

Geofysikkens potentiale i forhold til at understøtte vurderingen af, om afgrænsningen af et BNBO eller indsatsområde samt deres beskyttelsesbehov er fagligt funderet.

Helle Møller Holm, SEGES Plante- og Miljøinnovation

December 2021

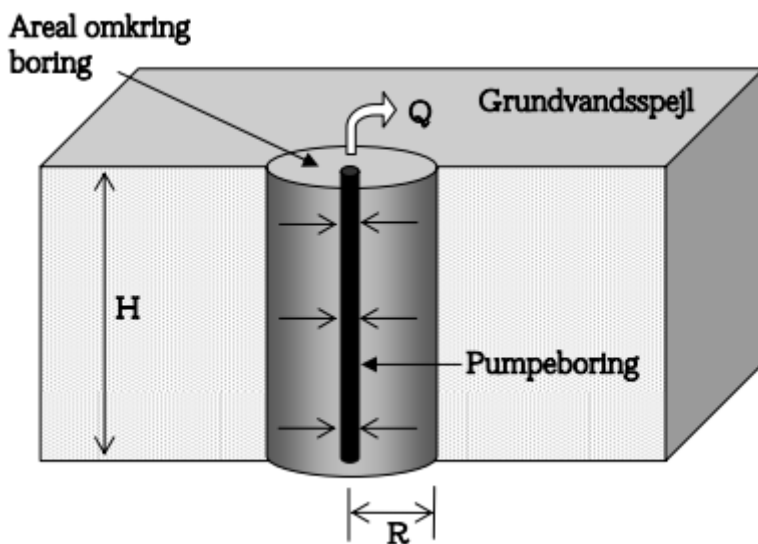
## Metode til at understøtte vurderingen af afgrænsningen af BNBO og indsatsområder

Boringsnære Beskyttelsesområder (BNBO) og indsatsområder er områder, hvor der er fastlagt indsatser, som anvendes til at beskytte boringer til vandindvinding mod forurening.

BNBO udpeges for at beskytte områder tæt på drikkevandsboringer mod forurening fra erhvervsmæssig brug af pesticider. Områder skal beskytte mod forureninger tæt på boringen, og afgrænsningen skal sikre, at der er en responstid til at foretage oprydning og afværgeforanstaltninger.

### Beregning af BNBO

Afgrænsningen af BNBO bygger på et simpelt hydrologisk princip, hvor der beregnes en fast radius i forhold til boringens indvindingsmængde /1/. Beregningen er baseret på princippet, at der skal være balance mellem oppumpet vandmængde og mængden af vand i magasinet. Dvs. at den volumen vand der er oppumpet i boringer, skal være lig med volumen af en cylinder rundt om boringer /1/. Figur 1 viser en skitse af de hydrologiske principper, taget fra /1/.



**Figur 1.** Princippet bag beregningen af BNBO og de parametre der indgår i beregningen. Arealet af en cylinder omkring boringen skal være lig med det oppumpede volumen vand fra boringen. Figuren er fra /1/.

Radius ( $R$ ) er lig den tid det tager for vandet i grundvandsmagasinet at strømme hen til boringen ved en given indvindingsmængde.

Ligningen til den simple hydrologiske sammenhæng beskrives på følgende måde:

$$R = \sqrt{\frac{Q \cdot t}{\pi \cdot H \cdot n_{eff}}} \quad (1)$$

Q er den tilladte indvindingsmængde, t er tiden for indvinding, H er den effektive magasintykkelse af grundvandsmagasinet og  $n_{eff}$  er den effektive porøsitet af grundvandsmagasinet.

Arealet fås dermed ved:

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (2)$$

I beregningen af radius findes oplysningerne omkring Q og t fra borerapporterne eller journalerne. Sværere er det med at bestemme magasintykkelsen og porøsiteten. I BNBO historien er anbefalingerne til anvendte værdier for porøsiteten og effektiv magasintykkelse blevet diskuteret, da der især for kalkmagasiner kan ske meget hurtige strømningen, hvis det er et stærkt opsprækket magasin. Den første anbefaling ses i tabel 1 og den, nu gældende fra 2020, anbefaling i tabel 2.

**Tabel 1.** Anbefalede porøsitet fra /1/

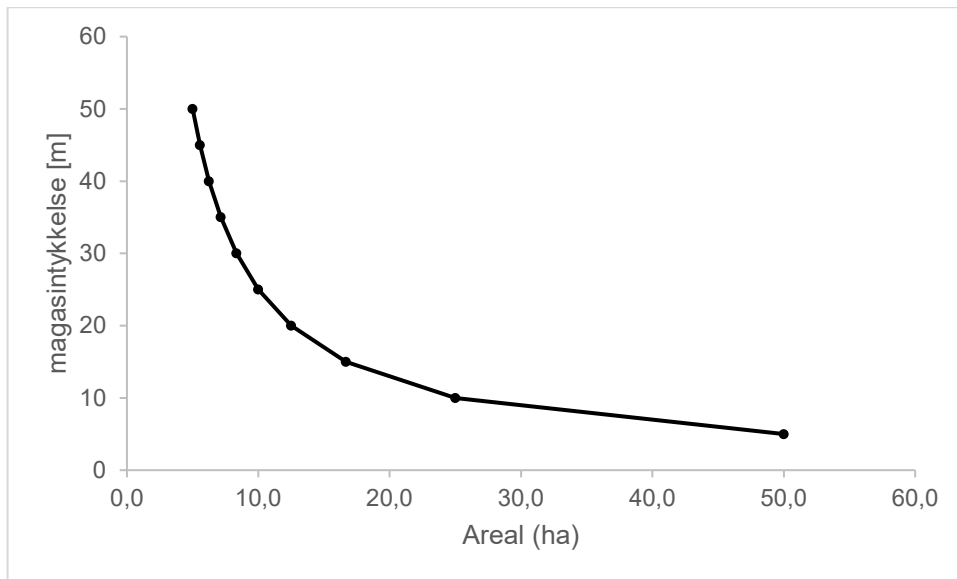
Magasin aflejring	Effektiv porøsitet
Mellemkornet sand	0,15 – 0,30
Groft sand	0,2 – 0,35
Grus	0,1 – 0,35
Kalksten	0,01 – 0,24

Geologisk lag	Specifik ydelse* (%)	Effektiv porøsitet (%)	Anbefalet effektiv porøsitet (%)
Ler	1 - 18	30 - 60	40
Moræneler	1 - 20	10 - 30	25
Silt (morænesilt)	5 - 20	35 - 50	40
Sand	10 - 30	25 - 40	30
Grus	15 - 30	20 - 35	27
Sand og grus (usortet)	10 - 30	15 - 35	25
København kalk**	0.5 - 5	10 - 25	18
Bryozo kalk**	0.5 - 5	35 - 43	38
Skrivekridt**	0.5 - 5	35 - 50	45
Kalk** (sprækkeporøsitet)	-	0,1 - 1	0.5
Kalk (matrix + sprækker)	0.1 - 10	0,1 - 10	10
Sandsten	5 - 15	5 - 30	15

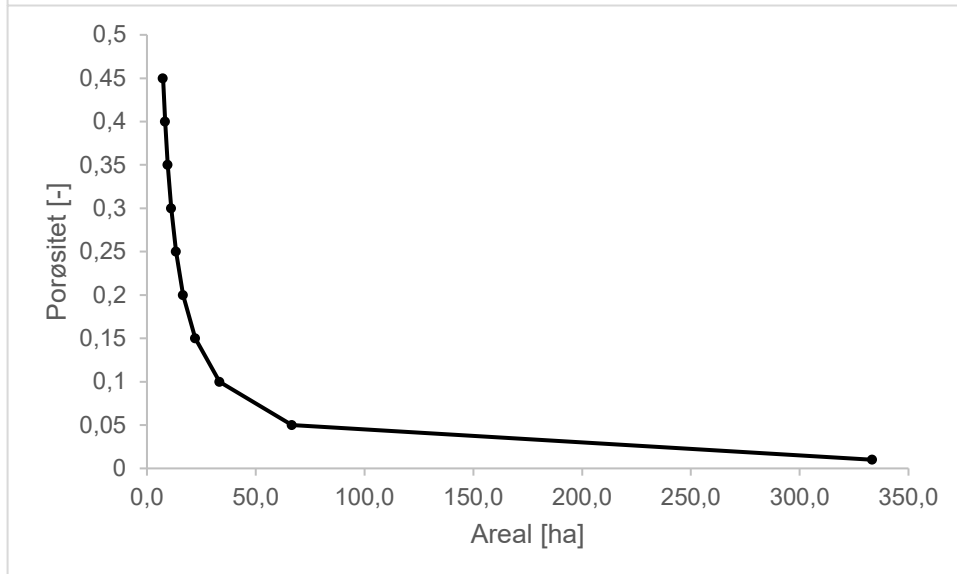
\*Specifik ydelse er defineret som den del af porevolumen, som kan drænes af tyngdekraft.

\*\* Anvendes kun ved dobbeltporøse modeller.

BNBO-beregningens følsomhed overfor ændringer i magasintykkelse og effektiv porøsitet er testet i figur 2 og 3. Testen viser en eksponentiel aftagende kurve, så især ved små porøsiteter og magasintykkelser har selv små ændringer stor betydning for, hvor stort arealet omkring boringen bliver.



**Figur 2.** Test af BNBO-beregningens følsomhed overfor ændringer i magasintykkelsen. Magasintykkelsen er ændret mens alle andre parametre er holdt konstante.



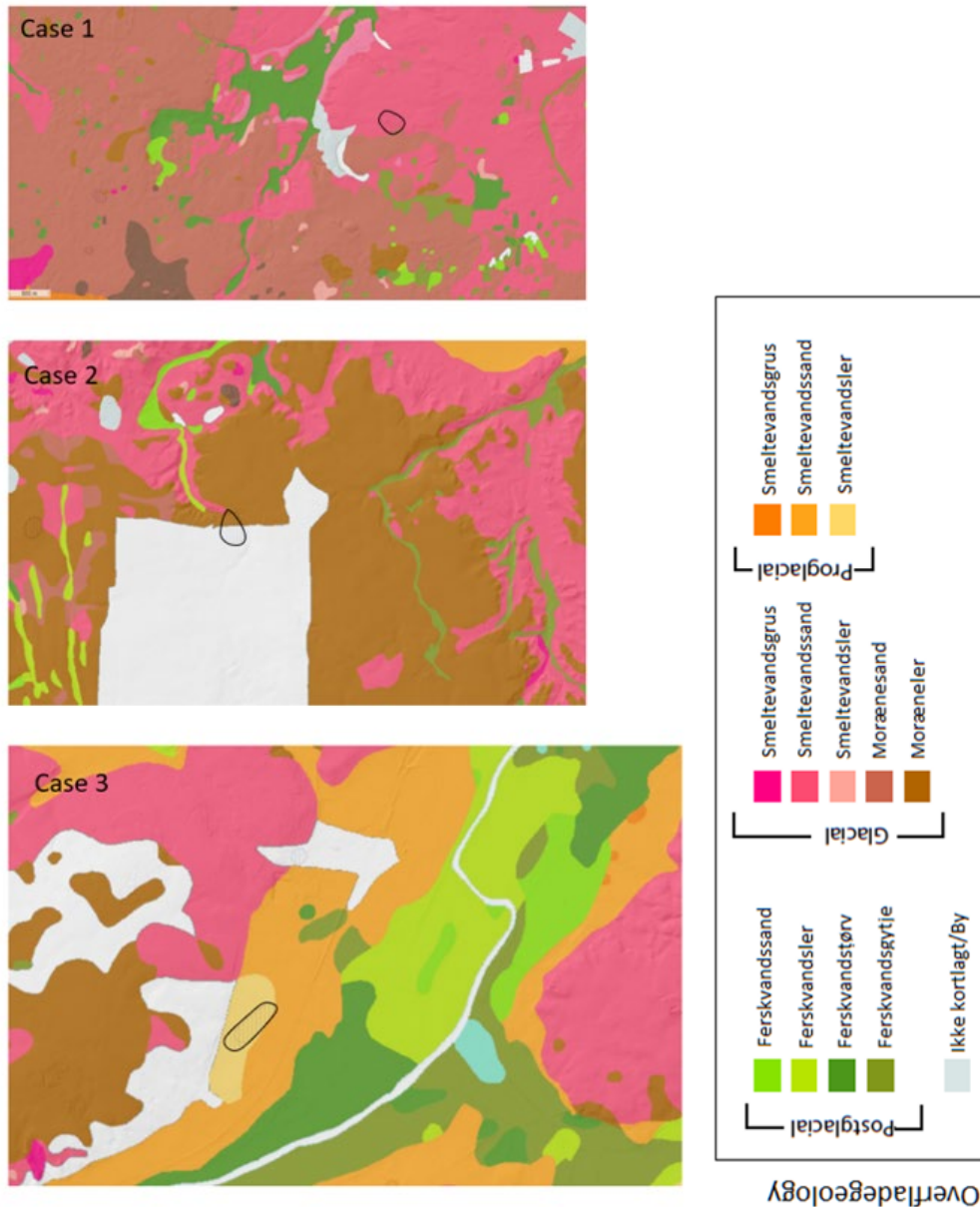
**Figur 3.** Test af BNBO-beregningens følsomhed overfor ændringer i porøsiteten. Porøsiteten er ændret mens alle andre parametre er holdt konstante.

### tTEM metoden

I projektet "Grundvandsbeskyttelse – den rigtige løsning for landmanden", er det afprøvet, om der kan opnås en bedre bestemmelse af de to parametre ved at inddrage den ny geofysiske metode kaldet tTEM, der udmærker sig ved på en hurtig og effektiv måde at kunne kortlægge store områder og samtidigt opnå en god opløsning af de øverste 70 meter af undergrunden.

Metoden er testet af i tre områder, som hver har et BNBO. Områderne ligger med forskellige geologi for at opnå en bred repræsentation. De tre områder ligger i tre forskellige geologiske områder i Danmark. Et område ligger på randen af en israndslinje, en anden ligger i et morænerpræget område og det sidste område ligger i et marint forland/tidligere tunneldal. De tre områder ses i figur 4. Områderne er valgt at gøre anonyme.

En af fordele ved at bruge tTEM er, at det er muligt at kortlægge et stort område omkring borerne, således at der opnås information ikke kun lige omkring borerne, men i et område omkring borerne også. Det kan hjælpe med at se, hvordan lagene følger hinanden og bestemme tykkelsen af lagene over et større område. I case 1 er der blevet kortlagt 64 ha, i case 2 er der kortlagt 112 ha og i case 3 er der kortlagt 36 ha.



**Figur 4.** De tre case-områder med overfaldegeologien. Kortet er hentet fra miljøGIS 7. aug. 2021. Bagvedliggende kort er et skyggekort. De sorte omrids viser BNBO afgrænsningerne. BNBO i case område 1 er på ca. 6 ha, i case område 2 er BNBO på ca. 4,5 ha og i case område 3 er arealet på BNBOet ca. 5,3 ha.

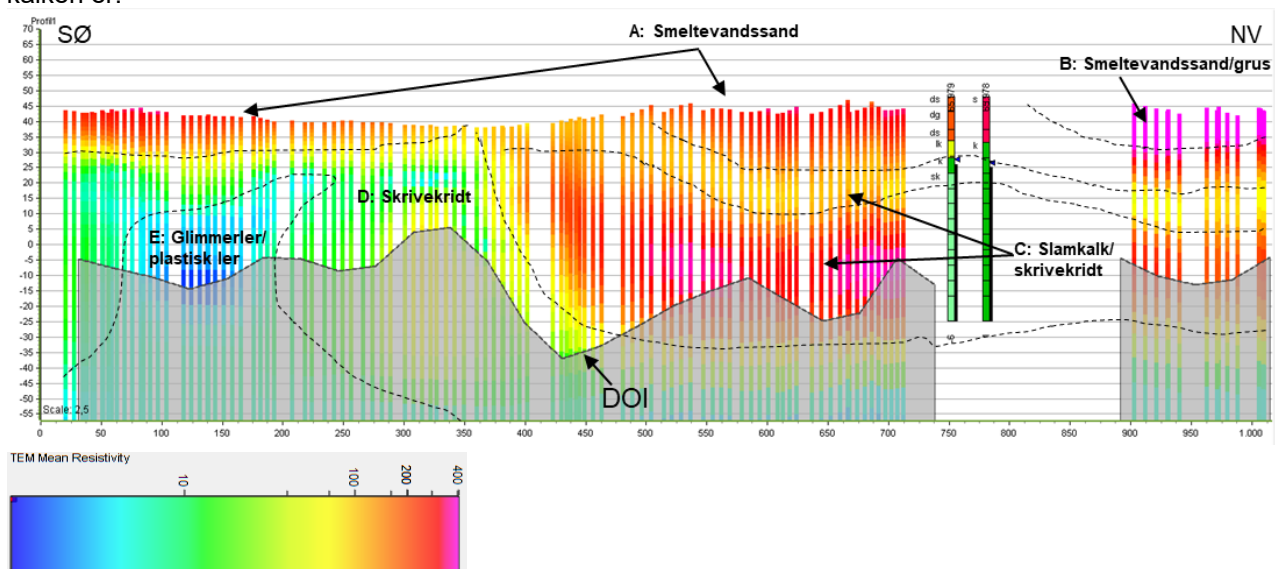
tTEM metoden er en TEM opsætning, som trækkes efter en ATV hen over marken. Det er muligt at køre med en hastighed på 5-15 km/t. TEM systemet består af en senderspole og en modtagerspole. Senderspolen genererer en kraftig strøm, som skaber et primært magnetfelt. Når strømmen i senderspolen hurtigt afbrydes, induceres der hvirvelstrømme i jorden i takt med, at det primære magnetfelt aftager. Hvirvelstrømmene skaber et sekundært magnetfelt, og dette magnetfelt vil langsomt henfalde. Modtagerspolen kan måle henfaldsraten fra den inducerede hvirvelstrøm, som afhænger af jordlagenes evne til at lede strøm. Jordlag der dårligt leder strømmen, som sand og grus, vil have en kort henfaldstid, mens jordlag der bedre kan lede strømmen som

ler, vil have en længere responstid /3/. Metoden kan derfor danne et relativt billede af, hvilke lag jorden består af, og hvordan lagene ligger i forhold til hinanden.

### Bedre bestemmelse af parametre?

#### CASE 1

I case-område 1 hentes drikkevandet fra et kalkmagasin. Det er især svært at bestemme porøsiteten i kalk, og tTEM metoden har ikke kunnet bidrage til en mere sikker bestemmelse af den effektive porøsitet. Hvis den bedre opløsning af jorden fra tTEM inddrages i grundvandsmodellerne, der er brugt til beregning af BNBO i case-område 1, er der sandsynlighed for, at strømningsvejene i magasinet bedre kan bestemmes. Bunden af magasinet kendes heller ikke i case-område 1 og på tTEM ses bunden heller ikke. På boreriger tæt på vandværksboringerne er der fundet kalk ned til flere hundrede meters dybde. På de geofysiske modeller stod en opskubt struktur tydeligt frem og som viste, at området har været præget af aktiviteter, der kan have forårsaget, at kalken er blevet mere opsprækket (figur 5). Men det er ikke muligt at fastsætte, hvor opsprækket kalken er.

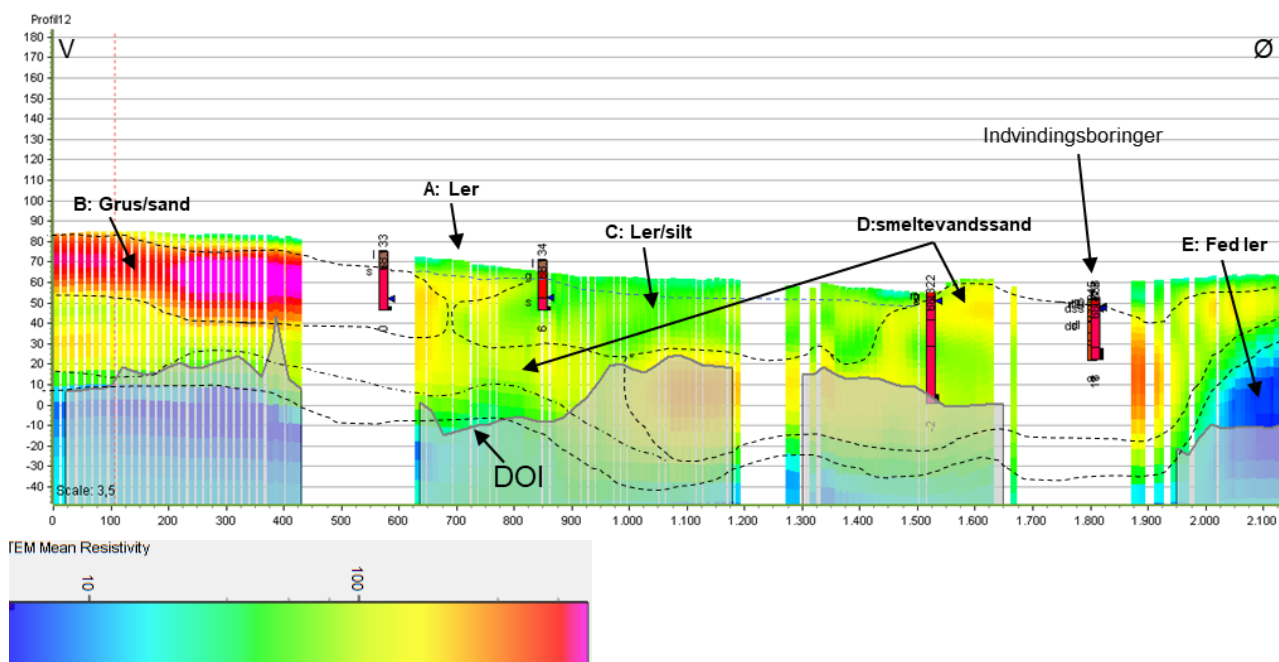


**Figur 5.** Tværprofil af case-område 1. tTEM modellerne er vist som farvede vertikale 1D soundings. tTEM modeller under Depth of Investigation (DOI) er blevet sløret. Borehuller fra Jupiter er vist som vertikale rør med farveinddeling efter geologisk lag der er fundet i boreriger.

#### CASE 2

For case-område 2 sås det på modellerne fra den geofysiske kortlægning, at bunden af grundvandsmagasinet kom frem. Det er meget tydeligt, at bunden blev udgjort af et lav-resistivt lerlag (figur 6). I dette tilfælde stiger magasintykkelsen med 55 meter, og det giver et fald i BNBO areal på 90 % svarende til at arealet går fra 5,3 ha til 0,5 ha. Det skal dog understreges, at det ikke var muligt at få oplysninger om, hvilken tykkelse af magasinet, der er brugt til beregningen. De andre parametre kendes, og derfor er den brugte magasintykkelse beregnet ved at isolere den i ligningen. Derfor er der en vis usikkerhed forbundet med den parameter. Dog står det frem på geofysikken, at det er muligt at finde bunden af grundvandsmagasinet, og hvis denne bruges falder arealet markant.

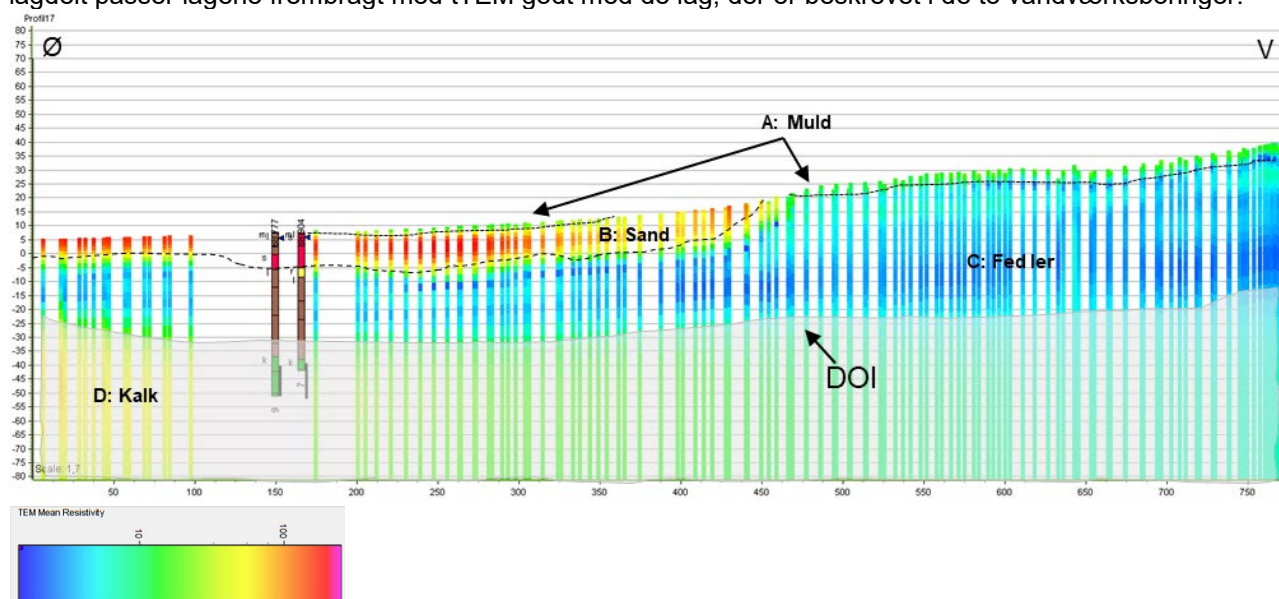
I Case 2 er der også testet, hvilken effekt tragteffekten har på den effektive magasintykkelse. I /1/ appendiks 1 er beregningsgrundlaget gennemgået. I dette tilfælde giver tragteffekten en sænkelse på den effektive magasintykkelse på 22 cm og det har ikke nogen mærkbar effekt på arealet omkring boreriger.



**Figur 6.** Tværprofil af case-område 2. tTEM modellerne er vist som farvede vertikale 1D soundings. tTEM modeller under Depth of Investigation (DOI) er blevet sløret. Borehuller fra Jupiter er vist som vertikale rør med farveinddeling efter geologisk lag der er fundet i boringen.

### CASE 3

Case-område 3 henter også sit grundvand fra et kalkmagasin, hvor det ikke har været muligt at bestemme bunden af det magasin. Ej heller har metoden hjulpet til at fastsætte, hvor opsprækket kalken er. Til gengæld har tTEM givet et meget bedre billede af, hvordan lagene ligger i forhold til hinanden, og viser at dette område er forholdsvis homogent og har overvejende vertikale lagflader (figur 7). Da området er meget pandekage-lagdelt passer lagene frembragt med tTEM godt med de lag, der er beskrevet i de to vandværksboringer.



**Figur 7.** 3D modellen af den geofysiske model i case-område 3. Hver vertikal pind udgør en model. Det grå bånd er DOI. Legenden ses i figur 15.

### **Konklusion på metoden**

Undersøgelsen har vist, at tTEM kortlægning kan opløse jorden ned til ca. 70 meter under terræn og det kortlagte område giver en god opløsning af geologien. Denne gode opløsning af lagene, kan til en vis grad bruges til bestemmelse af de styrende parametre, der bruges i beregningen af BNBO. Hvis kortlægningen kan vise toppen og bunden af grundvandsmagasinet, kan dennes tykkelse meget præcist bestemmes. Men er bunden af magasinet dybere end metoden kan trænge ned, er det ikke muligt at bestemme bunden. Yderligere er det i kalkmagasiner ikke muligt bedre at bestemme, hvor opsprækket kalken er og hvordan strømmingen sker i magasinet. Her må der bruges viden om hydrologien i området.

### **Referencer**

/1/ Miljøministeriet, Miljøstyrelsen. Boringsnære beskyttelsesområder – BNBO. Vejledning fra Miljøstyrelsen nr. 2 2007.

/2/ Miljø- og Fødevarerministeriet, Miljøstyrelsen. BNBO Beregningsprocedure. 2020

/3/ Sandersen, PBE, Kallesøe, AJ, Møller, I, Høyer, AS, Jørgensen, F, [Pedersen, JB & Christiansen, AV](#) 2021, '[Utilizing the towed Transient ElectroMagnetic method \(tTEM\) for achieving unprecedented near-surface detail in geological mapping](#)', *Engineering Geology*, vol. 288, 106125. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106125>