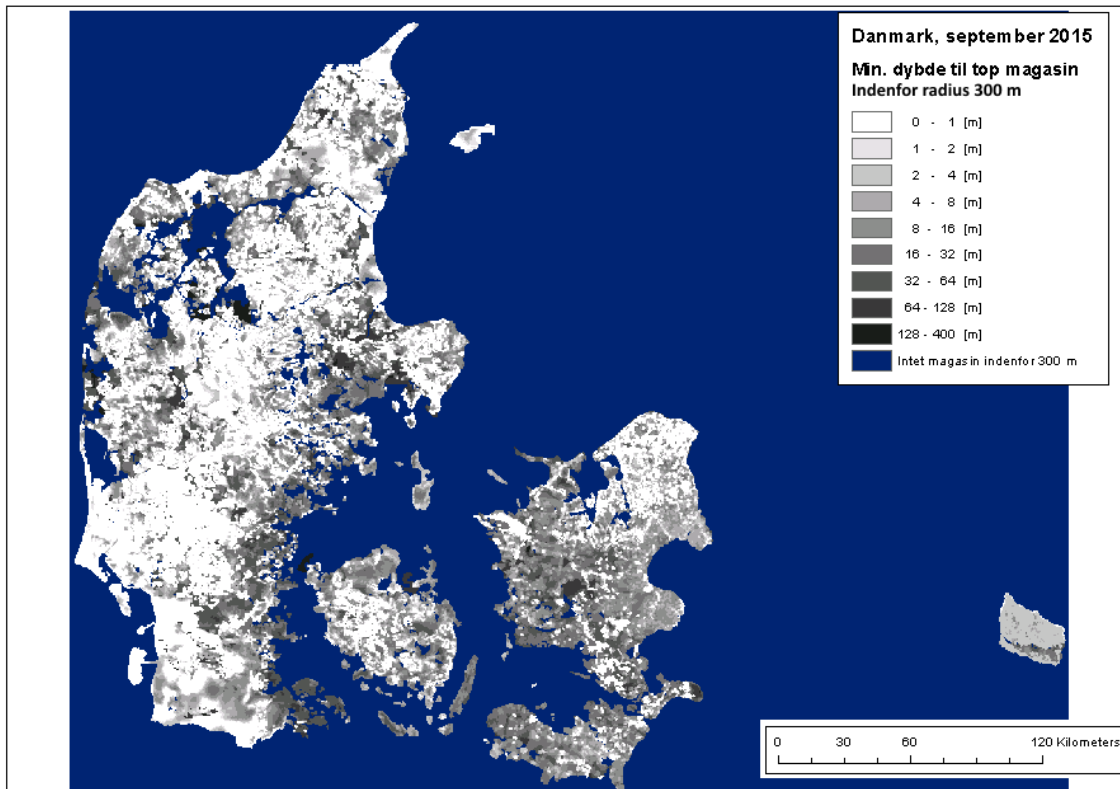


**Figur 5.5.** Danmarkskort med estimerede tykkelser af fed ler (lithologigruppe 1) over øverste grundvandsmagasin ved kortlagte grunde indenfor OSD eller indvindingsoplande udenfor OSD. Dybden til grundvandsmagasinet i DK-modellen er udtrukket fra centroiden af den kortlagte grund. Beregninger og udtræk er gennemført i juni 2016.

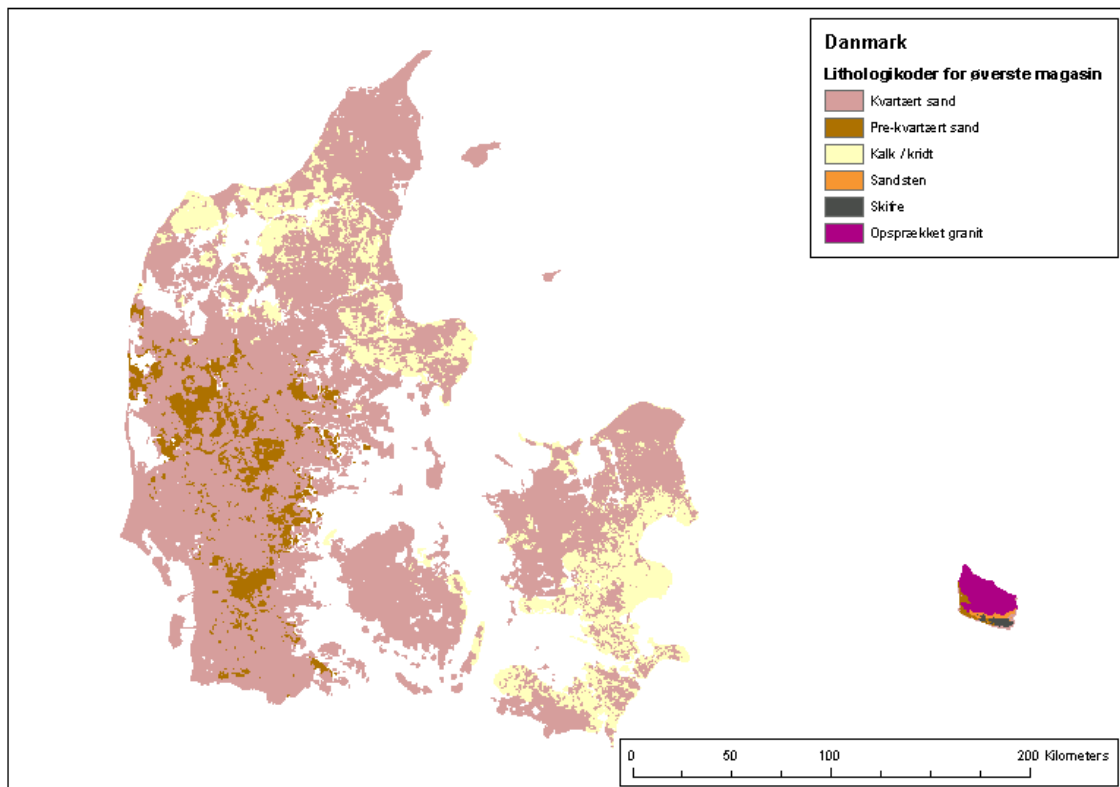
### 5.5. Perspektiver – webbaseret screeningsværktøj

Som nævnt skal den udviklede applikation køres manuelt. Udviklingen er dog gennemført, så senere kørsler kan automatiseres og evt. vises som WMS og WFS tjenester. De data, der udtrækkes, vil også senere kunne vises på en dynamisk hjemmeside så der fra WMS/WFS tjenesten kan linkes til en detaljeret sidevisning af baggrundsdata med et ønsket grafisk layout af resultaterne. Ligeledes har der i udviklingsarbejdet været fokus på, at kontinuertlig opdatering af alle de inddragede fagdatabaser og øvrige baggrundsdata senere kan indbygges i softwaren f.eks. via kald til andre WMS/WFS tjenester.

Figur 5.6 og figur 5.7 på næste side viser eksempler på, hvordan kort der trækker på sådanne WMS tjenester f.eks. kunne illustrere hydrologiske og geologiske forhold. De viste kort baserer sig på gridinformation udtrukket fra DK-modellen.



Figur 5.6. Minimum dybde til øverste grundvandsmagasin i DK-modellen indenfor 300 meter fra kortlagte arealer. Grid-information udtrukket fra Dk-modellen.



Figur 5.7. Magasintypen i øverste magasin i DK-modellen. Interpoleret grid med en diskretisering på 500 x 500m.



## 6. Referencer

- /1/ GEUS (2015): Udvikling af værktøj til vurdering af lertykkelser under jordforureninger, der truer grundvand, projektoplæg, maj 2015
- /2/ Troldborg L., Sørensen B. L., Kristensen M., Mielby S. (2014): Afgrænsning af grundvandsforekomster – tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark, GEUS rapport 2014/58
- /3/ Nyegaard P., Troldborg L., Højberg A. (2010): DK-model 2009, Geologisk og hydrostratigrafisk opdatering 2005-2009, GEUS rapport 2010/80
- /4/ Jakobsen P.R. (2014): Det digitale morfologiske kort over Danmark 1:200.000; Sjælland, Øerne og Bornholm, GEUS
- /5/ Smed P. (1982): Landskabskort, Geografforlaget, 1982
- /6/ Klint K.E.S., Nilsson B., Troldborg L. and Jakobsen PR. 2013: A Poly Morphological Concept for hydrogeological applications in heterogeneous glacial sediments. Hydrogeology Journal: Volume 21, Issue 6 (2013), Page 1247-1264
- /7/ GEUS (2015): National kvælstofmodel – Oplandsmodel til belastning og virkemidler, metoderapport, GEUS, 2015
- /8/ Højberg AL., Troldborg L., Nyegaard P., Ondracek M., Stisen S., Christensen BSB. & Nørgaard A. (2008): National Vandressource Model: Sjælland, Lolland, Falster og Møn - Opdatering januar 2008, GEUS rapport 2008/65
- /9/ Carlsson, L. & G. Gufstafson (1984): Provpumpning som geohydrologisk undersøkningsmetodik, Byggeforskningsradet, Chalmers Tekniske Högskola, Göteborg. R41:1984.
- /10/ Harrar, W. G. & Nilsson, B. (1998): Seasonal Variation in fracture flux through a glacial till, 1998 GSA Annual Meeting, ISSN 0016-7592
- /11/ Nilsson, B., Sidle, R.C., Klint, K.E., Bøggild, C.E. & Broholm, K. (2001): Mass transport and scale-dependent hydraulic tests in a heterogenous till-sand aquifer system, Journal of Hydrology 243, 162-179.
- /12/ Freeze, R.A. and J.A. Cherry (1979): Groundwater, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- /13/ Domenico, P.A. and F.W. Schwartz (1990): Physical and Chemical Hydrogeology, John Wiley & Sons, New York
- /14/ Galsgaard, J., Rohde, M., Jakobsen, P.R. & Jakobsen, R. (2014): Strømning og stoftransport i kalklagene på den københavnske vestegn. Geologisk og hydrologisk vidensopsamling og typemodel. GEO projekt nr. 37208, Rapport 1, 2014-07-29
- /15/ Vangkilde-Pedersen, T., Mielby, S., Jakobsen, P.R., Hansen, B., Iversen, C.H., Nielsen A.M. (2011): Kortlægning af kalkmagasiner, Geo-Vejledning 8, GEUS rapport

/16/

Naturstyrelsen (2014): Præcisering af anbefalinger i GeoVejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande, notat, oktober 2014



G E U S

GrundRisk delprojekt 0.1, Miljøstyrelsen

# Bilag 1: Notatet "Geologiske data ved kortlagte V1 og V2 lokaliteter"

---



GEUS

GrundRisk delprojekt 1, Miljøstyrelsen

## GrundRisk - Delelement 0.1

### *Notat*

## **Geologiske data ved kortlagte V1 og V2 lokaliteter**

*i OSD og indvindingsoplande udenfor OSD*

*En indledende dataanalyse*

September 2015

Revision: 1

## Indhold

1.	Formål og datagrundlag .....	3
1.1.	Formål.....	3
1.2.	Datagrundlag .....	3
1.3.	V1 og V2 kortlagte lokaliteter.....	3
2.	Analyse af boringsdata (Jupiter).....	4
2.1.	Fordeling af geolog-beskrivne og brøndborer-beskrivne borer inden for 300 og 1000 m .....	5
2.2.	Kvalitet af jordprøvebeskrivelser.....	8
2.3.	Fordeling af korte borer.....	9
2.4.	Variation af lertykkelser i 0-10 m's dybde.....	9
2.5.	Dybde til øverste grundvandsmagasin (i DK modellen) .....	11
2.6.	Borer der når øverste grundvandsmagasin (i DK modellen) .....	12
2.7.	Supplerende afstandsregninger .....	14
2.8.	Analyse af borer med pejledata .....	15
3.	Geologisk heterogenitet .....	17
3.1.	Lokaliteter indenfor landskaber med kompleks geologi .....	18
4.	Geofysiske data (GERDA).....	19
4.1.	Det geofysiske datagrundlag .....	19
4.2.	Lokaliteter med nærliggende geofysik .....	20
5.	Sammenstilling af dataanalyser – nøgletal.....	22
5.1.	Nøgletal fordelt på valgt klasseinddeling .....	23
6.	Vurderinger og anbefalinger .....	25
6.1.	Anvendelse af Den Nationale Vandressourcemodel (DK-modellen).....	25
6.2.	Anbefalinger til dataudtræk .....	26
6.3.	Parameterliste til risikoscreening/risikovurdering .....	27
7.	Referencer .....	28
Bilag 1	Gennemgang af udvalgte testlokaliteter	
Bilag 2	De indledende tests og resultater (notat fra forprojekt)	
Appendiks A	Parameterliste til risikovurdering	

## 1. Formål og datagrundlag

### 1.1. Formål

Miljøstyrelsen ønsker at forbedre og målrette nuværende metoder og principper for den offentlige indsats overfor de mange jordforureninger, der kan udgøre en risiko for vores drikkevandsressourcer (i øjeblikket ca. 16.000 lokaliteter). Et af målene er at få udviklet en effektiv metode til risikoscreening af kortlagte jordforureninger (V1 og V2), således at de grundvandstruende jordforureninger identificeres på et tidligt stadium. Miljøstyrelsen har derfor igangsat projektet GrundRisk, hvor et vigtigt bidrag er viden om den samlede lertykkelse under de jordforureninger, der truer grundvandet.

Dette notat (Delelement 0.1) er første leverance fra GEUS til Miljøstyrelsen under GrundRisk delprojekt 1 og tager udgangspunkt i det fælles projekt "Udvikling af værktøj til vurdering af lertykkelser under jordforureninger, der truer grundvand"/1/ indgået med projektejer Miljøstyrelsen og projektdeltager DTU Miljø.

Formålet med denne indledende dataanalyse, Delelement 0.1 er at undersøge fordelingen/tætheden af geologiske data omkring de enkelte lokaliteter for derved at få et billede af hvor mange data (boringer og geofysiske målinger m.m.) der typisk kan forventes at være til rådighed for sårbarhedsvurderingerne samt hvor stor en spændvidde i datadækningen, der kan forventes.

### 1.2. Datagrundlag

Dataanalyserne baserer sig på følgende data:

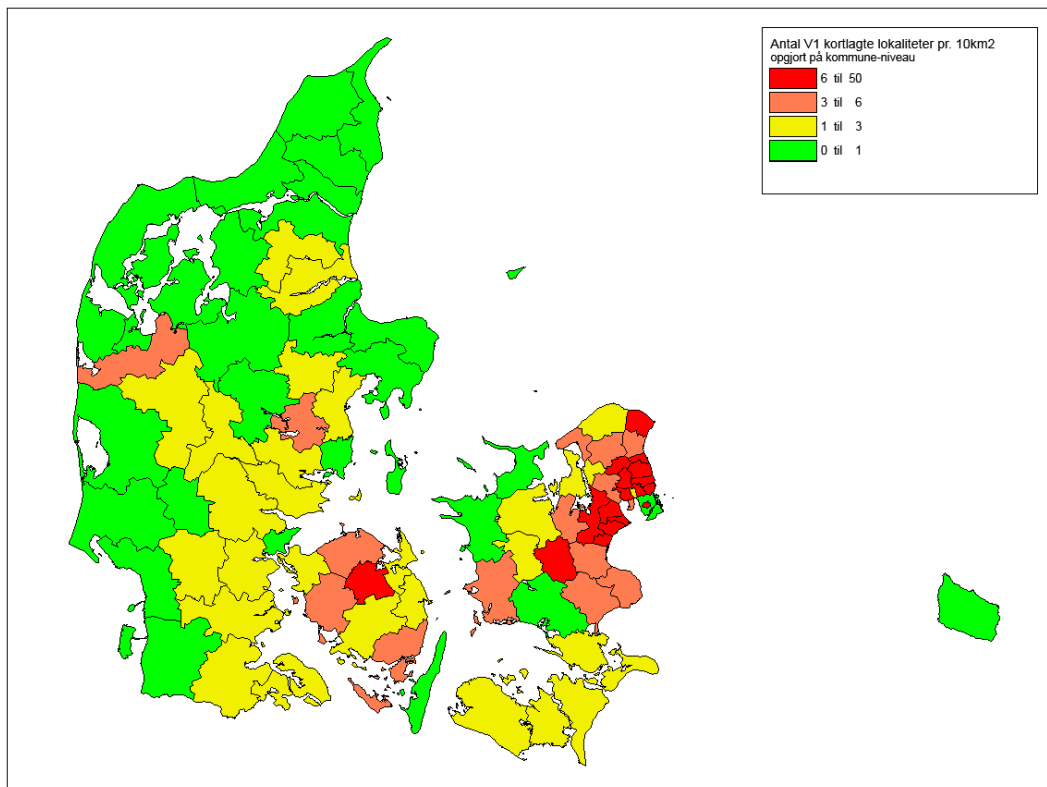
- GIS tema med V1 og V2 kortlagte arealer (modtaget af Miljøstyrelsen og dateret d. 5/5 2015)
- GIS temaer med OSD og indvindingsoplande udenfor OSD (downloadet fra Danmarks miljøportal d. 12/5 2015)
- Boredata fra Jupiter databasen (udtræk fra Jupiter d. 1/6 2015)
- Udsøgning af øvre grundvandsmagasiner i Den Nationale Vandressource Model (DK-model)
- Udtræk af geofysiske data fra GERDA databasen (december 2014)
- Kort med landskabselementer til vurdering af glacialtektonisk forstyrrede områder – foreløbige geomorfologiske kort (GEUS, maj 2015) suppleret med Per Smeds landskabskort /2/

### 1.3. V1 og V2 kortlagte lokaliteter

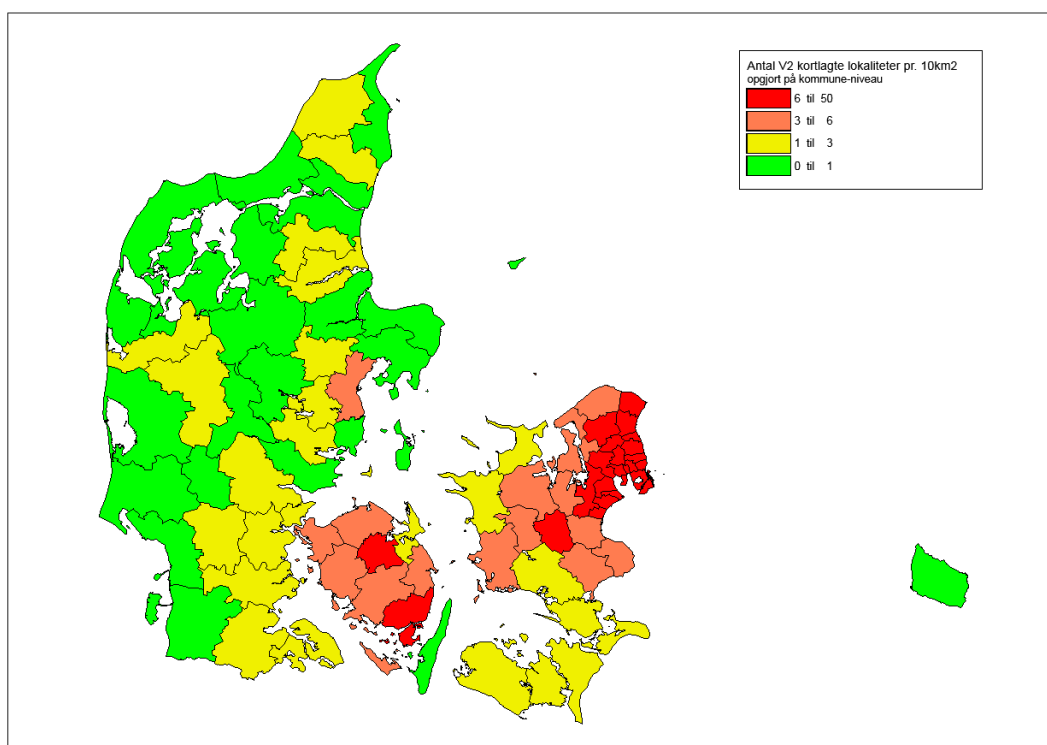
Udsøgningen af V1 og V2 kortlagte lokaliteter i OSD og indvindingsoplande udenfor OSD har vist at der er:

- 7119 kortlagte V1 lokaliteter indenfor OSD og eksisterende indvindingsoplande udenfor OSD.
- 9256 kortlagte V2 lokaliteter indenfor OSD og eksisterende indvindingsoplande udenfor OSD.
- Således er i alt 16.375 kortlagte lokaliteter (V1 & V2) inddraget i GIS analysen

Den overordnede geografiske fordeling af de kortlagte lokaliteter fremgår af nedenstående to figurer. Af Figur 1 fremgår det, at de V1 kortlagte lokaliteter ligger tættest i kommunerne omkring København samt i Odense Kommune. Kommuner med lavest tæthed af V1 lokaliteter findes primært i Nord- og Vestjylland, på Langeland, Vestsjælland og på Bornholm. Fordelingen af V2 kortlagte lokaliteter ses på Figur 2 og viser omtrent samme fordeling som for V1. Tætheden af V2 kortlagte lokaliteter er dog i en del kommuner større end tætheden af V1 lokaliteter.



Figur 1. Antal V1 kortlagte lokaliteter pr. 10 km<sup>2</sup> opgjort på kommune-niveau



Figur 2. Antal V2 kortlagte lokaliteter pr. 10 km<sup>2</sup> opgjort på kommune-niveau

## 2. Analyse af boringsdata (Jupiter)

Der er gennemført en analyse af boringsdata for at opnå øget viden om datatæthed og kvaliteten af boringsdata nær de 16.375 V1 og V2 lokaliteter indenfor OSD og indvindingsoplande udenfor OSD. Data er

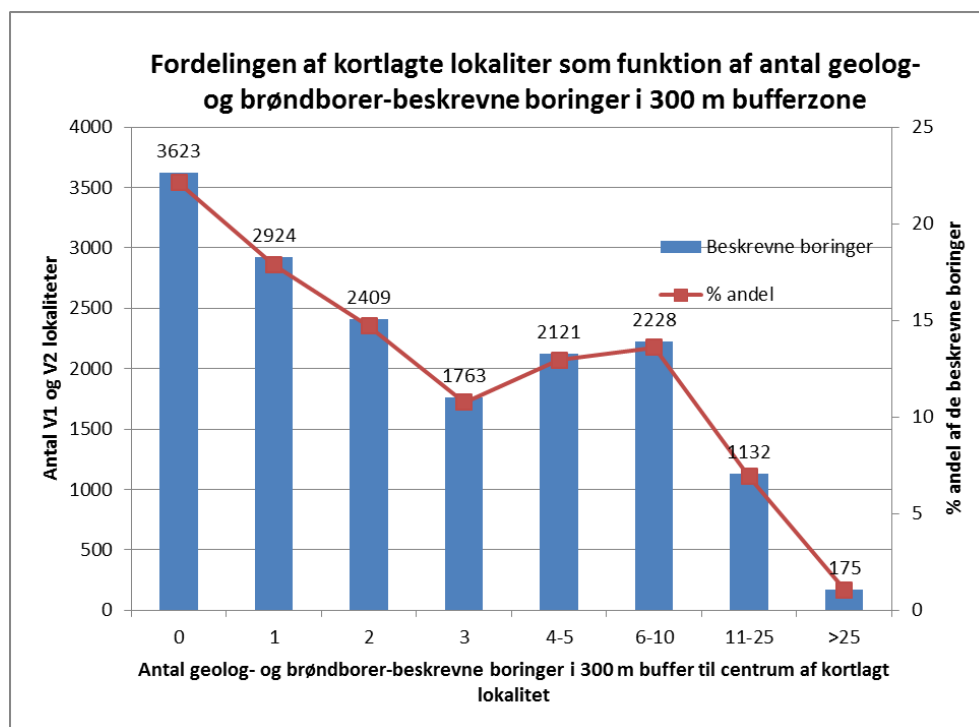
opdelt i forhold til hhv. geolog-beskrivne, brøndborer-beskrivne og ubeskrivne boringer og datatætheden er opgjort i tre udvalgte overordnede søgekriterier for den enkelte lokalitet:

- 1) En inderzone med radius på 300 m fra centrum af kortlagt lokalitet.
- 2) En yderzone med radius på 1000 m fra centrum af kortlagt lokalitet.
- 3a) Afstanden indenfor hvilken der findes 3 beskrivne boringer
- 3b) Afstanden indenfor hvilken der findes mindst 1 boring, der træffer det øverste definerede grundvandsmagasin iht. til DK modellen, se afsnit 2.6.

Søgninger er, som angivet foretaget med udgangspunkt i centerkoordinaten for de kortlagte arealer indenfor OSD og indvindingsoplande udenfor OSD.

### 2.1. Fordeling af geolog-beskrivne og brøndborer-beskrivne boringer inden for 300 og 1000 m

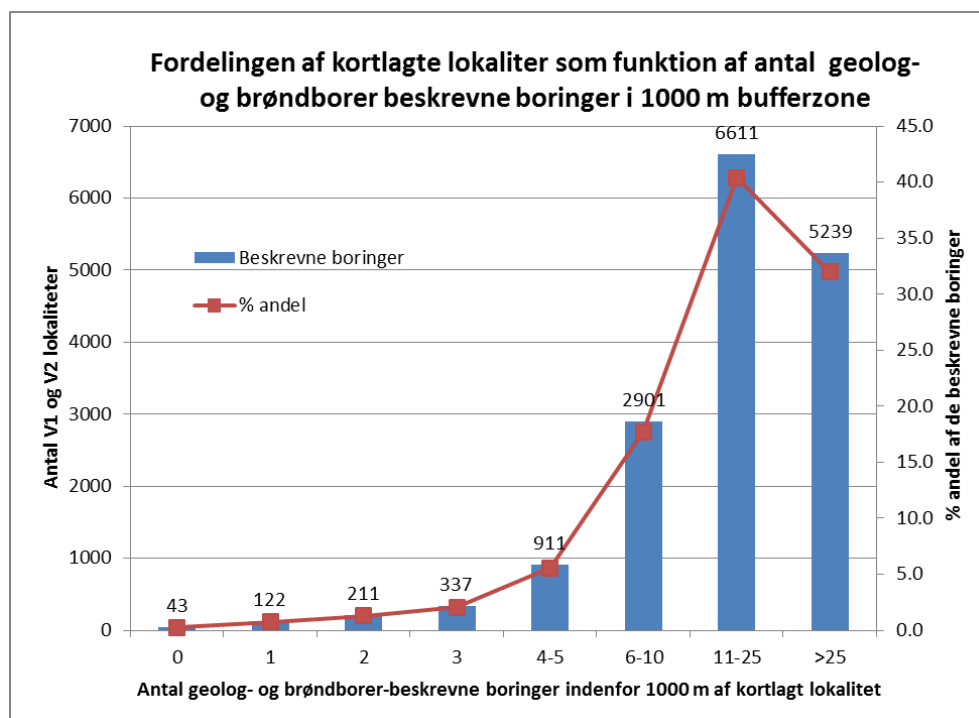
Der er indledningsvist foretaget en opgørelse af antallet af beskrivne boringer indenfor hhv. 300 m og 1000 m til de enkelte kortlagte lokaliteter. De beskrivne boringer omfatter *både* geolog-beskrivne og brøndborer-beskrivne boringer. Opgørelserne er gennemført med henblik på at fremhæve andelen af lokaliteter med ingen eller få boringer nær lokaliteten. Resultaterne er vist på Figur 3 og Figur 4.



Figur 3. Tæthed af boringer indenfor 300 m. Antallet af kortlagte lokaliteter som funktion af geolog-beskrivne og brøndborer-beskrivne boringer indenfor 300 m og er vist med blå søjler. De røde punkter angiver den procentvise fordeling, med reference til den højre-stillede y-akse.

Af Figur 3 ses at 3623 lokaliteter (22 %) ikke har beskrivne boringer indenfor 300 m svarende til at 12.752 (78 % af lokaliteterne) har beskrivne boringer indenfor 300 m. 2924 lokaliteter (18 %) har blot én beskrevet boring indenfor 300 m.



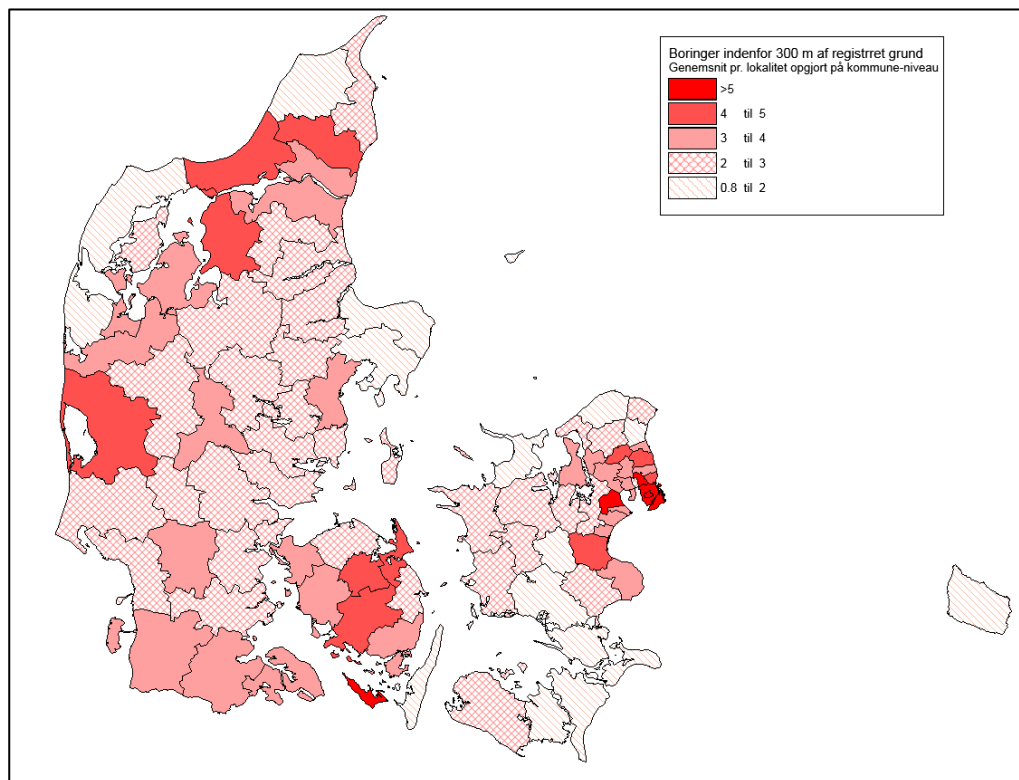


Figur 4. Tæthed af boringer indenfor 1000m. Antallet af kortlagte lokaliteter som funktion af geolog- og brøndborer-beskrivne boringer indenfor 1000 m. De røde punkter angiver den procentvise fordeling, med reference til den højre-stillede y-akse.

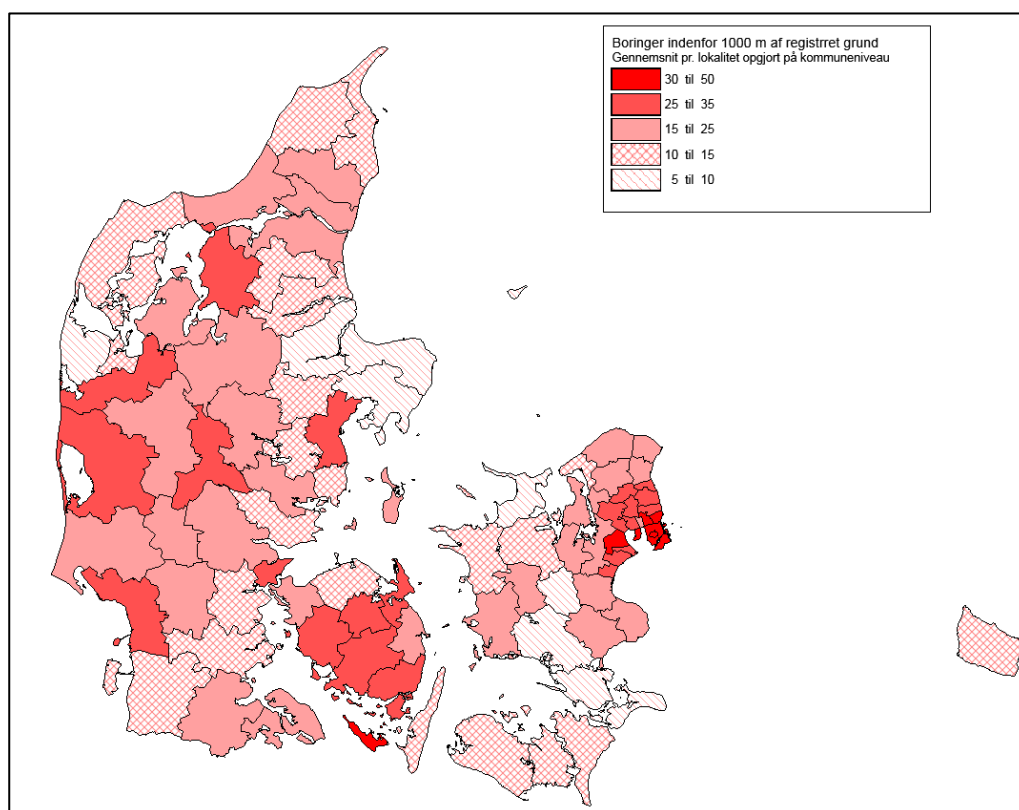
Af Figur 4 ses videre at næsten alle (99,7 %) af de registrerede lokaliteter har boringer indenfor 1000 m og at 15.662 lokaliteter (95 %) har mere end 3 boringer indenfor 1000 m

Med henblik på at undersøge hvorvidt boringstætheden varierer i forskellige dele af landet er den gennemsnitlige boringstæthed inden for 300 og 1000 m opgjort på kommuneniveau, se Figur 5 og Figur 6. Heraf ses at størst boringstæthed indenfor begge afstande omkring registrerede lokaliteter findes i kommunerne i Hovedstadsområdet, på Midtyn og Ærø samt i spredte kommuner i Jylland. Lav boretæthed findes især på Sydsjælland og Djursland samt for afstanden 300 m også i kommuner i Nordjylland og Nordsjælland.

Der er også lavet en opgørelse over antallet af ubeskrivne boringer. Det væsentligste resultat fra denne øvelse er, at der ved 563 lokaliteter er fundet mere end 5 helt ubeskrivne boringer indenfor 300 m, hvor antallet af beskrivne boringer samtidig er nul. Dette kan indikere at der på de pågældende lokaliteter er fortaget kortlægning/forureningsundersøgelser, hvor jordprøvebeskrivelser ikke er indberettet til Jupiter.



Figur 5. Det gennemsnitlige antal geolog- og brøndborer-beskrivne boringer indenfor 300 m af registreret grund opgjort på kommunebasis.



Figur 6. Det gennemsnitlige antal geolog- og brøndborer-beskrivne boringer indenfor 1000 m af registreret grund opgjort på kommunebasis.

## 2.2. Kvalitet af jordprøvebeskrivelser

De foreliggende jordprøvebeskrivelser i Jupiter databasen er i første omgang foretaget af brøndborere i forbindelse med borearbejdet. For en stor del af prøverne er der videre foretaget en supplerende beskrivelse og geologisk karakterisering i GEUS' jordprøvelaboratorium. Sidstnævnte udgør alt andet lige det bedste grundlag for at vurdere jordlagenes sammensætning og hydrauliske egenskaber hvorfor det bør tilstræbes at der så vidt muligt indgår geologisk karakteriserede boringer i vurderingen af forureningsrisikoen på de enkelte lokaliteter. Med henblik på at undersøge om dette er muligt, er andelen af geologisk beskrevne boringer indenfor hhv. 300 m og 1000 m af de enkelte lokaliteter opgjort i nedenstående tabel.

**Tabel 1. Antal geolog-beskrevne boringer indenfor 300 m og 1000 m**

Antal geolog-beskrevne boringer	Indenfor 300 m (andel lokaliteter, %)	Indenfor 1000 m (andel lokaliteter, %)
0	39 %	2 %
1	22 %	4,5 %
>=2	39 %	93,5 %

Heraf må det konkluderes, at det ved 39 % af lokaliteterne vil være nødvendigt at inddrage boringer fra afstande på mellem 300 og 1000 m for at sikre at geologisk karakteriserede boringer indgår i vurderingerne. Dette forhold indgår i forslaget til udtræksprocedure beskrevet i afsnit 6.

### 2.3. Fordeling af korte boringer

Med henblik på overordnet at vurdere dybden af de tilgængelige boringer er fordelingen af korte beskrevne boringer i Jupiter opgjort. I alt er der i Jupiter indberettet 179.841 beskrevne boringer (juni 2015), der indgår i analysen.

Andelen af korte boringer i Jupiter databasen kan ses i nedenstående Tabel 2:

**Tabel 2. Fordelingen af korte beskrevne boringer i Jupiter databasen.**

Boringsdybde	Kortere end 5 m	Kortere end 10 m	Kortere end 15 m	Kortere end 20 m	Kortere end 25 m
Andel i procent	8 %	20 %	31 %	47 %	56 %

Det fremgår at 8 % af samtlige geolog- og brøndborer-beskrevne boringer er kortere end 5 m. Ligeledes kan det konstateres at 20 % af de beskrevne boringer er kortere end 10 m, og at 56 % af de beskrevne boringer i Jupiter er kortere end 25 m.

Man må således antage, at ca. hver femte boring der vil indgå i beregningen af lertykkelse ved en kortlagt lokalitet vil være kortere end 10 m, hvilket der er forsøgt at tage højde for i sammenstillingen af dataanalyser og vurderinger under afsnit 5 og 6.

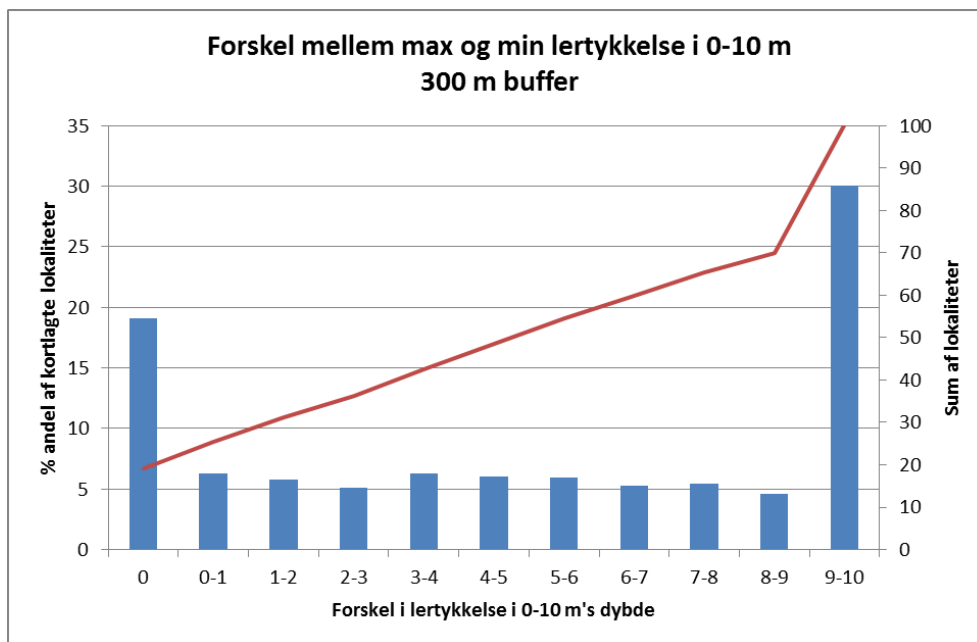
### 2.4. Variation af lertykkelser i 0-10 m's dybde

Med henblik på at vurdere hvor stor geologisk variabilitet der kan forventes indenfor hhv. 300 og 1000 m er minimum og maksimum lertykkelse i den øverste 10 m lagserie beregnet indenfor hhv. 300 m og 1000 m fra lokaliteterne. Analysen er gennemført med beskrevne boringer, der har en boreddybde større eller lig 10 m. Der er ved den illustrerede forskel mellem max. og min. lertykkelse, se Figur 7 og Figur 8, endnu ikke taget stilling til hvorvidt enkelte upålidelige boretyper (såsom DAPCO boringer) skal udgå.

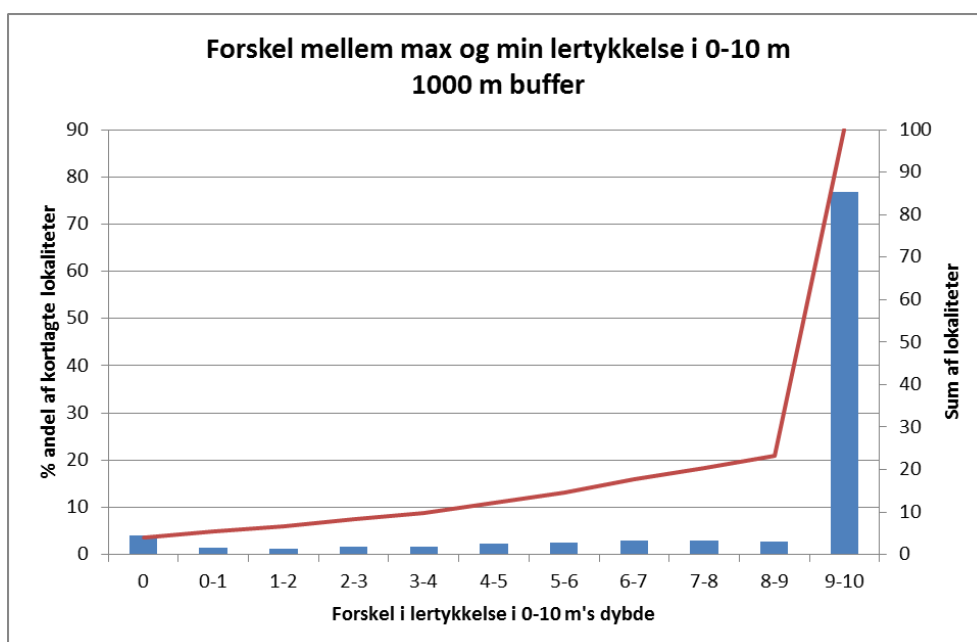
Variationen af lertykkelser indenfor 300 m zonen er vist på Figur 7, hvor hovedkonklusionen er, at der ved 30 % af lokaliteterne findes boringer med både 0 og 10 meter ler (altså vidt forskellig geologi) indenfor 300 m. Boringsgrundlaget til vurderingen af lertykkelse varierer fra 71 boringer ved de lokaliteter med flest boringer, og ned til 2 boringer ved de lokaliteter hvor der indgår færrest.

Resultaterne fra analysen inden for 1000 m bufferzonen er vist Figur 8. Her ses, at mere end 85 % af lokaliteterne viser boringer med både 0 m og 10 m ler, hvilket kraftigt antyder stor variation i geologien i de øverste 10 m indenfor 1000 m. Boringsgrundlaget til vurderingen af lertykkelsen varierer fra 172 boringer ved de lokaliteter med flest boringer, og ned til 2 boringer ved de lokaliteter hvor der indgår færrest. Det vurderes på grundlag af resultaterne, at der ved ca. halvdelen af lokaliteterne i 300 m zonen findes under 5 m's forskel mellem største og mindste lertykkelse, hvilket indikerer en mere ensartet lithologi.

De observerede variationer i lertykkelser indenfor 300 og 1000 m underbygger vigtigheden af at implementere geologisk heterogenitet i screeningsværktøjet, og at beregning af lertykkelser så vidt muligt bør foregå indenfor 300 m. Den opnåede viden indgår i oplægget til kriterier for udsøgning af boringsdata til beregning af lertykkelser, se afsnit 6.



Figur 7. Diagrammet viser den procentvise fordeling af lokaliteter som funktion af forskellen mellem max. og min. beregnet lertykkelse indenfor 300 m. De blå søjler angiver den %-vise andel af lokaliteter indenfor de enkelte intervaller. Den røde linje markerer den kumulative sum af lokaliteter (i %) og relaterer sig til den højrestillede y-akse.



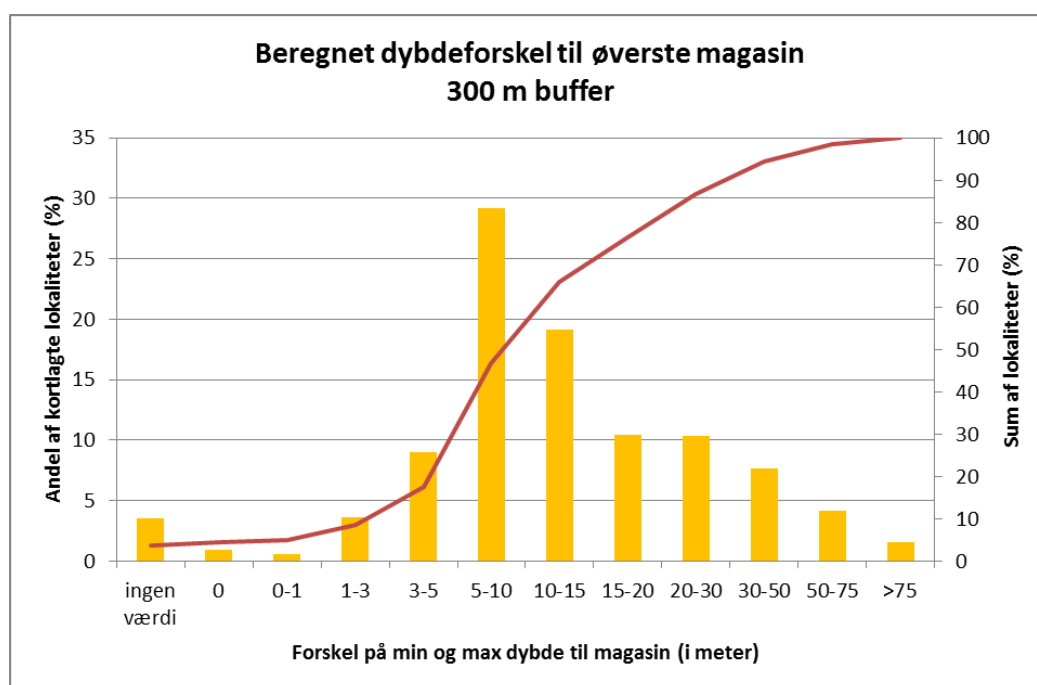
Figur 8. Diagrammet viser den procentvise fordeling af lokaliteter som funktion af forskellen mellem max. og min. beregnet lertykkelse indenfor 1000 m. De blå søjler angiver den %-vise andel af lokaliteter indenfor de enkelte intervaller. Den røde linje markerer den kumulative sum af lokaliteter (i %) og relaterer sig til den højrestillede y-akse.

### 2.5. Dybde til øverste grundvandsmagasin (i DK modellen)

På baggrund af lagene i Den Nationale Vandressourcemodel (DK modellen) er der udarbejdet et tema for dybden til toppen af det øverste grundvandsmagasin defineret ud fra kriterier opsat i forbindelse med udpegning af grundvandsforekomster i Danmark /3/.

Dybdekortet for det øverste grundvandsmagasin er et sammensat tema af de øverste definerede grundvandsforekomster i DK modellen. Dette betyder, at der indenfor 300 og 1000 m også kan forekomme forskellige dybder til det øverste grundvandsmagasin fra terrænniveau, hvis et defineret magasin f.eks. kiler ud og et andet dybereliggende magasin dermed bliver det øverste.

På denne baggrund er der derfor foretaget en analyse af variabiliteten i dybden til øverste grundvandsmagasin. Dette er gjort ved at udsøge mindste og maksimale dybde til øverste grundvandsmagasin i 300 m zonen, og illustrere forskellen mellem mindste og største dybde, se Figur 9.



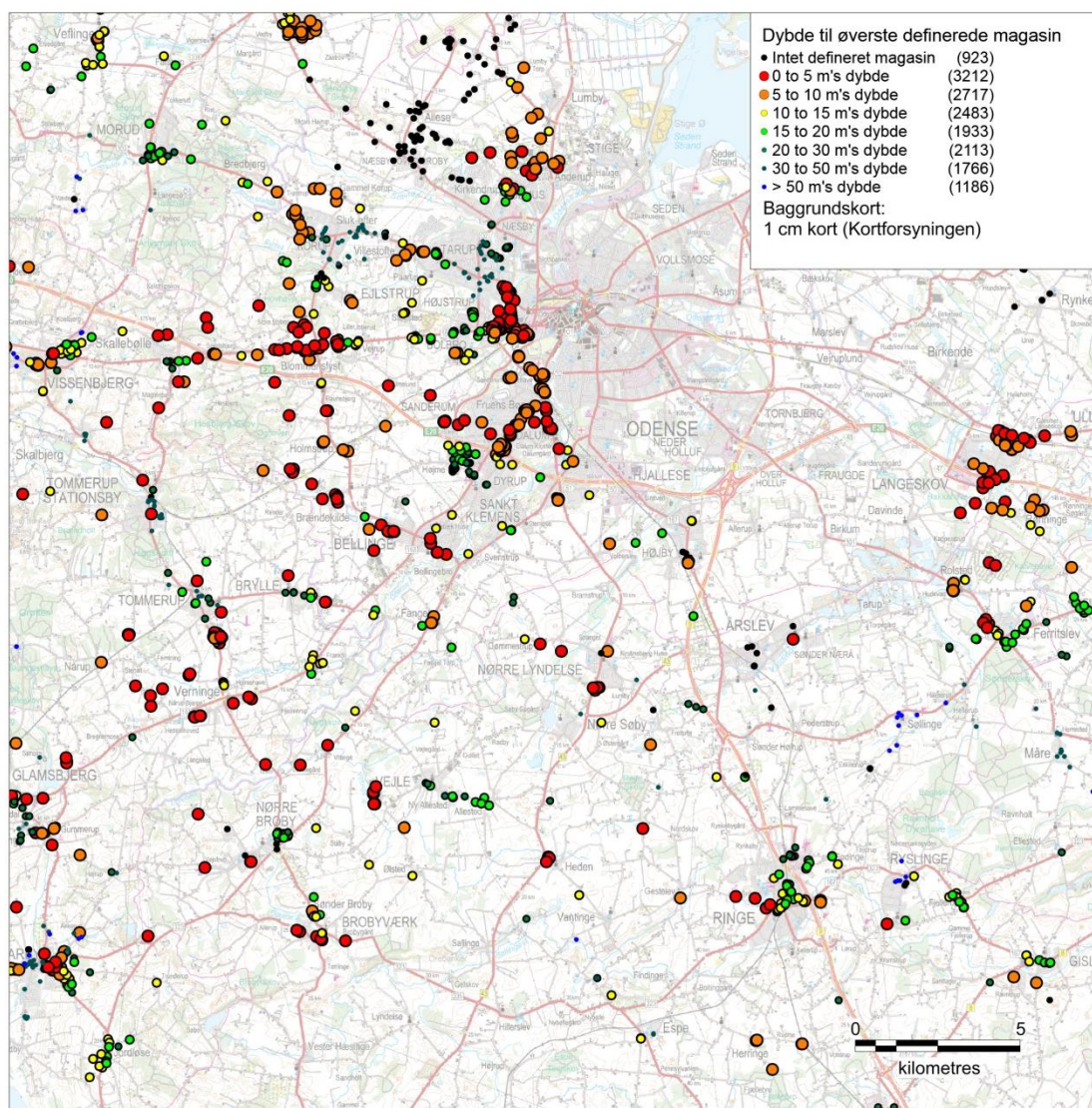
Figur 9. Forskellen på dybden til det øverste grundvandsmagasin i DK modellen indenfor 300 m til kortlagt lokalitet. De gule søjler angiver den %-vise fordeling af lokaliteter indenfor intervallet, mens den røde linje repræsenterer den kumulative sum af lokaliteter og relaterer sig til den højrestillede y-akse.

Det fremgår af Figur 9, at der ved ca. 50 % af lokaliteterne ses en forskel i dybden til øverste magasin på mere end 10 m indenfor 300 m, hvilket er en udfordring i henhold til at beregne lertykkelser over øverste grundvandsmagasin.

Nedenstående Figur 10 viser et udsnit af dybden til øverste grundvandsmagasin i området omkring Odense, hvor også dybden til magasinet er tematiseret ud fra de kortlagte lokaliteters centerpunkter. Kortet illustrerer ligeledes, at der kan forekomme ændringer i dybden til grundvandsmagasinet indenfor forholdsvis korte afstande.

For at opnå en robust og konservativ beregning af lertykkelser foreslår vi, at det altid er den *mindste dybde* til grundvandsmagasinet, der bør indgå som beregningsgrundlag. Dvs. der skal ved udtrækket gennemføres en konsekvent beregning af den mindste dybde til det øverste grundvandsmagasin i DK-modellen indenfor

300 m zonen, som så tilskrives den enkelte kortlagte lokalitet. Oplægget fremlægges i afsnittet ”vurderinger og anbefalinger”, se afsnit 6.



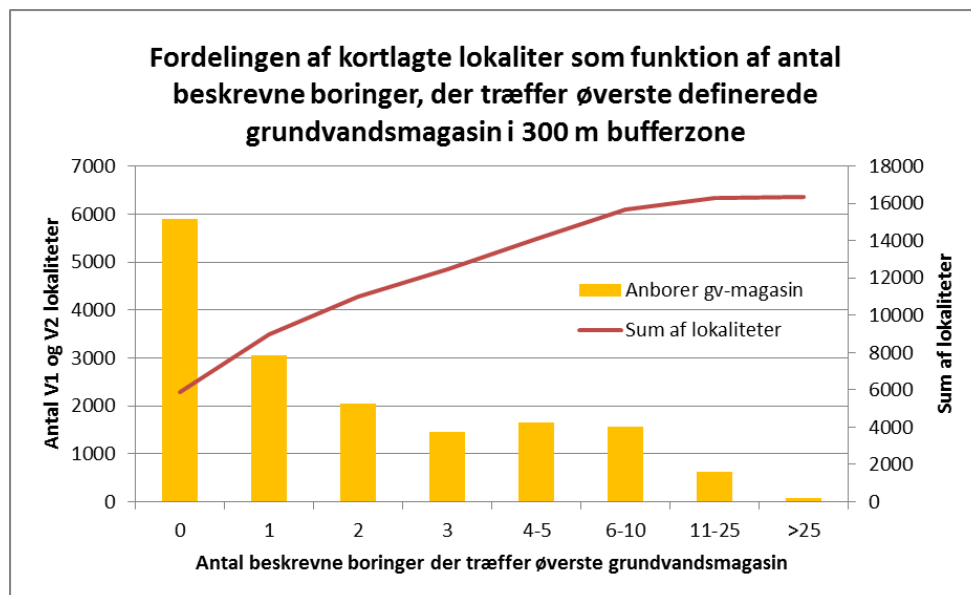
Figur 10. Dybden (m) til øverste grundvandsmagasin i DK modellen vist i et udsnit fra området omkring Odense på Fyn. Punkterne repræsenterer centerpunkter for de kortlagte V1 og V2 lokaliteter. Legenden øverst til højre angiver intervaller for dybden til øverste grundvandsmagasin.

I bilag 1 er der ved udvalgte testlokaliteter i OSD eller indvindingsoplande udenfor OSD, foretaget en sammenligning mellem eksisterende geologisk viden på lokaliteterne og beregningerne fra DK modellen. Dette er gjort for ved stikprøve at se hvor godt DK modellen beskriver de lokale geologiske forhold. Se mere en indgående beskrivelse af testlokaliteter under bilag 2.

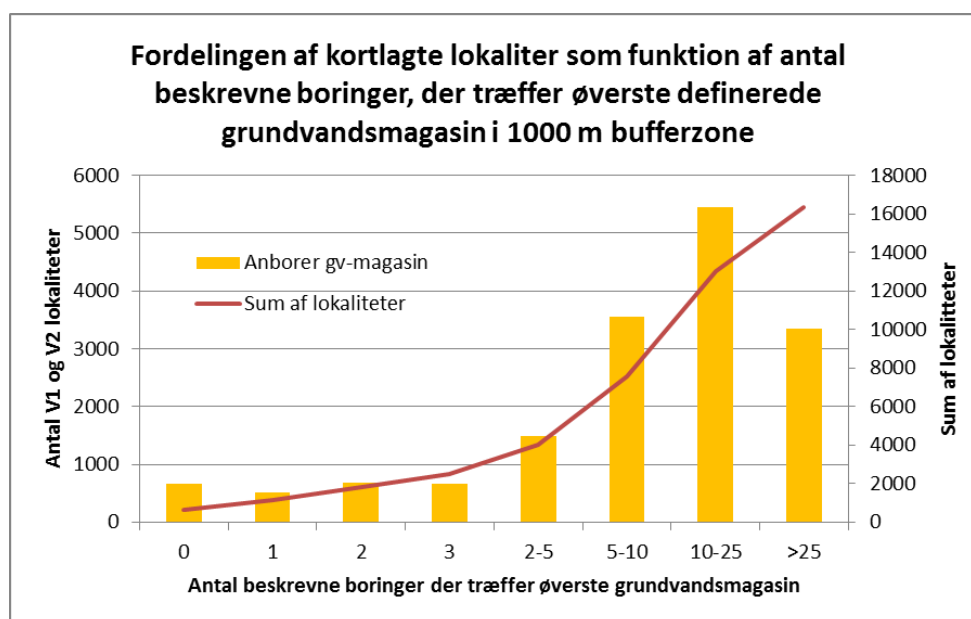
### 2.6. Boringer der når øverste grundvandsmagasin (i DK modellen)

Da en risikovurdering i forhold til grundvandet er det primære sigte med det forestående arbejde er det vigtigt så vidt muligt at have boringsoplysninger om hele lagfølgen ned til det øverste grundvandsmagasin på lokaliteten. Med henblik på at undersøge hvorvidt dette er muligt, er der foretaget en opgørelse af antallet af boringer nær den enkelte lokalitet, der træffer øverste grundvandsmagasin (i DK modellen).

På de følgende to figurer, Figur 11 og Figur 12, er der vist en fordeling af borer, som træffer toppen af DK modellens øverste grundvandsmagasin indenfor hhv. 300 m og 1000 m bufferzone.



Figur 11. Antal kortlagte lokaliteter som funktion af antal beskrevne borer indenfor 300 m, der træffer øverste grundvandsmagasin (DK modellen).



Figur 12. Antal kortlagte lokaliteter som funktion af antal beskrevne borer indenfor 1000 m, der træffer øverste grundvandsmagasin (DK modellen).

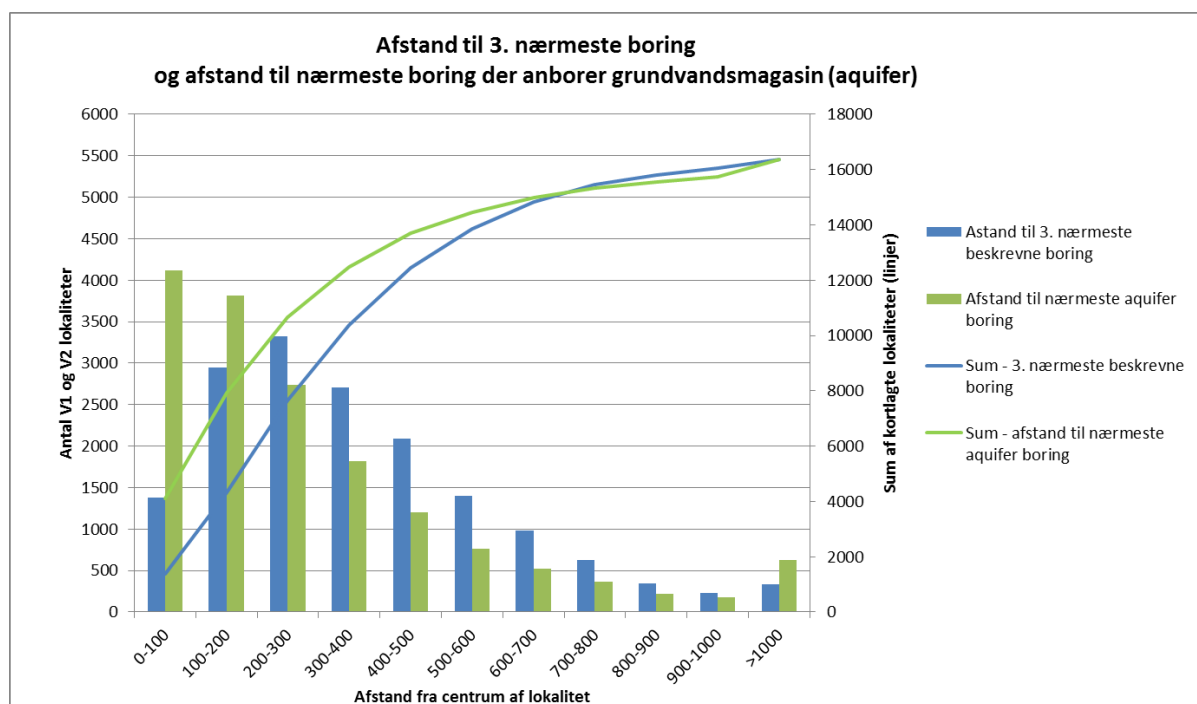
Af Figur 11 ses det, at 5889 (36 %) af lokaliteterne indenfor en afstand af 300 m ikke indeholder en beskrevet boring, der træffer toppen af øverste grundvandsmagasin, mens 64 % af lokaliteterne har sådanne borer indenfor 300 m.



Figur 12 viser at blot 667 (4 %) af lokaliteterne ikke har en boring som når øverste grundvandsmagasin indenfor 1000 m mens 14.622 (89 %) af alle lokaliteter har 3 eller flere boringer som når øverste grundvandsmagasin i DK modellen. Dette forhold er taget i betragtning i forslag til kommende udtræksprocedure beskrevet i afsnit 6.

### 2.7. Supplerende afstandsberegninger

Med henblik på at kunne vurdere hvor langt man skal ud for at få tilstrækkelig med boringsinformation til en risikovurdering baseret på boredata er der udført afstandsberegninger. Der er lavet en beregning fra centrum af den enkelte kortlagte lokalitet til 3. nærmeste beskrevne boring og for afstanden til den 1. boring, der træffer det øverste grundvandsmagasin i DK modellen, jf. afsnit 2.3. De beregnede afstande er vist på Figur 13 nedenfor. Afstandene er opgjort i afstandsgrupper der dels ses som søjler og dels som kumulative kurver. Afstandsgrupperne 0- 100 m viser at 1378 lokaliteter har under 100 m til den 3. nærmeste boring, mens 4121 lokaliteter har under 100 m til den nærmeste boring som træffer det øverste definerede grundvandsmagasin. Den kumulative sum af afstandsgrupperne refererer til den højre y-akse, og heraf kan f.eks. aflæses at ca. 15.000 (ca. 92 %) af lokaliteterne har tre beskrevne boringer indenfor 700 m radius. Det kan dermed konkluderes, at der i langt de fleste tilfælde vil være tilstrækkeligt med boringer indenfor 1000 m til at foretage en risikovurdering ud fra boredata. Denne viden indgår i nedenstående forslag til fremgangsmåde ved udtræk af boringer, se afsnit 6.



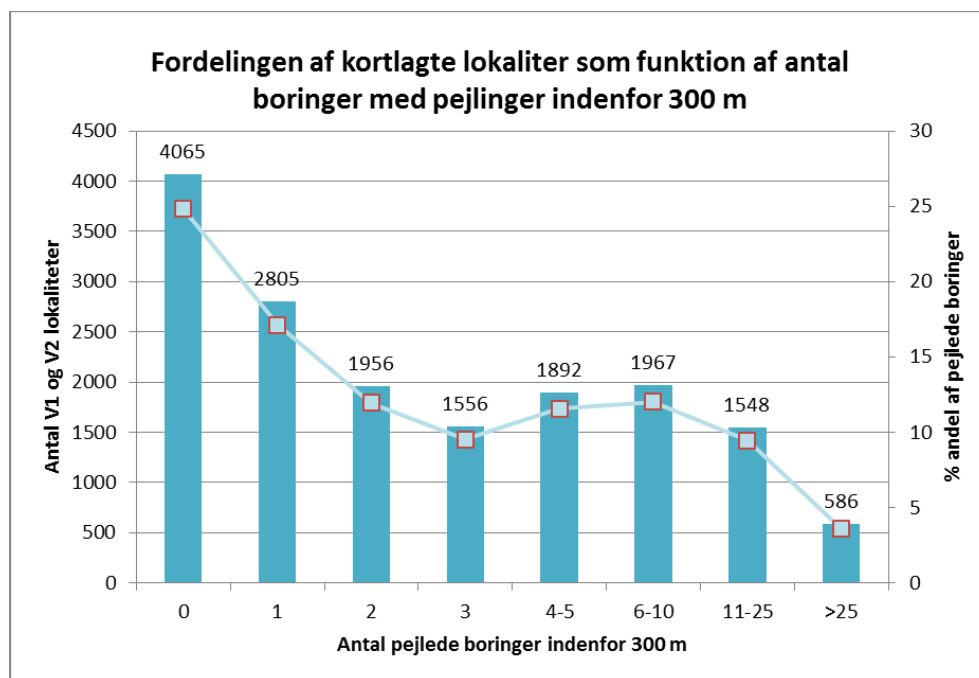
Figur 13. Figuren viser hhv. lokaliteters afstand til 3. nærmeste boring (blå) og afstand til 1. boring der træffer øverste grundvandsmagasin (i DK-modellen). Antallet af lokaliteter er vist fordelt i afstandsintervaller (i meter). Ligeledes ses den kumulative sum af afstandsgrupperne med reference til højre y-akse.

## 2.8. Analyse af boringer med pejledata

Med henblik på at opnå et overblik over antallet af pejlede boringer i umiddelbar nærhed af de enkelte lokaliteter er boringer med pejledata udsøgt indenfor hhv. 300 m og 1000 m. Formålet med analysen er overordnet at vurdere datagrundlaget i form af vandspejlsværdier, der kan benyttes til vurdering af tykkelsen af den umættede zone ved den enkelte lokalitet.

Opgørelserne omfatter samtlige boringer, og der er ikke udsøgt på filtersætning eller opsat kriterier for kvaliteten af pejledata. Resultaterne er dermed bruttoopgørelser der kan benyttes til overordnet at vurdere mængden af tilgængelige vandspejlsdata nær lokaliteterne.

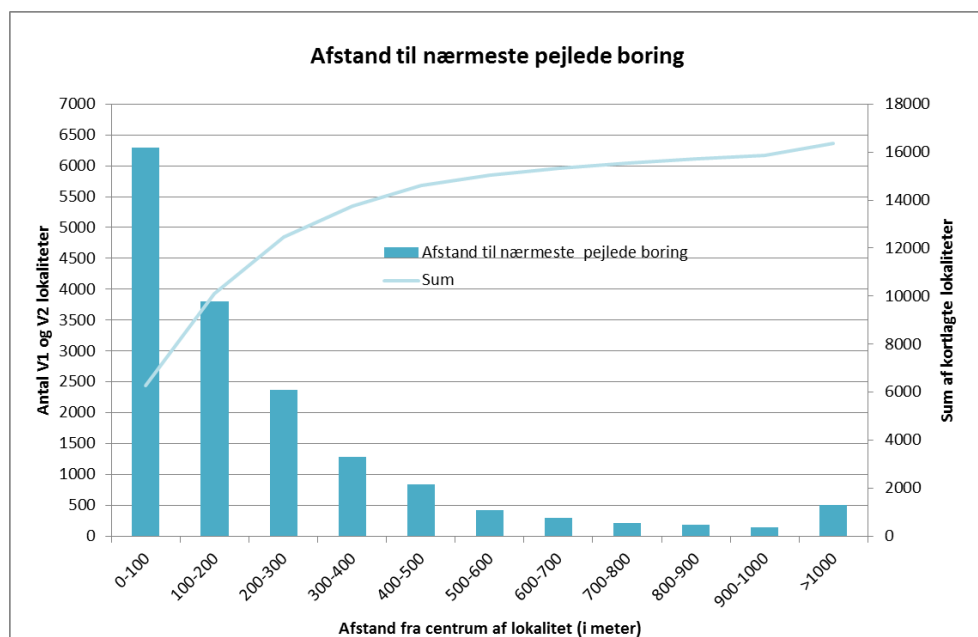
Nedenstående Figur 14 viser antallet af pejlede boringer indenfor 300 m som funktion af antallet af kortlagte lokaliteter. Det fremgår her, at der ved 4065 (25 %) lokaliteterne ikke er registreret pejlede boringer indenfor 300 m. 13 % af lokaliteterne har mere end 10 pejlede boringer indenfor 300 m. Pejlingerne kan dog repræsentere forskellige magasiner/grundvandsforekomster. Ligeledes har boringernes tilpasning til terrænniveau betydning for pålideligheden af de enkelte pejleværdier, da nogle boringer vil har en unøjagtig terrænkote, der forplanter sig til den beregnede vandspejlsværdi.



Figur 14. Antallet af lokaliteter med pejlede boringer indenfor 300 m. Søjlerne angiver antal lokaliteter med pejlede boringer opgjort på intervaller. Den blå linje angiver den %-vise fordeling af lokaliteter indenfor intervallerne og refererer til den højrestillede y-akse.

Den samme opgørelse er gennemført indenfor en 1000 m zone. De væsentlige resultater er her, at 541 (3 %) lokaliteter ikke har boringer med pejledata indenfor 1000 m. Tilsvarende har 64 % af lokaliteterne mere end 10 pejlede boringer. Pejlingerne kan dog, som nævnt, repræsentere forskellige magasiner/grundvandsforekomster.

På Figur 15 ses en opgørelse af afstanden til den nærmeste pejlede boring fra enkelte lokalitets centerpunkt. Af diagrammet fremgår det, at 6289 lokaliteter (hvilket er 38 %) har under 100 m til nærmeste pejlede boring, mens 12.468 (76 %) har under 300 m til nærmeste pejlede boring.



Figur 15. Afstanden til den nærmeste pejlede boring fra centrum af lokalitet. Linjen angiver den kumulative sum af kortlagte lokaliteter. Det ses, at ca. 6300 lokaliteter har under 100 m til nærmeste pejlede boring.

Resultaterne viser, at et stort antal lokaliteter har mere end 100 m til nærmeste pejlede boring. Antallet af pejlinger skal dog ses som et bruttotal, hvor der ikke er taget hensyn til: Boringens filtersætning, alderen af den seneste pejling eller antal pejlinger i boringen. Dette er forhold der vil betyde, at nogle pejlede boringer vil udgå fra bruttoresultatet.

Under afsnit 6 – Vurderinger og anbefalinger – vurderes en anvendelse af udtræk af pejledata fra Jupiter sammenholdt med muligheden for alternativt at anvende udtræk fra vandspejlsdata fra potentialekort i DK modellen.

### 3. Geologisk heterogenitet

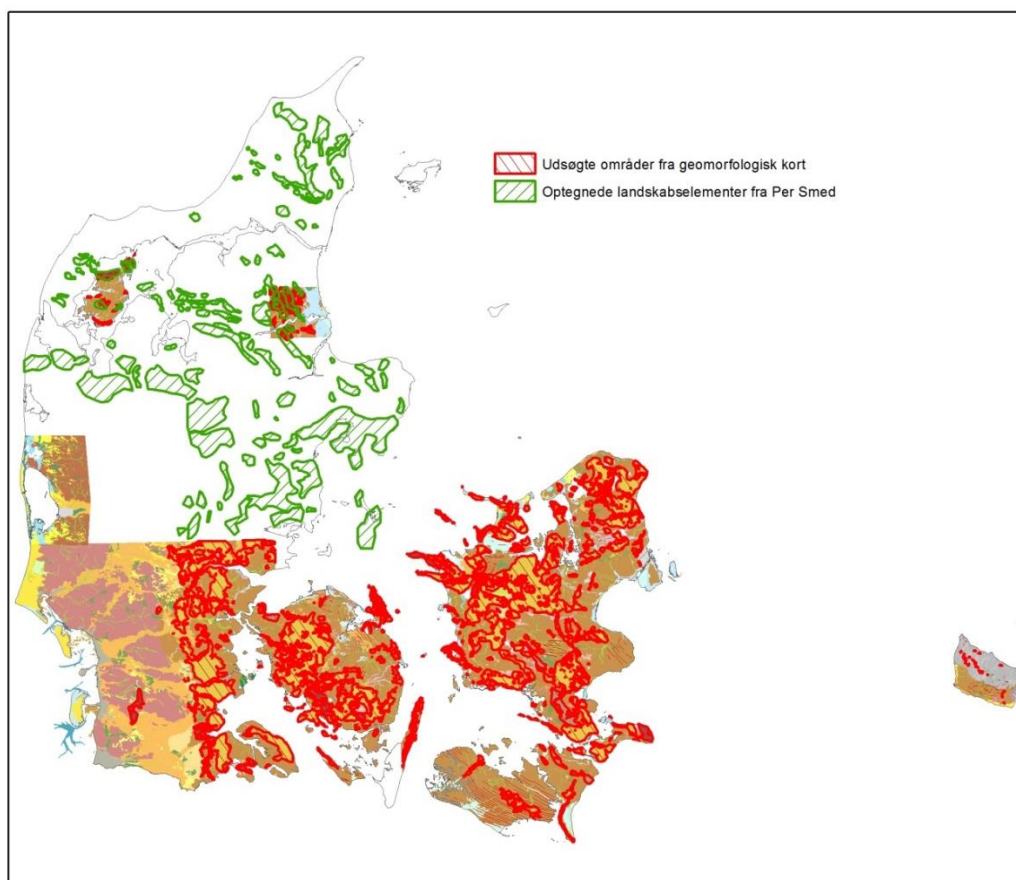
Den overfladenære geologi i Danmark og dermed de lag som en potentiel forurening vil kunne sive igennem, på vej til grundvandsmagasinerne, er mange steder dannet ved istidsprocesser og kan derfor variere meget over korte afstande. Graden af variation i jordlagene betegnes som geologisk heterogenitet. Mange steder kan man imidlertid ud fra landskabsformerne få en indikation af om der i et område er særlig stor risiko for at der træffes vekslende, skråtstillede lag som hurtigere vil kunne føre en forurening ned til grundvandsmagasinerne.

Med henblik på at vurdere om en forurennet lokalitet ligger i et område med øget risiko for mulig nedsivning er der udarbejdet et temakort over landskabstyper med forventet høj geologisk heterogenitet.

I opgørelsen er inddraget landskabselementer fra geomorfologiske kort som giver overordnet information om glacialtekonisk forstyrrede områder og andre områder med heterogen geologi, såsom dødislandskaber.

Datagrundlaget er GEUS' geomorfologiske kort, der p.t. er under udarbejdelse og foreløbigt dækker det østlige Danmark, Fyn og den sydlige del af Jylland. Endvidere er Per Smeds landskabskort /1/ anvendt i de øvrige områder.

De udsøgte landskabselementer fra det geomorfologiske kort og optegnede landskabstyper fra Per Smeds landskabskort er vist på nedenstående Figur 16.

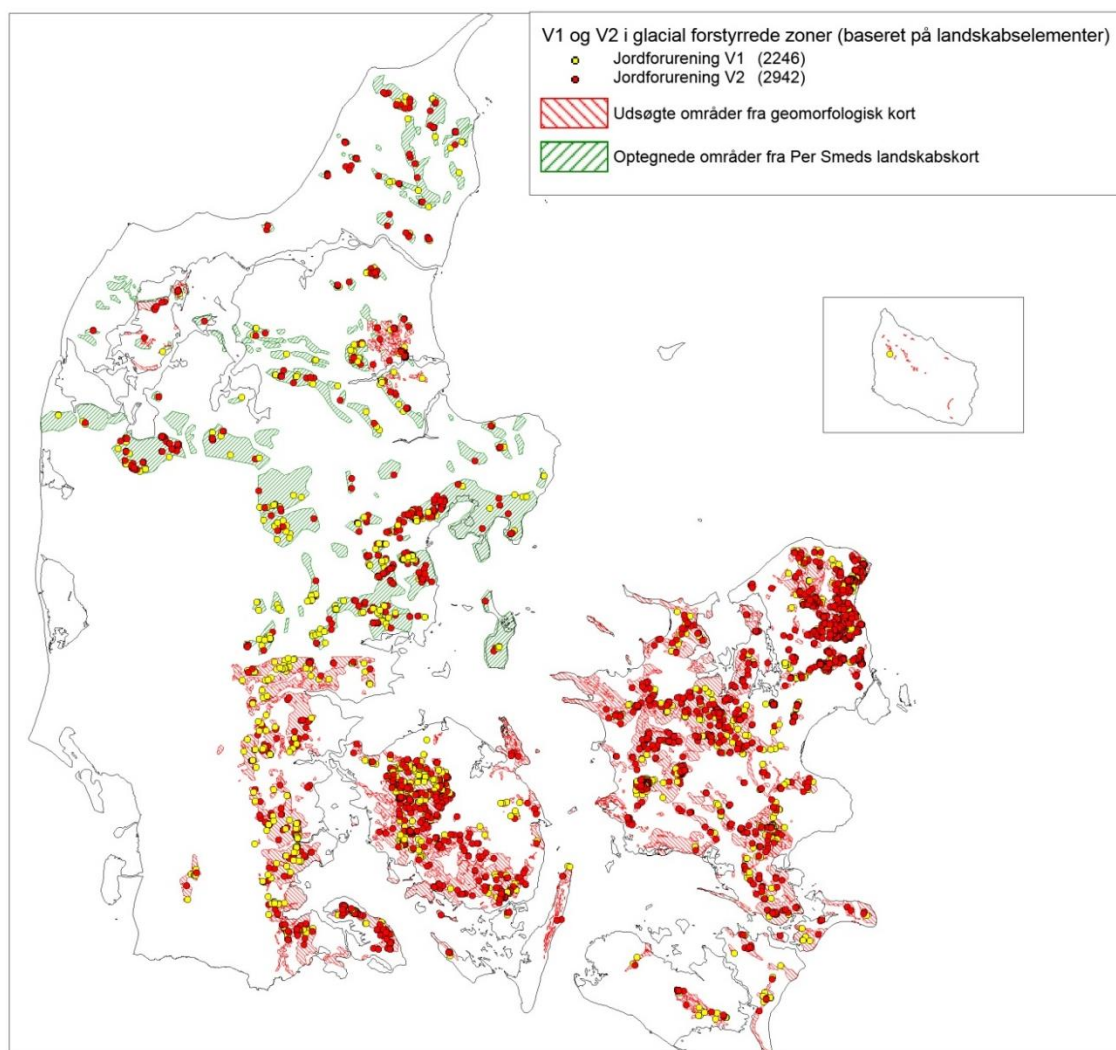


Figur 16. Med røde områder ses udsøgte landskabselementer (randmoræne og dødispræg) fra det foreløbige geomorfologiske kort for Danmark. Grønne skraverede områder angiver randmorænezoner og landskaber med dødispræg optegnet ud fra Per Smeds landskabskort /1/. Det foreløbige geomorfologiske kort for Danmark er vist som baggrundstema.

Det skal bemærkes, at landskabselementer er klassificeret ud fra terrænformerne (geomorfologien), og anvendelse af landskabselementerne derfor ikke tager højde for glacialtektonisk forstyrret geologi, som ikke giver sig til kende i landskabsformerne.

### 3.1. Lokalteter indenfor landskaber med kompleks geologi

Nedenstående Figur 17 viser udsøgningen af V1 og V2 lokaliteter der vurderes at ligge i områder med forstyrret geologi, hvor der kan forventes skråtstillede og varierende geologiske lag.



Figur 17. Fordelingen af V1 og V2 lokaliteter inden for tolkede landskabselementer med randmoræne- og dødispræg.

Udsøgningen af V1 og V2 kortlagte lokaliteter har vist:

- 2246 V1 lokaliteter er fundet indenfor områder med forventet glacial forstyrret lagfølge.
- 2942 V2 lokaliteter er fundet indenfor områder med forventet glacial forstyrret lagfølge.
- I alt **5188** kortlagte lokaliteter ud af 16.375 – svarende til **32 %**.

## 4. Geofysiske data (GERDA)

I forbindelse med den nationale grundvandskortlægning er der indenfor de senere år mange steder i OSD udført tæt fladedækkende kortlægning af geologiske forhold med geofysik. På den baggrund er der udført en analyse af, hvor det vil kunne være relevant at inddrage eksisterende geofysik, som følge af mangel på beskrevne boredata.

I lighed med boringsanalysen, afsnit 2, udsøges geofysiske data indenfor en inderzone med radius på 300 m og en yderzone med en radius på 1000 m.

### 4.1. Det geofysiske datagrundlag

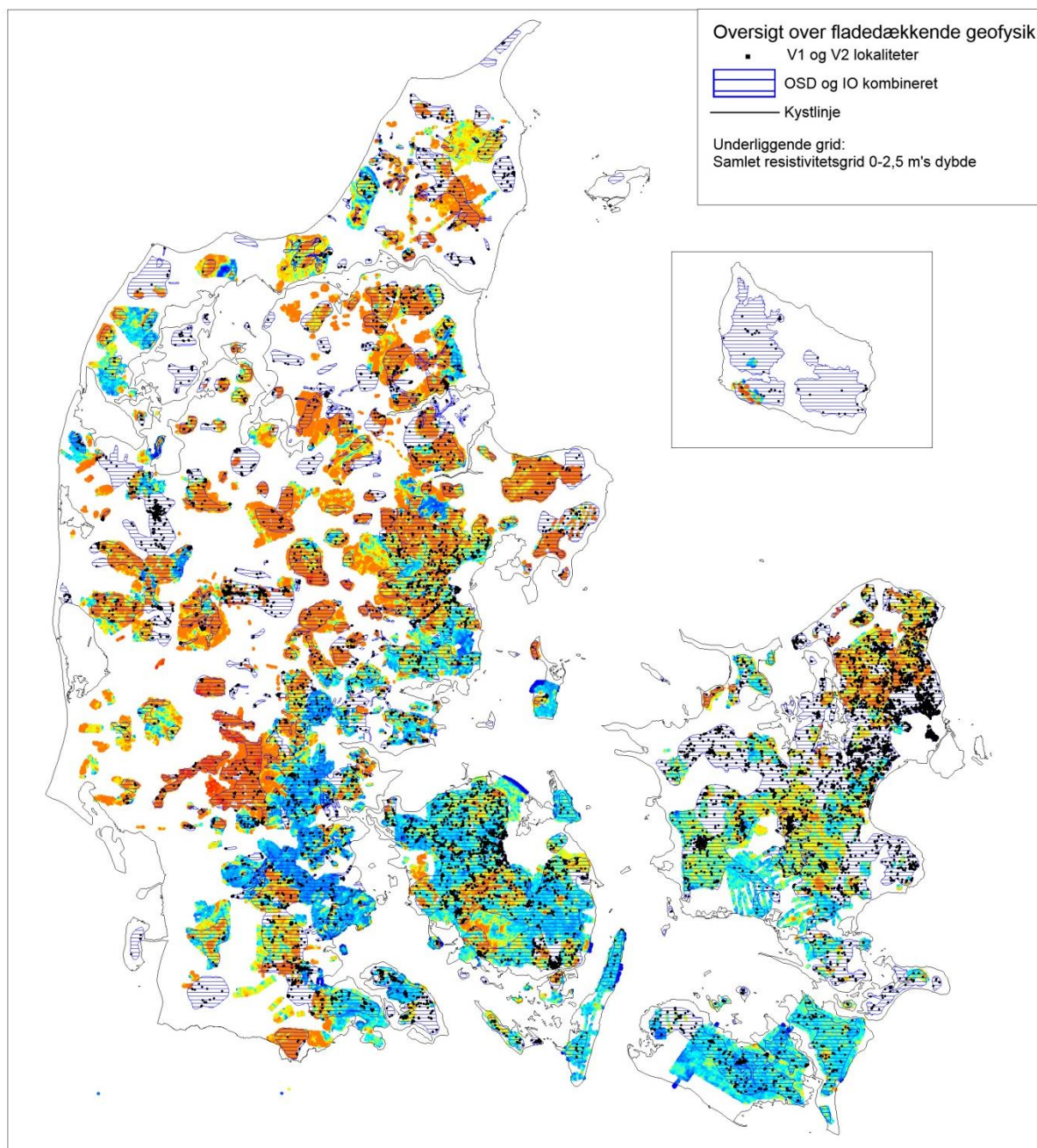
Det geofysiske datagrundlag udgøres af en landsdækkende udsøgning i Gerda ved et aktivt valg af følgende kortlægningsmetoder (Prioriteret rækkefølge):

- PACES ("Slæbegeoelektrik")
- MEP (Multi Elektrode Profilering)
- SkyTEM (transient elektromagnetiske sonderinger)

De tre geofysiske målemetoder er valgt ud fra, at der skal være en tilstrækkelig vertikal opløselighed af de øvre jordlag. Udvælgelsen baserer sig på de enkelte geofysiske målemetoders styrker og tests ved udvalgte testlokaliteter, hvilket er uddybet i et forprojekt til GrundRisk - delprojekt 1, se notat vedr. de indledende test og resultater af geofysik og boringer der er vedlagt som bilag 2.

PACES metoden giver en god opløsning af de øverste ca. 10-15 m af lagserien og anvendes primært til sårbarhedskortlægning. MEP metoden har en større indtrængningsdybde på ned til ca. 50 m's dybde under optimale forhold, og benyttes i kortlægning af sårbarhed og grundvandsmagasiner. SkyTEM er en udbredt geofysisk metode der benyttes til grundvandskortlægning, og hvor især de nyere 2. generations SkyTEM kortlægninger viser en forholdsvis god opløsning af den øvre del af geologien.

Der er på baggrund af udtræk fra den landsdækkende geofysiske database GERDA genereret et samlet fladedækkende resistivitetsgrid for de udsøgte geofysiske data, hvilket ses på Figur 18. På figuren ses ligeledes de kortlagte lokaliteter samt OSD og indvindingsoplande udenfor OSD.



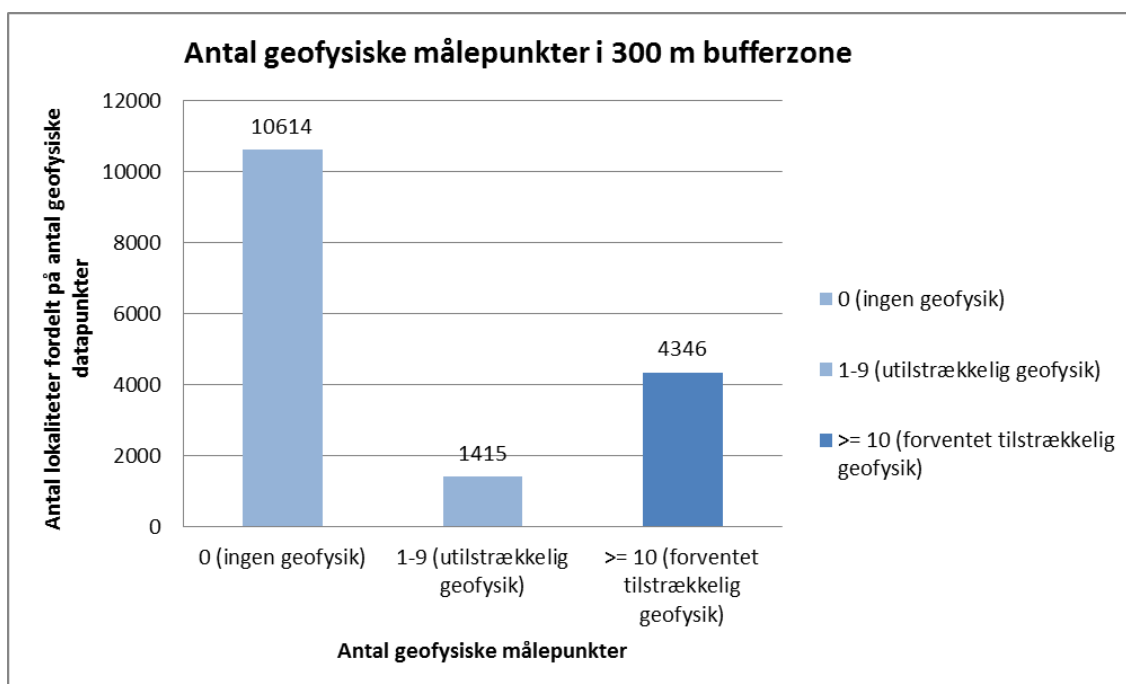
Figur 18. Fordelingen af forventet anvendelig geofysik på landsplan. De kortlagte områder er vist med et udvalgt resistivitetsgrid for 0-2,5 m (farvet-baggrund). Blå farver angiver lave modstande (forventede lerede sedimenter), mens højere (geofysiske modstande) er vist med orange-rødlige farver (forventede sandede/grusede sedimenter). V1 og V2 lokaliteter er angivet med sorte punkter.

#### 4.2. Lokalteter med nærliggende geofysik

Med henblik på at finde lokaliteter hvor geofysikken vil kunne bidrage ved en risikovurdering, er antallet af geofysiske målinger (målepunkter) indenfor en afstand på 300 m beregnet, se Figur 19.

Det vurderes i den sammenhæng at lokaliteter med  $\geq 10$  geofysiske målepunkter vil give et tilstrækkelig robust geofysisk databidrag. Det ses af grafen på Figur 19, at 4346 lokaliteter har  $\geq 10$  geofysiske punktdata

indenfor 300 m og dermed umiddelbart har et tilstrækkelig datagrundlag til at geofysikken kan inddrages i en risikovurdering.



Figur 19. Antallet af geofysiske målepunkter i 300 meter fordelt på kortlagte lokaliteter. Der er fundet 4346 lokaliteter med 10 eller flere geofysiske målepunkter indenfor 300 m.

Dette resultat indgår i nedenstående forslag til udtræk af data til risikovurderinger, se afsnit 6.



## 5. Sammenstilling af dataanalyser – nøgletal

På baggrund af dataanalyserne er lokaliteterne inddelt i tre kategorier ud fra kvaliteten af boredata og beliggenhed af boringen omkring den enkelte lokalitet: Lokaliteter med gode boredata, lokaliteter med medium kvalitet boredata og lokaliteter med svage boredata.

Nedenfor er givet en forklaring på de kriterier der ligger til grund for klassificeringen af de enkelte lokaliteter i enten god, medium eller svag. Kriterierne er angivet i Tabel 3.

### *Lokaliteter med gode boredata*

Lokaliteter med gode boredata er defineret ud fra to faste kriterier der begge skal være opfyldt:

- Der skal være mindst 4 beskrevne boringer indenfor 300 m.  
**og**
- Der skal være mindst 2 beskrevne boringer der træffer det øverste grundvandsmagasin indenfor 300 m.

Hermed vurderes den nære geologi ned til øverste grundvandsmagasin i de fleste tilfælde at være rimelig velbeskrevet, idet kravet om 4 boringer sikrer at der er data til at vurdere hvor meget geologien varierer tæt på lokaliteten. Kravet om at mindst 2 af boringerne skal træffe det øverste grundvandsmagasin sikrer en mere robust vurdering af geologien i dybden.

### *Lokaliteter med medium kvalitet boredata*

Lokaliteter kategoriseret med boredata af medium kvalitet er udvalgt ud fra to faste kriterier, der begge skal være opfyldt:

- Der skal være mindst 2 beskrevne boringer indenfor 300 m  
**og**
- Der skal være mindst 1 beskrevet boring der træffer grundvandsmagasin indenfor 1000 m fra lokaliteten.

Kriterierne sikrer, at der med mindst 2 beskrevne boringer indenfor 300 m opnås et forventet acceptabelt datagrundlag. Herudover stilles krav om, at der findes mindst 1 boring, der træffer grundvandsmagasinet indenfor 1000 meter.

### *Lokaliteter med svage boredata*

Lokaliteter med svage boredata indeholder de resterende lokaliteter der ikke opfylder kriterierne for god og medium.

Det er gældende for lokaliteterne i denne klasse, at der findes ingen eller kun 1 beskrevet boring indenfor 300 m. Vi vurderer derfor, at det ved et sådant ringe boringsgrundlag er nødvendigt at inddrage oplysninger om lagfølgen fra DK modellen. Det foreslås at lagfølgeoplysningerne fra DK modellen indgår som en "pseudo"-boring, der beskriver den fordeling af ler og sand inddeling som er tolket i DK modellen. Vægtning af DK modellen vil afhænge af det antal reelle boringer, der findes inden for 1000 m bufferzonen, se afsnit 6. Der er fundet 43 lokaliteter uden beskrevne boringer indenfor 1000 m bufferzonen. I disse tilfælde vil DK-modellen vægte 100 % i sårbarhedsudtrækket.

For at styrke beslutningsgrundlaget ved datasvage lokaliteter foreslås det endvidere, at det ved dataudtrækket anføres om der indenfor 300 m fra en datasvag lokalitet er geofysiske data som muligvis ville kunne forbedre grundlaget for en risikovurdering.

### Klasseinddeling af lokaliteter

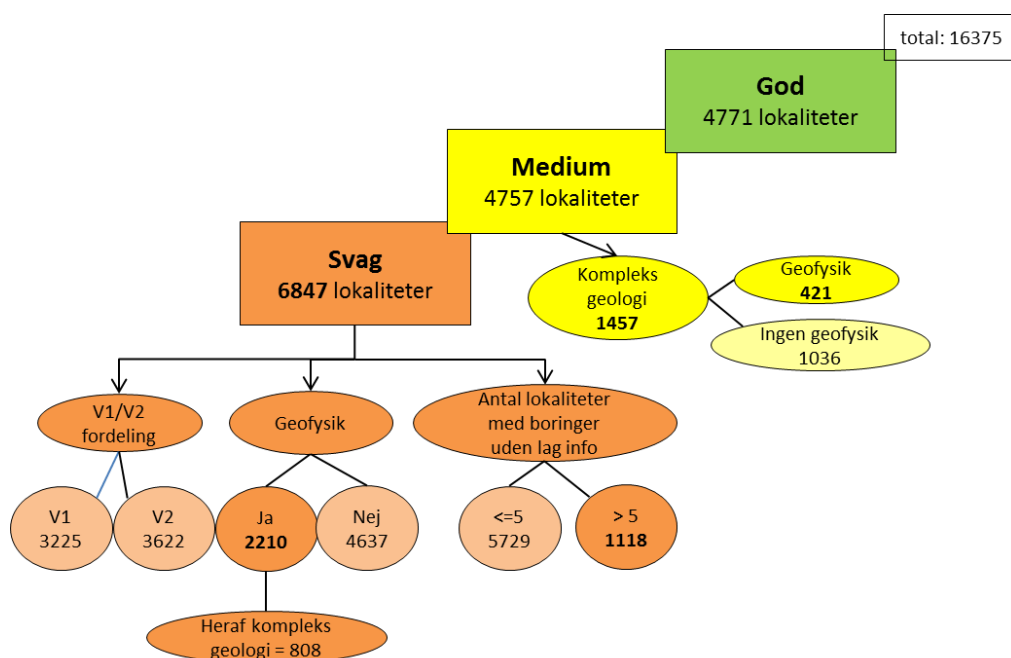
	Lokaliteter med <b>gode</b> boredata	Lokaliteter med <b>medium</b> boredata	Lokaliteter med <b>svage</b> boredata
Kriterier	Mindst 4 beskrevne borer i 300 m bufferzone	Mindst 2 beskrevne borer i 300 m bufferzone.	Klassen omfatter de resterende lokaliteter, der ikke opfylder kriterierne for under god og medium
	<b>Og</b>	<b>Og</b>	
	Mindst 2 beskrevne borer der træffer grundvandsmagasinet indenfor 300 m bufferzone	Nærmeste beskrevne boring der træffer grundvandsmagasinet indenfor 1000 m bufferzone.	

Tabel 3. Kriterier til klassificering af lokaliteter i de tre kategorier god, medium eller svag.

#### 5.1. Nøgletal fordelt på valgt klasseinddeling

På grundlag af de inddelte klasser er der beregnet forskellige nøgletal til at beskrive antallet af lokaliteter med hhv. gode, medium eller svage boredata.

I nedenstående diagram, Figur 20, er angivet en oversigt over hvordan disse nøgletal fordeler sig:



Figur 20. Angivelse af nøgletal fordelt indenfor de tre klasser, der beskriver datakvalitet og datatæthed af borer på grundlag af opsatte kriterier.

Ud fra Figur 20 ses det, at andelen af lokaliteter med gode boredata udgør 4771 ud af 16.375 lokaliteter, hvilket er 29 %.

Klassen med en medium kvalitet af boringsdata udgør ligeledes 29 % (4757), hvor af 1457 lokaliteter er placeret i områder med kompleks geologi. Der er fundet geofysik ved 421 af disse lokaliteter.

Der er beregnet 6847 lokaliteter med "svage" boringsdata, hvilket er en andel på 42 % af det totale antal lokaliteter. Heraf ligger 2491 desuden i områder med forventet kompleks geolog og 2210 af de "datasvage" lokaliteter findes i områder med geofysik.

Der er desuden på 1118 "datasvage" lokaliteter fundet mere end 5 ubeskrevne boringer indenfor 300 m. Dette kan indikere, at der på de pågældende lokaliteter er fortaget kortlægning/foreningsundersøgelser, hvor jordprøvebeskrivelser ikke er indberettet til Jupiter.

## 6. Vurderinger og anbefalinger

På baggrund af den forudgående analyse og klassificeringen af datakvalitet ved de enkelte lokaliteter gives i dette afsnit forslag til hvilke boredata der udtrækkes og benyttes i den endelige vurdering af sårbarheden. Hvordan de udtrukne boredata specifikt anvendes til en klassifikation af risikoen for grundvandsforurening på lokaliteten vil blive fastlagt på et senere tidspunkt i dialog med Miljøstyrelsen og DTU Miljø.

Da store dele af den overfladenære lagfølge i Danmark udgøres af glaciale sedimenter kan der de fleste steder overordnet forventes en moderat til høj geologisk variabilitet. Variationen af lertykkelser i intervallet 0-10 m, se afsnit 2.4, viser netop at der ses en generelt høj variation i lertykkelse, og dermed geologi inden for 1000 m, mens denne er mere begrænset indenfor 300 m fra lokaliteten. Derfor er det vigtigt at bygge vurderingen af lertykkelser på boringer, som ligger relativt tæt på den enkelte lokalitet. Ud fra analyserne vurderes det derfor, at der bør udtrækkes indenfor 300 m. Det vil dog ved "svage" lokaliteter og til lokaliteter med "medium" kvalitet være nødvendigt at inddrage boringer mellem 300 og 1000 m suppleret med bidrag fra øvrige datakilder for at opnå et acceptabelt datagrundlag.

Det er vigtigt at kunne vurdere de forskellige lags evne til at holde nedsivende vand tilbage. For at kunne gøre dette optimalt skal der så vidt mulig helst forelægges en geologisk vurdering af lagene. Derfor skal der inddrages geolog-beskrivne boringer i de resulterende dataudtræk.

Et element i screeningsværktøjet vil være at give en robust værdi for dybde til det øverste grundvandsspejl ved den enkelte lokalitet, og dermed et mål for tykkelsen af den umættede zone. I afsnit 2.8 er lavet en opgørelse af boringer med pejledata og bruttotal for mængden af pejlinger nær lokaliteterne. Da resultaterne viser, at der er manglende pejlinger indenfor 100 m ved 61 % af lokaliteter, uden inddragelse af krav til de enkelte pejlinger, vil en forventelig bedre og ensartet løsning at anvende punktinformation fra et beregnet potentialekort for det øverste grundvandsmagasin fra DK modellen.

### 6.1. Anvendelse af Den Nationale Vandressourcemodel (DK-modellen)

DK-modellen vurderes efter indgående dialog med MST og DTU Miljø at skulle have en væsentlig rolle i det kommende screeningsværktøj. Modellen danner grundlag for beliggenheden af grundvandsforekomsterne ved de enkelte lokaliteter. DK-modellens geologiske lagfølge vil endvidere blive anvendt som et databidrag til vurdering af lertykkelse ved lokaliteter med "svage" boringsdata, se afsnit 5.

Ligeledes vil der fra DK modellen blive udtrykt flere hydrologiske parameterverdier som vil indgå i risikovurderingen af lokaliteter, se afsnit 6.3.

I afsnit 2.5 er dybden til øverste definerede grundvandsmagasin blevet behandlet, og på baggrund af analysen foreslår GEUS ud fra et forsigtighedsprincip, at det altid er den *mindste dybde* til det øverste grundvandsmagasin, der indgår som beregningsgrundlag. Dvs. der skal ved udtrukket gennemføres en konsekvent beregning af den mindste dybde til det øverste grundvandsmagasin i DK modellen. Dette anbefales for at opnå en mest robust og konservativ beregning af lertykkelser.

## 6.2. Anbefalinger til dataudtræk

På baggrund af ovenstående vurderinger anbefales følgende specifikation af dataudtræk:

- Beskrive borer indend for en bufferzone på 300 m fra centeret af den kortlagte lokalitet udtrækkes som udgangspunkt altid. I en række tilfælde har dette dog vist sig ikke at være tilstrækkeligt.
- Hvis der ikke er geologisk vurderede borer indend for 300 m udtrækkes nærmeste geologisk vurderede boring indend for 1000 m.
- I de tilfælde hvor ingen borer indend for 300 m træffer øverste vandførende lag udtrækkes nærmeste boring indend for 1000 m, der gør det. Hvis der ikke findes borer i en afstand på 1000 m som træffer øverste vandførende lag inddrages lokale modeloplysninger om lagfølgen fra GEUS landsdækkende hydrologiske model (DK modellen), så disse oplysninger udgør det minimale vurderingsgrundlag i datasvage områder.
- Der gennemføres udtræk fra beregnet potentialekort i DK modellen til angivelse af dybden til øverste grundvandsspejl ved de enkelte lokaliteter.

### Markering af øvrig viden – "hejsning af flag"

- Ved udtræk af data angives også datakvaliteten for den enkelte lokalitet som beskrevet under afsnit 5. Dvs. hvorvidt lokaliteten har et *godt*, *medium* eller *dårligt* boringsgrundlag.
- Det angives om lokaliteten ligger i et område, der ud fra landskabsformerne vurderes at have en kompleks geologi med større risiko for nedsivning.
- Det angives om der i GERDA databasen på GEUS findes geofysiske data der yderligere kan beskrive dæklagsforholdene i nærområdet op til 300 m fra lokaliteten, hvilket i givet fald vil kunne bruges til en nærmere vurdering af geologien under lokaliteten.
- Det angives om DK model grundlaget ved den enkelte lokalitet baserer sig på DK-model Sjælland (mest sikker) eller Fyn og øerne Jylland (mere usikker)

Det foreslåede indhold af dataudtrækket er angivet i nedenstående Tabel 4.

Tabel 4. Forslag til kriterier for udtræk af boredata fra Jupiter og anvendelsen af øvrige data.

	Lokaliteter med <b>gode</b> boredata	Lokaliteter med <b>medium</b> boredata	Lokaliteter med <b>svage</b> boredata
<b>Kriterier til udtræksmodul</b>	Alle beskrevne boringer indenfor 300 m buffer	Alle beskrevne boringer indenfor 300 m buffer	Alle beskrevne boringer indenfor 1000 m bufferzone
		Nærmeste boring der træffer grundvandsmagasin indenfor 1000 m	
	Nærmeste <i>geolog-beskrivne</i> boring indgår i udtræk	Nærmeste <i>geolog-beskrivne</i> boring indenfor 1000 m bufferzone indgår i udtræk	Nærmeste <i>geolog-beskrivne</i> boring indenfor 1000 m bufferzone indgår i udtræk
<b>Angivelse/bidrag fra øvrige datakilder</b>			
DK modellen			Bidrag fra <i>DK model</i> – "pseudo"-boring/punktinfo
	Angivelse om det er DK model Sjælland eller Jylland, Fyn og øer	Angivelse om det er DK model Sjælland eller Jylland, Fyn og øer	Angivelse om det er DK model Sjælland eller Jylland, Fyn og øer
Geofysik	Angivelse af om der findes <i>geofysik</i>	Angivelse af om der findes <i>geofysik</i>	Angivelse af om der findes <i>geofysik</i>
Geologisk heterogenitet	Angivelse af <i>kompleks geologi</i>	Angivelse af <i>kompleks geologi</i>	Angivelse af <i>kompleks geologi</i>

### 6.3. Parameterliste til risikoscreening/risikovurdering

DTU har udarbejdet en parameterliste med oplæg til parametre som bør indgå i risikovurderingen, se vedlagt Appendiks A.

Parameterlisten er udbygget efter afholdt workshop mellem MST, DTU Miljø og GEUS d. 19/6 2015.

Der er tilføjet beslutninger og kommentarer fra mødet. Endvidere er der tilføjet en kolonne i tabellen, som angiver en vurdering på opdateringsfrekvens for de enkelte parametre.

Parameterlisten tager udgangspunkt i vurderinger og anbefalinger i nærværende afsnit og giver et overblik og nuværende status:

- Grøn farve i venstre kolonne angiver input til parameterværdier der er afstemt mellem projektpartnerne.
- Gul farve i venstre kolonne angiver parametre der stadig skal endeligt defineres og afklares.

*Dialog og oplæg til håndtering af sprækker i morænelers-aflejringer og øvrig ler:*

Knud Erik Klint (seniorforsker, GEUS) vil blive inddraget i en dialog mellem projektdeltagerne om hvorvidt/hvorledes sprækker i ler (moræneler) kan håndteres i screeningsprocessen.

## 7. Referencer

- /1/ "Udvikling af værktøj til vurdering af lertykkelser under jordforureninger, der truer grundvand", projektoplæg, maj 2015
- /2/ Per Smed Landskabskort, Geografforlaget, 1982
- /3/ "Afgrænsning af grundvandsforekomster – tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark", GEUS, rapport 2014/58

## Bilag 1

### *Estimeret dæklag i DK modellen - Sammenligning med udvalgte testlokaliteter*

GEUS har i et forprojekt for Miljøstyrelsen, se bilag 2, sammenlignet eksisterende geologisk viden på udvalgte testlokaliteter med estimater på lertykkelser fundet ved anvendelse af en modificeret GEUS applikation, der oprindeligt er udviklet til vurdering af varmeledningsevner indenfor jordvarme.

Fem udvalgte testlokaliteter beliggende i OSD eller indvindingsoplande udenfor OSD er blevet gennemgået, hvilket er vist i nedenstående tabel.

Formålet er at teste hvor god tilpasning DK modellens dybde til det øverste grundvandsmagasin viser med: 1) beregnet dybde til øvre magasin i Jupiter webapplikation, og 2) vurderet lertykkelse over magasin på baggrund af beskrivelser af den lokale geologi.

#### *Sammenligningstabel med udvalgte testlokaliteter i OSD og IO*

<i>Test lok placeret i OSD eller IO</i>	<i>Beregnet dybde til grundvandsmagasin i DK model</i>	<i>Beregnet dybde til øvre magasin ud fra webapplikation</i>	<i>Vurderet lertykkelse ud fra eksisterende viden</i>	<i>Beskrivelse af lokalitet geologi</i>	<i>Kompleks geologi (baseret på landskabselementer)</i>
Rugårdsvej_Odense	32 m	30 m	20-25 m	20-25 ms moræneler, herunder Sandmagasin	Nej
Møllemarksvej_Ruds_vedby	13 m	17 m	6 m	Der ses her et øvre frit sandmagasin fra 0-11 m's dybde. Primært sandmagasin ses under 6 m moræneler	Ja
Gjøesvej_Hedehusene	6	5	0-5 m	Øvre sandmagasin oven på kalk	Ja
Fløjstrupvej_Malling	8	10	0-10 m	Udtræk fra applikation viser en omtrent ligelig fordeling af ler/sand	Ja
Fladhøjvej_Rødebro	16	0	0-5	Smeltevandssand og grus til 20 m's dybde, hvor der træffes 5m moræneler	Nej

De tre grå kolonner angiver det vurderede sammenligningsgrundlag - hhv. fra venstre mod højre ses beregnet dybde til grundvandsmagasin i DK model, dernæst beregnet dybde til øvre grundvandsmagasin ud fra webapplikation, og endelig vurderet lertykkelse ud fra eksisterende lokal geologisk viden.

Generelt ses ved 4 ud af 5 lokaliteter en god overensstemmelse for dybden til det øverste grundvandsmagasin. Kun Fladhøjvej ved Rødebro, hvor der beskrives et frit magasin fra terræn passer dette dårligt med DK modellens beregning. I vurdering af de akkumulerede lertykkelser over grundvandsmagasinet er den lokale geologiske viden naturligvis med til at give en mere detaljeret beskrivelse af lertykkelserne end den grovere DK model. De fem eksempler indikerer, at lertykkelserne måske bliver overestimeret i DK modellen, såfremt lagene over det øverste definerede grundvandsmagasin antages at være ler. Dette kan dog ikke konkluderes ud fra blot fem lokaliteter.





G E U S

GrundRisk delprojekt 0.1, Miljøstyrelsen

# Bilag 2: Teknisk beskrivelse – Dokumentation af grunddata

---

## Indhold

1. Grunddata fra Miljøportalen .....	3
1.1 Forbehold: Meget udstrakte grunde .....	4
2. Data fra den Nationale Vandresource Model .....	4

## 1. Grunddata fra Miljøportalen

Figur 1 viser indledningen til et batch script, som henter friske data fra Danmarks Miljøportal. I figur 2 er vist et eksempel på disse data.

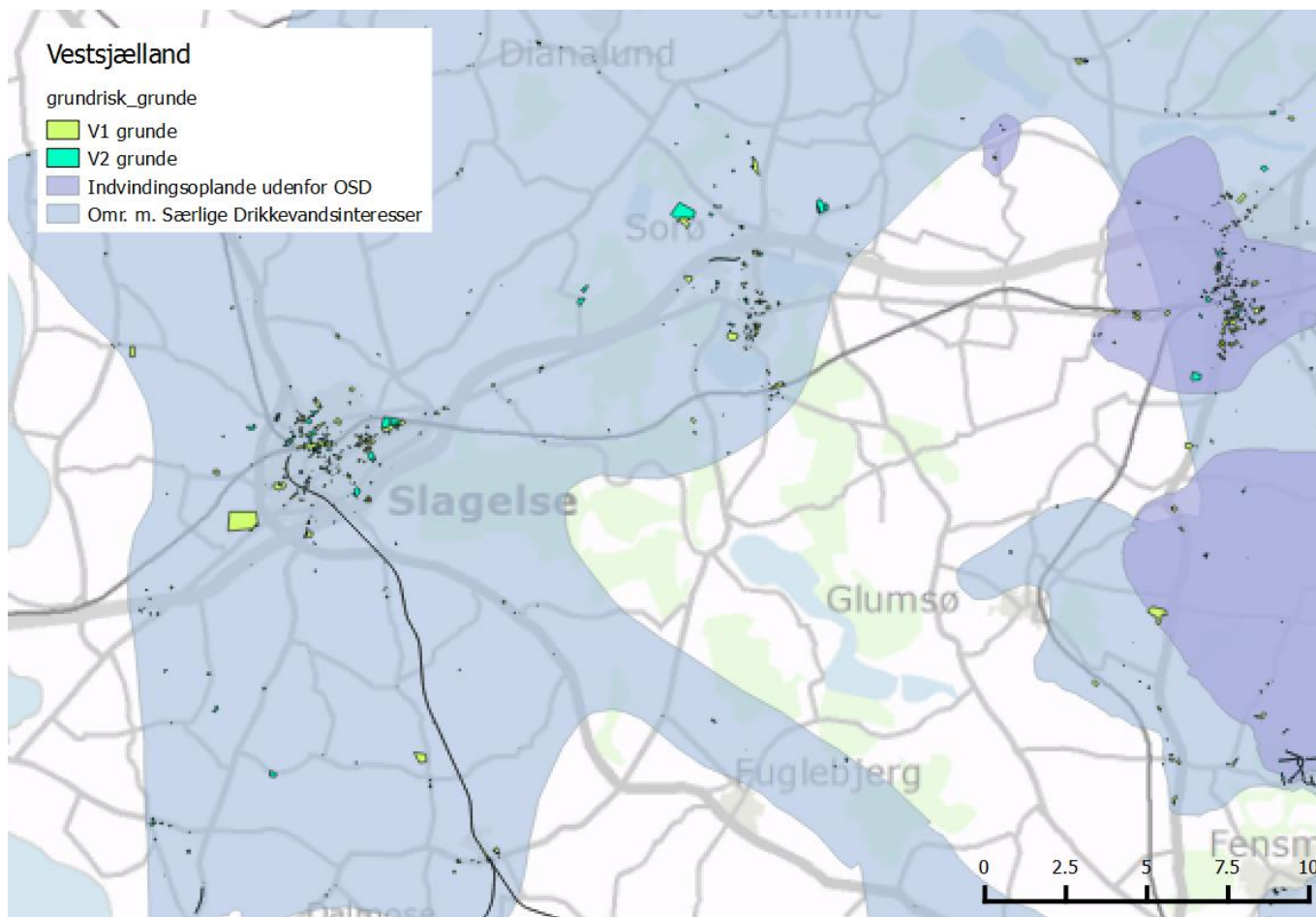
```

GrundRisk_DAIscript.bat
@REM Script til at hente geometrier af polygondata for V1 og V2 grunde,
@REM områder med særlig drikkevandsinteresse og indvindingsområder udenfor områder med særlig drikkevandsinteresser
@REM Områder med kompleks Geologi tilføjes
@REM Geometrier hentes til PostgreSQL database, kombineres og skubbes ind i Jupiter, i GRUNDRISK skema.
@REM Kører internt i GEUS datastruktur, skal tilrettes før afvikling på andre databaser.
@REM Før kørsel erstattes pwPG med password for PostgreSQL bruger, og pwORA erstattes med password for Oracle bruger.
@REM Kan køres fra en maskine, som har installeret GDAL/OGR med Oracle OCI driver.

@REM Drop eksisterende tabeller
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" ^
-sql "DROP TABLE grundrisk_grunde"
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" ^
-sql "DROP TABLE grundrisk_grunde_temp"
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" ^
-sql "drop table grundrisk_saelrige_interesseomr"
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" ^
-sql "drop table grundrisk_indvinding_udenfor"

@REM Læs V1 og V2 grunde ind i temporær tabel
ogr2ogr -overwrite -f PostgreSQL PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" ^
"WFS:http://arealinformation.miljoportal.dk/gis/services/public/MapServer/WFSServer?request=GetFeature&service=WFS&typeName=dmp:DKJORD_V1&
-lco SRID=25832 -nlt POLYGON -nln grundrisk_grunde_temp
ogr2ogr -append -f PostgreSQL PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" "WFS:http://arealinformation.miljoportal.dk/g
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" -sql "ALTER TABLE grundrisk_grunde_temp ADD COLUMN grundid INT"
ogrinfo PG:"user=gis_owner password=pwPG dbname=sde host=geusgdintern1" -sql "UPDATE grundrisk_grunde_temp SET grundid = ogc_fid"
  
```

Figur 1 Grunddata fra Miljøportalen hentes med et script til GEUS database Jupiter, for sammenstilling med boringsdata.

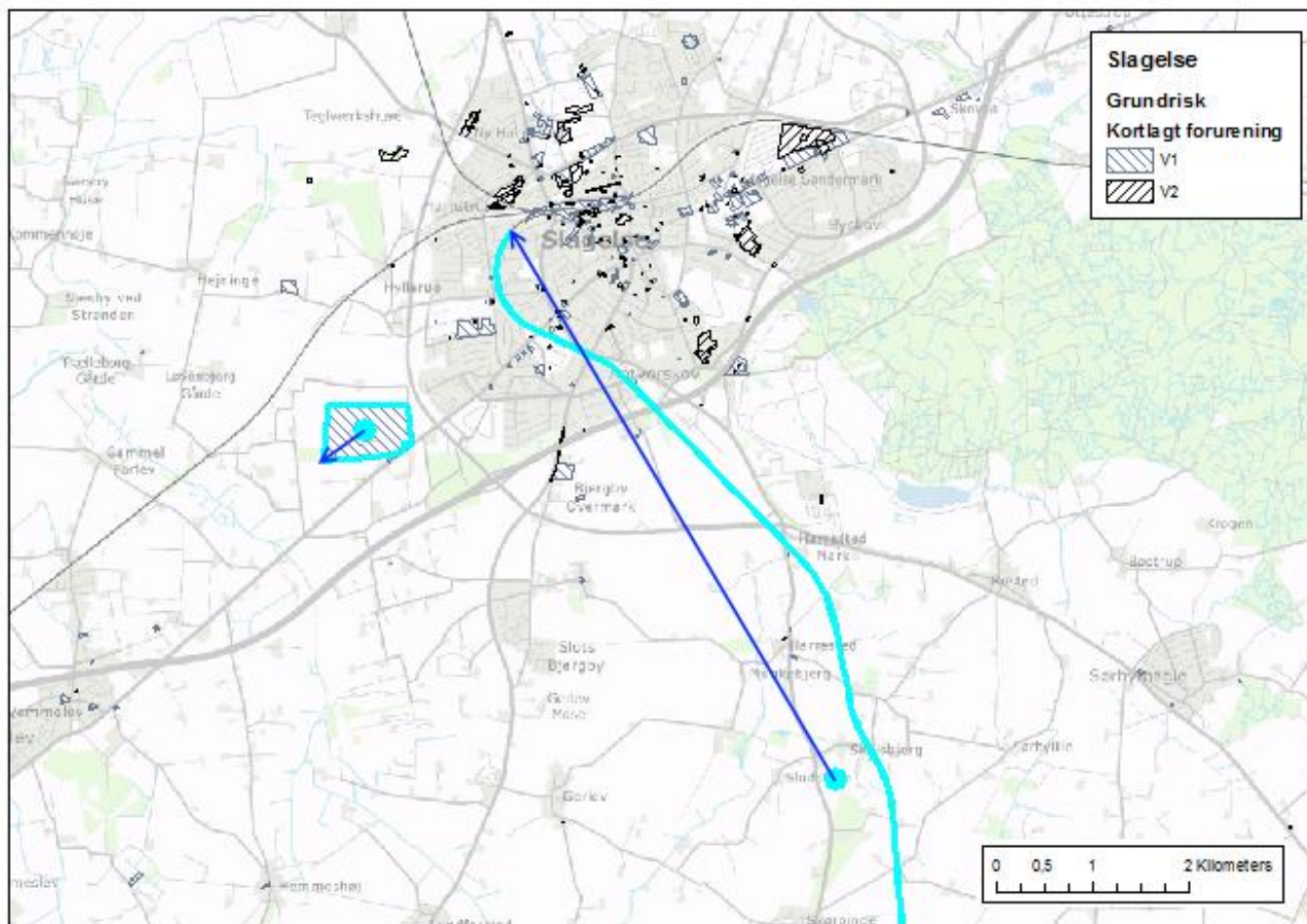


Figur 2: Eksempel fra Slagelse, med 4 datasæt hentet fra miljøportalen.

## 1.1 Forbehold: Meget udstrakte grunde

I screeningsværktøjet er supplerende oplysninger for geologi fra bl.a. Danmarks Nationale Vandressource Model fundet ved, at geologien under centroiden for en grund antages at repræsentere geologi for hele grunden. Blandt de kortlagte grunde i kategorierne V1 og V2 er der dog enkelte grunde, som er meget langstrakte, og som derfor ikke bliver korrekt kategoriseret af screeningsværktøjet. Som et eksempel kan nævnes jernbanen syd for Slagelse på figur 2.

Disse grunde er identificeret ved beregning af en såkaldt *maxradius*, defineret som en afstand fra centroide til polygonens fjerneste punkt.



Figur 3 Definition af meget udstrakte grunde. For 2 grunde nær Slagelse, en kompakt grund og en meget langstrakt grund er vist et eksempel på 'maxradius' afstand fra grundens centroide til polygonens fjerneste punkt, vist med mørkeblå pile.

Alle V1 og V2 grunde indenfor Områder med særlige drikkevandsinteresser, eller indvindingsoplande udenfor disse har fået beregnet deres maxradius. Ud af 17033 grunde (september 2015), er der 210 som har en maxradius større end 300 m.

Disse er vist i tabel 1, sidst i bilaget.

## 2. Data fra den Nationale Vandresource Model

Data er på Bornholm typisk finere opløst end resten af Danmark. For eksempel findes dybde til øverste magasin i 100m grid, dog på Bornholm som 50m grid. Figur 4 viser et ArcGIS / Python script, som samler disse 2 grids til ét 50m grid. Figur 5 viser resultatet i et område ved Slagelse, mens Figur 6 viser samme område efter beregning af minimum dybde indenfor 300 meter, for hver celle. Figur 6 illustrerer virkningen af forsigtighedsprincippet anvendt i screeningsværktøjet og omtalt i rapportens afsnit 3.2. Lyse områder, der symboliserer mindre dybde til magasin fylder en større del af området.

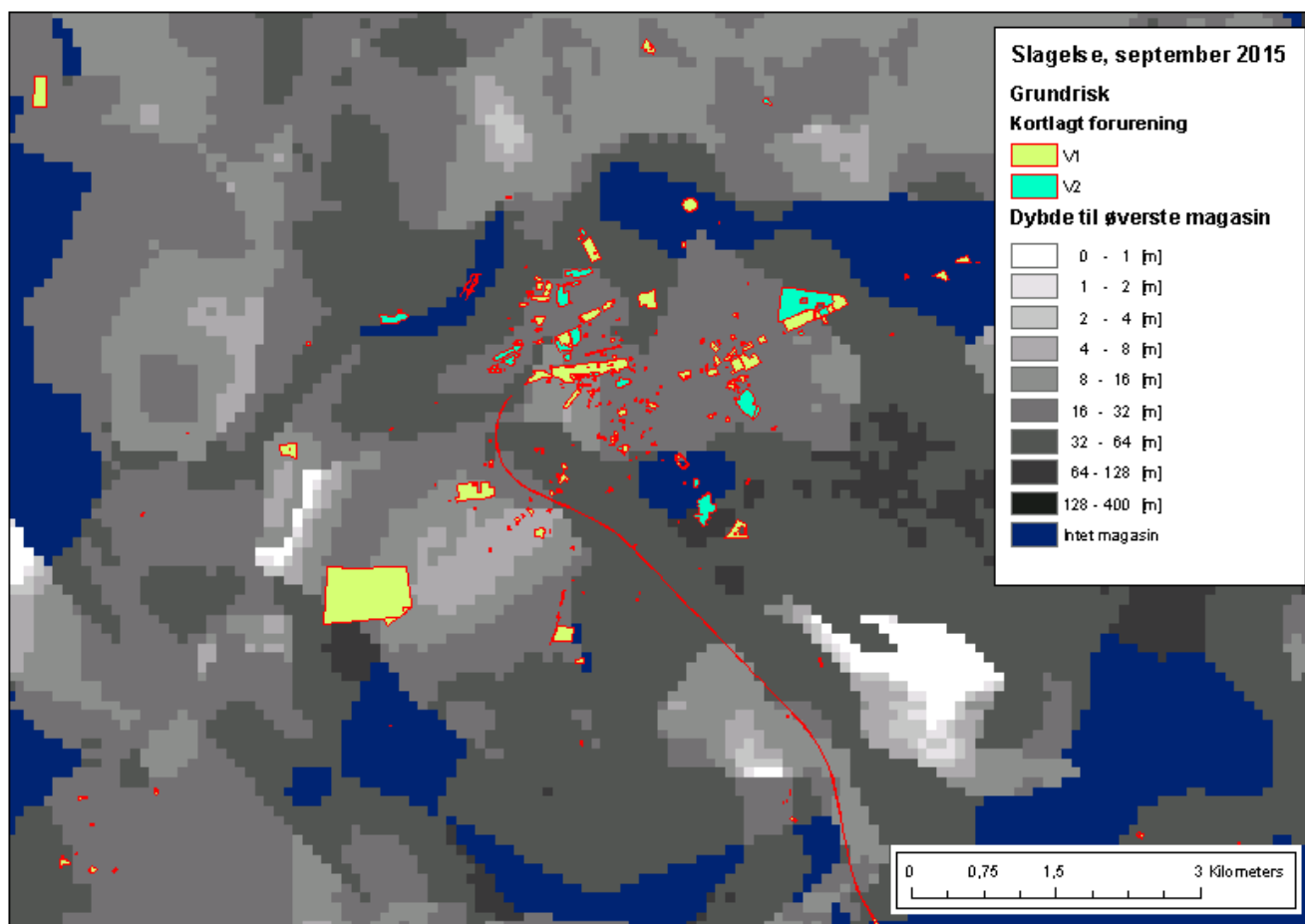
```

DKModel2Grundrisk.py
import arcpy
from arcpy import env
arcpy.CheckOutExtension("Spatial")
from arcpy.sa import *
env.workspace = "//netapp2p/NT-databaseu/GRUKProjekter/GrundRisk/DKModel/DKM_20160412.gdb"

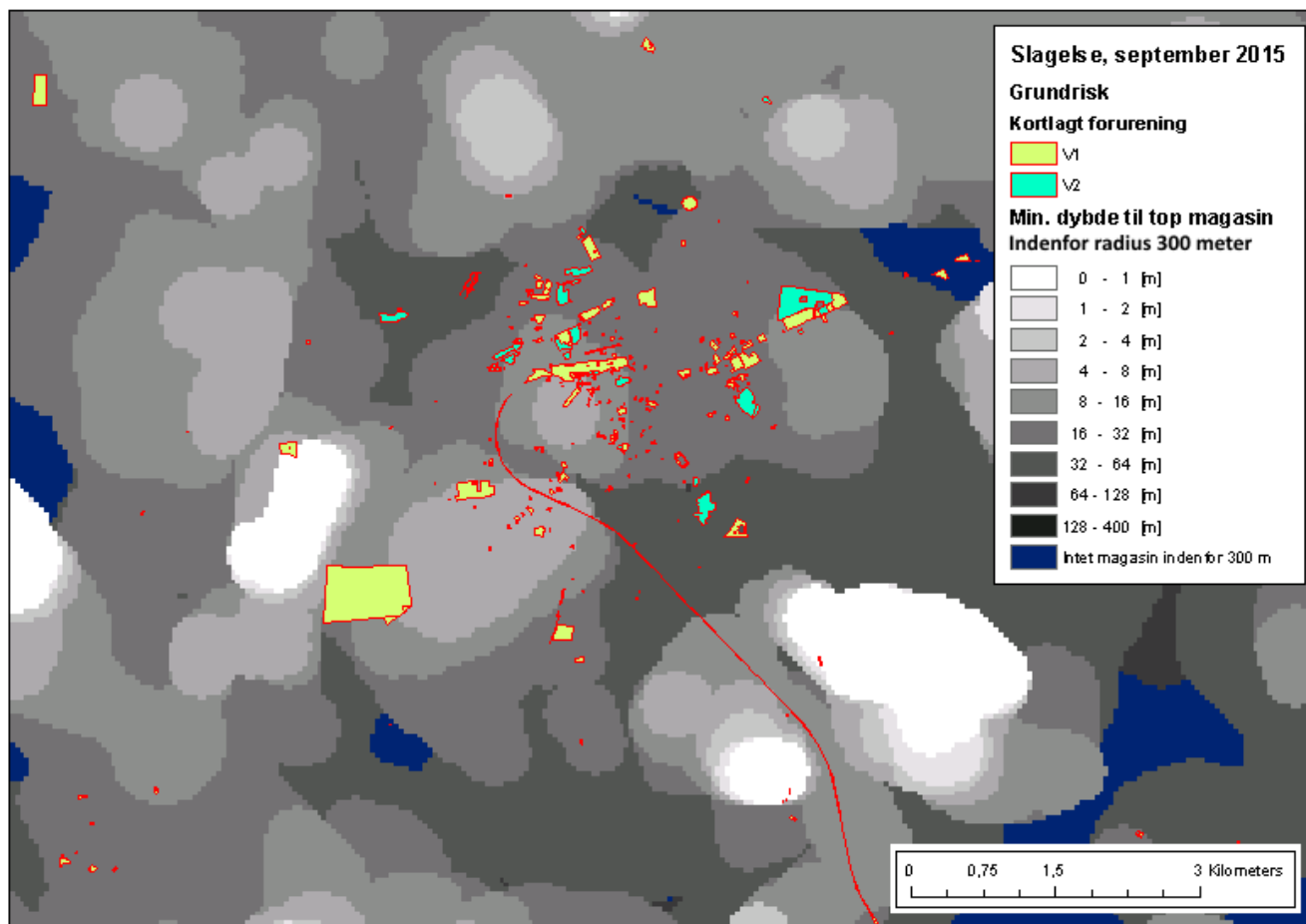
#####
# Minimum dybde til top magasin
# mosaic af dkm for Bornholm og resten af landet
arcpy.MosaicToNewRaster_management(
    input_rasters="dkm_depth2aquifer;dkmb_depth2aquifer",
    output_location= env.workspace ,
    raster_dataset_name_with_extension="dkm_depth2aquifer_merged",
    coordinate_system_for_the_raster="",
    pixel_type="32_BIT_FLOAT",
    cellsize="50",
    number_of_bands="1"
)
# Find minimum dybde til magasin indenfor en radius på 300 m
FocalStatMin = FocalStatistics("dkm_depth2aquifer_merged", NbrCircle(300, "MAP"),"MINIMUM","DATA")
# Sæt NoData value til 999
Temp = Con(IsNull("FocalStatMin"), 999.0,"FocalStatMin")
# Gem i ny FGDB
Temp.save("C:/Data/GisTilWeb/Grundrisk/DKModel2Grundrisk.gdb/depth2aquifer_r300")

```

Figur 4: Eksempel på Python script, som kombinerer 2 grids til 1 og danner et nyt grid, med værdier for minimum dybde til top magasin.



Figur 5: Grid, der viser dybde til øverste magasin i et område ved Slagelse ifølge DK modellen.



Figur 6: Samme område efter beregning af minimum dybde til magasin indenfor 300 meter.

Tabel 1: Grunde som er meget udstrakte:

grundid	temanavn	cvr_navn	lokalitet_nr	maxradius
20927	Jordforening V1	Region Sjælland	330-20463	6778
20928	Jordforening V1	Region Sjælland	330-20463	6217
20926	Jordforening V1	Region Sjælland	330-20463	5482
20915	Jordforening V1	Region Sjælland	330-20463	4983
9265	Jordforening V1	Region Syddanmark	565-91008	2336
15078	Jordforening V1	Region Hovedstaden	225-00313	2321
2388	Jordforening V1	Region Syddanmark	623-00074	2227
18176	Jordforening V1	Region Sjælland	329-20295	2171
12149	Jordforening V1	Region Midtjylland	769-00018	2095
29456	Jordforening V2	Region Sjælland	329-00666	1986
13538	Jordforening V1	Region Sjælland	301-00216	1952
27770	Jordforening V2	Region Hovedstaden	231-00305	1661
21097	Jordforening V1	Region Hovedstaden	221-00033	1485
19724	Jordforening V1	Region Hovedstaden	211-00295	1444
27360	Jordforening V2	Region Hovedstaden	231-00306	1327
30	Jordforening V1	Region Hovedstaden	181-05001	1285
9421	Jordforening V1	Region Midtjylland	769-00001	1162
9767	Jordforening V1	Region Hovedstaden	201-00564	1135
7707	Jordforening V1	Region Sjælland	321-00116	1110
14860	Jordforening V1	Region Hovedstaden	211-02003	1074
18503	Jordforening V1	Region Hovedstaden	217-00503	971
22431	Jordforening V1	Region Hovedstaden	217-00874	951
46274	Jordforening V2	Region Hovedstaden	219-00519	922
41544	Jordforening V2	Region Sjælland	265-20719	880
45157	Jordforening V2	Region Hovedstaden	211-00137	843
13488	Jordforening V1	Region Midtjylland	661-00514	837
11710	Jordforening V1	Region Midtjylland	745-00065	804
13487	Jordforening V1	Region Midtjylland	661-00514	787
20687	Jordforening V1	Region Midtjylland	789-00010	786
22374	Jordforening V1	Region Sjælland	385-00010	765
11408	Jordforening V1	Region Sjælland	363-08004	762
9766	Jordforening V1	Region Hovedstaden	201-00564	761
22510	Jordforening V1	Region Hovedstaden	221-00220	697
43965	Jordforening V2	Region Midtjylland	751-00108	695
8505	Jordforening V1	Region Midtjylland	767-00013	694
17839	Jordforening V1	Region Nordjylland	841-00808	638
15598	Jordforening V1	Region Hovedstaden	169-04003	635
17840	Jordforening V1	Region Nordjylland	841-00808	621
17841	Jordforening V1	Region Nordjylland	841-00808	621
22561	Jordforening V1	Region Sjælland	265-00018	618
42923	Jordforening V2	Region Sjælland	265-20628	605
16625	Jordforening V1	Region Syddanmark	461-81267	604
36260	Jordforening V2	Region Sjælland	393-03009	598
3108	Jordforening V1	Region Syddanmark	577-32106	596

33464	Jordforurening V2	Region Syddanmark	501-30005	567
36259	Jordforurening V2	Region Sjælland	393-03009	565
22532	Jordforurening V1	Region Sjælland	265-00035	559
2912	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	400-10054	552
11509	Jordforurening V1	Region Syddanmark	529-40204	550
33779	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	169-00010	547
21779	Jordforurening V1	Region Sjælland	333-00195	544
45629	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	219-00050	538
19157	Jordforurening V1	Region Nordjylland	787-00523	517
19544	Jordforurening V1	Region Sjælland	360-20040	516
3368	Jordforurening V1	Region Midtjylland	771-00006	515
6391	Jordforurening V1	Region Midtjylland	681-30157	515
33465	Jordforurening V2	Region Syddanmark	501-30005	513
15554	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	217-00441	509
40410	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	151-00001	509
44880	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	157-00004	505
15597	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-04003	501
42194	Jordforurening V2	Region Sjælland	340-20315	499
14447	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	201-00153	497
43942	Jordforurening V2	Region Midtjylland	751-00056	496
33536	Jordforurening V2	Region Syddanmark	607-02033	491
12448	Jordforurening V1	Region Midtjylland	657-30635	489
44830	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	101-03596	489
11640	Jordforurening V1	Region Sjælland	265-00140	481
29790	Jordforurening V2	Region Midtjylland	657-00002	477
37496	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	211-00364	477
4758	Jordforurening V1	Region Midtjylland	771-00009	473
17642	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-05142	471
42581	Jordforurening V2	Region Syddanmark	621-00540	466
6291	Jordforurening V1	Region Midtjylland	771-00665	463
30539	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	169-00002	459
44716	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	207-00073	456
42392	Jordforurening V2	Region Syddanmark	621-00548	456
19805	Jordforurening V1	Region Sjælland	360-20004	449
6759	Jordforurening V1	Region Midtjylland	663-30285	447
43941	Jordforurening V2	Region Midtjylland	751-00057	445
4	Jordforurening V1	Region Sjælland	253-00013	445
33570	Jordforurening V2	Region Syddanmark	543-30009	441
24042	Jordforurening V2	Region Syddanmark	573-81049	437
36931	Jordforurening V2	Region Sjælland	259-00110	436
3021	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	400-00015	432
38552	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	173-00001	430
21718	Jordforurening V1	Region Sjælland	376-00059	429
35216	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	189-00001	428
36257	Jordforurening V2	Region Sjælland	393-03009	427



30813	Jordforurening V2	Region Sjælland	320-20161	426
229	Jordforurening V1	Region Sjælland	301-00026	426
22473	Jordforurening V1	Region Sjælland	333-00349	425
3266	Jordforurening V1	Region Syddanmark	430-81100	424
29482	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	173-00010	422
6700	Jordforurening V1	Region Midtjylland	775-00232	421
44034	Jordforurening V2	Region Midtjylland	751-01624	418
18783	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	173-05001	417
19333	Jordforurening V1	Region Sjælland	265-00001	415
27214	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	201-00402	412
4411	Jordforurening V1	Region Nordjylland	785-00485	411
4635	Jordforurening V1	Region Nordjylland	851-02819	408
14795	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-04005	408
17752	Jordforurening V1	Region Nordjylland	851-03152	407
16863	Jordforurening V1	Region Syddanmark	480-81258	407
43959	Jordforurening V2	Region Midtjylland	751-00071	407
18856	Jordforurening V1	Region Sjælland	360-21114	406
8843	Jordforurening V1	Region Midtjylland	711-00116	405
16488	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	190-30091	404
33940	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	161-00003	395
10992	Jordforurening V1	Region Midtjylland	679-30124	392
19923	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	221-01080	391
15001	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	233-00354	390
34689	Jordforurening V2	Region Syddanmark	529-20001	390
15227	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-00037	389
42187	Jordforurening V2	Region Sjælland	335-00109	388
18240	Jordforurening V1	Region Sjælland	341-00027	387
5081	Jordforurening V1	Region Midtjylland	789-00111	387
19146	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	227-00207	386
27432	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	207-00240	384
7501	Jordforurening V1	Region Midtjylland	760-00039	384
6559	Jordforurening V1	Region Midtjylland	751-05068	383
37221	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	217-00411	380
43379	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	169-00001	379
17723	Jordforurening V1	Region Syddanmark	523-06010	377
30828	Jordforurening V2	Region Sjælland	331-00294	376
3288	Jordforurening V1	Region Syddanmark	611-00128	376
6176	Jordforurening V1	Region Midtjylland	775-00233	374
13678	Jordforurening V1	Region Midtjylland	657-00631	373
32907	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	173-00013	370
34613	Jordforurening V2	Region Syddanmark	573-81067	369
28317	Jordforurening V2	Region Sjælland	303-00123	369
17713	Jordforurening V1	Region Syddanmark	523-06010	368
236	Jordforurening V1	Region Sjælland	301-00026	367
16475	Jordforurening V1	Region Sjælland	363-00017	367

3107	Jordforurening V1	Region Syddanmark	573-55042	367
14515	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-05141	366
40105	Jordforurening V2	Region Syddanmark	537-03706	365
5507	Jordforurening V1	Region Midtjylland	769-00007	364
13479	Jordforurening V1	Region Midtjylland	657-30637	364
14513	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	169-05141	361
40126	Jordforurening V2	Region Syddanmark	523-06010	360
19483	Jordforurening V1	Region Sjælland	269-00103	353
22265	Jordforurening V1	Region Sjælland	345-00248	352
10696	Jordforurening V1	Region Sjælland	395-01157	350
10485	Jordforurening V1	Region Sjælland	393-01067	349
16017	Jordforurening V1	Region Nordjylland	785-00004	348
43134	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	227-00045	348
7500	Jordforurening V1	Region Midtjylland	760-00039	348
33349	Jordforurening V2	Region Syddanmark	445-80008	348
27755	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	221-00102	347
44692	Jordforurening V2	Region Sjælland	333-00259	347
40218	Jordforurening V2	Region Nordjylland	817-00046	345
9196	Jordforurening V1	Region Nordjylland	823-01114	343
7837	Jordforurening V1	Region Sjælland	376-20716	342
45865	Jordforurening V2	Region Sjælland	265-20511	340
11348	Jordforurening V1	Region Midtjylland	661-30310	339
18504	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	217-00503	337
40140	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	169-00008	336
27393	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	233-00356	336
8122	Jordforurening V1	Region Hovedstaden	151-05095	335
38334	Jordforurening V2	Region Nordjylland	846-00176	334
10792	Jordforurening V1	Region Syddanmark	533-50047	333
14381	Jordforurening V1	Region Sjælland	265-00369	333
20152	Jordforurening V1	Region Midtjylland	627-00092	331
35943	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	183-00067	331
22312	Jordforurening V1	Region Nordjylland	851-00093	331
22601	Jordforurening V2	Region Sjælland	253-00004	330
42754	Jordforurening V2	Region Sjælland	379-00008	328
6234	Jordforurening V1	Region Midtjylland	775-00212	327
40905	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	169-00015	325
27901	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	201-00404	324
4879	Jordforurening V1	Region Midtjylland	661-00025	323
8574	Jordforurening V1	Region Midtjylland	683-30110	322
3520	Jordforurening V1	Region Midtjylland	789-00116	322
11712	Jordforurening V1	Region Midtjylland	745-00065	319
3474	Jordforurening V1	Region Midtjylland	679-30123	319
37656	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	235-00038	318
42603	Jordforurening V2	Region Syddanmark	621-00554	318
41479	Jordforurening V2	Region Hovedstaden	147-00001	318

8923	Jordforening V1	Region Nordjylland	825-00603	318
14253	Jordforening V1	Region Sjælland	253-20248	317
29633	Jordforening V2	Region Hovedstaden	169-00006	316
22157	Jordforening V1	Region Sjælland	265-20511	314
41393	Jordforening V2	Region Hovedstaden	159-00014	313
14594	Jordforening V1	Region Hovedstaden	235-00362	312
42446	Jordforening V2	Region Syddanmark	605-00205	312
6458	Jordforening V1	Region Midtjylland	725-00153	312
9856	Jordforening V1	Region Nordjylland	851-00105	311
21016	Jordforening V1	Region Sjælland	336-20134	311
18372	Jordforening V1	Region Syddanmark	461-04004	310
33874	Jordforening V2	Region Hovedstaden	165-00005	310
20528	Jordforening V1	Region Midtjylland	751-01617	308
10746	Jordforening V1	Region Syddanmark	540-81028	307
18267	Jordforening V1	Region Hovedstaden	169-00015	307
42605	Jordforening V2	Region Syddanmark	629-00106	307
13552	Jordforening V1	Region Midtjylland	685-30147	306
37897	Jordforening V2	Region Hovedstaden	227-00011	306
17689	Jordforening V1	Region Syddanmark	529-40151	306
12412	Jordforening V1	Region Sjælland	337-00099	306
38570	Jordforening V2	Region Hovedstaden	219-00056	305
22592	Jordforening V2	Region Sjælland	253-00001	305
19068	Jordforening V1	Region Syddanmark	461-81518	304
14382	Jordforening V1	Region Sjælland	265-00369	304
37657	Jordforening V2	Region Hovedstaden	235-00038	304
41804	Jordforening V2	Region Hovedstaden	219-00814	303
16839	Jordforening V1	Region Syddanmark	461-81202	303
16757	Jordforening V1	Region Syddanmark	480-81306	301
15844	Jordforening V1	Region Nordjylland	839-02839	301
44893	Jordforening V2	Region Sjælland	259-20360	301
13486	Jordforening V1	Region Midtjylland	661-00514	301



G E U S

GrundRisk delprojekt 0.1, Miljøstyrelsen

# Bilag 3: Teknisk beskrivelse Databeregner

---

## 1. GrundRisk databeregner

Databeregneren i GEUS applikationen er opdelt i to halvdele: Den spatielle beregner (afsnit 1.1) og beregning af lertykkelser (afsnit 1.2).

Begge beregnere tager udgangspunkt i geometrierne (polygonerne) for de kortlagte V1 og V2 grunde. Hvis en lokalitet (lok. nr.) har flere geometrier tilknyttet, vil disse blive behandlet individuelt.

### 1.1. Spatielle Beregner

Den spatielle beregner har ansvaret for at foretage de spatielle søgninger og dataforespørgsler.

Først udsøges om der eksisterer lithologisk beskrevne borer inden for grundens areal. Disse registreres med afstanden 0 m. Herefter dannes en buffer på 1 km rundt om grunden og de lithologisk beskrevne borer heri udsøges. Disse registreres med den faktiske afstand fra rand af grunden (polygon) til boringen.

Til sidst foretages opslag i DK-modellen både for grundens centroide samt boringens placering. Herunder hentes følgende data:

- Aquifer dybde
- Dybde til grundvandsspejl
- Flowretning i øverste grundvandsmagasin
- Redoxydybde
- Terrænkote
- Infiltration
- Hydraulisk gradient
- Geofysik

### 1.2. Beregning af lertykkelser (lithologi)

Algoritmen til beregning af lertykkelser og dækklag har ansvaret for at udsøge de lithologiske data og foretage beregningen af de vægtede gennemsnit af tykkelserne.

Først foretages en klassifikation af grunden ud fra de beskrevne kriterier i den tekniske rapport, og de lithologisk beskrevne borer bestemt af klassifikationen hentes fra den spatielle søgning.

Herefter foretages en sammenligning af terrænkote for grunden og hver boring. Hvis boringens terrænkote ligger over grundens kote, beskæres de lithologiske data, så lertykkelser og dækklagstykkelser over grunden ikke medregnes i beregningen.

Herefter inddeles dybden i intervaller af 5 m, hvori de lithologiske data fremsøges hver for sig. Der fremsøges aldrig data dybere end grundens dybde til det øverste definerede grundvandsmagasin.

Hvis en grund er klassificeret som svag eller slet ikke har nogle borer inden for søgeområdet, indsættes der en pseudo-boring placeret i grundens centroide. Pseudo-boringens øverste 3 m er defineret ud fra det geologiske jordartskort og alt herunder er defineret som moræneler (lithologigruppe 2), se hovedrapport. Også her benyttes der aldrig data dybere end grundens dybde til grundvandsmagasin.

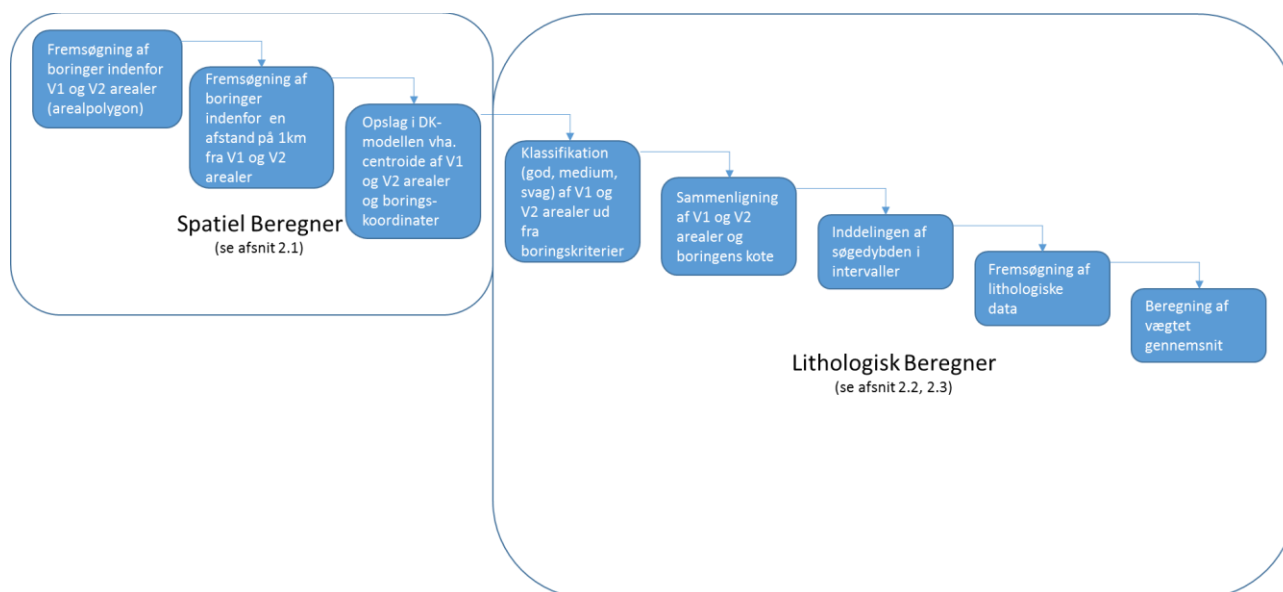
Til sidst foretages beregningen af det vægtede gennemsnit inden for hvert interval. Vægten af data er beregnet ud fra afstanden mellem grunden og boringen efter følgende formel:

$$w_i = 1 - \frac{\text{afstand}}{\text{tærskel}}$$

Hvor tærsklen er defineret ud fra klassifikationen. Dvs. at hvis borer findes inden for grunden, opnår data den maksimale vægt (1), mens hvis boringen findes på randen af søgeområdet så vægtes data mindst (0).

### 1.3. Flowdiagram

Der er udarbejdet et flowdiagram til at anskueliggøre rækkefølgen af udtræk og beregninger i GEUS applikationen. Først foretages en fremsøgning af spatielle data, hvorefter der gennemføres beregning af lertykkelser i applikationen.



Figur 1.1. Flowdiagram for den udviklede applikation. Først foretages en fremsøgning af spatielle data, hvorefter de gennemføres beregning af lertykkelser i den lithologiske del af applikationen.



G E U S

GrundRisk delprojekt 0.1, Miljøstyrelsen

## Bilag 4:

# Notat vedr. sprækkefordeling i moræner (Delement 3)

---

**Til:** MST**Fra:** Knud Erik Klint

Kopi til:

Fortroligt:

GEUS-NOTAT nr.: 1

Dato: 27 november 2015

J.nr. GEUS:

**Emne:** GrundRisk - Delprojekt 1. Vurdering af mulighed for at vurdere sandlinse /sprækkefordeling i moræner, samt vurdering af ressourcebehov for at etablere et landsdækkende sårbarhedskort

---

## **Vurdering af mulighed for at vurdere sandlinse/sprækkefordeling i moræner.**

I forbindelse med at udvikle et overordnet koncept for vurdering af lerområders sårbarhed for ned-sivning af bla nitrat og pesticider (Gravesen et al 2014, Henriksen 2000, Gravesen et al 2001, Rosenbom et al 2009) men også punktkildeforureninger med især NAPL/DNAPL's (Jakobsen and Klint 1999, Harrar et al 2007, Klint et al 2006, Tzovolou et al 2009) er der igennem de sidste 18 år foretaget en lang række undersøgelser af parametre der enten har direkte indflydelse på spredning af forurening i i lerjord, eller parametre der indikerer tilstedeværelsen af strukturer/makropore der kan resulterer i transport/spredning af forurening i områder dækket af moræner.

Sprækker og sandlinser udgør en vigtig kilde til forureningsspredning (Klint et al 2001, Kessler et al 2012), og samlet set har flg. 4. parametre indflydelse på forekomsten og størrelsen af sprækker og sandlinser i moræner:

**1. Till/er type:** Moræner kan klassificeres i forskellige typer baseret på aflejringsforholdene, Bundmoræne (basal till), Flydemoræne (Flow till), vandaflejret moræne (Drop till) og udsmltningmoræne (meltout-till). (Klint 2001 and Klint et al. 2010) Hver af disse tilltyper har forskellige grader af heterogenitet og dermed indhold af sandlinser og sprækker. Der er en klar sammenhæng imellem landskabstyper og till-typer så derfor kan en sammenligning med geomorfologien være nyttig i denne sammenhæng (Klint 2013).

**2. Lertykkelse.** Det har vist sig at især sprækker er afhængig af lertykkelsen. Generelt er lertykkelser under 10 m ofte gennemsat af sprækker. Imellem 10-15 m lertykkelse har til tider gennemgående sprækker og lertykkelser over 15 meter er sjældent gennemsat af sprækker. Man skal imidlertid være opmærksom på at i tilfælde hvor flere lerenheder (Till-bænke) er stablet ovenpå hinanden, kan hver bæk have sit eget sprækkesystem og dermed kan hele pakken være sårbar, så lertykkelse kan ikke stå alene som parameter. Det er derfor også vigtigt ikke at lægge lertykkelser sammen for flere lag, men så vidt muligt vurdere tykkelsen af de enkelte lag.



**3. Tykkelse af den reducerede (grå) zone i moræneler:** Der er en klar sammenhæng imellem forekomst af sprækker/sandlinser og tykkelsen af den reducerede zone. Brun oxideret moræneler er altid permeabelt pga. makroporeindhold. Derimod er den grå reducerede moræneler ofte meget lavpermeabel. Hvis zonen er under 3 meter tyk kan den være gennemsat af sprækker, hvorimod antallet af sprækker falder kraftigt ved tykkelser over 3 meter. Da farven ofte er beskrevet i boringer kan denne indirekte information med fordel trækkes ud af boredatabaser sammen med lertykkelsen.

**4. Permeabiliteten af lag der ligger under det øverste dække af moræneler.** Da sprækker opstår som et resultat af kompaktion/belastning af underlaget er det vigtigt at det vand der findes i underlaget kan drænes væk under kompaktionen. Det har vist sig at områder hvor moræneleren (hvis det er en bundmoræne) ligger direkte på et højpermeabelt sediment som f.eks. en bundmoræneflade på en smeltevandsslette, vil sprækkerne trænge længere ned end hvis morænefladen ligger på et lavpermeabelt underlag som f.eks. tertiært marint ler.

Dette er de simpleste parametre man bør inddrage i et screeningsværktøj til vurdering af sårbarheden for grundvandsmagasinerne i områder dækket af moræneler.

### **PM Konceptet**

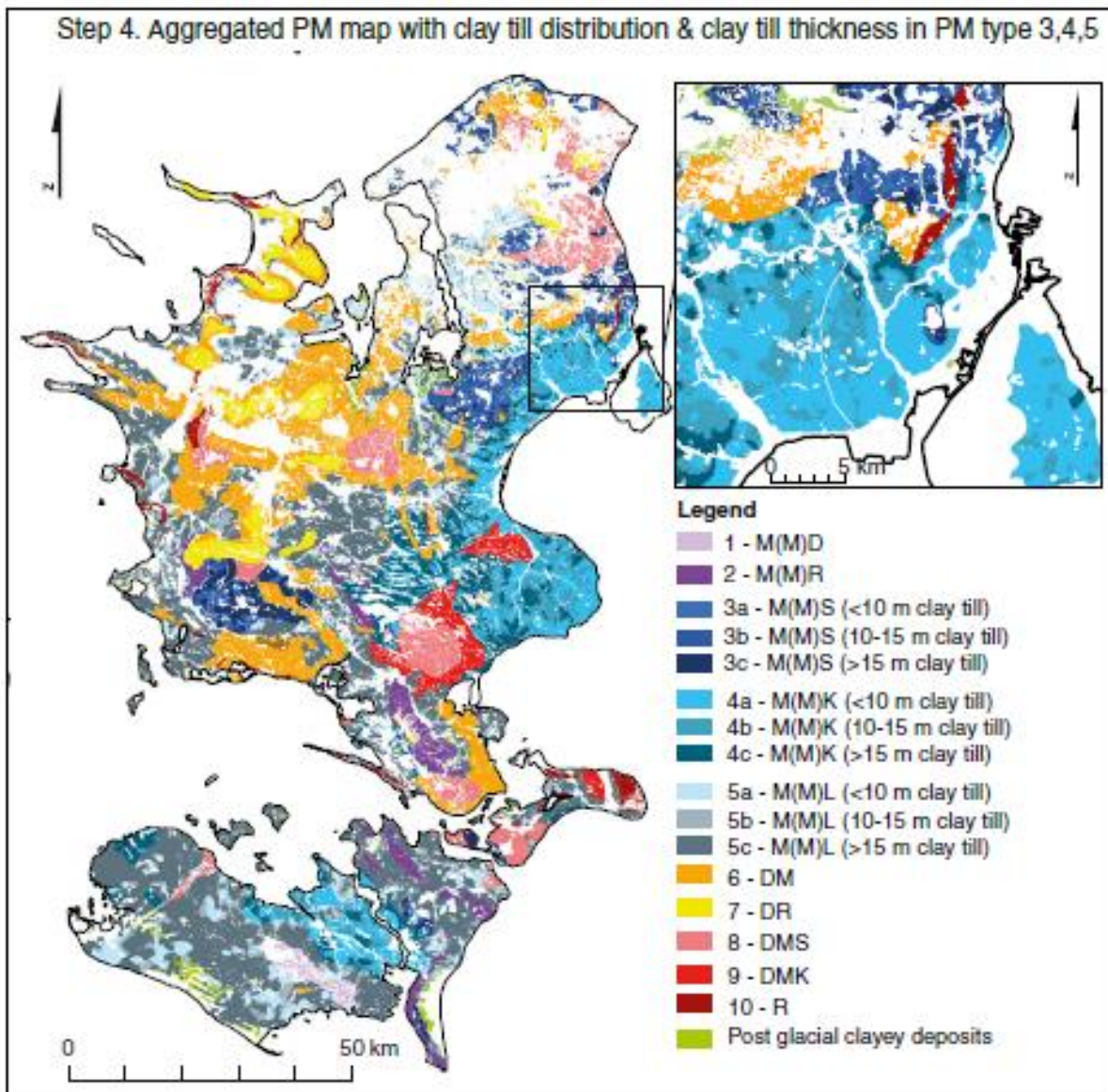
Alle disse parametre er indbygget i det Polymorfologiske Concept (Klint et al 2013). I figur 1. gives et eksempel hvordan et polymorfologisk kort kan sammenkædes med et geologisk kort der viser områder dækket af moræneler, samt et lertykkelseskort der viser lertykkelser på 0-10, 10-15, og over 15 m tykkelse. På denne måde opstår en række mindre polygoner med potentielt ensartet geologisk heterogenitet.

Dette kort kunne benyttes til at lave en vurdering af:

1. Potentielt geologisk/hydraulisk heterogenitet inden for hver polygon.
2. Potentielt sårbarhed baseret på "best guess" ud fra vores nuværende videns grundlag.
3. Vidensbehov/usikkerhed inden for hver polygon

De enkelte polygoner vil kunne gradueres på en subjektiv sårbarhedsskala som vist på figur 2, således at man både får en vurdering af usikkerheden defineret ved heterogeniteten og sårbarheden. En sådan vurdering vil være vigtig især på V1 niveau da man kan bruge usikkerheden til at vurdere hvor mange undersøgelsesboringer der som minimum er behov for at lave en realistisk vurdering af risikoen for grundvandsressourcerne i området. Vurderingen ville kunne optimeres ved at lave en sammenligning med den procentvise fordeling af eksisterende forureningsforekomster/pr. arealenhed inden for lignende PM-typer. Ellers kræver det målrettede undersøgelser af de områder hvor vi har det mindste vidensgrundlag. Under alle omstændigheder vil PM-konceptet kunne danne skelettet for et sårbarhedskort. Dermed kunne man fokusere fremtidige undersøgelser på de områder (polygoner) der har det største vidensbehov.

I et regionalt screeningsværktøj for vurdering af sårbarhed af områder med punktkildeforureninger vil konceptet kunne kobles til en søgning på boringer der sorteres i såkaldte PM-typer efter deres placering på PM-kortet.

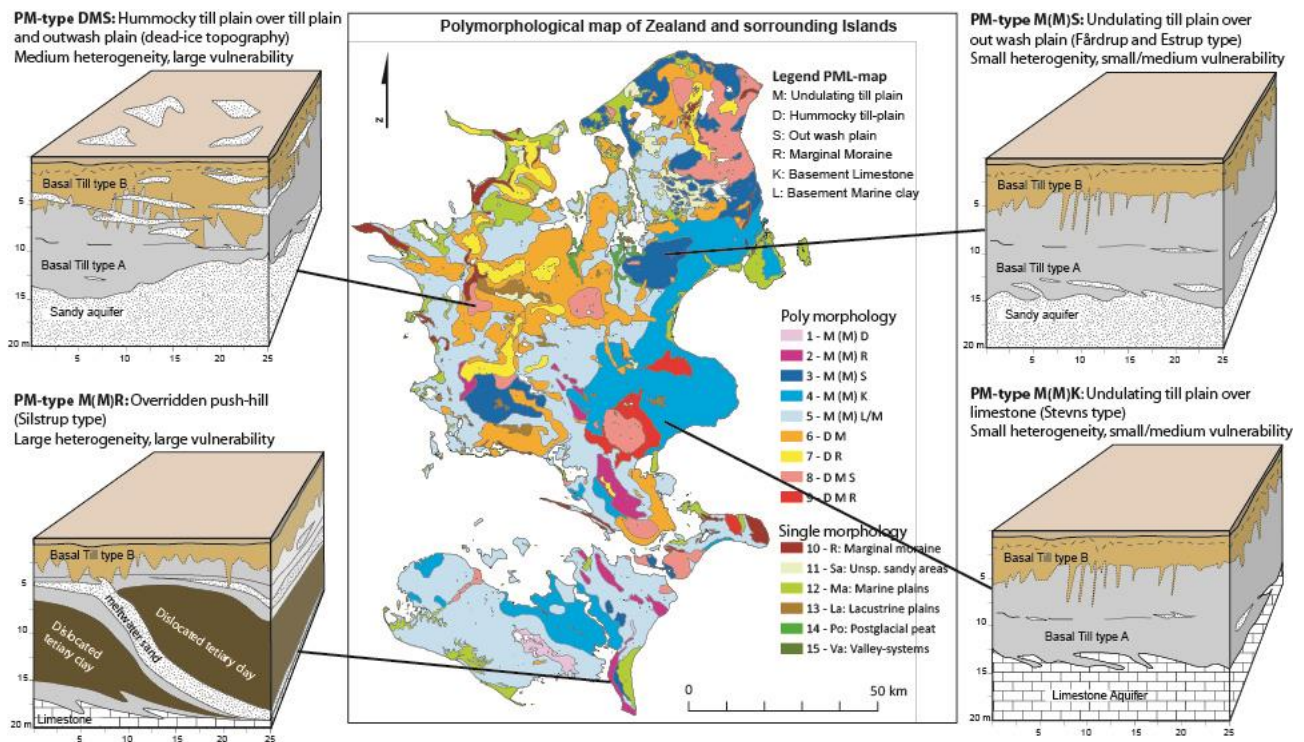


Figur1. Eksempel på anvendelse af det Polymorfologiske koncept. Polymorfologisk kort der viser 10 almindelige PM typer i områder dækket af moræner (sandområder er hvide). De enkelte landskabstyper er: M= Moræneflade, D= Dødislandskab S=Smeltevandsslette R= Randmoræne K=Kalkoveflade, L= Leroverflade (prækvaltær). Disse landskabstyper er så stablet på forskellig vis i de 10 mest almindelige PM-typer. I områder hvor morænefladen M ligger over enten smeltevandsslette (S) eller kalken (K) eller Prækvaltær ler (L) er moræneleren opdelt i områder med < 10 m moræner, 10-15 m moræner og > 15 meter moræner. Tykkelsen er defineret ved dybden til første lag (sand eller kalk) med over 1 meters tykkelse. Samme øvelse kunne laves for de andre PM-typer.

Mere specifikt kan man på baggrund af lagseriens udtryk i hver enkelt nærliggende boring forfine vurderingen ved at inddrage flere parametre som antal af lerlag, lertykkelse af de enkelte lerlag, tykkelse af redoxzonen i de enkelte lerlag, samlet mægtighed af sandlinser i lerlagene, evt. geotekniske parametre, typen af underliggende lag, evt. forureningforekomst.

Disse parametre er allerede indbygget i sitekarakteriseringsværktøjet SiteEval 3.0 der er udviklet på GEUS i forbindelse med Remtec og Geocon projekterne.

Ved inddragelse af færre parametre som kun lertykkelse vil usikkerheden være meget stor og kun meget overordnede konklusioner vedr. områdets generelle sårbarhed kan udledes heraf.



Figur 2. Eksempel på konceptuelle PM-modeller med forskellig grad af heterogenitet og sårbarhed for underliggende grundvandsressourcer (subjektiv skala).

## Vurdering af ressourcebehov for etablering af landsdækkende PM-kort med fokus på lerområder.

Udarbejdelse af et PM-kort for hele Danmark forudsætter at det digitale geomorfologiske kort over hele Danmark er fuldført. Ifølge GEUS skulle dette kort være klar inden 1. april 2016.

Det Polymorfologiske kort kombinerer information fra:

1. Jupiter databasen der indeholder oplysninger om till tykkelse, redoxforhold, fordeling af grundvandsmagasiner etc.
2. Geologisk jordartskort 1:25.000
3. Cyclogram kort.
4. Geofysiske data fra Gerda databasen.
5. Det digitale geomorfologiske kort.1:200.000.
6. Digital højdemodel for Danmark (DEM).
7. Prækvartæroverfladekort.

8. Eksisterende 3D geologiske modeller fra Modeldatabasen.
9. Eksisterende data fra litteratur studier.

## **Anbefalinger og ressourcebehov for udarbejdelse af landsdækkende sårbarhedsvurderinger af punktkildeforureninger i Danmark med udgangspunkt i PM-konceptet**

Vurdering af potentielt sårbare lerområder, hvor de geologiske forhold peger på, at der kan være en risiko for nedsivning af forurening til det primære grundvandsmagasin anbefales udført efter samme strategi som med nitrat og pesticid sårbarhedskortlægningen (Gravesen et al 2014).

Opgaven tager udgangspunkt i udarbejdelse af et aggregeret PM-kort for hele Danmark med PM-typerne underopdelt i områder dækket af overvejende lerede sedimenter med 3 tykkelsesvarianter (<10 m, 10-15 m, og >15 m. tykkelse). Det vil resultere i et kort med i alt 33 forskellige polygoner med potentiel ensartet geologisk heterogenitet og specifikke hydrauliske forhold. På den måde opstår en skala fra 1-33 med forskellige grader af potentiel sårbarhed. Graderne af potentiel sårbarhed vi antyde hvilke parametre der har størst betydning for nedsivning i forhold til; lertykkelse, redoxytykkelse, heterogenitet, tilltyper, etc.

PM konceptet skal derefter sammenholdes og efterprøves med eksisterende potentielle punktkildeforureninger opdelt i forureninger hvor der IKKE ER trængt forurening ned i grundvandsmagasinene, og hvor der ER konstateret forurening i grundvandet. Dette muliggør en sammenligning af den procentvise fordeling af boringer med påvist forurening i grundvandsmagasinet med borerne fordeling inden for de 33 PM-typer og PM-typerne rangdeles derefter indbyrdes i forhold til den procentvise fordeling af forurenede boringer.

### **Steps udover udarbejdelse af PM-kortet.**

- 1: I indeværende Grundrisk projekt estimeres lertykkelser under de enkelte forurenede lokaliteter i OSD og indvindingsoplande udenfor OSD. Dette gøres ved online udtræk af boringer i Jupiterdatabasen, hvorved der ud fra opsatte kriterier beregnes bedste estimater af lertykkelser over det øverste grundvandsmagasin (i DK-modellen). Lertykkelser er opgjort i lithologiklasserne fed ler og moræneler.
2. Udarbejdelse af landsdækkende lerudbredelseskort baseret på udtræk fra de geologiske kort over Danmark. Det anbefales at lave en opdeling med a. moræneler, morænesand, og alle andre lertyper i en 3 grupper (marint ler, postglacial ler, issøler, m.m.).
3. Sammenstilling af aggregeret PM kort ved at kombinere PM-kort med kombineret lertykkelser/lerudbredelseskort.
4. Sammenstilling af aktuelle punktkildeforureninger og fordelingen af boringer ned i det øverste grundvandsmagasin med og uden forurening.

Denne sammenkobling kan videreudvikles til en sårbarhedsvurdering, der viser den procentvise fordeling eller forholdet imellem forurenede boringer/ikke forurenede boringer ved den enkelte punktkilde.

5. Sammenstilling af det aggregerede PM-kort med sårbarhedskortet. Her vil fordelingen af punktkildeforureninger og deres relative sårbarhed inden for de 33 PM-typer kunne angives. De 33 PM-typer kan så rangordnes efter graden af sårbarhed, og en reelt sårbarhedsvurdering af den enkelte forurenede lokalitet kan angives.

6. Analyse og afrapportering af resultater, sammenfatning af hovedkonklusioner samt formulering af samlet inddragelse af et national PM tilgang i GrundRisk konceptet.

## Referencer:

- Klint K.E.S., Nilsson B., Troldborg L. and Jakobsen P.R. 2013: A Poly Morphological Concept for hydrogeological applications in heterogeneous glacial sediments. *Hydrogeology Journal*: Volume 21, Issue 6 (2013), Page 1247-1264.
- Klint K.E.S., Von Platen-Hallermund, F. and Christophersen M., 2006: Construction of 3D geological models in glacial deposits to characterize migration of pollution. *Review of Survey activities 2005 (ROSA)*. Ed. M Sønderholm and A.K. Higgins. *Geol. Survey of Denmark and Greenland Bul.* 10. pp. 21-24.
- Klint K.E.S., Richardt N. and Krüger J. 2010: Evidence for subglacial deformation and deposition during a complete advance-stagnation cycle of Kötlujökull, Iceland – a case study. In *The Myrdalsjökull Ice Cap, Iceland, 13, Glacial Processes, Sediments and Landforms on an Active Volcano*. Ed. Schomacker A, Johannes Krüger J, Kjaer K. pp 145-159.
- Klint. K.E.S., 2001 *Fractures in Glacigene Diamict deposits; Origin and Distribution*. Ph.D-thesis. Geological Survey of Denmark and Greenland, Special report no. 129.
- Klint, K.E.S., Abildtrup, C.A., Gravesen, P., Jakobsen, P.R., and Vosgerau, H. 2001: Sprækkers op-rindelse og udbredelse i moræneler i Danmark. *Vand og Jord* 8, 3, 111-119.
- Kessler T.C., Klint K.E.S, Nilsson B., and Bjerg P.L., (2012) Characterisation of sand lenses embedded in tills, *Quaternary Science Reviews*, 53, 55-71.
- Harrar, W.G., Murdoch L.C., Nilsson B. and Klint, K.E.S., 2007: Field characterization of a solute plume in a fractured glacial till. *Hydrogeology Journal* 15, pp. 1473-1488.
- Henriksen H.J., Barlebo H.C., Ernstsen V., Hansen M., Harrar W.G., Jakobsen P.R. Klint K.E.S. and Troldborg L. 2000: Anvendelse af regionale pesticidmodeller som prognoseværk-tøj. I *Pesticider og grundvand*, Temanummer fra Grundvandsgruppen Miljøforskning 42 under det strategiske miljøforsknings program april 2000.
- Jakobsen, P.R., and Klint. K.E.S 1999: Fracture Distribution and Occurrence of DNAPL in a Clayey Lodgement Till. *Nordic Hydrology*, Vol. 30, No, 4/5, pp 285-300.
- Gravesen P, Balling IM, Vignoli G, Klint KES, Brusch W, Nilsson B, Larsen CL, Juhler R, Rosenbom AE 2014. Vurdering af mulighederne for udpegning af pesticidfølsomme lerområder (SFO-ler) på grundlag af eksisterende data. Udarbejdet for Naturstyrelsen. GEUS rapport nr 2.
- Gravesen P., Klint K.E.S., Ernstsen V., Jakobsen P.R 2001: Opskalering af morænelers egenskaber. *Vand og Jord*. 8. 4, 126-129.
- Gravesen P., Klint K.E.S., Jacobsen O.S., Harrar W.G. Felding G., Jørgensen P. Fomsgaard I. And Spliid N.H., 2000: Transport af vand og pesticider i opsprækket moræneler. I *Pesticider og grund-*

vand, Temanummer fra Grundvandsgruppen Miljøforskning 42 under det strategiske miljøforsknings program april 2000.

Rosenbom, A.E., Therrien, R., Refsgaard, J.C., Jensen, K.H., Ernstsen, V. & Klint, K.E.S. 2009: Numerical analysis of water and solute transport in variably-saturated fractured clayey till. *Journal of Contaminant Hydrology* 104, 137-152

Tzovolou D.N., Benoit Y., Haeseler F., Klint K.E.S and Tsakiroglou C.D. 2009: Spatial distribution of jet fuel in the vadoze zone of a heterogeneous and fractured soil. [Science of The Total Environment Vol. 407, 8](#). 1. Pp 3044-305.



G E U S

GrundRisk delprojekt 0.1, Miljøstyrelsen

# Appendix A: Notat – indledende tests og resultater (forprojekt)

---





GEUS

Thomas Vangkilde-Pedersen og Anders Juhl Kallesøe, GEUS, 25-02-2015

## Til Miljøstyrelsen

Att.:

Jens Aabling

Civilingeniør, Jord og Affald

Dir tlf.: (+45) 72 54 41 99

[jeaab@mst.dk](mailto:jeaab@mst.dk)

## NOTAT – indledende tests og resultater

## Indhold

1.	Undersøgte testlokaliteter .....	3
2.	Test af eksisterende webapplikation baseret på udtræk fra Jupiter (Jordvarme applikation) .....	4
2.1.	De første modificeringer af nuværende applikation .....	4
2.2.	Sammenligning af GEUS udtræk og geologiske beskrivelse .....	5
	Fladhøjvej, Rødekro (Syddanmark) .....	5
	Oddesundvej, Snedsted (Nordjylland).....	5
	Fælledvej, blære (Nordjylland).....	7
	Vesterågade, Kolind (Midtjylland) .....	7
	Møllemarksvej, Ruds-Vedby (Sjælland).....	9
	MW Gjøesvej, Hedehusene (Hovedstaden) .....	10
	Rugårdsvej, Odense (Syddanmark).....	10
	Flintholmvej, Allerød (Hovedstaden).....	12
	Fløjstrupvej, Malling (Midtjylland) .....	13
2.3.	Sammenfattende kommentarer og observationer .....	14
3.	Inddragelse af geofysik (GERDA databasen) .....	15
3.1.	SSV konceptet.....	15
3.2.	SSV test - Fløjstrupvej, Malling (TEM40, PACES, MEP, SkyTEM) .....	15
3.3.	De øvrige lokaliteter med geofysik.....	19
3.4.	Sammenfattende kommentarer/observationer .....	21
3.5.	Sammenligning af SSV med udtræk fra Jupiter applikationen .....	21
4.	Referencer .....	22

## Test af koncept og projektidé – Observationer og resultater

GEUS har i et forprojekt for Miljøstyrelsen gennemført flere indledende undersøgelser af den overordnede projektidé til estimat af lertykkelser ved V1 og V2 kortlagte lokaliteter.

Ni udvalgte testlokaliteter er undersøgt nærmere ved brug af GEUS' applikation til lokal udsøgning af boringsinformation. Endvidere er det undersøgt hvorledes geofysiske data kan inddrages i estimeringen af lertykkelser

### 1. Undersøgte testlokaliteter

Efter aftale med Miljøstyrelsen og DTU Miljø er 9 udvalgte testlokaliteter undersøgt nærmere. Lokaliteterne er kort beskrevet i notatet "Udvalgte lokaliteter" /1/.

De 9 lokaliteter er angivet i nedenstående tabel:

	Vej	By	Region	Primær forurening
1	Fladhøjvej 1	Rødekro	Syddanmark	PCE (samt nedbrydningsprodukter)
2	Vesterågade 1	Kolind	Midtjylland	BTEX
3	Møllemarksvej	Ruds-Vedby	Sjælland	Benzen, toluen og MTBE
4	MW Gjoesvej	Hedehusene	Hovedstaden	PCE (samt nedbrydningsprodukter)
5	Rugårdsvej	Odense	Syddanmark	TCE (samt nedbrydningsprodukter)
6	Fælledvej	Blære	Nordjylland	TCE
7	Oddesundvej	Snedsted	Nordjylland	Phenoxysyrer og bentazon
8	Flintholmvej	Allerød	Hovedstaden	Phenoxysyrer og bentazon
9	Fløjstrupvej	Malling	Midtjylland	Bentazon

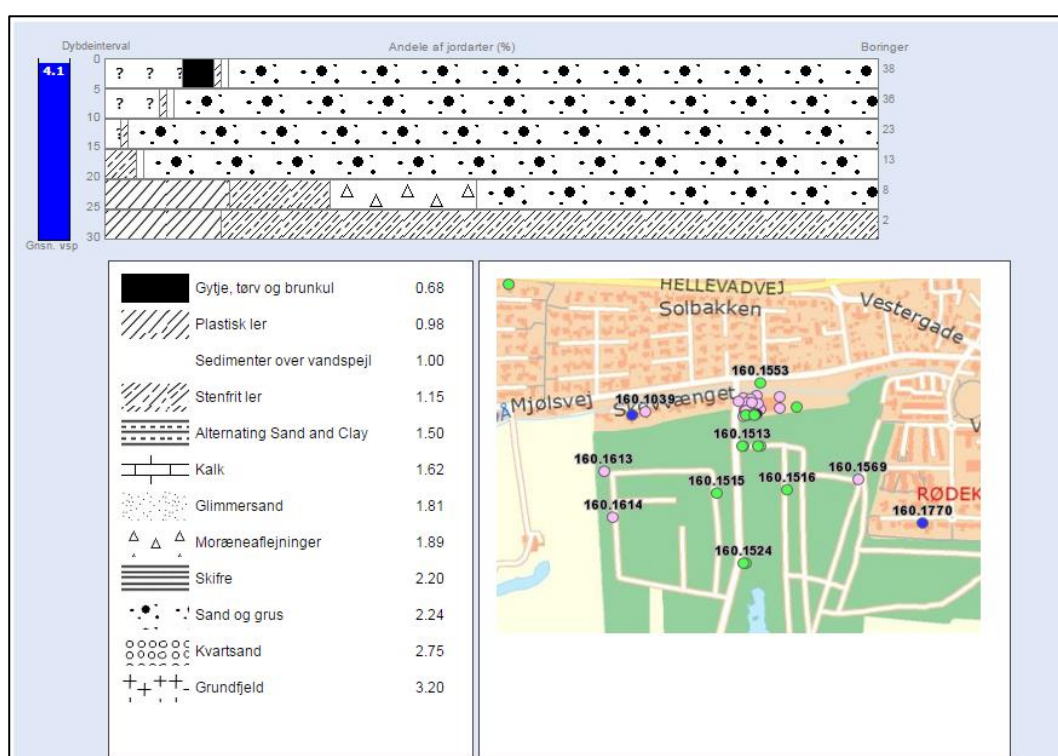
## 2. Test af eksisterende webapplikation baseret på udtræk fra Jupiter (Jordvarme applikation)

### 2.1. De første modificeringer af nuværende applikation

Der er indledningsvist blevet modificeret to elementer i det eksisterende Jupiter-værktøj:

- For at opløse den overfladenære geologi bedre, giver udtræksmodulet nu den procentvise fordeling af lithologiklasser i 5 m dybdeintervaller.
- Der beregnes i 5 m intervaller ned til 50 m's dybde.
- Til højre i output-layoutet ses antallet af boringer der indgår i beregningerne til hvert interval.
- Til venstre i layoutet er det beregnede gennemsnitlige vandspejl vist.

På Figur 1 er vist et eksempel på boringsudtræk fra testlokaliteten Fladhøjvej i Rødékro (renseri).



Figur 1. Eksempel på udtræk med modificeret applikation ved testlokaliteten Fladhøjvej, Rødékro. Udtrækket stopper ved dybden 30 m da der ikke findes boringsinformation herunder inden for det valgte areal (ca. 1500x1500 m).

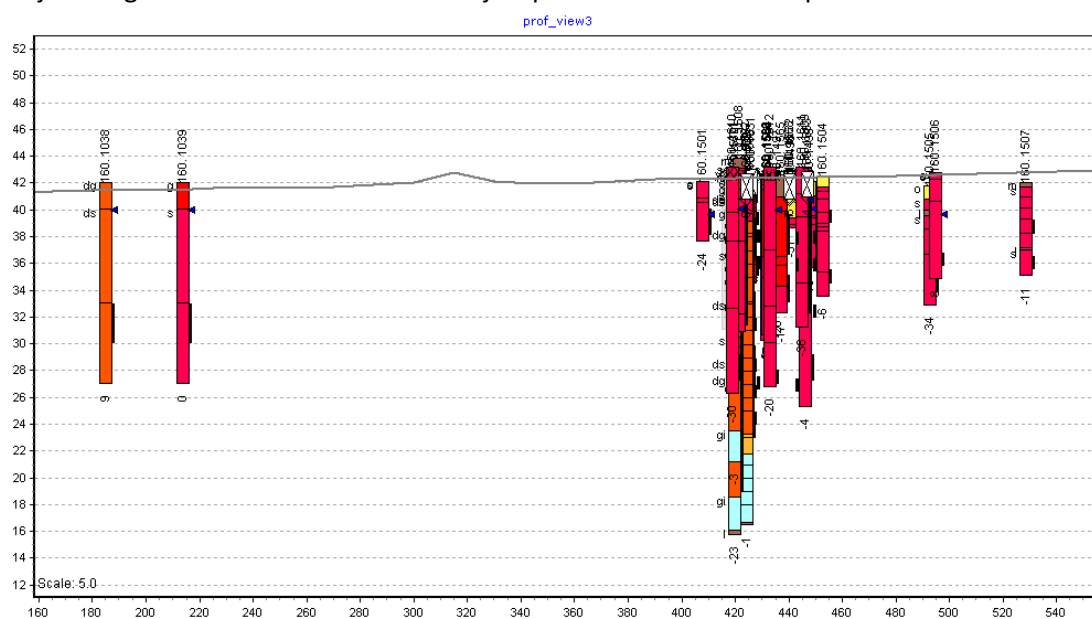
## 2.2. Sammenligning af GEUS udtræk og geologiske beskrivelse

I afsnittet undersøges resultater fra boringsudtræk med beskrivelser af geologien ved de enkelte testlokaliteter. Der er endvidere foretaget en sammenligning af udtræksresultater med Jupiter-data i GeoScene3D. Der er gennemført udsøgninger inden for arealer med varierende størrelse.

### Fladhøjvej, Rødekro (Syddanmark)

Geologien ved Fladhøjvej, Rødekro beskrives til overvejende at bestå af smeltevandssand og -grus. Først i 20 m's dybde træffes der moræneler på omkring 5 m's tykkelse, og som underlejres af smeltevandsler /1/. Det er tolket at morænelersbænken kiler ud ca. 500 m syd for lokaliteten. Vandspejlet vurderes at ligge 3 m u.t. /1/.

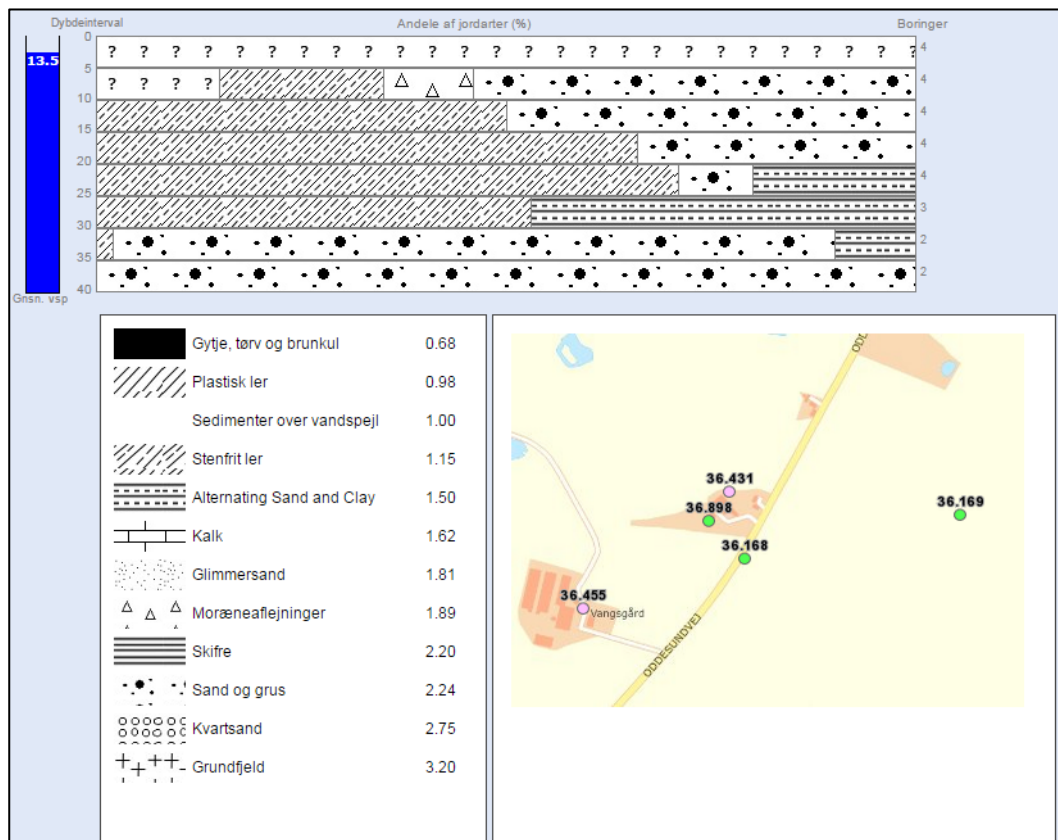
Resultatet fra GEUS-applikationen ses på Figur 1 og viser en god overensstemmelse med tolkningen af geologien. Udtrækket viser en dominans af sand og grus i de øverste 20 m, mens der først ses ler med en andel tæt på 50 % i intervallet 20-25 m's dybde. Det kan observeres at kun 2 boringer bidrager med information i intervallet 25-30 m, tolket til 100 % ler. Dybere end 30 m er der ingen boringsinformation. Nedenstående vest-øst orienterede tværsnitsprofil illustrerer hvorledes området er domineret af glacialt smeltevandssand i de øverste 15-20 meter, se Figur 2. Det bemærkes at der er konstateret flere miljøboringer som ikke indberettet med jordprøvebeskrivelser til Jupiter.



Figur 2. Vest-øst orienteret profil på tværs af lokaliteten Fladhøjvej. Renseri er beliggende omkring profilmeter 430 m, hvor boringstætheden er størst.

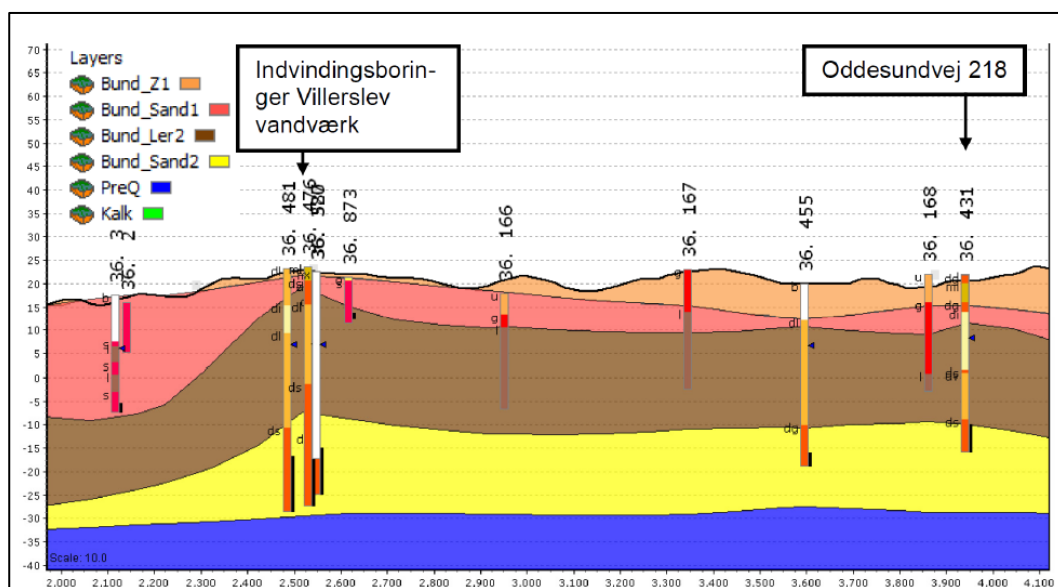
### Oddesundvej, Snedsted (Nordjylland)

Ved lokaliteten ses kun Jupiterboringer inden for et kvadrat på 1000x1000 m som bidrager med lithologisk information. Der findes miljøboringer fra området som ikke er indberettet til Jupiter, jf. skitse i /1/. Udtræk fra GEUS' applikation ses på Figur 3.



Figur 3. Resultat af udtræk af boringsudtræk. Udtrækket er baseret på 4 boringer. Areal 1000x1000 m

Udtrækket viser god overensstemmelse med den tolkede geologi. Dvs. at de øverste 10-15 meter kan betragtes som et sekundært magasin, herunder ses overvejende lerede sedimenter til ca. 30 m's dybde. Dybere end 30 meter findes det primære sandmagasin. Den tolkede geologi i området ses på Figur 4.

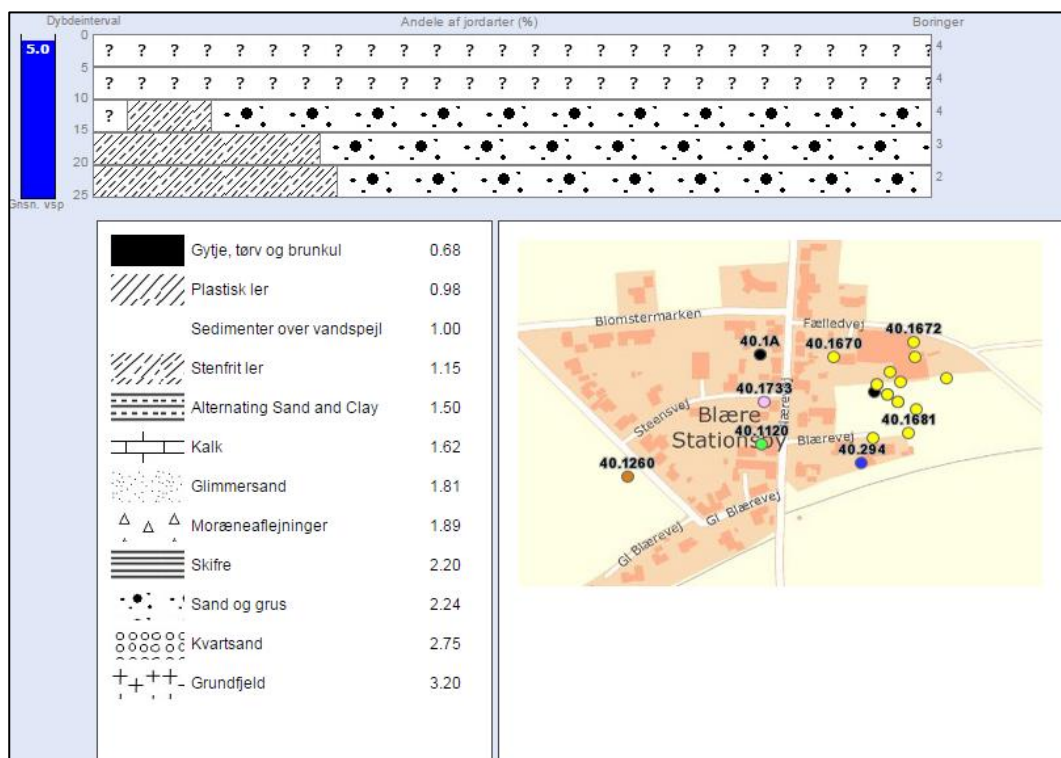


Figur 4. Tolket geologi ved lokaliteten Oddevej 1/

### Fælledvej, blære (Nordjylland)

Der er udført 12 filtersatte boringer hvor jordprøvebeskrivelser kun er tilgængelige som PDF-dokumenter. For at opnå mere end én tilgængelig boring, er der udsøgt inden for hele Blære Stationsby, ca. 500x 500 m. Geologien er beskrevet som et sandmagasin uden sammenhængende lerlag, og dermed vurderes forureningen at true grundvandet og det nærliggende vandværk /1/.

Udtrækket fra GEUS-applikationen indikerer, i lighed med den tolkede geologi, et frit sandmagasin med indslag af ler. Der er ingen lithologiske oplysninger i intervallet 0-10 m, se Figur 5.

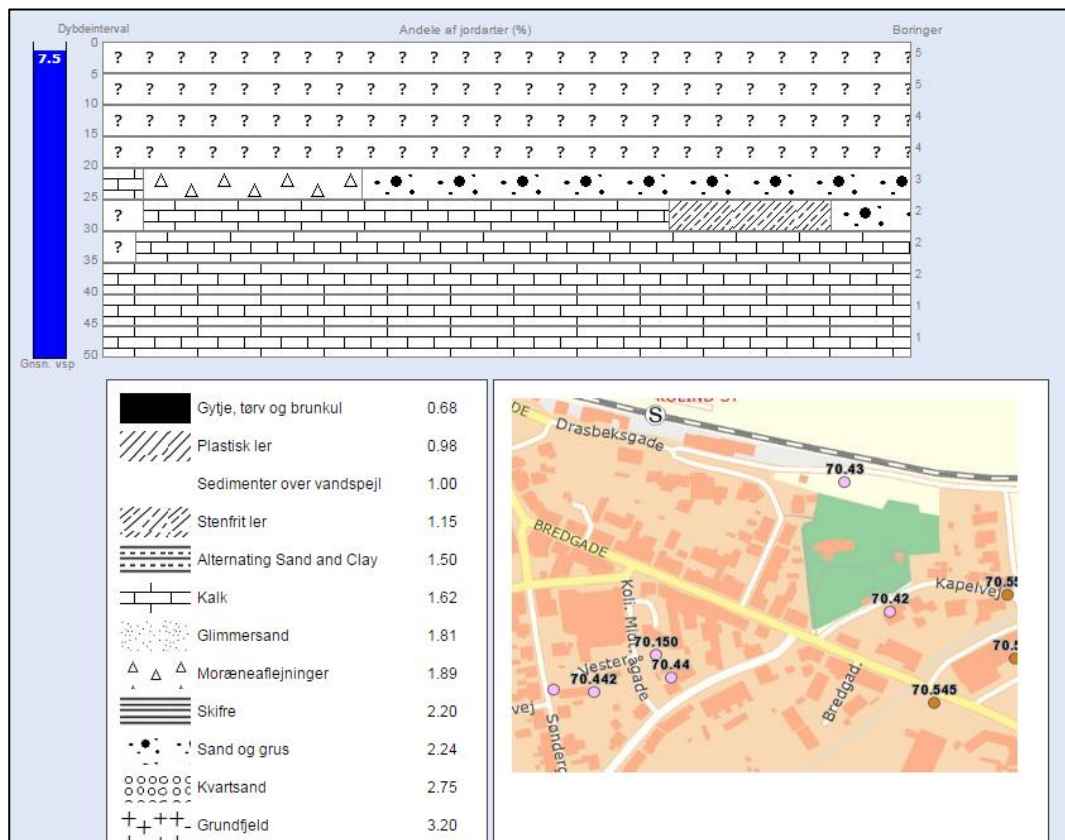


Figur 5. Udtræk fra GEUS' applikation. Datagrundlaget er 4 boringer. Miljøboringer (gule punkter) er her ikke indberettet med jordprøvebeskrivelser.

### Vesterågade, Kolind (Midtjylland)

Ved lokaliteten ses få boringer med jordprøvebeskrivelse. I et udtræk inden for et areal på 300x300 ses ikke lithologiske oplysninger fra 0-20 m's dybde. Her er man derfor afhængig af informationer fra udførte miljøboringer for at kunne estimere en lertykkelse over, i dette tilfælde, kalken.

Udtrækket ses på Figur 6.



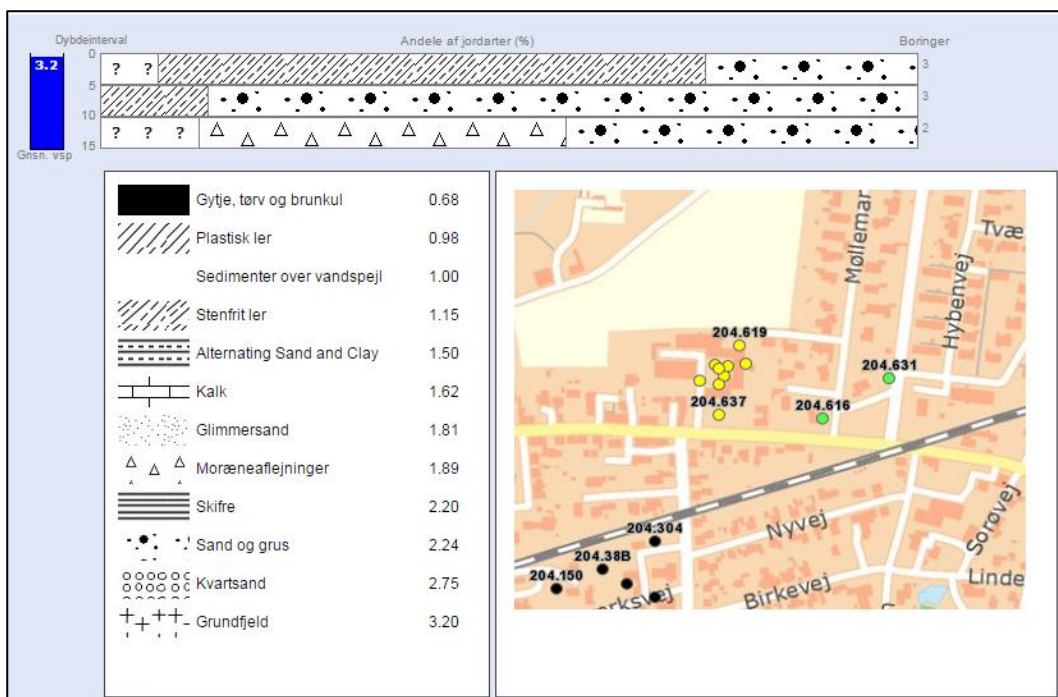
Figur 6. Udtræk fra GEUS' applikation. Datagrundlaget er 5 boringer. Det bemærkes at boringsgrundlaget er så sparsomt at der ikke findes oplysninger om sedimenterne i de øverste 20 m.



## Møllemarksvej, Ruds-Vedby (Sjælland)

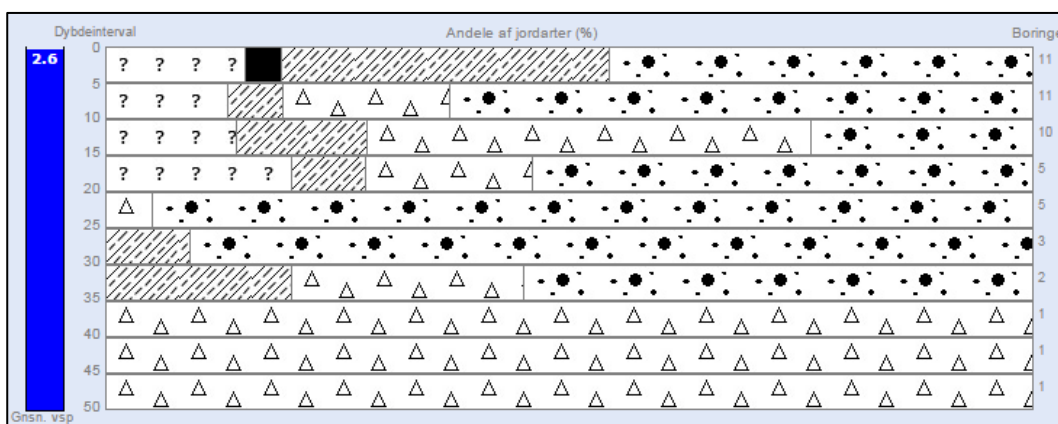
Geologien ved Møllemarksvej beskriver et øvre frit sandmagasin med tykkelse på 11 m hvorunder der findes moræneler med en tykkelse på 6 m. Under moræneleret findes et primært sandmagasin /1/. Der er målt indhold af nedbrydningsstoffer fra kildeforureningen i det primære magasin /1/.

Udtræk fra GEUS-applikationen inden for 400x400 m ses på Figur 7. Miljøboringer (vist med gult) på oversigten til venstre er fra en nabolokalitet og forefindes ikke med jordprøvebeskrivelser i Jupiter.



Figur 7. Udtræk fra GEUS' applikation ved Møllemarksvej 2. Datagrundlaget er kun 3 borer inden for 400x400 m. Det bemærkes at der kun er oplysninger ned til 15 m's dybde.

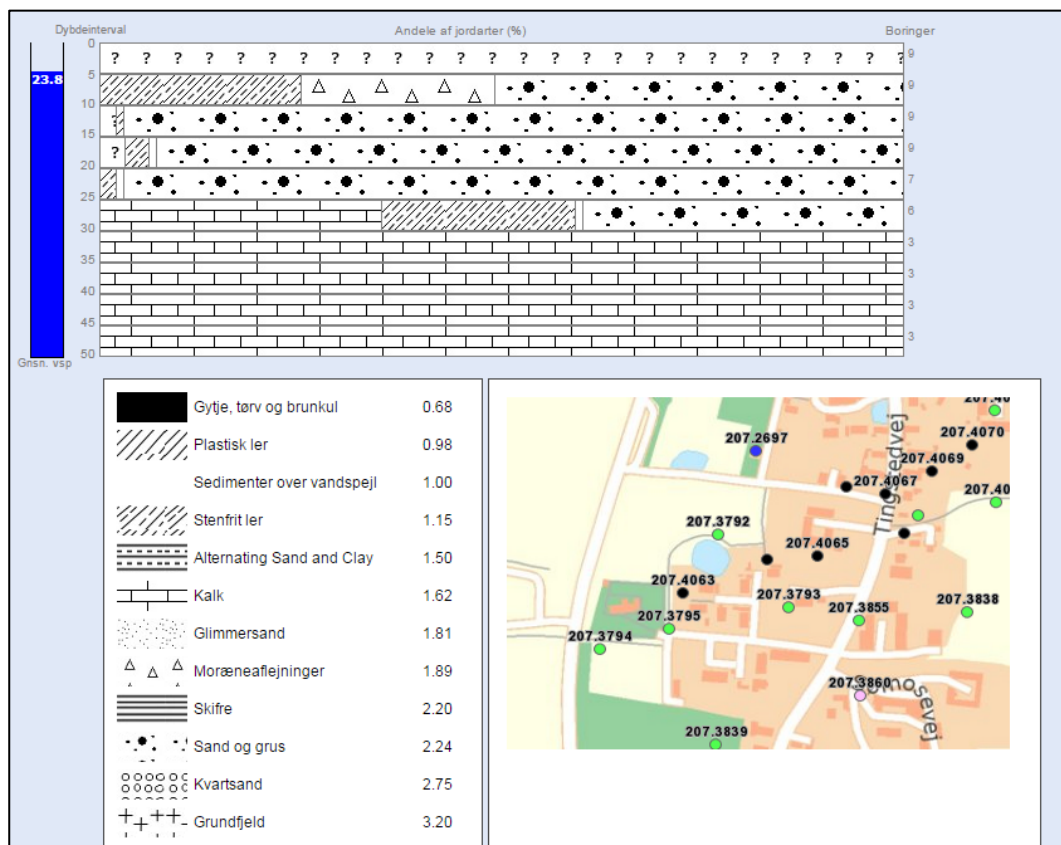
Udsøgningen er et eksempel på at der muligvis bør kigges på et større areal for at opnå en tilstrækkelig vurdering af geologien. Ved at øge arealet til 750x750 m, opnås et indtryk af geologien baseret på flere data, se Figur 8:



Figur 8. Udtræk ved Møllemarksvej med et areal på 750x750 m.

### MW Gjøesvej, Hedehusene (Hovedstaden)

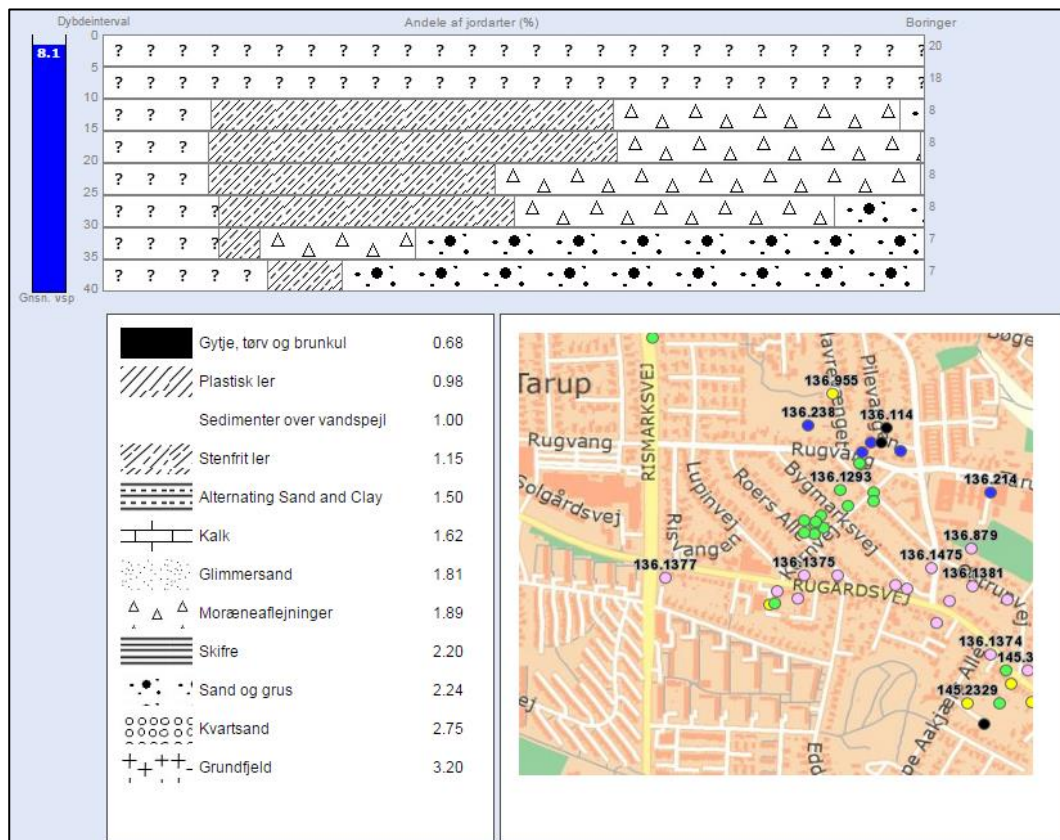
Der ses en god overensstemmelse mellem den beskrevne geologi af et øvre sekundært sandmagasin, og et nedre primært kalkmagasin /1/, se Figur 9. Begge magasiner under frie forhold /1/.



Figur 9. Resultat af GEUS udtræk ved MW Gjøesvej. Det udsøgte areal er 350x350 m.

### Rugårdsvej, Odense (Syddanmark)

Den regionale geologi ved rugårdsvej er beskrevet ved øvre serie af moræneler på 25-30 m, herunder et sekundært sandmagasin på 5-15 m's tykkelse. Det sekundære og primære sandmagasin er adskilt af ca. 20 m moræneler. Begge magasiner er spændte, og der er ikke påvist forurening i det primære magasin /1/. På Figur 10 ses det, at til trods udsøgning af boringer i et areal på 1x1 km, så er vidensgrundlaget spinkelt. Der er høje procentsatser uden lithologisk information hvilket vanskeliggør en vurdering og prioritering af forureningens trussel for grundvandet. Det primære magasin kan erkendes i udtrækket, men ikke det sekundære magasin, se Figur 10.

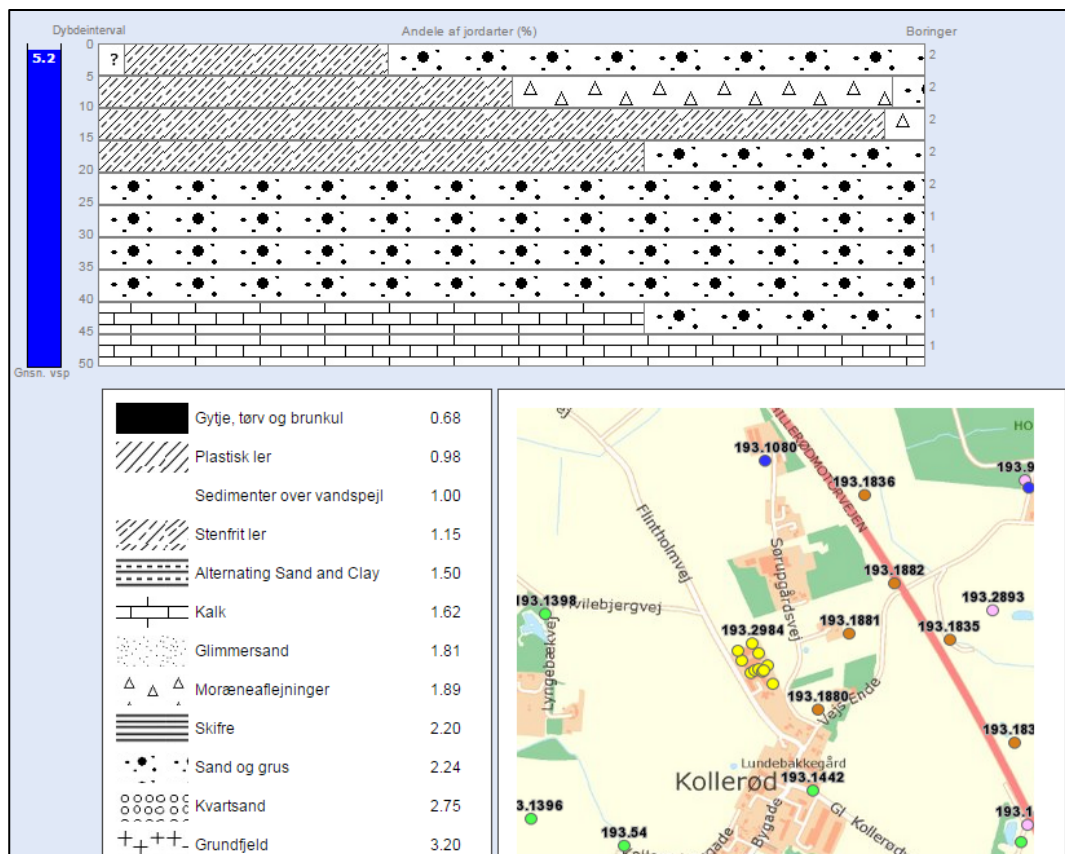


Figur 10. GEUS udtræk i inden for et areal på 1x1 km. Der erkendes mange boringer uden lithologisk information.

## Flintholmvej, Allerød (Hovedstaden)

Miljøboringer er ikke angivet med lithologi i Jupiter (GEUS har modtaget prøver i maj 2014). Lithologi ses kun i tilknyttet borerapport. Dette medfører, at til trods for en udsøgning i et område på 1x1 km, så er der kun 2 boringer som bidrager til nedenstående udtræk, se Figur 11.

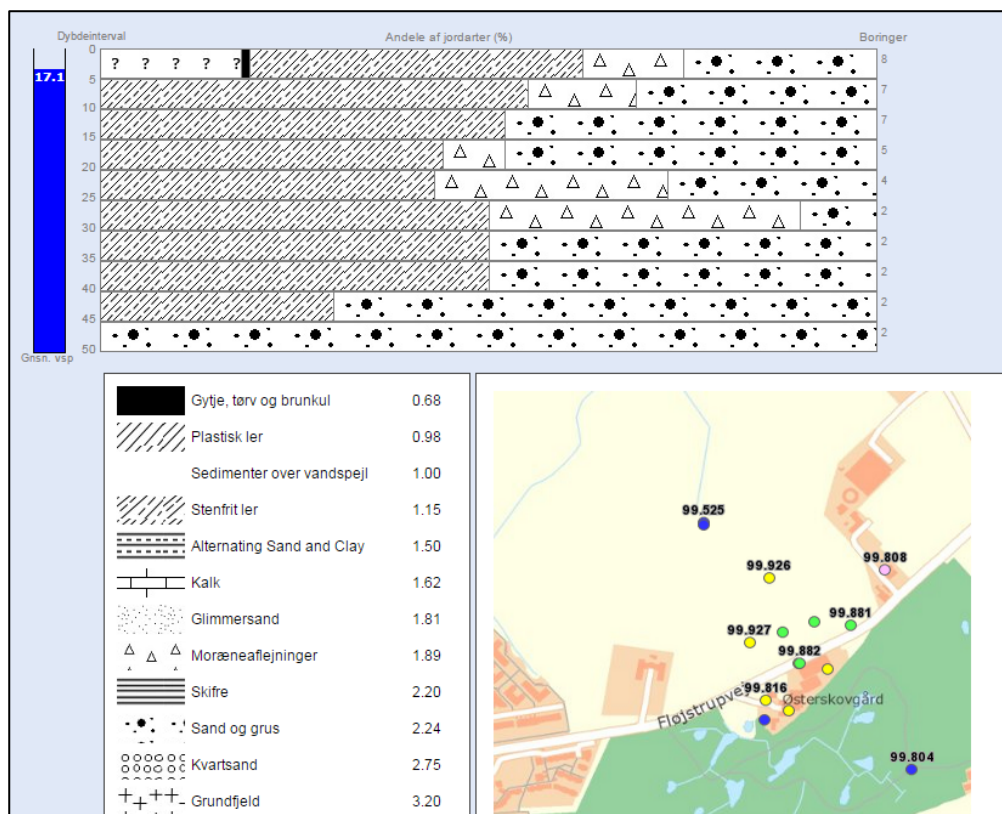
Udtrækket matcher dog udmærket den beskrevne geologi ved lokaliteten, jf. /1/.



Figur 11. GEUS udtræk i indenfor et areal på 1x1 km. Der erkendes mange boringer uden lithologisk information.

## Fløjstrupvej, Malling (Midtjylland)

På Figur 12 ses udtrækket ved lokaliteten Fløjstrupvej i Østjylland. Procentfordelingerne i flere intervaller viser en næsten ligelig fordeling mellem ler og sand hvilket kan indikere stor geologisk heterogenitet. Dette er også tilfældet da der ved gennemgang af enkelte boringsdata typisk ses en hyppig vekslen mellem tynde ler og sandlag. Observationerne er vigtige i forhold til vurderingen af lertykkelser og sårbarheden af det primære grundvandsmagasin.



Figur 12. GEUS udtræk i inden for et areal på ca. 500x500 m. Procentfordelingerne af lithologiklasser indikerer en stærkt vekslende geologi.

### 2.3. *Sammenfattende kommentarer og observationer*

- Resultaterne fra Jupiter-applikation viser generelt en god tilpasning med den beskrevne og tolkede lokalgeologi ved testlokaliteterne.
- De indledende test af Jupiter-boringsgrundlag ved testlokaliteterne viser at flere miljøboringer ikke er indberettet i Jupiter, eller ikke er angivet med jordprøvebeskrivelser. Problemet ses ved samtlige testlokaliteter.
- Pga. af de manglende indberetninger af lithologi til miljøboringer, bør det vurderes hvorvidt et værktøj skal have mest fokus på forurenede grunde hvor der endnu ikke er gennemført supplerende undersøgelser i forbindelse med en V2-kortlægning. Ligeledes bør det overvejes om der skal implementeres en synliggørelse af hvilke, samt antallet af borerne, der bidrager med lithologiske informationer (evt. fordelt på dybde).
- Det kan overvejes om der skal implementeres en angivelse af afstanden til den nærmeste boring med jordprøvebeskrivelse der indgår i beregningen.
- Gennemgang af testlokaliteterne har vist at stor lokalgeologisk heterogenitet er et vigtigt element i prioriteringen, og bør på bedste vis blive implementeret i en applikation. Se eksempelvis lokaliteten ved Fløjstrupvej.
- Det er ved test af værktøjet blevet synliggjort at det er nødvendigt at relatere de estimerede lertykkelse til en top af grundvandsmagasin. Den mest nærliggende løsning er en implementering af toppen af sandenheder fra DK-modellen (detaljegraden og regionale forskelle i graden af opdatering giver dog visse forbehold).
- Testene viser at retningen for grundvandsstrømning er en væsentlig parameter hvis der, som ønsket, skal sammenholdes med nærliggende vandværker og indvindingsoplande.
- Testene viser umiddelbart at størrelsen af udtræksarealet er væsentligt ift. til forståelsen af den regionale geologi, og i vurderingen af sekundære og primære magasiner. Områder med stor geologisk heterogenitet kan dog forstyrre forståelsen.
- I forhold til layoutdelen fra applikationen vil der være behov for at tilknytte målstok på kortlayout, og vise en værdi for størrelse af det areal der udtrækkes boringsdata indenfor.

### 3. Inddragelse af geofysik (GERDA databasen)

GEUS vil kunne supplere udtræk fra boringsdata med resistivitetsværdier fra den geofysiske GERDA-database. Der er forskellige tilgange til bearbejdning af et nationalt GERDA-udtræk. I de følgende afsnit beskrives tests ved anvendelse af SSV konceptet.

#### 3.1. SSV konceptet

Det er blevet undersøgt hvorvidt der kan gennemføres integrerede beregninger af lertykkelser vha. den såkaldte SSV-metode inden for valgte arealer i områder, hvor der konstateres geografisk sammenfald mellem anvendelig geofysik og forureningslokaliteter. Denne metode omfatter en statistisk korrelation mellem lithologi i borerer fra Jupiter-databasen og resistivitetsværdier fra geofysiske undersøgelser, og dermed beregnes en rumlig fordeling af ler og sand i områder med fladedækkende geofysiske målinger. Der er ved undersøgelserne taget udgangspunkt i polygoner på 2x2 km omkring den kortlagte jordforurening.

#### 3.2. SSV test - Fløjstrupvej, Malling (TEM40, PACES, MEP, SkyTEM)

Denne lokalitet er valgt, da testlokaliteten indeholder den største tæthed af geofysiske data. Inden for 2x2 km afgrænsningen ses fire geofysiske metoder (MEP, PACES, TEM40 og enkelte SkyTEM flyvelinjer)

Ved SSV testkørslerne på lokaliteten er alle fire geofysiske datatyper bragt i spil. Dvs. hver enkelt resistivitetmodel ved alle metoder oversættes til en beregnet lertykkelse.

Første overordnede trin i SSV processeringen har været en implementering af boringsdata og valg af lertilithologier der skal indgå i beregningerne. Her er valgt alle deciderede lertilithologier:

*l* – ler; *dl* - glacial smeltevandsler  
*fl* - postglacial ferskvandsler  
*gl* - oligo-, mio-, pliocæn glimmerler  
*hl* - postglacial saltvandsler  
*il* - interglacial ferskvandsler  
*ll* - eocæn ler, lillebælt ler, plastisk ler  
*ml* - glacial moræneler (leret till)  
*ol* - oligocæn ler  
*pl* - selandien ler, palæocæn ler, kerteminde  
*ql* - interglacial, interstadial saltvandsler  
*sl* - eocæn søvind mergel  
*tl* - senglacial ferskvandsler  
*xl* - oligocæn (mellem-) øvre ler  
*yl* - senglacial saltvandsler

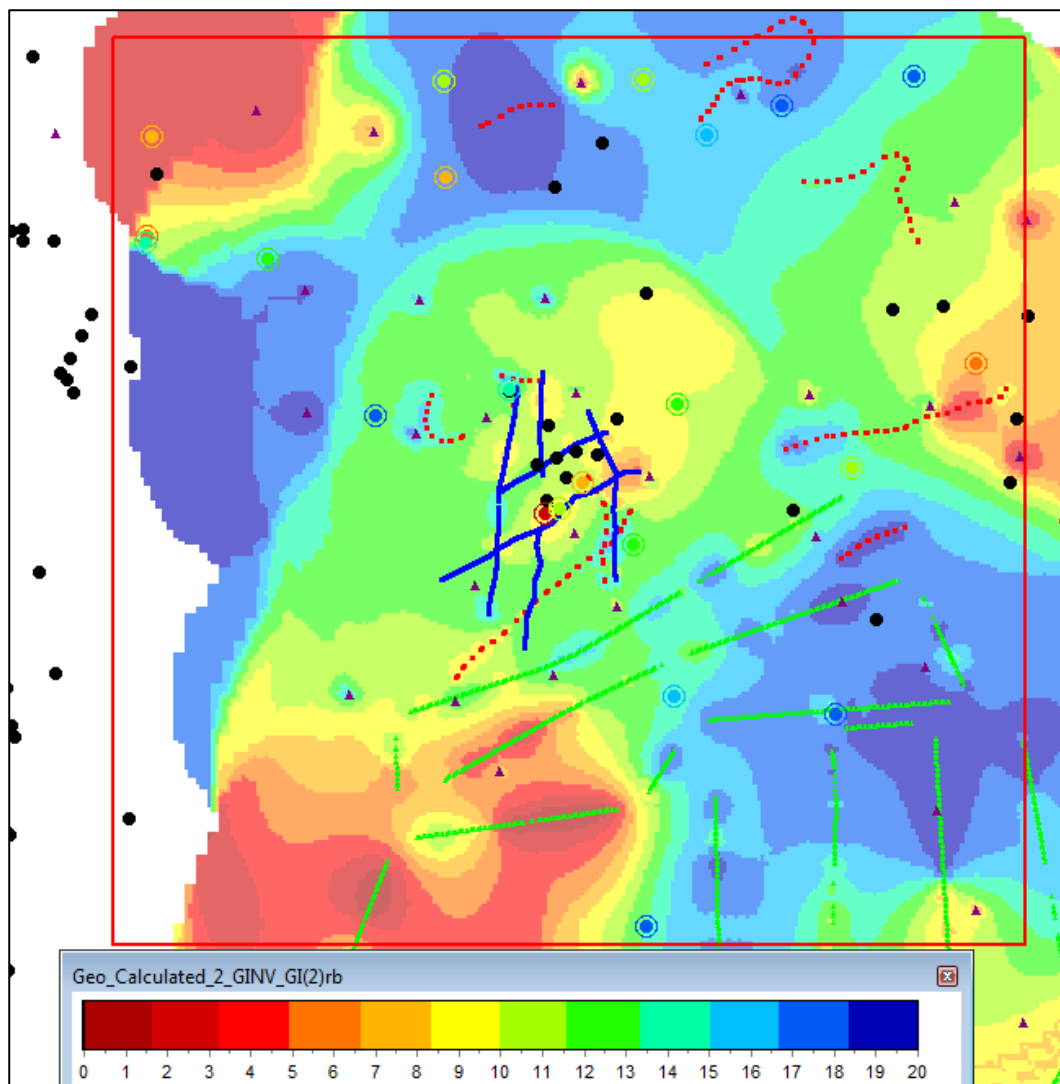
I de ovenfor angivne lithologier indgår ikke siltede sedimenter eller lithologier defineret som små vekslende lag.

Der er efter valg af lertilithologier kørt en automatisk kørsel på vurderet lerandel i 5 m's intervaller ud fra de valgte lertilithologier. Der er ved opsætningen benyttet en standardafvigelse på 10 %. Dvs. inden for de valgte 5 m's intervaller er der tillagt en usikkerhed på 0,5 m.

Selve SSV-kørslen er gennemført i dybdeniveauer/intervaller. Det vil også være muligt at foretage SSV-kørsler over en evt. defineret top af et grundvandsmagasin. Det SSV-output vi får, er en beregning i hele det valgte interval. Eksempelvis 0-15 m, 0-20 m, 0-30 eller f.eks. 15-30 m.

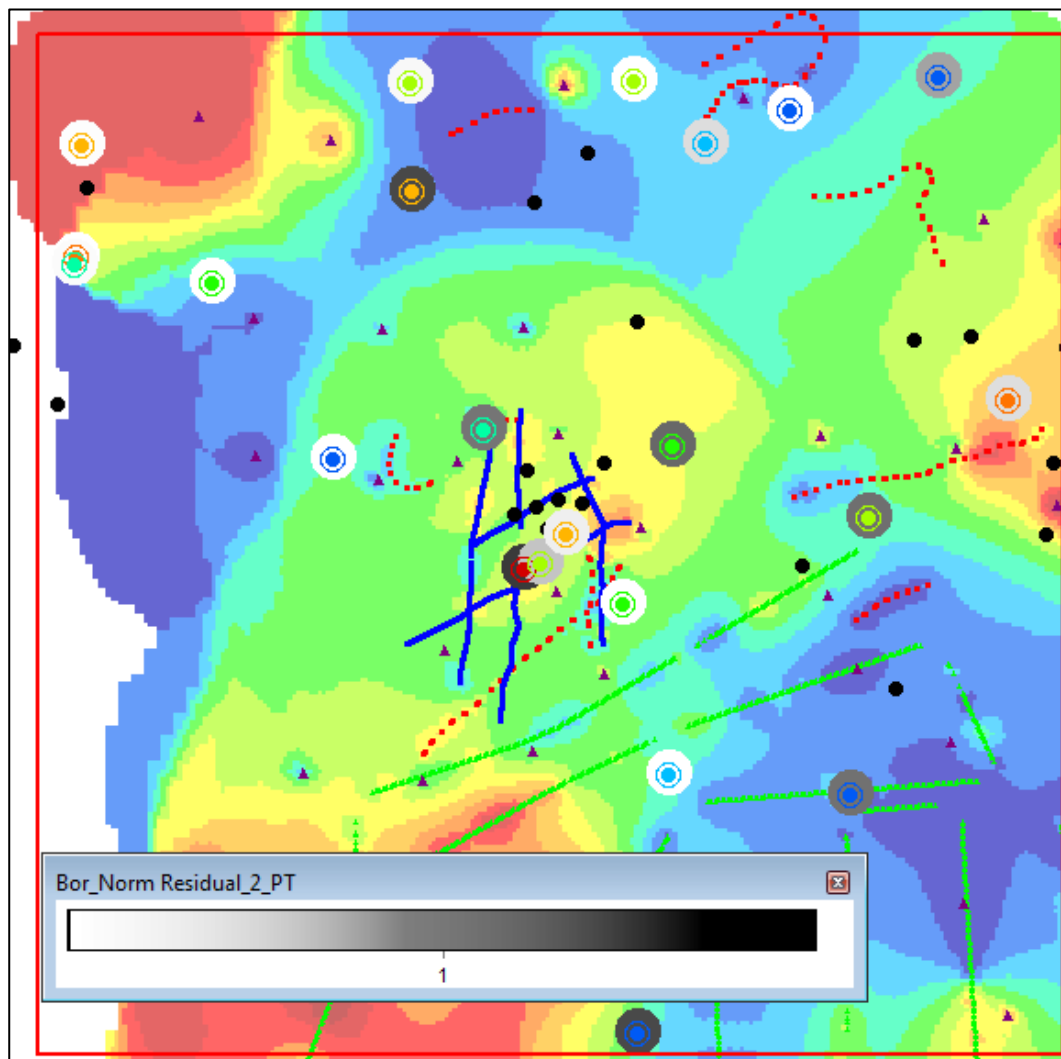
Ved SSV-opsætningen er anvendt en standard oversætterfunktion med prædefinerede bånd (constraints) Dvs. overgangen fra ler til sand i de geofysiske modstande vurderes at ligge i intervallet 50 til 70 Ohmm, med mulighed for at afvige imellem noderne inden for de fastlagte bånd.

På nedenstående Figur 13 ses en kørsel i intervallet 0-20 m's dybde. Griddet angiver de beregnede lertykkelser (rød= intet ler, blå= op til 20 m ler). De vurderede lertykkelser i borerne er tematiserede som cirkler med ring omkring. Det er væsentligt at bemærke at borer vist med sorte punkter ikke indgår i beregningerne. Residualet, der beskriver den relative tilpasning af borerne til SSV-outputtet, er vist på Figur 14.



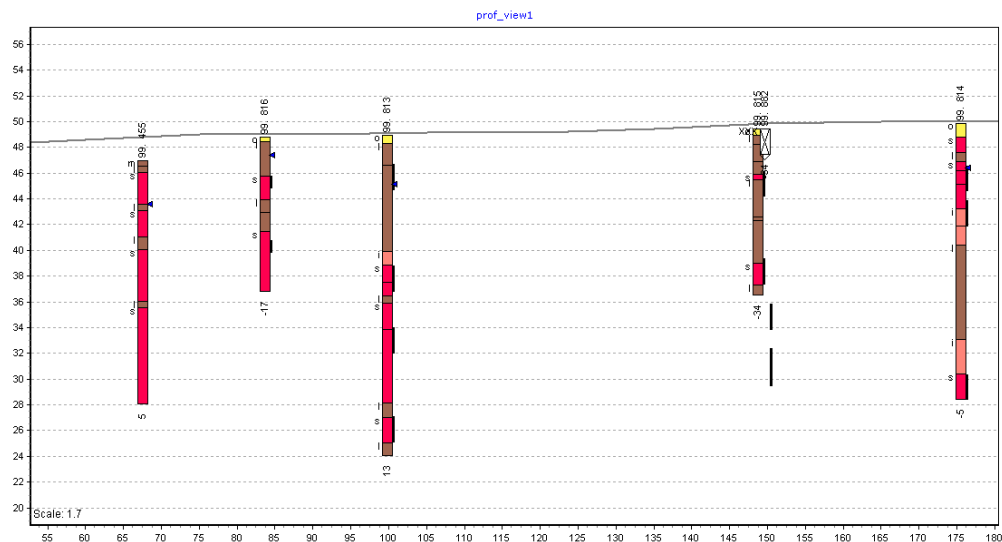
Figur 13. SSV-kørsel i intervallet 0-20 m's dybde. Baggrundsgriddet viser resultat af SSV-kørslen. Blå farver viser store estimerede lertykkelse, mens røde farver viser et begrænset lerdække. Punkter med cirkler omkring angiver den vurderede lertykkelse i borerne. Sorte punkter er borer uden lithologisk information, og indgår ikke i beregningerne. Røde punkter er SkyTEM, lilla trekanter er TEM40, blå linjer er MEP og grønne linjer er PACES data. Den valgte testpolygon på 2x2 km er vist med rød ramme.





Figur 14. Den relative tilpasning af boringsdata til SSV-resultatet er vist ved store udfyldte cirkler. Hvid angiver en god tilpasning, mens sort farve angiver en dårlig tilpasning.

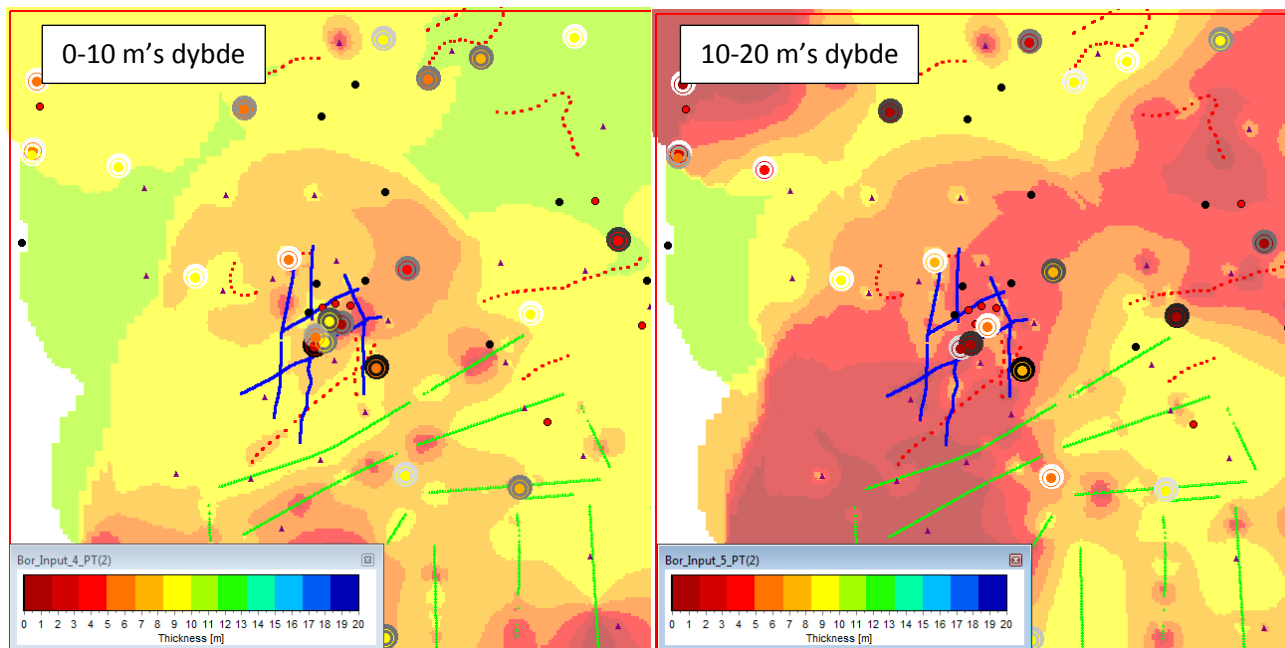
Omkring forureningslokaliteten i centrum af kvadratet ses en varierende tilpasning af boringsdata til SSV-resultatet. Især mod nord og øst er tilpasningen mindre god. Hovedårsagen til den begrænsede tilpasning er geologisk heterogenitet inden for korte afstande i lokalområdet, se tværprofilet på Figur 15. Stor lithologisk variation inden for korte afstande er et væsentligt aspekt der kan betyde at et område er mere sårbart over for forurening, end hvad der måske kommer til udtryk ved de estimerede lertykkelser. Et mål for usikkerheden på SSV med relation til hyppige lithologiske skift skal derfor bæres videre til den endelige vurdering af lertykkelser.



Figur 15. Vest-øst gående tværprofil på tværs af den forurenede lokalitet. Her ses store lithologisk variation mellem sand og ler inden for korte afstande. Profilet har en længde på ca. 130 m.

De to følgende figurer viser lertykkelsesberegninger i intervallerne 0-10 m og 10-20 m's dybde. Ud fra denne opdeling kan det sluttes at de største lertykkelser omkring lokaliteten vurderes at være i de øverste 10 m under terrænniveau. Dette illustrerer vigtigheden i valg af de intervaller der skal køres SSV på, idet opløselighed af hvordan leret fordeler sig under en given lokalitet til dels kan blive udvisket ved kørsler på for store intervaller

SSV-kørsel for intervallet 0-10 og 10-20 m's dybde:



Figur 16. Resultater for kørsel i dybdeintervallet 0-10 m og 10-20 m.

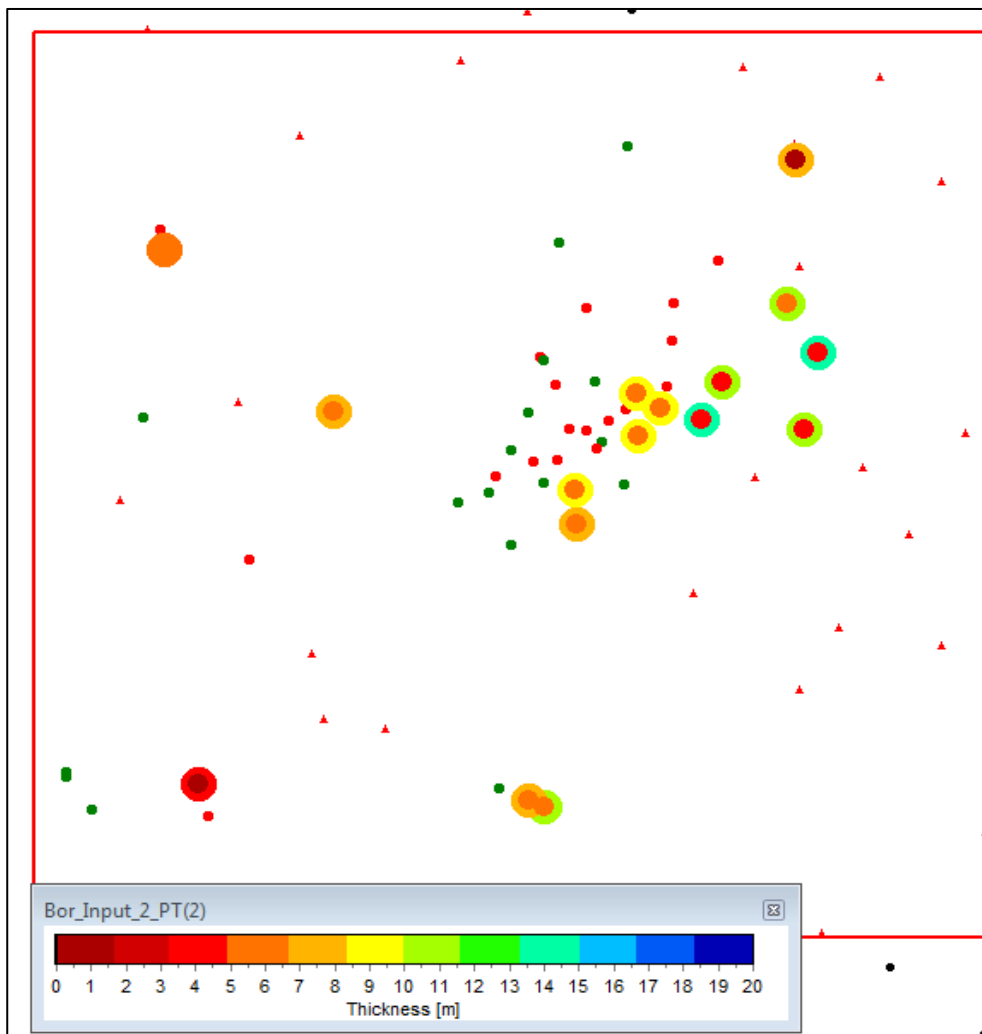
### 3.3. De øvrige lokaliteter med geofysik

Ved seks af de øvrige testlokaliteter ses et begrænset antal tolkede geofysiske modeller inden for en afgrænsning på 2x2 km. Modellerne ligger typisk perifært i forhold til centrum af lokaliteten og flere af de geofysiske kortlægninger er af ældre data med begrænset vertikal opøselighed.

Der er gennemført en test af SSV ved lokaliteten MW Gjøesvej ved Hedehusene hvor der findes 21 geofysiske TEM40 modeller i det valgte 2x2 km kvadrat.

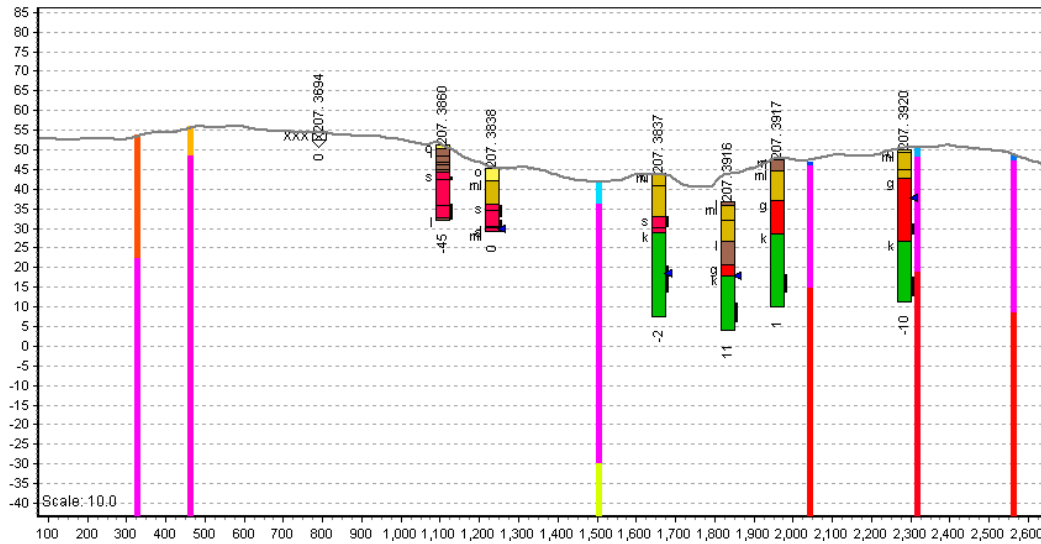
Den lokale geologi ved MW Gjøesvej beskrives ved en øvre moræneler på ca. 7 m hvorunder der findes sandede smeltevandsaflejringer på ca. 20 m's tykkelse. Herunder findes det regionale kalkmagasin.

Nedenfor på Figur 17 ses resultatet for SSV-kørslen i intervallet 0-20 m baseret på boringer og TEM40 i området ved Gjøesvej, Hedehusene. De store udfyldte cirkler viser lertykkelser fra det reelle boringsinput, mens de mindre cirkler viser den beregnede lertykkelse med input fra TEM40. Geofysikken har her en negativ effekt på resultatet, da TEM40-modellernes dårlige tilpasning til den terrænnære geologi influerer på den beregnede lerfraktion. Dvs. de beregnede lertykkelser ligger generelt væsentligt under de vurderede lertykkelser i boringsdata. Dette giver sig også til udtryk i høje standardafvigelser.



Figur 17. Resultat for SSV-kørsel med TEM40 i intervallet 0-20 m i området ved Gjøesvej, Hedehusene. De store udfyldte cirkler viser lertykkelser fra det reelle boringsinput, mens de mindre cirkler viser den beregnede lertykkelse med input fra TEM40.

Det nedenstående profil, se Figur 18, illustrerer ligeledes at TEM40-data i dette tilfælde ikke bidrager positivt til estimatet af lertykkelser. TEM40-metodens svaghed, med en begrænset opløsning af den overfladenære geologi, kommer dermed til udtryk ved denne test hvorfor metoden måske ikke bør stå alene ved SSV-kørsler på udvalgte lokaliteter.



Figur 18. Profil visende borer og TEM40-sonderinger i området ved MW Gjøesvej, Hedehusene. TEM40 ses som modelstave, hvor rødlige og lilla farver er høje resistiviteter. Herudover er vist borer med standard Jupiterfarveskala.

### 3.4. *Sammenfattende kommentarer/observationer*

- Geofysiske data inden for den valgte polygon skal have en brugbar vertikal opløselighed. Dvs. hvis der ved en lokalitet eksempelvis kun findes TEM40-modeller med tre modellag, og hvor det første modellag måske går fra 0-20 m's dybde, så vil det geofysiske input kun være en værdi i 0-20 m's dybde. Dette er bl.a. eksemplificeret ved SSV-test med TEM 40 på MW Gjøesvej. Anvendelse i sådan et tilfælde antages at være meget begrænset.
- I henhold til en landsdækkende anvendelse af SSV konceptet mangler generelt et overblik over antallet af lokaliteter der er egnede til en SSV kørsel. Dvs. at der i umiddelbar nærhed af den enkelte lokalitet foreligger flere nyere geofysiske data med en acceptabel opløsning af geofysiske modstande i de øverste 50 m underterrænniveau
- I en brug af SSV skal der opstilles kriterier for den geofysiske datatæthed. Dvs. der skal være en væsentlig andel geofysik inden for den valgte polygon, før området tages med i beregningen. Valg af et minimum antal modeller.
- SSV-konceptet bør køres i samme dybdeintervaller som det besluttes at anvende i Jupiter applikationen. Herved kan der laves en direkte sammenligning på overensstemmelse eller manglende overensstemmelse mellem boringsdata og geofysiske data. Antallet af intervaller, der skal gennemføres SSV indenfor, vil påvirke den samlede beregningstid.
- Valget af lithologier er væsentligt. Og det skal derfor her besluttes hvorledes sedimenter som eksempelvis "silt" bør vurderes og indgå.
- Der forventes at ligge en betydelig mængde arbejde i opsætning af oversætterfunktion og constraints ved et automatisk udtræk. Ligeledes må forventes en stor variabilitet i modstandsniveauer, der har indflydelse på oversætterfunktionen.
- Stor lithologisk variation inden for korte afstande er et væsentligt aspekt der kan betyde at et område er mere sårbart over for forurening end det der måske kommer til udtryk ved de estimerede lertykkelser. Et mål for usikkerheden på SSV med relation til hyppige lithologiske skift skal derfor bæres videre til den endelige vurdering af lertykkelser.
- Data-outputtet skal gennemtænkes så der eksempelvis kan foretages en sammenligning med boringer via et opsat rating-system.
- *Nationalt udtræk af resistivitetskort: Undlades brugen af SSV, kan det være en mulighed at gennemføre udtræk på dybdekort med middelresistiviteter (LN GeoDataStudio). Det vil her være muligt at prioritere de geofysiske kortlægninger.*

### 3.5. *Sammenligning af SSV med udtræk fra Jupiter applikationen*

- En sammenligning af udtræk fra Jupiter-applikationen og SSV-kørsler på lokaliteten Fløjstrupvej ved Malling viser lokalt en acceptabel overensstemmelse. Ved SSV-kørslen i intervallet 0-10 m ved lokaliteten er beregnet en lerfraktion på 6-9 m, hvilket tilpasser udmærket med en beregnet andel af ler på ca. 70 % (7 ud af 10 m) fra Jupiter-applikationen. I intervallet 10-20 m ses en beregnet lerfraktion ved SSV på 3-6 m, mens det beregnede gennemsnit fra Jupiterudtrækket viser en lerandel på ca. 50 %.
- SSV-eksemplet ved MW Gjøesvej, Hedehusene, viser manglende overensstemmelse med boringsdata i de øverste 10 m, mens der herunder ses en bedre overensstemmelse mellem fordelingen af lithologier og resistiviteter. Problemstillingen ved dette eksempel er primært at det

geofysiske bidrag kun er baseret på 3-4 lags TEM40-modeller. Dette betyder en mangelfuld vertikal opløsning af geofysikken i de øverste 50 m af lagserien.

- Generelt vurderes det, at kun lokaliteten Fløjstrupvej, Malling, ud af de ni testlokaliteter vurderes at indeholde et tilstrækkeligt geofysisk datasæt til en udbytterig SSV output. Lokaliteten Fløjstrupvej, er modsat de øvrige, placeret i et område med overlap af kortlægninger med fire geofysiske metoder.

#### 4. Referencer

/1/ Notatet "Udvalgte lokaliteter, Grundrisk", Miljøstyrelsen og DTU, januar 2015.



## Appendix B

# Visualisering af resultater ved tre udvalgte lokaliteter

*GrundRisk - Metode til at estimere lertykkelse under jordforureninger, der er kortlagt på V1 og V2*



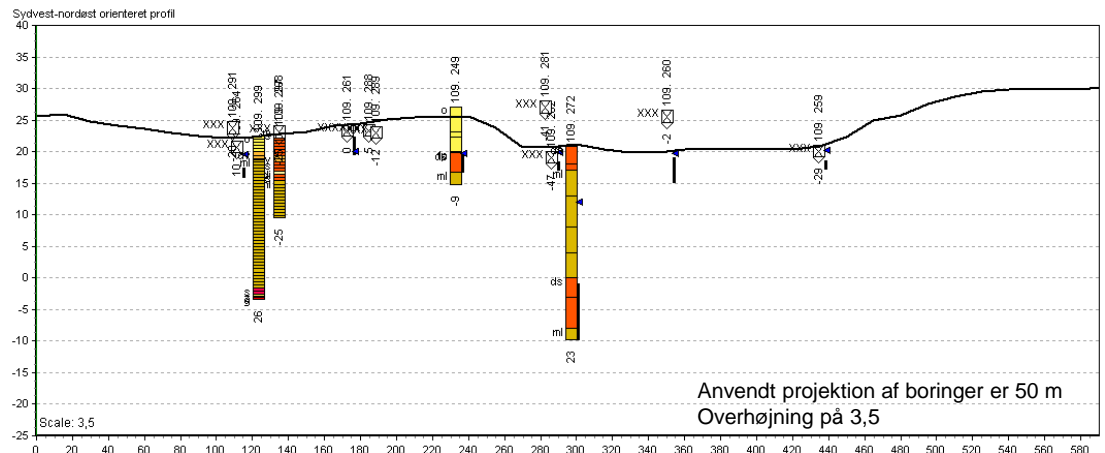
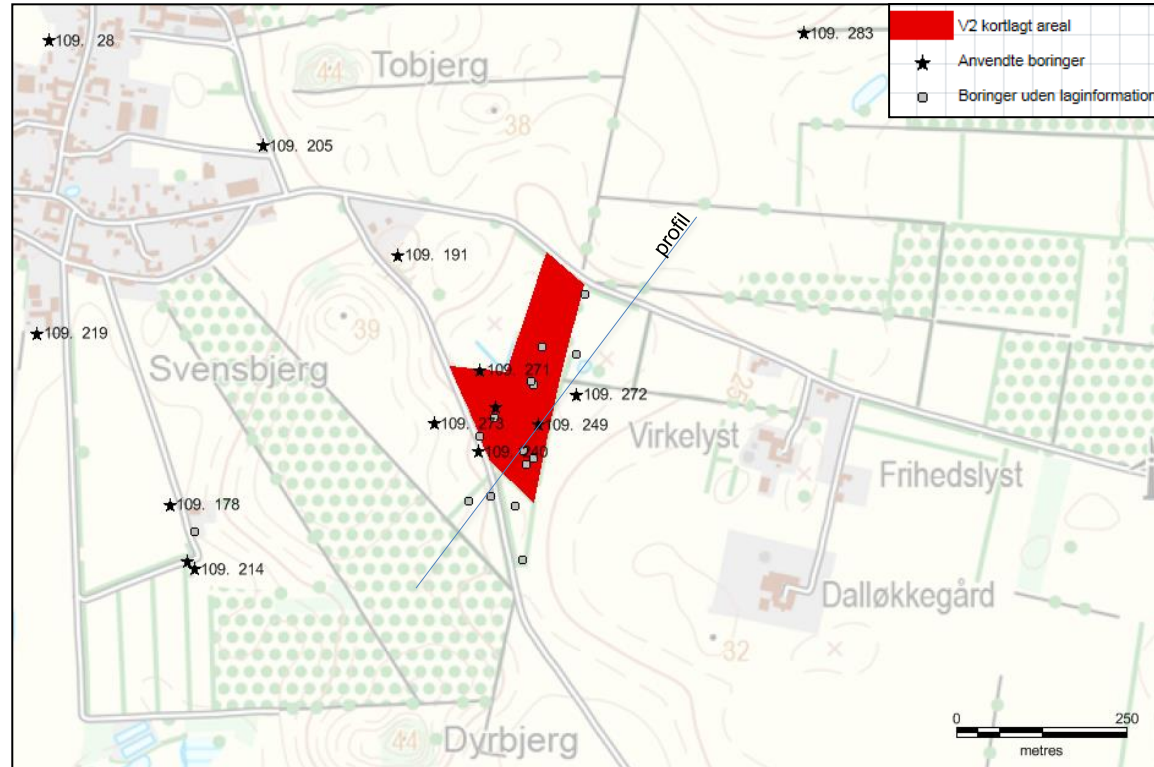
# Lokalitetsnr. 741-00001

## Lokation: Pillemark, Samsø

Parameter	Resultat af kørsler
Antal beskrevne borer	9 DGU numre: 109. 191; 109. 240; 109. 249; 109. 250; 109. 271; 109. 272; 109. 273
Vægtet tykkelse af fed ler [m]	0,8 <sup>1</sup> ; 0,8 <sup>2</sup>
Vægtet tykkelse af moræneler [m]	15,4 <sup>1</sup> ; 14,5 <sup>2</sup>
Dybde til øverste grundvandsmagasin [mut]	25,2 <sup>1</sup> ; 23,6 <sup>2</sup>
Dybde til grundvandsspejl [mut]	0
Strømningsretning [°]	252 (VSV)
Infiltration [mm/år]	0

<sup>1</sup> Dybde til grundvandsmagasinet i centroide af grunden

<sup>2</sup> Mindste dybde til grundvandsmagasinet indenfor 300 m zone omkring grunden







# Lokalitetsnr. 751-00497

## Lokation: Fløjstrupvej, Malling

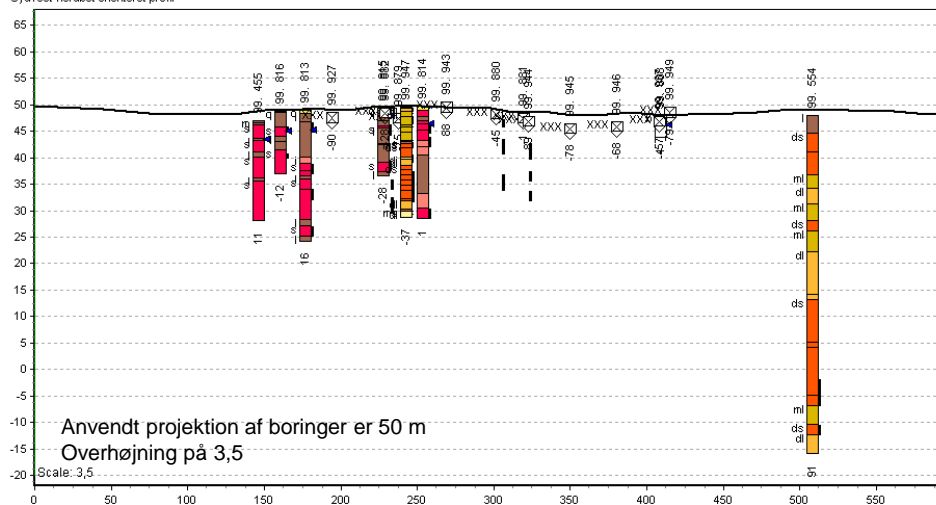
Parameter	Resultat af kørsler
Antal beskrevne borer	9 DGU numre: 99. 455; 99. 525; 99. 554; 99. 804; 99. 813; 99. 814; 99. 815; 99. 816; 99. 947
	11 miljøboringer indenfor 300 m uden laginformation i Jupiter
Vægtet tykkelse af fed ler [m]	0 <sup>1</sup> ; 0 <sup>2</sup>
Vægtet tykkelse af moræneler [m]	3,8 <sup>1</sup> ; 2,5 <sup>2</sup>
Dybde til øverste grundvandsmagasin [mut]	6,1 <sup>1</sup> ; 4,6 <sup>2</sup>
Dybde til grundvandsspejl [mut]	1,3
Strømningsretning [°]	354 (N)
Infiltration [mm/år]	220

<sup>1</sup> Dybde til grundvandsmagasinet i centroide af grunden

<sup>2</sup> Mindste dybde til grundvandsmagasinet indenfor 300 m zone omkring grunden



Sydvest-nordøst orienteret profil



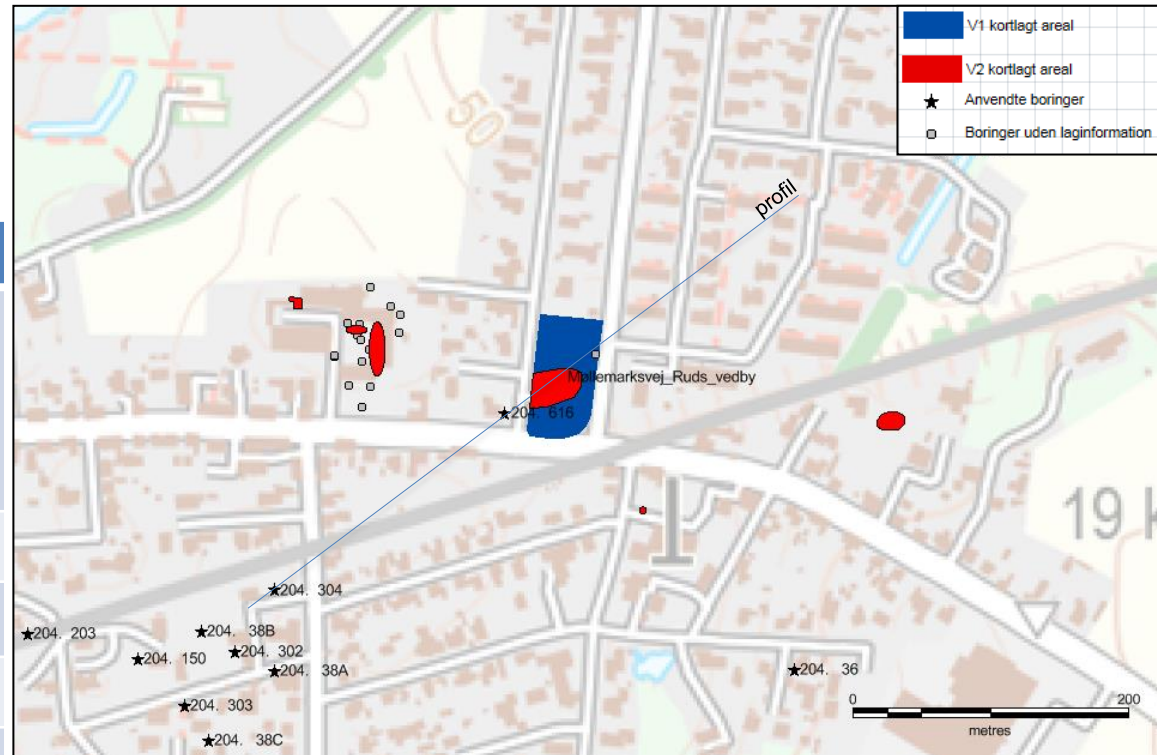
# Lokalitetsnr. 340-20052

## Lokation: Møllemarksvej, Ruds-Vedby

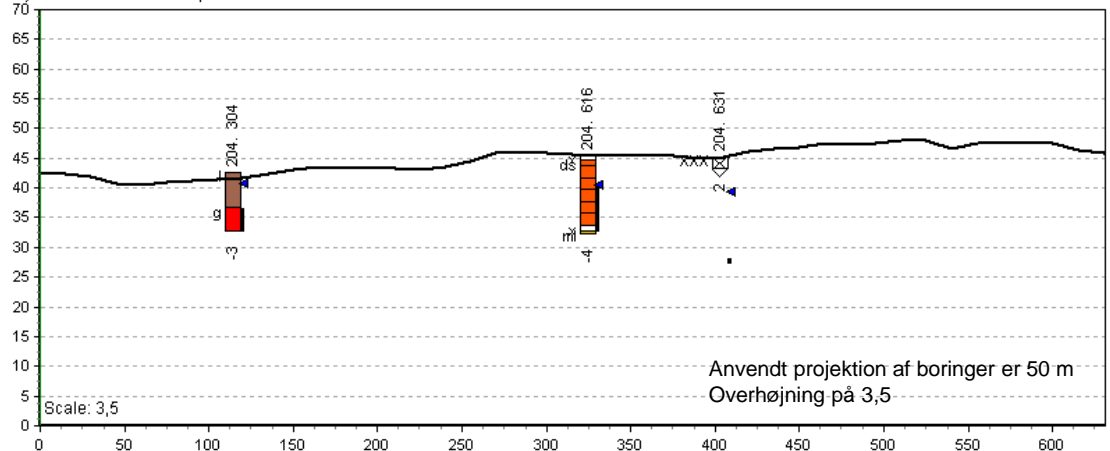
Parameter	Resultat af kørsler
Antal beskrevne borer [·]	7 DGU numre: 204. 36 ; 204. 38A; 204. 38B; 204. 302; 204. 304; 204. 325; 204. 616  18 Miljøboringer indenfor 300 m uden laginformation i Jupiter
Vægtet tykkelse af fed ler [m]	0 <sup>1</sup> ; 0 <sup>2</sup>
Vægtet tykkelse af moræneler [m]	2,6 <sup>1</sup> ; 1,7 <sup>2</sup>
Dybde til øverste grundvandsmagasin [mut]	12,7 <sup>1</sup> ; 7,7 <sup>2</sup>
Dybde til grundvandsspejl [mut]	2,0
Strømningsretning [°]	295 (VNV)
Infiltration [mm/år]	161

<sup>1</sup> Dybde til grundvandsmagasinet i centroide af grunden

<sup>2</sup> Mindste dybde til grundvandsmagasinet indenfor 300 m zone omkring grunden



Sydvest-nordøst orienteret profil



## **GrundRisk – Metode til at estimere lertykkelse under jordforureninger, der er kortlagt på V1 og V2**

Nærværende Miljøprojekt beskriver en metode til at estimere lertykkelser under jordforureninger, der er kortlagt på vidensniveau V1 og V2. GEUS har udviklet metoden i samarbejde med Miljøstyrelsen og DTU Miljø under hovedprojektet GrundRisk. Metoden estimerer lertykkelser over det øverste grundvandsmagasin defineret i den Nationale Vandressource Model (DK-modellen). Som input benyttes et koordinatsat landsdækkende datasæt af kortlagte V1 og V2 lokaliteter (i alt ca. 35.000), der rekvireres fra Danmarks Miljøportal. Der inddrages desuden andre væsentlige hydrogeologiske parametre i den opstillede applikationen, som er vurderet vigtige i den følgende risikoscreening af de kortlagte jordforureninger.

Miljøprojektet er et vigtigt input i den igangværende udvikling af en effektiv metode til risikoscreening af kortlagte jordforureninger (V1 og V2), således at grundvandstruende jordforureninger identificeres på et tidligt stadium.



Miljøstyrelsen  
Strandgade 29  
1401 København K

[www.mst.dk](http://www.mst.dk)