

Hørning Stationsbys Vandværk – geologisk og hydrogeologisk vurdering på eksisterende datagrundlag

Flemming Jørgensen

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
ENERGI-, FORSYNINGS- OG KLIMAMINISTERIET



GEUS

Hørning Stationsbys Vandværk – geologisk og hydrogeologisk vurdering på eksisterende datagrundlag

Flemming Jørgensen

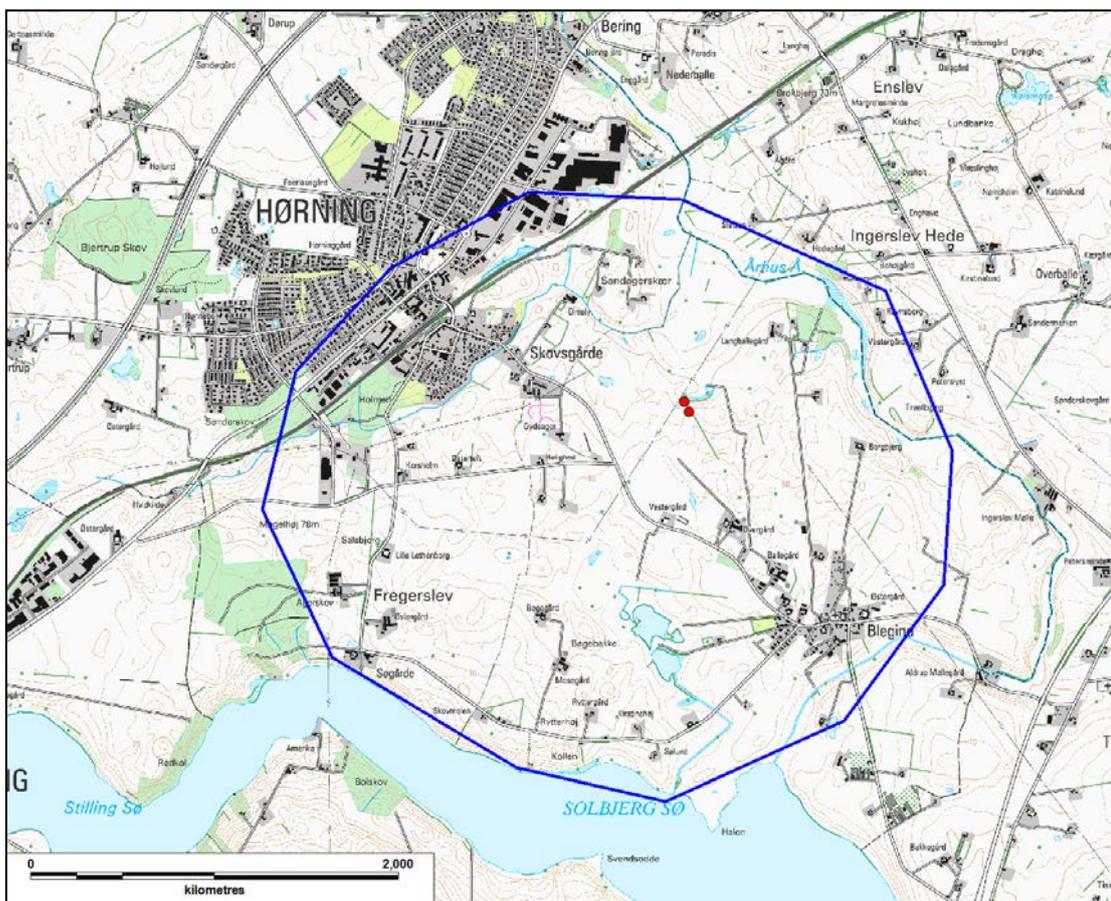
Indholdsfortegnelse

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 1. | Indledning | 3 |
| 2. | Boredata i området | 4 |
| 2.1 | DGU nr. 98.1332 og 1334 – vurdering og korrelation | 4 |
| 2.2 | DGU nr. 98.1128 – vurdering og korrelation til indvindingsboringerne | 6 |
| 2.3 | Prøvepumpning af DGU nr. 98.1332..... | 9 |
| 3. | TEM-data: | 11 |
| 3.1 | Dyb begravet dal..... | 12 |
| 3.2 | Andre dale..... | 13 |
| 3.3 | Lerlag..... | 14 |
| 4. | PACEP-data | 16 |
| 5. | Jordartskort | 18 |
| 6. | Hydrostratigrafisk model og grundvandsmodel | 19 |
| 7. | Vurdering af usikkerhed på indvindingsopland og grundvandsdannende områder | 24 |
| 8. | Vurdering af potentialet for yderligere kortlægning og/eller modellering | 26 |
| 9. | Referencer | 28 |

1. Indledning

Hørning Stationsbys Vandværk har bedt GEUS om en vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold i vandværkets nærområde og opland. Den nationale grundvandskortlægning er blevet gennemført og resultaterne er for nylig blevet afrapporteret. Vandværket ønsker at kende usikkerheden på resultaterne da fx usikkerheden på afgrænsningen af grundvandsdannende områder er vigtig at kende, når grundvandsbeskyttende tiltag ønskes iværksat.

I dette projekt udføres indledende tolkninger og vurderinger, som i et senere projekt eventuelt vil kunne videreføres med et egentligt geologisk og hydrogeologisk modelarbejde. Vurderingerne vil beskrive relevansen af et sådant videreført projekt, og om der er behov for yderligere dataindsamling. Området, der vil blive beskrevet, er vist i Figur 1.



Figur 1 Interesseområdet ved Hørning med angivelse af den vandværkets kildeplads (røde prik).

2. Boredata i området

Der er udført tre nye borer i området. To af disse er udført af vandværket som indvindingsboringer på kildepladsen, mens den tredje er udført af Aarhus Amt som en undersøgelsesboring i forbindelse med grundvandskortlægningen.

Den første af de to vandværksboringer (DGU nr. 98.1332) blev boret i juli 2011 og nåede ned til 78,5 meters dybde. Den blev filtersat i en dybde af 63-69 m. Den anden boring (DGU nr. 98.1334) blev udført i oktober 2011 i en afstand af 55 m fra den første boring. Den blev 68 m dyb og filtersat i 58-64 meters dybde. Begge borer blev udført som lufthæve-borer af SP Brøndboring A/S. Der er kun udtaget prøve for hver 5. meter, eller når der efter brøndborerens vurdering forekommer et lagskifte. Dog har vandværket selv sørget for at beskrive prøver under borearbejdet for hver meter. Der er desuden udført resistivitets- og gammalog i DGU nr. 98.1332 (Orbicon 2011).

Undersøgelsesboringen (DGU nr. 98.1128) blev udført i 2003 ca. 225 m nordøst for kildepladsen. Den nåede en dybde på 194,5 m. Boringen er som de to andre borer udført som en lufthæve-boring af SP Brøndboring A/S, og der blev indsendt jordprøve til GEUS for hver 5. meter eller når der efter brøndborerens vurdering skete et lagskifte. Disse prøver er blevet beskrevet på GEUS' jordprøvelaboratorium. Men under borearbejdet blev der udtaget prøver for hver meter, og disse prøver blev detaljeret beskrevet i felten af NIRAS (NIRAS 2004). Prøverne blev desuden beskrevet og analyseret af Sediment Samarbejdet (SESAM) ved Århus Universitet (Sørensen et al. 2005). Herudover blev borehullet logget med både resistivitetslog, induktionslog og gammalog. Boringen er filtersat i tre dybder, hhv. 32-34 m, 146-148 m og 174-176 m.

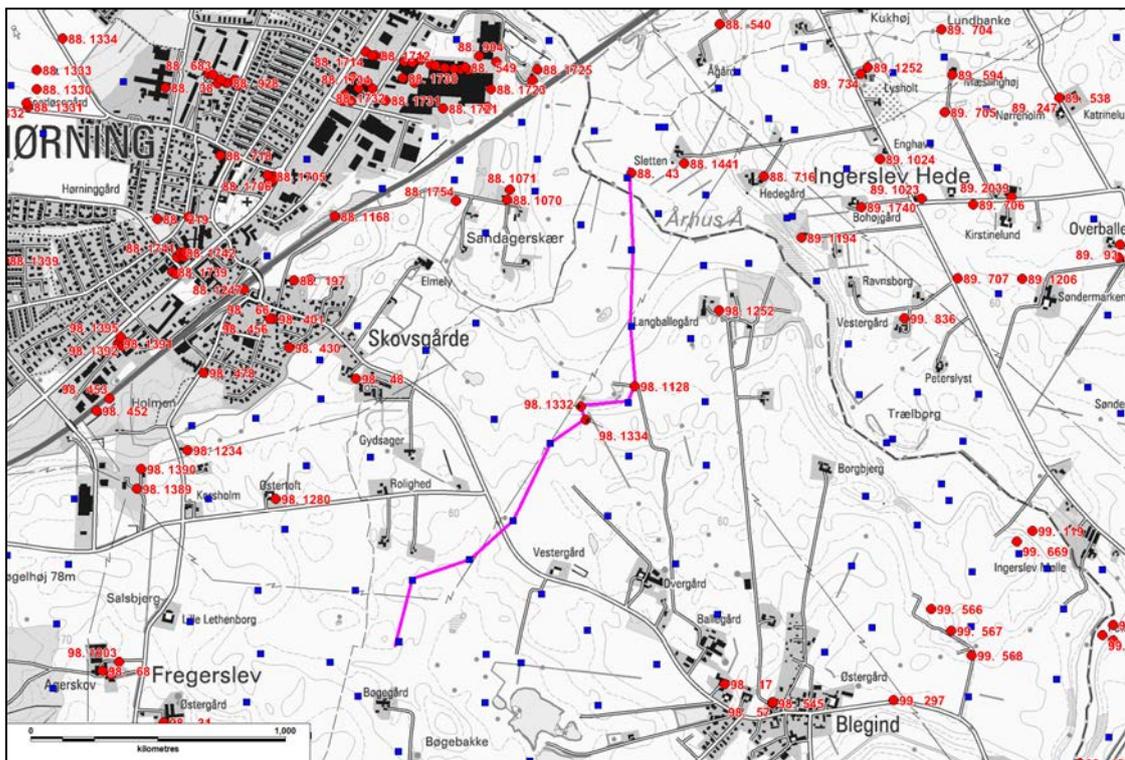
2.1 DGU nr. 98.1332 og 1334 – vurdering og korrelation

Vurderes boreprøverne fra DGU nr. 98.1332 og 98.1334 alene ud fra brøndborerens og GEUS' beskrivelser af indsendte prøver kan der være nogen usikkerhed på de lithologiske informationer. Selvom det må forventes, at prøvernes kvalitet er forholdsvis god, idet boringen er gennemført med lufthæve-teknik, kan der være usikkerhed på tykkelsen af lagene og laggrænsernes beliggenhed da disse er bestemt af brøndborerens evne til at vurdere de gennemborede lag under boreprocessen. En anden usikkerhedsfaktor er brøndborerens håndtering af boreprøverne. I DGU nr. 98.1332 fremgår der for lagfølgen mellem 5 og 9 m følgende af GEUS' borerapport: "Indsendt prøve stemmer ikke overens med brøndborebeskrivelse og da prøveposen nr. ikke er fortløbende ses der bort fra denne prøve". Dette kan indikere, at der har været byttet rundt på nogle af prøverne, og at resten af boringens lagserie kan være fejlbehæftet.

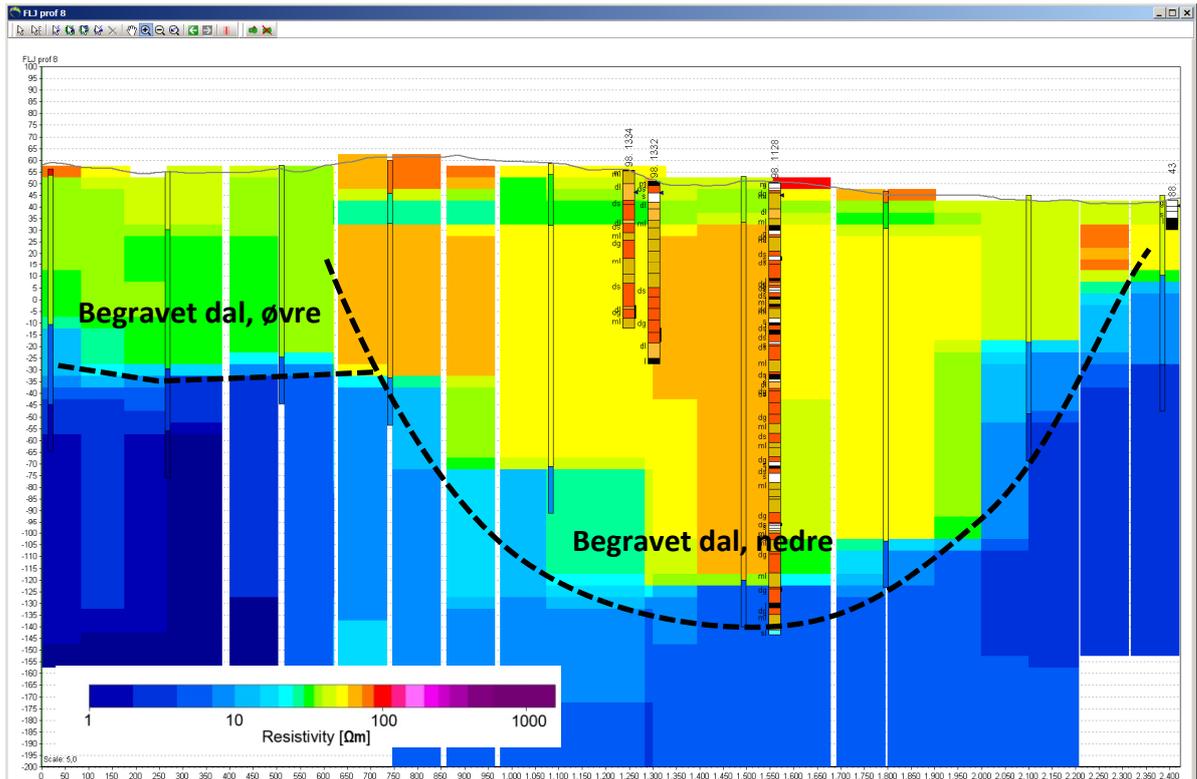
De af vandværket udførte prøvebeskrivelser vurderes at være mere pålidelige end ovenfor beskrevne prøver og beskrivelser. Dette dels fordi de er udført for hver meter i felten, men også fordi de stemmer godt overens med den udførte resistivitets- og gammalog i DGU nr. 98.1332 (Orbicon 2011). Vandværkets beskrivelser viser, at der ikke er sket ombytning af prø-

verne i DGU nr. 98.1332, men viser også, at der findes flere mindre sandlag i nogle af de lerede sekvenser – især i den øverste del af DGU nr. 98.1332. Overordnet set er der dog forholdsvis god overensstemmelse – særligt i DGU 98.1334.

I Figur 3 er vist et profilsnit gennem kildepladsens boringer samt udvalgte TEM-sonderinger i området. De to indvindingsboringer ses at være meget forskellige. Det er ikke umiddelbart muligt at korrelere laggrænser mellem de to boringer, selvom de står meget tæt. Det er dog muligt, at der er sammenhæng mellem sand- og gruslagene på stor dybde (ds, dg), hvori begge boringer er filtersatte. Desuden ses et lag af smeltevandsler (dl) øverst i begge boringer, og dette er muligvis også sammenhængende, selvom om det ikke ses i præcist samme niveau. Laget af smeltevandsler er beskrevet som "ret fedt" og er let genkendeligt. Sand- og gruslagene, der ses under smeltevandsleret og ca. 25 m nedefter i DGU nr. 98.1334, ses ikke umiddelbart i DGU nr. 98.1332. I denne boring var der imidlertid i vandværkets prøvebeskrivelse beskrevet flere tynde sandlag i dette interval, og disse kan også tolkes ud fra de geofysiske logs. Det er muligt, at disse tynde sandlag har en sammenhæng med de tykkere sandlag i DGU nr. 98.1334, men der er alligevel stor forskel mellem de to boringer. Forskellen skyldes efter at dømme primært en yderst variabel geologi. At geologien varierer kraftigt vurderes ikke mindst på baggrund af laget med smeltevandsler i begge boringer. Laget befinder sig i forskellige niveauer i de to boringer, og er sandsynligvis blevet deformeret efter aflejring. Laget ses også i andre boringer samt i TEM-data (se nedenfor). Det kan konkluderes, at korrelation mellem de to boringer kun kan udføres i begrænset omfang, og at dette primært skyldes geologisk variabilitet.



Figur 2 Lokalisering af profilsnit, boringer og TEM-data. Profilsnittet er vist i Figur 3.



Figur 3 Profilsnit gennem udvalgte TEM-sonderinger samt de tre borer i nærområdet til kildepladsen. Interpolerede resistiviteter ses som baggrund. Den begravede dal er markeret med stiple sort streg. Til venstre ses den brede, overfladenære begravede dal – også markeret med stiple sort streg. Se lokalisering af profilsnit på Figur 2. Overhøjning 5 gange.

2.2 DGU nr. 98.1128 – vurdering og korrelation til indvindingsboringerne

For at vurdere kvaliteten af DGU nr. 98.1128 er der udført en sammenstilling af de geofysiske logs med de tre forskellige prøvebeskrivelser (se Figur 4). Der ses en overordnet god overensstemmelse mellem de udførte prøvebeskrivelser og de geofysiske logs. Specielt når aflejringerne grupperes i større sandede og lerede lithologiske enheder (inddelte med vandrette, stiplede streger i Figur 4). På detailniveau er der dog relativt store forskelle, især i dybdeniveauet mellem ca. 50 og 85 m. Her beskrives lagserien af NIRAS primært at bestå af moræneler, mens den ifølge Jupiter i noget højere grad består af smeltevandssand (ikke alle lag er dog beskrevet i Jupiter på grund af manglende indsendte prøver – sort og hvid farve på boringsprofilet). SE-SAM tolker den øverste del af intervallet til at være en "diamikt" (gråblå farve i Figur 4) dannet ved skred eller massebevægelser langs dalsider eller en deltafront (Sørensen et al. 2005).

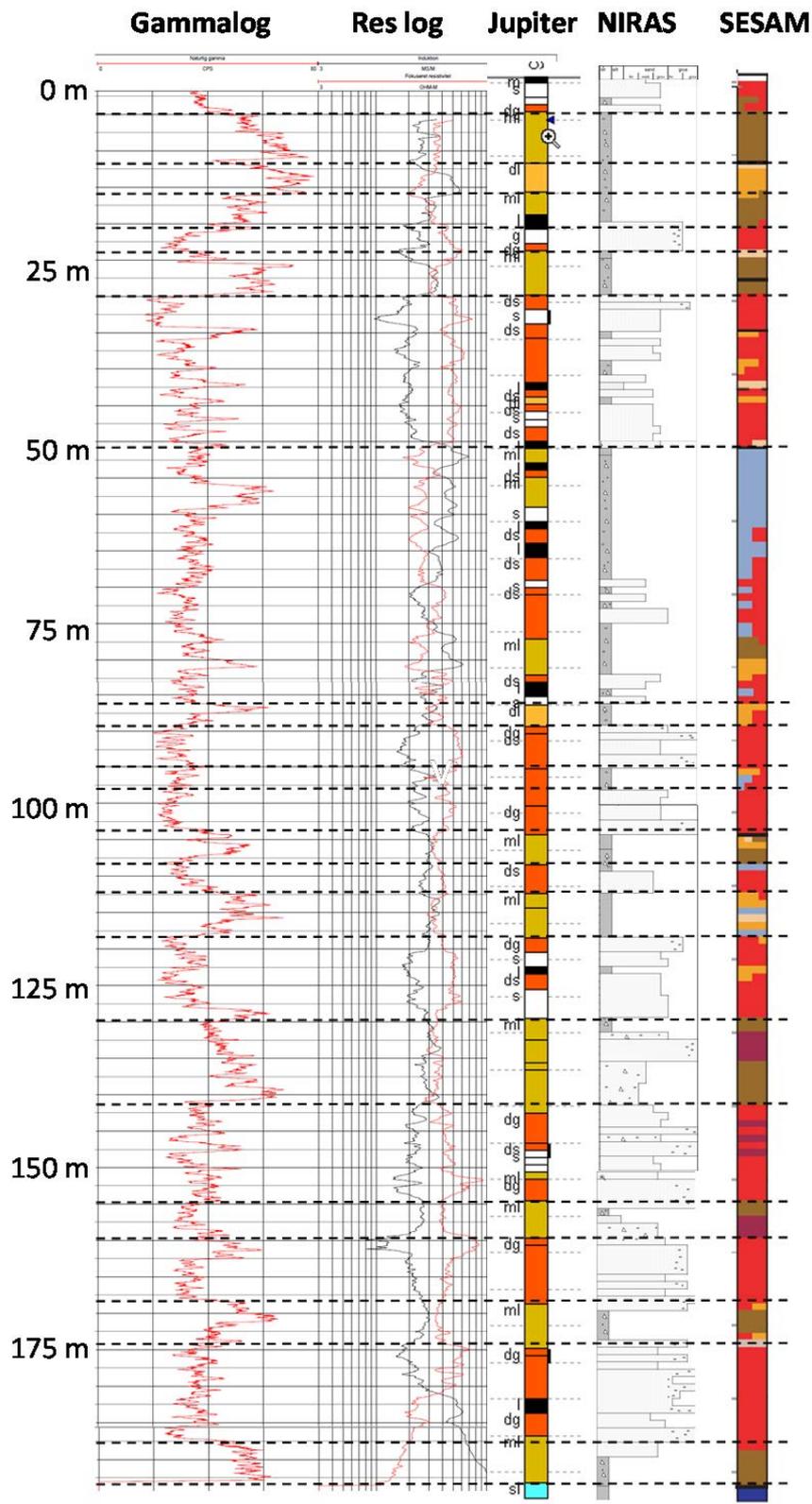
I den øvre del af boringen ses - ligesom i de to indvindingsboringer - et lag af smeltevandsler. I NIRAS' beskrivelse er dette dog kun 3 m tykt (ses ikke på boringsprofilet i figuren). Laget af smeltevandsler befinder sig i samme kote som i DGU nr. 98.1332 (se Figur 3).

På større dybde (dybere end ca. 85 m) ses en forholdsvis god overensstemmelse mellem de 3 beskrivelser samt de geofysiske logs. Sammenfattende kan det konkluderes, at boringsoplysningernes kvalitet er høj, og at oplysningerne overordnet set er troværdige.

Lagserien i DGU nr. 98.1128 er meget vekslende. Boringen når helt ned til bunden af den begravede dal, og dalfyldet består af både grovkornede og finkornede smeltevandsaflejringer samt moræneler. Den vekslende lagfølge skyldes dels en høj detaljeringsgrad med beskrevne prøver fra hver meter, og det vurderes, at variationen skyldes hyppige ændringer i aflejringsmiljøet samt eventuel hyppig erosion.

SESAM tolker på baggrund af et højt flint- og kalkindhold at dalens sedimenter stammer fra Saale eller Tidlig Mellem Weichsel (Sørensen et al. 2005). Disse karakteristika er ikke set i andre begravede dale i området.

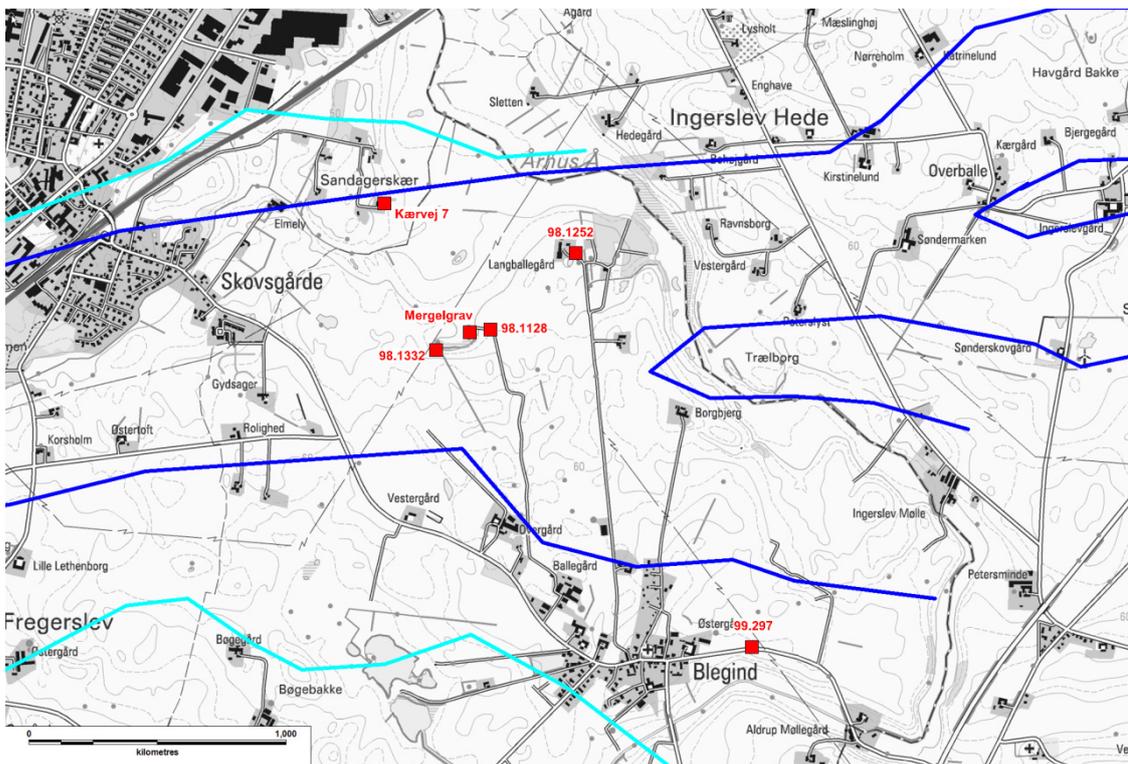
Bortset fra enheden med smeltevandsler er det ikke muligt at korrelere lag eller enheder fra undersøgelsesboringen til de to boringer ved kildepladsen (Figur 3).



Figur 4 Sammenstilling af geofysiske logs og jordprøvebeskrivelser fra DGU nr. 98.1128. Fra venstre ses gamma- og resistivitetslogs. I midten ses jordprøvebeskrivelser af indsendte prøver til GEUS. Dernæst ses jordprøvebeskrivelser udført for hver meter i feltet af NIRAS (NIRAS 2004) og til højre ses jordprøvebeskrivelser for hver meter udført af SESAM (Sørensen et al. 2005). Vandrette stiplede streger angiver inddeling i overordnede lithologiske enheder.

2.3 Prøvepumpning af DGU nr. 98.1332

Der er i 2011 gennemført en prøvepumpning af den første af de to indvindingsboringer på kildepladsen, DGU nr. 98.1332 (Orbicon 2011). Der er pumpet i ca. 14 dage i begyndelsen af august, og den gennemsnitlige ydelse var $35,6 \text{ m}^3/\text{t}$.



Figur 5 Lokalisering af boringer anvendt ved prøvepumpningen. 98.1332 er pumpeboring mens de øvrige er anvendt som pejleboringer (inkl. mergelgraven). Udbredelsen af de begravede dale i området er markeret med blå farver. Mørkeblå viser det dybe afsnit, mens lyseblå viser den mere overfladenære struktur.

Ifølge rapporten observeres der, inden prøvepumpningen påbegyndes og ca. 14 dage efter prøvepumpningen er stoppet, et trykniveau på ca. 51 m i pumpeboringen DGU 98.1332, mens der i DGU 98.1128_2 og 98.1128_3, som er placeret i en afstand på 225 m fra pumpeboringen, observeres et trykniveau på ca. 46 m. Der er dermed en forskel i trykniveau på 5 m over en afstand på 225 m, hvilket er bemærkelsesværdigt. Ifølge Jupiterdatabasen er trykniveauet 46 m i DGU nr. 98.1332 og ikke 51 m som angivet i rapporten. Det må antages at angivelsen i Jupiter er korrekt.

Resultaterne af prøvepumpningen viser at boringerne 98.1128, 98.1252 og Kærvej 7 påvirkes (se Figur 5). I 98.1128 sker der en maksimal afsænkning på hhv. 0,90 m og 0,84 m i det mellemste og øverste filter. Der er ikke pejlet i det nederste filter. I 98.1252 sker der en maksimal afsænkning på 0,54 m, mens der på Kærvej 7 ligeledes sker en maksimal afsænkning på 0,54 m. Det kan ikke afgøres med sikkerhed, om der sker en påvirkning af boring 99.297 eller i mergelgraven. Fluktuationer heri kan skyldes variationer i nedbør og lokal indvinding.

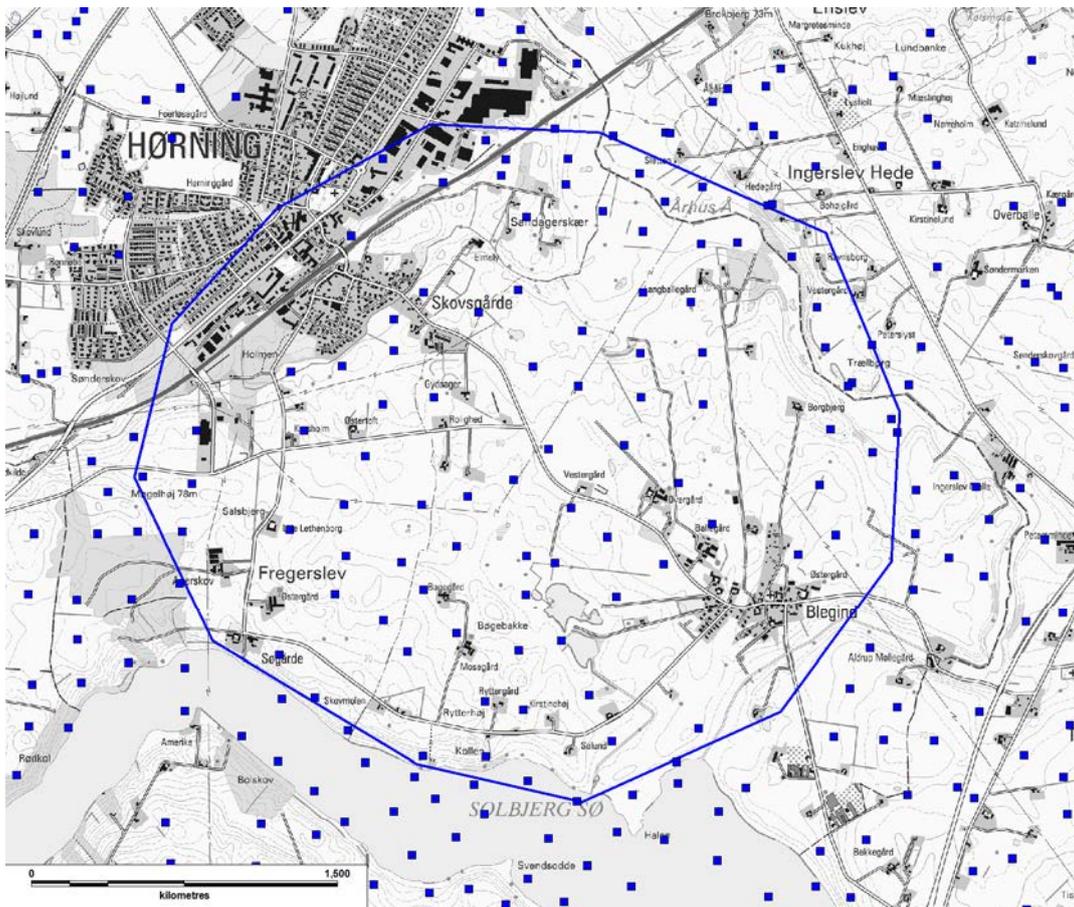
Resultaterne af prøvepumpningen kan ikke umiddelbart anvendes til at afgøre om der pumpes fra "samme magasin" i de påvirkede borer. At de tre nærmest beliggende borer er påvirket af prøvepumpningen viser at trykfaldet forplanter sig ud i området, men der kan ikke ud fra denne information alene konkluderes noget om omfanget af magasinernes hydrauliske sammenhæng. Der kan således godt være tale om begrænsede hydrauliske forbindelser, selvom der ses en påvirkning ud i en afstand af 890 m (Kærvej 7).

Det er ikke muligt ud fra figurer i rapporten (Orbicon 2011) at vurdere, om der forekommer knæk på det tidlige forløb af sænkningsskurven. Eventuelle knæk vil kunne indikere om sænkningstragten stødte på en geologisk eller hydrologisk grænse. Cooper-Jacob-analysen (som ses i rapportens appendix) indikerer, at der er tale om to forskellige hældninger på sænkningsskurven hhv. før og efter ca. 20 minutters oppumpning. Den tidlige del af prøvepumpningsforløbet bør analyseres nærmere (vha. illustrationer), både i indvindingsboringen og i nærliggende observationsboringer (fx DGU 98.1128_2 og 98.1128_3). Foruden pumpeboringen, vil det være relevant at underkaste de indsamlede data fra observationsboringerne en prøvepumpningsanalyse. Der kan med fordel også foretages en mere grundig analyse af prøvepumpningsresultaterne, inkluderende en tolkning af geologiske data området. Det er muligt at prøvepumpningsresultaterne herved vil kunne afspejle nogle af de komplicerede geologiske forhold i området (begravede dale).

3. TEM-data:

Der findes data fra i alt 90 TEM-sonderinger i interesseområdet (se Figur 6). Disse sonderinger er tilgængelige fra GERDA-databasen. De er oprindeligt opmålt på forsøgsbasis i begyndelsen af 90'erne, og der er anvendt helt tidlige TEM-instrumenter, der på daværende tidspunkt var ukalibrerede og på flere måder ikke sammenlignelige med moderne TEM-instrumenter. På daværende tidspunkt fandtes ingen erfaring med dataindsamling og databehandling og disse ting blev primitivt udført. Efterfølgende, omkring 2002, er sonderingerne blevet re-tolket af Geofysiksarbejdet, og mange sonderinger med støj og dårlige data blev derigennem frasorteret. Resultatet er et datasæt, der til dels er brugbart, men stadigvæk ikke lever op til nutidig standard. Sammenlignet med nye data (SkyTEM-data) har de en begrænset vertikal opløsning, en begrænset indtrængning, større usikkerheder, og der er langt imellem sonderingerne.

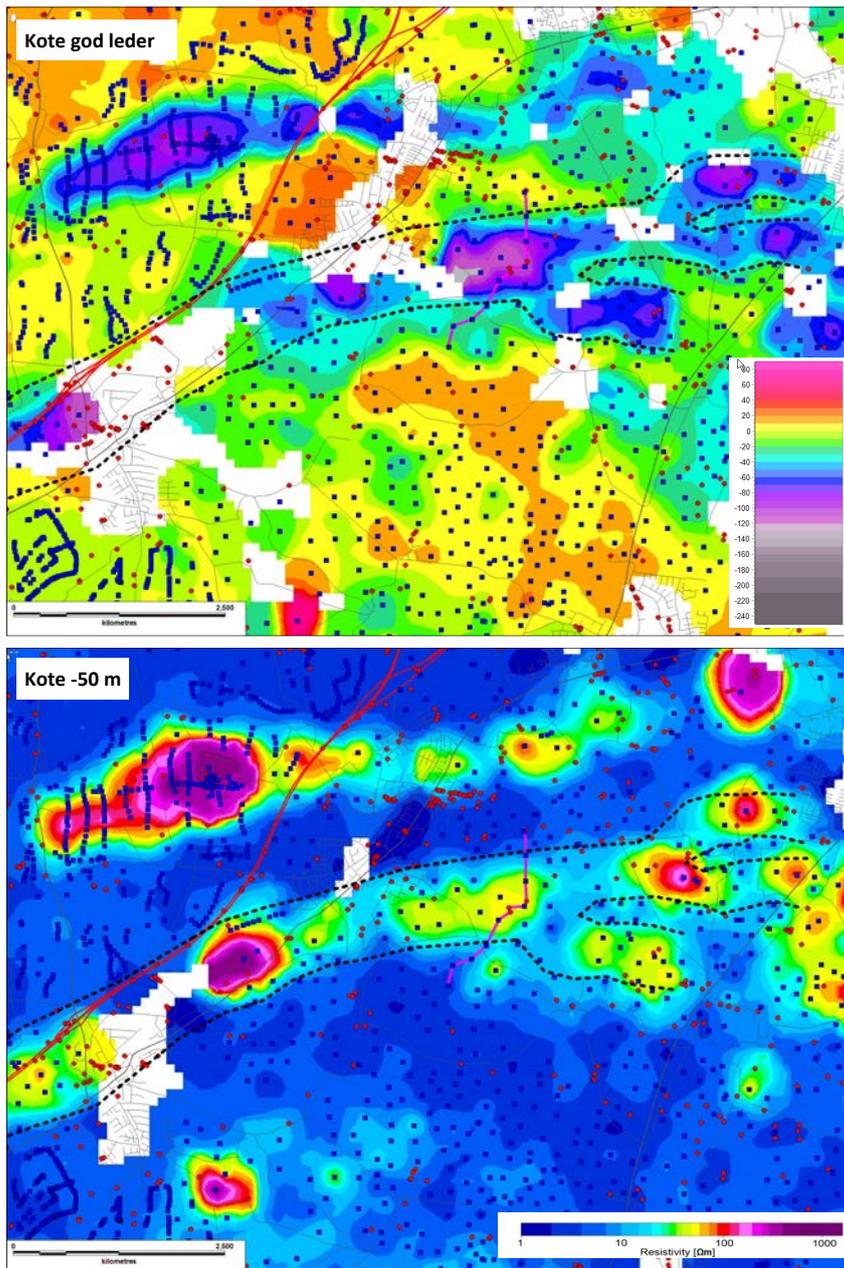
En generel sammenligning af TEM-sonderingernes resistivetsmodeller med nærliggende boringer viser dog, at der er en overordnet sammenhæng, således at høje modstande i modellerne generelt svarer til en sandet lagfølge, og at lave modstande svarer til en leret lagfølge. Men da boringerne i området viser mange skift mellem sandlag og lerlag, er det kun de helt overordnede træk, der måles med TEM-sonderingerne – ikke de mere detaljerede lagfølger. De geologiske informationer, der kan udtrækkes af TEM-data, vil blive gennemgået i det følgende.



Figur 6 Eksisterende TEM sonderinger (blå firkanter) i interesseområdet (blå polygon).

3.1 Dyb begravet dal

I Figur 7 vises udtræk fra TEM-data. Til venstre ses koten for den gode leder udtrukket ved 12 ohmm. Syd for Hørning kan der ses en lettere diffus aflang fordybning i den gode leder. Ifølge boringer i området består den gode leder af Palæogent ler. Dette ses også af undersøgelsesboring DGU nr. 98.1128 (se Figur 3). Dalen når dybder på 150-200 m. Mange sonderinger når ikke dalbunden og derfor er der store huller i kortet over den gode leder. Det ujævne forløb skyldes formentlig en kombination mellem en naturlig bundform med lavninger og tærskler, glacialtektoniske deformationer og TEM-sonderinger, der er forstyrrede af koblinger til installationer så som elkabler m.m. I østlig retning deler dalen sig øjensynligt et par gange. Den sydligste gren synes at stoppe brat. Om dette skyldes koblinger eller har en naturlig årsag vides ikke. Til højre ses et middelmodstandskort i kote -50 m. Det ses, at dalfyldet består af aflejringer med meget vekslende elektriske modstande. En del af forklaringen på dette vurderes at være naturlige variationer i de lithologiske forhold forårsaget af deformationer eller vekslende aflejringsmiljøer, men forklaringen skal sandsynligvis også findes i varierende datakvalitet.

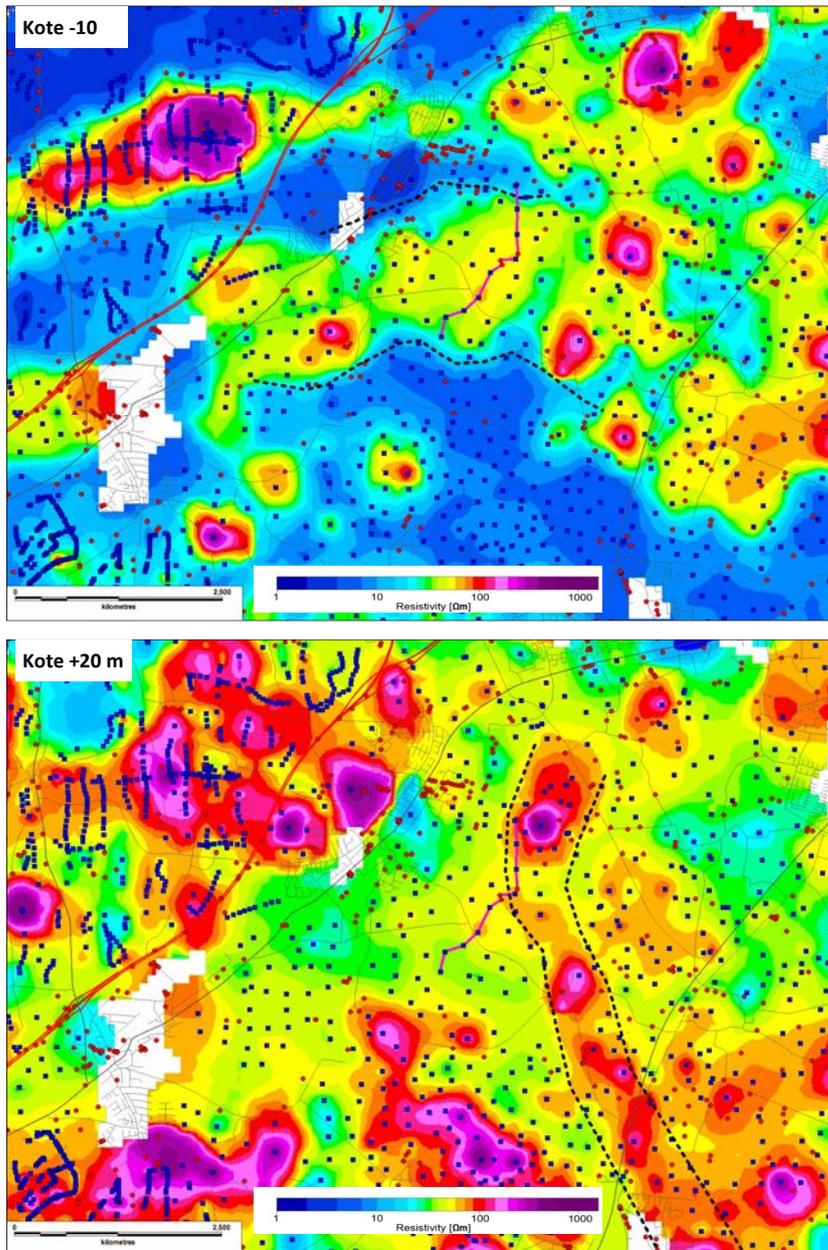


Figur 7 Interpolerede TEM-data. Øverst: Kote for den gode leder 12 ohmm. Nederst: Middelmodstandskort i kote -50 m. Den dybe del af dalen er markeret med stiplet linje.

3.2 Andre dale

I lidt højere niveauer bliver dalen pludselig bredere og får et noget mere ujævnt og diffust forløb (se Figur 8). Der er muligvis her tale en anden begravet dal, og har en anden og mere fladbundet form (Figur 3, 0-500 m). I Figur 3 er den vist som en ældre dal, der efterfølgende er blevet eroderet af den dybe dal, som dermed er yngre. Den omvendte situation, hvor den øvre del er yngre end den dybere del, kan også være tilfældet. Omkring kote 20 m ses de to ovenfor nævnte dale ikke længere, men her ses til gengæld en aflang højmodstandsstruktur med en

orientering næsten nord-syd (se Figur 8). Denne struktur er muligvis endnu en begravet dal, som primært er udfyldt med sandede aflejringer.

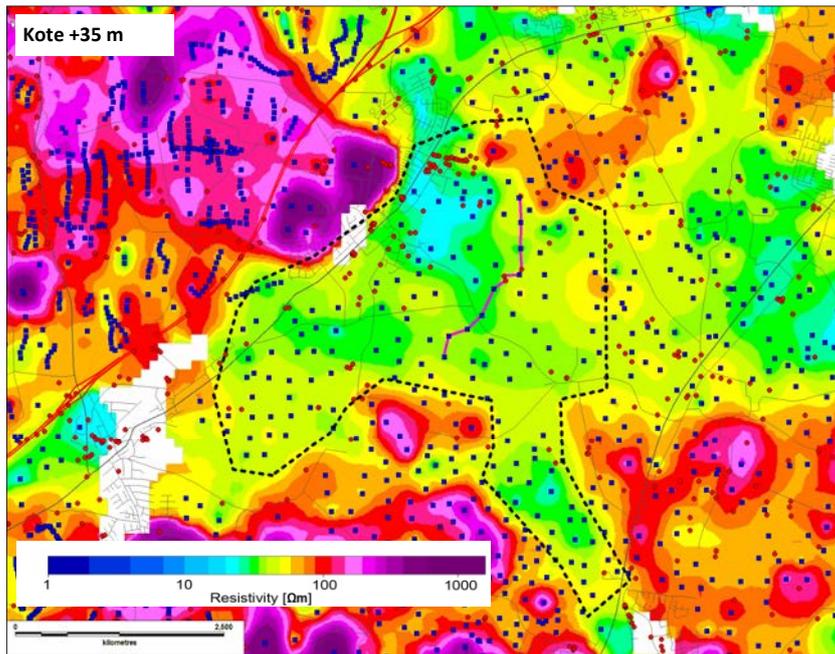


Figur 8 Interpolerede TEM-data. Øverst: Middelmødsstandskort i kote -10 m. Den brede, overfladenære del af dalen er markeret med stiplede linje. Nederst: Middelmødsstandskort i kote +20 m. Den mulige overfladenære dal er markeret med stiplede linje.

3.3 Lerlag

Relativt tæt under terræn ses et lavmodstandslag i mange af TEM sonderingerne (se Figur 3 og Figur 9). Dette lag ses bedst mellem kote +20 og +45 m. Det modsvarer det ovenfor omtalte lag af smeltevandsler samt nogle lag af moræneler over og under dette. Foruden de to indivin-

dingsboringer og undersøgelsesboringen ses det i flere andre boringer. Det er udbredt i det meste af interesseområdet.

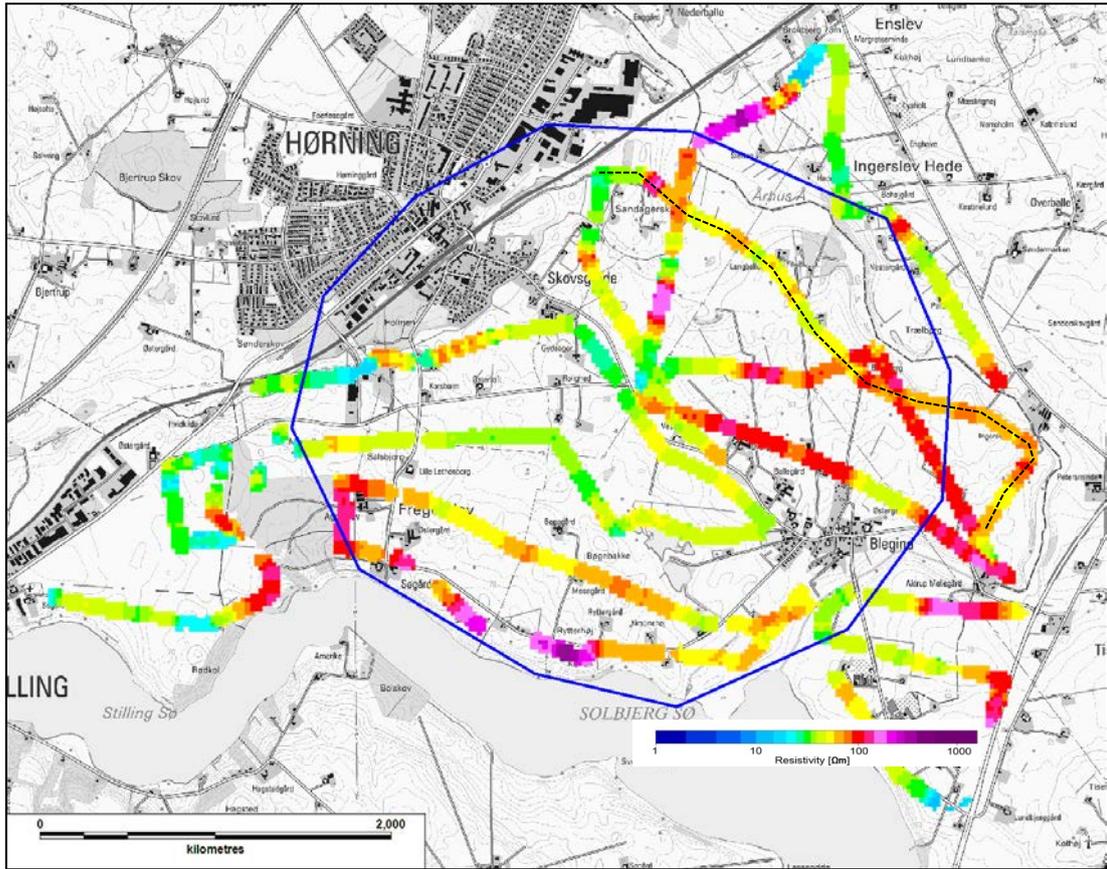


Figur 9 Interpolerede TEM-data. Middelmodstandskort i kote +35 m. Det overfladenære lerlag er markeret med stiptet linje.

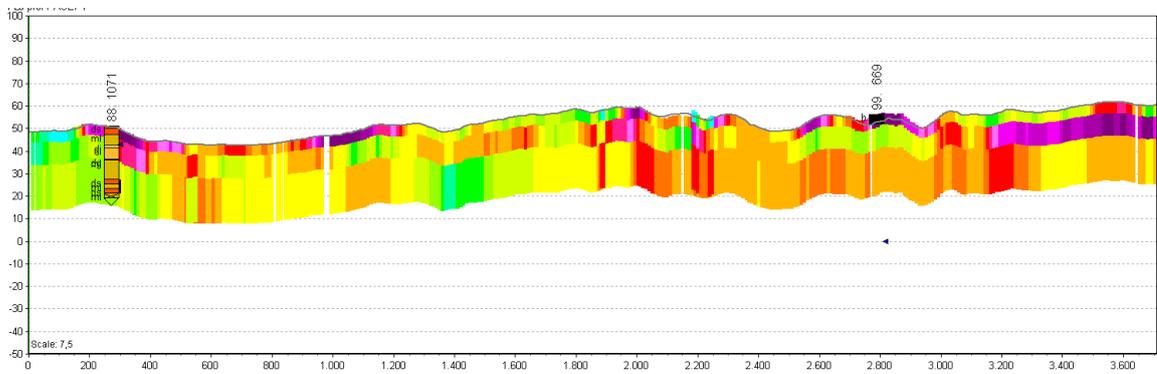
4. PACEP-data

Der er i området gennemført såkaldte PACEP målinger. Disse er foretaget i begyndelsen af 1990'erne med det formål, at opnå en arealdækkende beskrivelse af den overfladenære geologi (øverste 30 m) og dennes laterale variationer. PACEP er en tidlig slæbegeoelektrisk metode, hvor der anvendes 3 forskellige elektrodeafstande (3 kanaler), og hvor data tolkes ved hjælp af 3 lags-modeller med fastholdte laggrænser og variable lagmodstande. Sidst i 1990'erne udvikledes PACES-metoden, hvormed der måles med 8 forskellige elektrodeafstande, og derfor giver en forbedret opløsning af geologien. Denne er ikke benyttet i området.

De opmålte PACEP linjer ses i Figur 10. Her præsenteres de målte resistiviteter i kote + 36 m. Der er i gennemsnit 400-500 m mellem linjerne, hvilket er væsentlig mere end de normalt anvendte (ca. 250 m). I grove træk kan de røde farver tolkes at være sandede lag, mens de gule, grønne og blå farver er lerede lag. Overordnet kan det måske siges, at der er mere ler i de centrale og nordvestlige dele af interesseområdet, mens der er mere sand mod syd og øst. Denne tendens kan også anes når TEM-data betragtes (se Figur 9). Men kortet i Figur 10 viser samtidigt, at der forekommer en voldsom lateral variation af aflejringerne. Der ses således mange hyppige skift over meget korte afstande. Disse hyppige skift kan også iagttages på profilet i Figur 11, hvor den geologiske lagfølge skifter hyppigt over meget korte afstande. Er disse skift troværdige, beskriver de geologiske strukturer, der mange steder har længder på 25-100 m. Dermed er PACEP-kortlægningen ikke tilstrækkeligt fladedækkende, da den ikke opløser de geologiske strukturer lateralt. Det ville kræve en betydeligt tættere opmåling at kortlægge den overfladenære geologi.



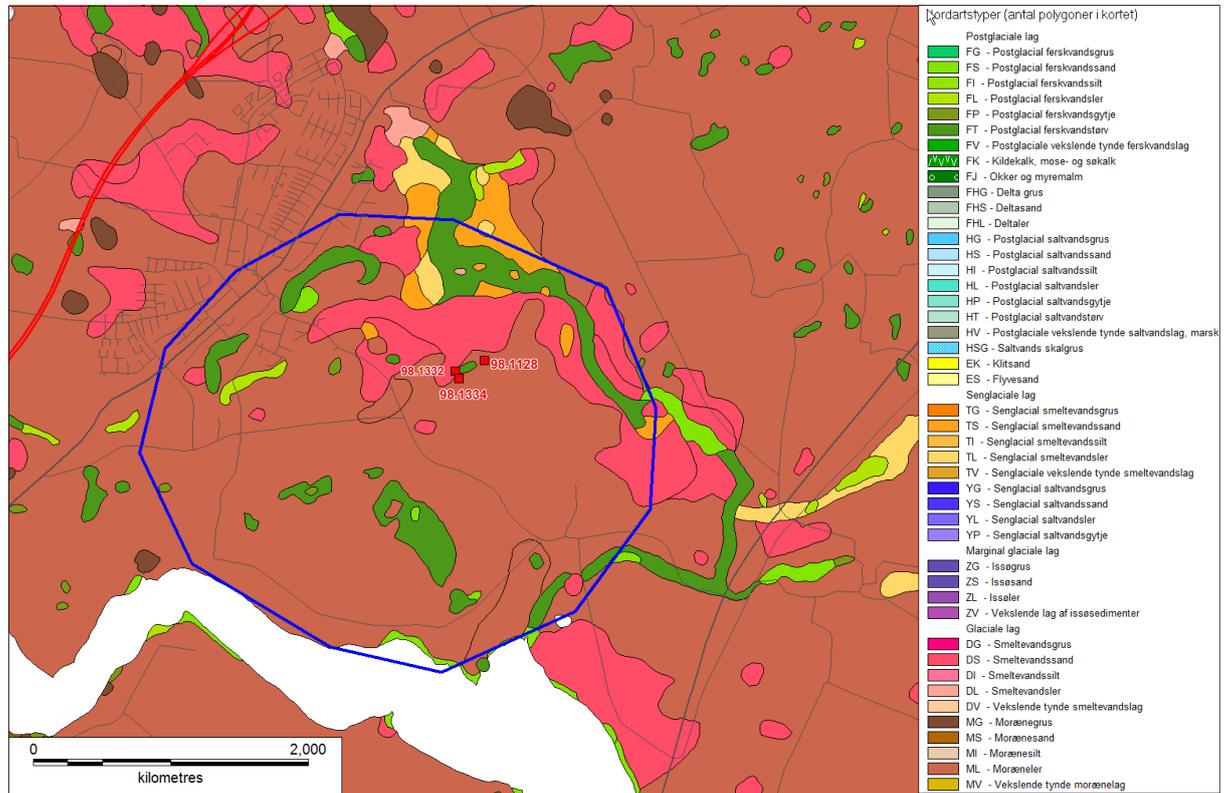
Figur 10 PACEP data, resistivetsværdier i kote + 36 m. Lokalisering af profillinjen vist i Figur 11 er vist med sort stiptet streg.



Figur 11 PACEP profil. Se Figur 10 for lokalisering og resistivetskala. Overhøjning: 7,5 x.

5. Jordartskort

På GEUS' jordartskort som angiver geologien i 1 meters dybde ses primært moræneler. Men der er også områder med smeltevandssand og smeltevandsler. Desuden ses en del postglaciale lag. Samlet set viser kortet, at geologien også helt terrænnært viser store variationer.



Figur 12 Jordartskort baseret på jordartskarering i 1 meters dybde (GEUS).

6. Hydrostratigrafisk model og grundvandsmodel

Naturstyrelsen har fået udarbejdet en hydrostratigrafisk model (Rambøll 2013a) og en grundvandsmodel (Rambøll 2013b) for et større område omkring Hørning. Modellerne inddrager både Hørning Stationsbys Vandværks gamle kildeplads og den nye kildeplads.

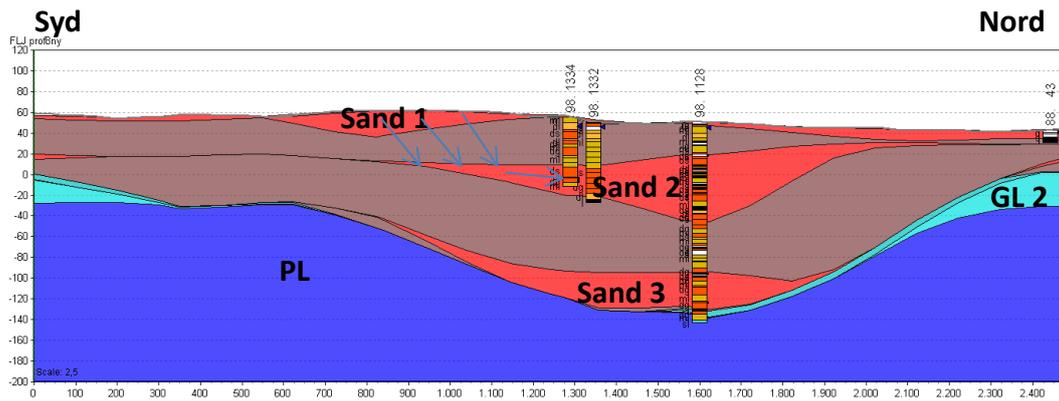
Den hydrostratigrafiske model er baseret på de ovenfor gennemgåede boredata og geofysiske data. Den beskriver de geologiske forhold med i alt 11 hydrostratigrafiske lag (se Tabel 1). Heraf er 5 akviferer ("sand") og 6 akvitarder ("ler").

| Navn Lag (GS3D) |
|--------------------|
| LER_1 |
| SAND_1 |
| LER_2 |
| SAND_2 |
| LER_3 |
| SAND_3 |
| LER_4 |
| GL_1 |
| KS_1 |
| GL_2 |
| PL |

Tabel 1 Hydrostratigrafiske lag i den hydrostratigrafiske model (fra Rambøll 2013a).

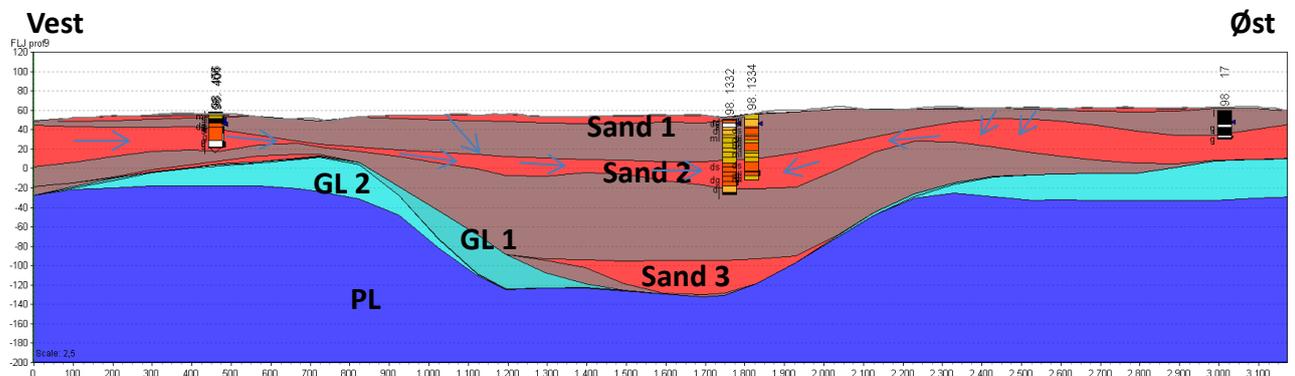
På profilerne i Figur 13 og Figur 14 ses de lokale geologiske forhold omkring kildepladsen som modelleret i den hydrostratigrafiske model. Kvartæret består af tre sandlag og tre lerlag, mens Miocænet består af to lerlag. Herunder findes de Palæogene lag.

Profil 1 (Figur 13) forløber gennem kildepladsen fra syd mod nord (se lokalisering af profilsnit i Figur 15). Den begravede dal ses tydeligt som en fordybning i det Palæogene ler. I Figur 17 er dalen vist, som den er modelleret i den hydrostratigrafiske model (prækvartæroverfladen). Ifølge modellen er begge indvindingsboringer filtersat i Sand 2. Det er også her det øverste filter i undersøgelsesboringen (DGU nr. 98.1128) findes. Sand 2 er således tolket som en tyk lagpakke i undersøgelsesboringen, selvom der ifølge beskrivelserne af boringen (se ovenfor og i Figur 4) primært er lerlag i den nederste del af dette interval. Sand 2 ses at være begrænset til at befinde sig ovenover dalen. Sand 3 ses i bunden af dalen (hvor undersøgelsesboringens dybeste filter befinder sig).



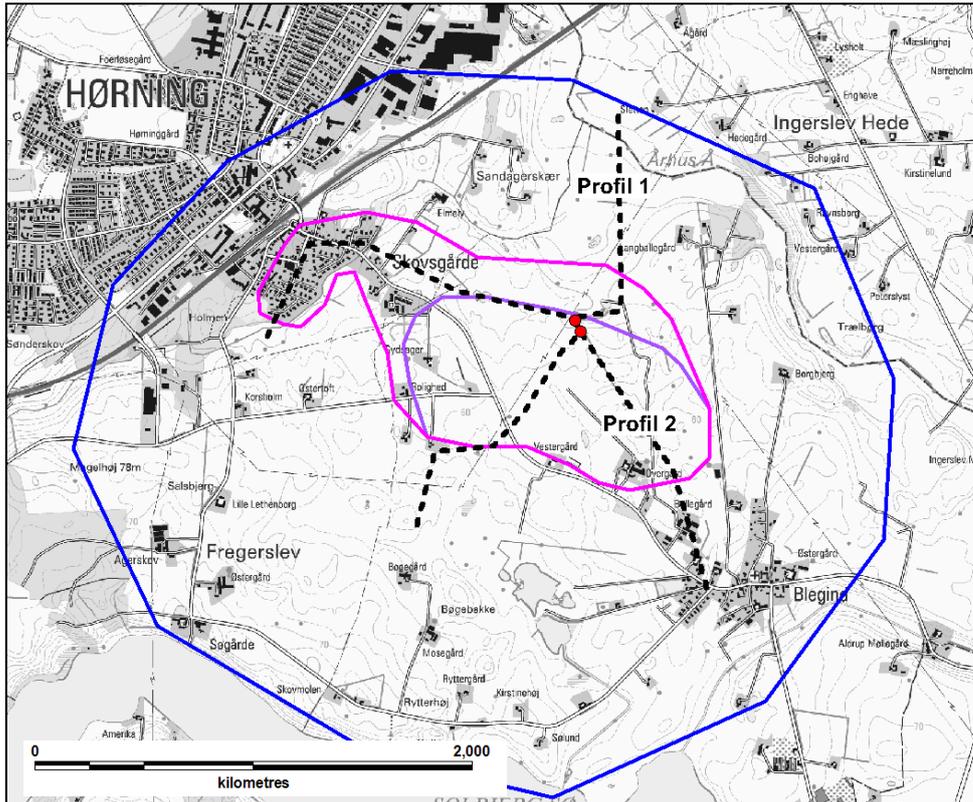
Figur 13 Profil 1. Profilsnit gennem den hydrostratigrafiske model på tværs af kildepladsen og den begravede dal. De to indvindingsboringer er filtersat i "Sand 2". Overhøjning: 2,5 x. Se lokalisering af profilet på Figur 15. Blå pile viser beregnet partikelbanestrømning til indvindingen.

Det andet profilsnit (Figur 14) forløber nordvest-sydøst gennem kildepladsen. Også her ses dalen tydeligt. Det ses også, at det tertiære glimmerler (GL 1 og GL 2) følger med ned i dalen langs dennes vestlige flanke. Dette forekommer urealistisk, idet dalen forventes at være nederoderet i kvartæret og således igennem miocænet. På dette profil ses det filtersatte Sand 2 at have en langt større udbredelse og breder sig således også udenfor dalens område. Der ses at være kontakt til boringerne ved koordinat 450 m, som er boringerne ved den gamle kildeplads. Desuden ses der at være forbindelse til en boring ved Blegind (DGU nr. 98.17). Sand 3 er som på Profil 1 begrænset til at befinde sig i dalstrukturen. Sand 1 ses helt overfladenært i store dele af begge profiler.

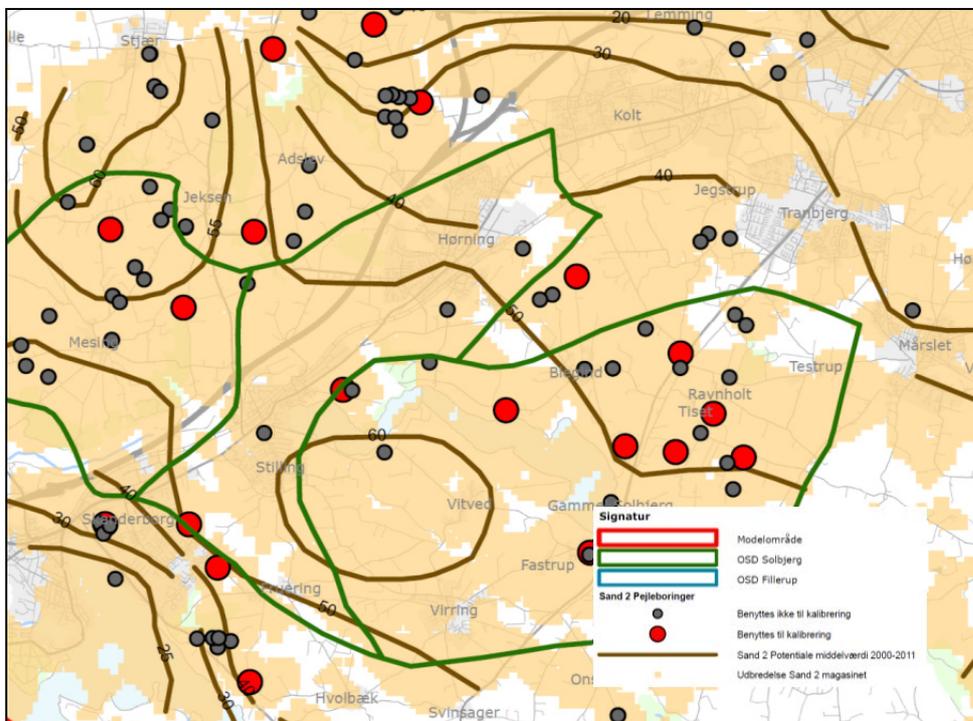


Figur 14 Profil 2. Profilsnit gennem den hydrostratigrafiske model på tværs af kildepladsen og den begravede dal. De to indvindingsboringer er filtersat i "Sand 2". Overhøjning: 2,5 x. Se lokalisering af profilet på Figur 15. Blå pile viser beregnet partikelbanestrømning til indvindingen.

På Figur 16 ses et magasinspecifikt potentialekort for Sand 2 udarbejdet i forbindelse med Naturstyrelsens kortlægning (Rambøll 2013b) og anvendt ved grundvandsmodelleringen. Det ses at gradienten stiger mod sydvest, men også at gradientens præcise retning ikke er entydig. I Rambøll (2013b) er også vist et "simpelt" potentialekort (ikke specifikt for de i modellen modellerede lag), og her ses en mere nordligt rettet grundvandsstrømning. Grundvandets strømning vil altså overordnet set strømme mod nord eller nordøst, men på grund af den forholdsvis svage hældning af gradienten vil geologiske inhomogeniteter og ændringer i de hydrauliske forhold (pga. af vandindvinding) have forholdsvis stor betydning.

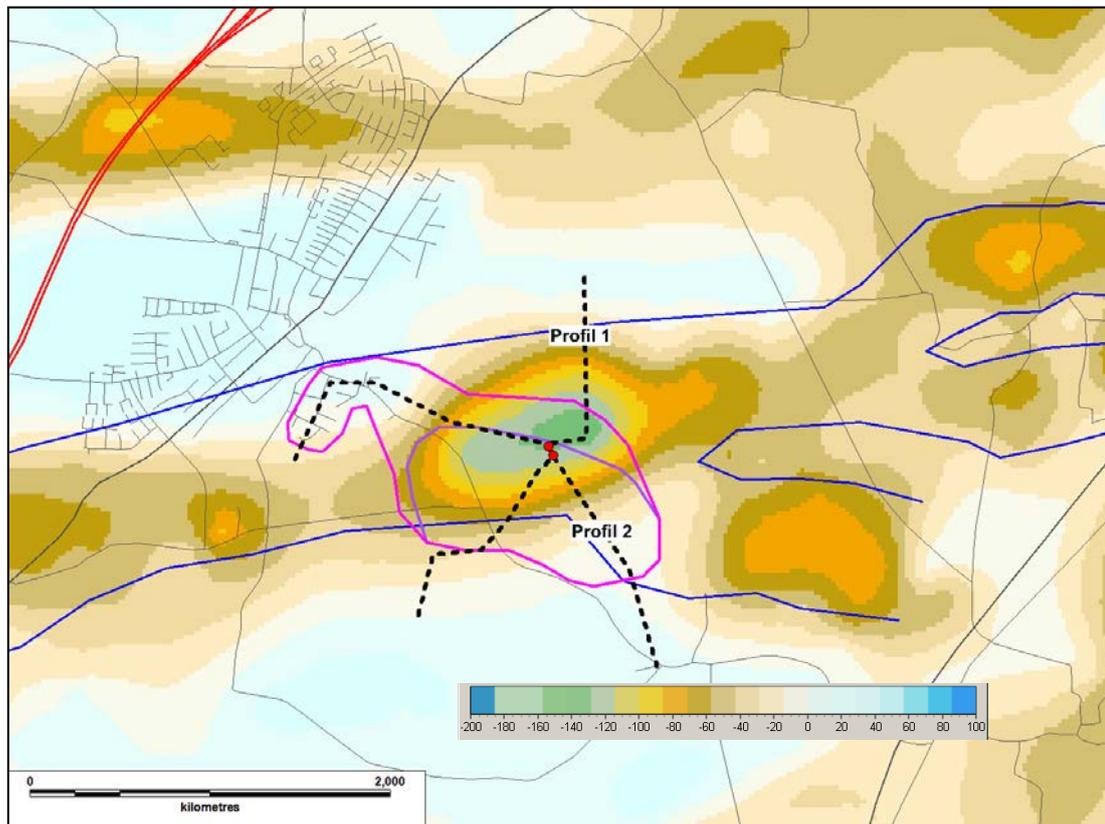


Figur 15 Resultater fra Naturstyrelsens grundvandsmodellering (Rambøll 2013b). Optegnet indvindingsopland er vist med pink og optegnet grundvandsdannende opland er vist med lilla polygon. Forløbet af profilerne i Figur 13 og Figur 14 er vist med sort stiplede streg.

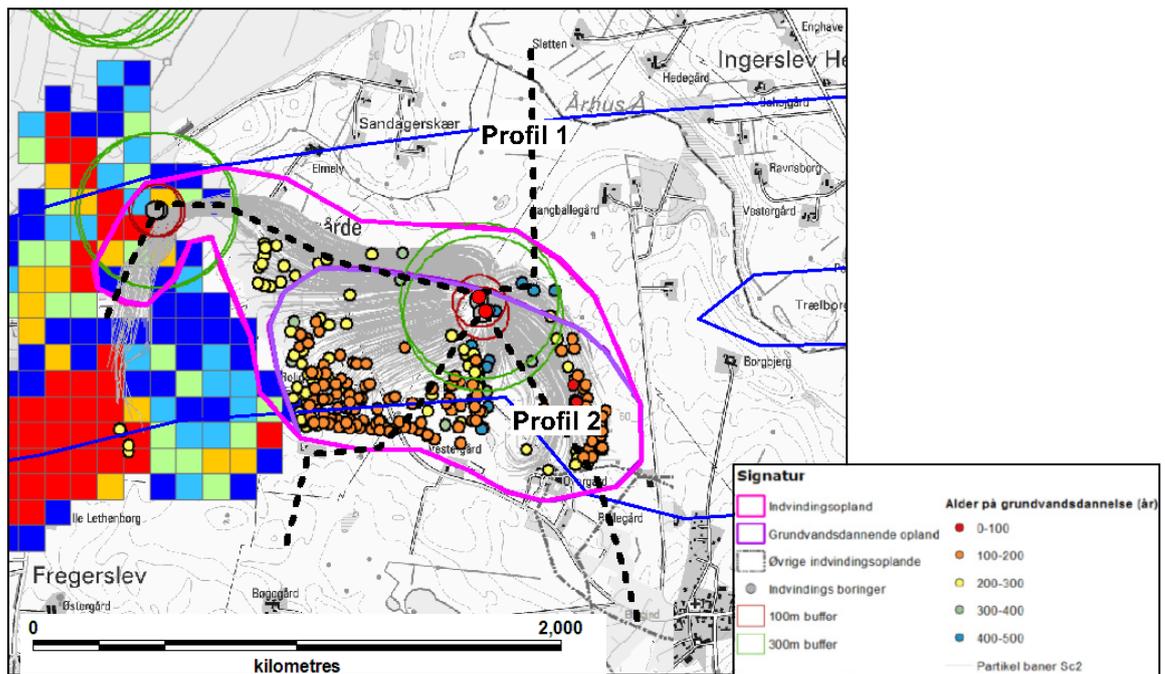


Figur 16 Magasinspecifikt potentialekort for Sand 2 i Naturstyrelsens grundvandsmodel (fra Rambøll 2013b). Der ses en svag stigning i potentialet i sydvestlig retning.

I grundvandsmodellen er Sand 1 og det øverste lerlag slået sammen, og ligeledes er det nederste kvartære lerlag slået sammen med det øverste miocæne lerlag. I alt er der 7 lag i grundvandsmodellen (Rambøll 2013b). Der er udført forskellige scenarier for Hørning Stationsbys Vandværk, men kun Scenarie 2 er relevant, da det er den eneste beregning, der vedrører den nye kildeplads. I dette scenarie er den tilladte indvinding anvendt. Resultatet er vist i Figur 18, hvor det ses, at grundvandsdannelsen primært sker i 200-700 m sydvest, syd og sydøst for kildepladsen. Transporttiden er overordnet set beregnet til at være 100-200 år. Ved anvendelse af en bufferzone afledt fra usikkerhedsbetragtninger er der optegnet indvindingsopland og grundvandsdannende opland på baggrund af maksimum 200 år (se Figur 15, Figur 17 og Figur 18). På Profil 1 og 2 (Figur 13, Figur 14) er strømmingen fra grundvandsdannelse til filtrene indtegnede med blå pile. Det ses at vandet kommer gennem lerlaget ovenpå Sand 2, og derefter følger det sandlaget hen til boringen. Det er således en meget simpel strømmingssituation, hvor leret bremser vandet, og hvor det tager meget lang tid for vandet at nå sandlaget. Lerlaget fungerer som et beskyttende lag mod forurening.



Figur 17 Prækvartæroverfladen med de begravede dale fra den hydrostratigrafiske model vist sammen med forløbet af Profil 1 og 2 samt den skitserede begravede dal fra Figur 5. Optegnet indvindingsopland er vist med pink og optegnet grundvandsdannende opland er vist med lilla polygon.



Figur 18 Partikelbanesimuleringer for indvindingen ved den nye kildeplads (modificeret udtræk fra Rambøll 2013b) vist sammen med forløbet af Profil 1 og 2 samt den skitserede begravede dal fra Figur 5. Optegnet indvindingsopland er vist med pink og optegnet grundvandsdannende opland er vist med lilla polygon. Farvede firkanter er irrelevante i denne sammenhæng.

7. Vurdering af usikkerhed på indvindingsopland og grundvandsdannende områder

Datagrundlaget for modelarbejdet består af boredata, TEM-data, PACEP-data. Som diskuteret ovenfor er både TEM-data og PACEP-data indsamlet med betydelig mangelfuld datadækning. Der er for langt mellem TEM-datapunkterne og PACEP-linjerne til, at de geologiske forhold kan kortlægges tilstrækkeligt. De geologiske forhold er ifølge både boringer og PACEP, samt jordartskort for komplicerede til, at der på baggrund af de indsamlede data, kan opstilles en brugbar geologisk model og dermed grundvandsmodel. De laterale variationer er betydelige, hvilket ses i boredata ved kildepladsen og på PACEP-linjerne. Dertil kommer, at særligt TEM-data er af tvivlsom kvalitet og skal benyttes med forsigtighed. Der er knyttet en betydelig usikkerhed til disse data, bl.a. på grund af risikoen for, at data kan være koblede og støjfyldte.

Det er dog muligt, på baggrund af data og boringer, at tolke flere begravede dale samt et mere eller mindre udbredt lerlag tæt ved terræn. Men det må forventes at billedet af geologien er væsentligt mere kompliceret end dette. Sandsynligvis er der flere dale i området, og muligvis er den store dal et kompleks af flere mindre dalstrukturer, der forløber oveni hinanden (som det er typisk for begravede dale, se fx Jørgensen og Sandersen 2006 og Sandersen og Jørgensen (2016)). Desuden er der antydninger af en mulig overfladenær nord-syd-gående begravet dal gennem området, og der er muligvis forekomster af glacialt deformerede lag i området.

På trods af usikkerhederne på data, og på trods af de komplicerede geologiske forhold, er der blevet opstillet en geologisk model til grundlag for grundvandsmodelleringen. De geologiske strukturer, der må forventes at have relevans for grundvandsmodellen, vurderes ikke at være opløst af/kortlagt med data (hverken af boredata eller geofysiske data). Der er desuden arbejdet med en lagmodel bestående af forholdsvis horisontale lag, skiftevis bestående sand- og ler. Dette er ikke en velegnet modeltype for området, da det på grund af de komplekse forhold vil være vanskeligt at beskrive geologien med en lagmodel. Så længe de komplekse forhold i området ikke er kortlagt, giver det dog heller ikke så meget mening at opstille en voxel-model.

Ved den geologiske modellering kunne yderligere geologisk information fra de indsamlede data være udtrukket, og generel baggrundsviden, der måtte eksistere om områdets forhold og dets geologiske strukturer, kunne i højere grad have været anvendt. Her tænkes især på de begravede dale, hvor der i modellen fx ses tertiært ler langs flankerne, og hvor dalene i modellen ikke når højere i lagserien end til toppen af prækvartæret. Dalene vil sandsynligvis have en stor betydning i højere niveauer, hvor de formodes at gennemskære lagserien og udgøre enten barrierer eller kortslutninger for grundvandet.

De meget komplekse forhold, der ifølge PACEP-data forekommer blandt de overfladenære lag, kan synes at stride mod forekomsten af det mere udbredte lerlag, der kan ses i TEM-data. I PACEP-data kan dette lag stedvist ses, men andre steder ses i stedet kraftige inhomogeniteter i laget. Dette kan dels skyldes, at det er problematisk for PACEP-metoden at kortlægge lagene præcist, da der med denne metode anvendes faste laggrænser, men mere sandsynligt er det nok, at lerlaget varierer på grund af glacial deformation (som det ses i Figur 3), og at dette ikke

registreres af TEM-metoden, da denne har et betydeligt footprint (stort, midlende målevolumen).

Som det ses i Profil 1 og 2 (Figur 13, Figur 14), er det hydrauliske system og grundvandets strømning styret af udbredelsen af Sand 2 og det udbredte lerlag ovenpå. For det første er det sandsynligt, at magasinet, der indvindes fra, er mere komplekst opbygget, end det er tilfældet i modellen, og for det andet er det sandsynligt, at der er inhomogeniteter i det dækkende lerlag. Magasinets udbredelse vil måske i højere grad være styret af de begravede dale i området, og det dækkende lerlag vil være påvirket af fx glacial deformation og evt. erosion. Med et grundvandsmagasin, der er anderledes opbygget og har en anden udbredelse og med et inhomogent lerlag med "vinduer", vil de resulterende oplandsberegninger kunne se anderledes ud. På grund af inhomogeniteterne i det dækkende lerlag er det også sandsynligt, at grundvandsmagasinet er mere sårbart end beregningerne fra modellen viser.

Potentialeforholdene i området viste en stigende gradient i en diffus sydlig retning. Dette antyder, at det er overvejende sandsynligt, at indvindingsoplandet skal findes i en sydlig retning, men komplekst opbygget geologi og indvinding i området vil kunne have indflydelse på dette, og det kan dermed ikke udelukkes, at oplandet helt eller delvist skal findes i en anden retning. Antages det, at magasinet, der indvindes fra, er et dalmagasin med udbredelse i samme retning som den dybe dalstruktur, vil dalstrukturen kunne påvirke indvindingsoplandet betydeligt.

8. Vurdering af potentialet for yderligere kortlægning og/eller modellering

I det omfang der ønskes et forbedret grundlag for grundvandsbeskyttende tiltag i området, bør indvindingsopland og grundvandsdannende opland beregnes på ny og på et forbedret grundlag. Spørgsmålet er imidlertid, om det overhovedet vil være muligt at forbedre modelleringen.

Den geologiske model vil uden ny dataindsamling kunne forbedres i nogen omfang, bl.a. ved yderligere at gennemarbejde tolkningerne af geofysikken samtidig med, at geologisk baggrundviden og erfaring med tolkning af geofysik i højere grad bringes i spil. Det vurderes dog, at dette ikke vil være tilstrækkeligt, og at der kræves yderligere dataindsamling i området for evt. at opnå en tilstrækkelig sikker og detaljeret model.

En mulig brugbar forbedring vil derfor kræve ny-indsamling af geofysiske data, en ny geologisk model og grundvandsmodel, og evt. også en ny prøvepumpning med tilhørende analyse.

Den komplekse geologi vil af de ny-indsamlede geofysiske data kræve en høj opløsning, horisontalt som vertikalt. Desuden er det vigtigt, at der opnås en indtrængningsdybde på omkring eller lidt mere end 200 m. Sidstnævnte kan ske med SkyTEM, men det er ikke sikkert at SkyTEM vil kunne levere den krævede opløsning i de overfladenære lag. Hertil vil en meget tæt dækning med PACES (maks. 50 m profilafstand) være nyttig. Alternativt, og muligvis bedre, vil være at benytte en metode, der pt. er under udvikling på Aarhus Universitet (tTEM). Denne metode er som SkyTEM en elektromagnetisk metode, men den er landbaseret, og det forventes, at der kan opnås en bedre fladedækning og opløsning med denne metode. En linjeafstand på 15-20 m vil være ønskelig. En begrænsning for SkyTEM og tTEM kan være, at der er potentielle koblingseffekter i området, bl.a. i form af en gennemgående højspændingsledning, og gennemskærende veje med begravede elkabler. Det er dog uvist i hvor høj grad tTEM vil være påvirket af sådanne kulturelle ledere. PACES er mindre følsom overfor sådanne ledere. En anden metode der evt. vil kunne bringes i anvendelse er DualEM, som ikke på samme måde er følsom overfor koblinger, men som omvendt kun kan nå dybder på 5-10 m.

Hvis det kan lade sig gøre at indsamle tilstrækkeligt med nye data til, at de geologiske forhold bliver opløst i nødvendigt omfang, vil det være nødvendigt at opstille en ny geologisk model og herefter en ny grundvandsmodel. Denne skal kunne håndtere den store geologiske heterogenitet, og bør derfor opstilles som en såkaldt voxel-model (se eksempelvis Høyer et al. 2015). Det bør sikres, at geologisk baggrundviden samt erfaring med tolkning af grundvandsgeofysiske data anvendes meget grundigt i modelarbejdet, således at så meget information så muligt udtrækkes af de geofysiske data og bringes i anvendelse. Desuden vil en ny, udvidet analyse af de indsamlede prøvepumpningsdata muligvis kunne bidrage med værdifuldt input.

Ovennævnte tiltag vil ikke med garanti kunne føre til et resultat, der er tilfredsstillende sikkert. Til dette er der flere usikkerhedsmomenter i spil. Fx metodernes evne til at opløse geologien tilstrækkeligt og tilgængeligheden af metoderne i området. Der vil altid være en vis usikkerhed

forbundet med resultater af grundvandsmodeller, og denne er ikke mulig fuldt ud at kvantificere.

9. Referencer

- Høyer, A.S., Jørgensen, F., Sandersen, P.B.E. and Møller, I. 2015: 3D geological modelling of a complex buried-valley network recognized on borehole and airborne electromagnetic data. *Journal of Applied Geophysics*, 122, 94-102. DOI:10.1016/j.jappgeo.2015.09.004
- Jørgensen, F. and Sandersen, P.B.E. 2006: Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets. *Quaternary Science Reviews*, Vol. 25, 11-12, pp. 1339-1363.
- NIRAS 2004: Etablering af 16 undersøgelsesboringer i Århus Syd-området.
- Orbicon 2011: Hørning Stationsby Vandværk. Prøvepumpning i boringen DGU nr. 98.1332. Udført for Hørning Stationsby Vandværk.
- Orbicon 2011: Borehulslogging. Hørning St. By Vandværk - DGU nr. 98.1332. Foreløbigt plot.
- Rambøll 2013a: SSV og hydrostratigrafisk model, Solbjerg-Fillerup. Udarbejdet for Naturstyrelsen.
- Rambøll 2013b: Solbjerg-Fillerup kortlægningsområde, hydrologisk model. Udarbejdet for Naturstyrelsen.
- Sandersen og Jørgensen, F. 2016: Kortlægning af begravede dale i Danmark, opdatering 2009-2015. Geological Survey of Denmark and Greenland - GEUS. Særudgivelse, under forberedelse.
- Sørensen, J, Kronborg, C., Nielsen, O.B. og Krohn, C. 2005: Petrografisk og mineralogisk korrelation af 15 undersøgelsesboringer fra begravede dalsystemer i Århus Syd. Afdelingen for Sediment-Geologi, Geologisk Institut, Aarhus Universitet. 34 p.