

Geoscanner til overfladenær kortlægning

Præcis modellering af vandets og kvælstoffets kredsløb på hektar-skala stiller høje krav til beskrivelsen af de geologiske strukturer. En nyudviklet geofysisk scanner kan effektivt kortlægge de øverste 80 meter af undergrunden med en hidtil uhørt detaljerigdom.

Med metoden er vi nu i stand til at opløse strukturer i mindre skala såsom deformerede lerlag og tynde sandlag indlejret i ler.

JESPER B. PEDERSEN, ANDERS V. CHRISTIANSEN, ESSEN AUKEN & PETER SANDERSEN

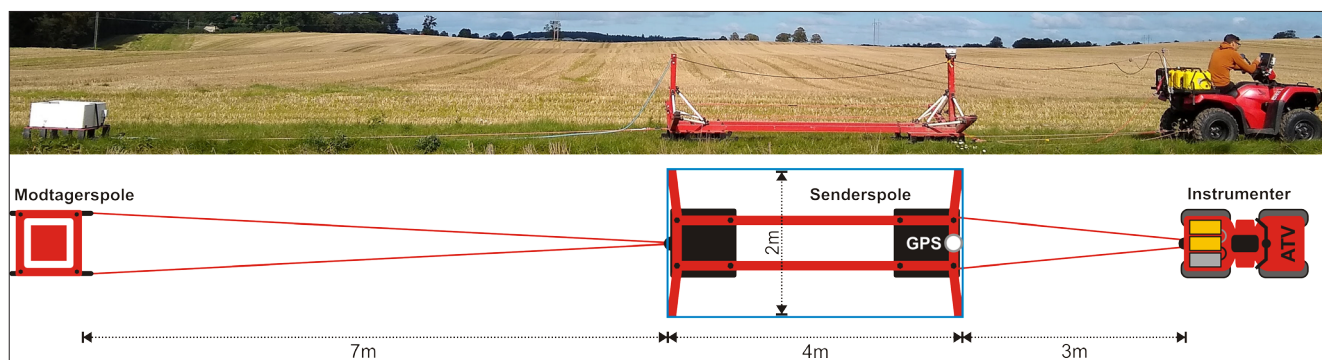
Behovet for et nyt redskab i den geofysiske værktøjskasse

Detaljeret viden om jordens opbygning i de øverste 100 meter er essentiel, da hovedparten af de humane aktiviteter og påvirkninger sker i denne zone. Det gælder for eksempel råstofindvinding, udvikling af infrastruktur, forurening fra fx landbruget og ikke mindst vandindvinding. I MapField-projektet har fokus været omsætning af nitrat i grundvandszonen, og der skulle derfor indsamles viden om jordlagenes strukturer og opbygning så vandets transportveje kunne fastlægges. Den gængse fremgangsmåde til kortlægning af undergrunden i de relevante dybder har været ved hjælp af borer, Multi-Elektrode-Profil (MEP) og luftbårne, transiente elektromagne-

tiske målinger ved SkyTEM metoden. Metoderne er dog alle kendetegnet ved, at det er omkostningstungt at lave høj-opløselige geologiske kort på hektar-skala. Borer giver præcis og detaljeret information om den geologiske lagfølge, men skal betragtes som en punktmåling. Endvidere er det omkostningstungt at bore til 100 meters dybde. MEP-målinger er veldokumenterede og giver brugbare todimensionelle resultater. MEP er dog begrænset til profiler, og det er kun muligt at indsamle få linje-kilometer data per dag. Luftbårne metoder kan kortlægge store områder hurtigt, men har en lav detaljeringsgrad i de øverste dele af jorden. I MapField-projektet blev det, som direkte konsekvens af manglen på et passende værktøj, besluttet at fortsætte udviklingen af en ny geofysisk metode, som kan producere højopløselige geologiske kort på hektar-skala. Metodikken hedder tTEM, hvilket står for towed Transient ElectroMagnetic Method.

Hvordan virker tTEM geoscanneren?

tTEM geoscanneren fremgår af figur 1. Det overordnede formål var at udvikle et system, som hurtigt kunne producere billeder af undergrunden ned til en dybde af 80 meter i høj vertikal og lateral opløsning $1/1$. For at opfylde disse mål udviklede vi en $2 \times 4 \text{ m}^2$, senderspøle, som er monteret på to ikke-metalliske slæder, der trækkes af en ATV (All Terrain Vehicle). Senderspølen anvendes til at opbygge en strøm, så der dannes et kraftigt magnetfelt. Strømmen slukkes derefter abrupt, så det primære magnetfelt aftager, og der dannes elektriske hvirvelstrømme i jorden. Dette giver anledning til et sekundært magnetfelt, som henfalder over tid. Henfaldsraten af det sekundære magnetfelt måles i en modtagerspøle, som er placeret på en anden slæde syv meter bag senderspølen. På baggrund af henfaldsraten kan man udregne jordens elektriske modstand, som er relateret til den geologiske opbygning af jorden. For eksempel er ler-aflejringer kendetegnet ved at have en lav elek-



Figur 1. tTEM geoscanneren i $2 \times 4 \text{ m}^2$ opsætning. Der er i dag også fremstillet en $3 \times 3 \text{ m}^2$ udgave der kun anvender én slæde til senderen.

trisk modstand, og der vil derfor være et langvarigt respons fra disse jordlag, hvorimod der for sand- eller gruslag, som har en høj elektrisk modstand, vil være et kort respons, idet magnetfeltet hurtigt dør ud. Instrumenterne, som styrer al elektronikken, er placeret bagerst på ATV'en, sammen med et batteri, som leverer strøm til systemet. Geoscanneren er konfigureret i et lavt og højt moment, så man både opnår overfladenær og dyb information. I lav-momentet udsendes 2,8 ampere med en slukketid på kun 2,6 mikrosekunder, og i høj-momentet udsendes der 30 ampere. Gentagelsesfrekvensen for målingerne ligger på cirka 0,8 sekunder, hvilket svarer til, at man får en fuld måling for hver 3-4 meter ved en kortlægningshastighed på 15-20 kilometer i timen. Systemet producerer meget varme grundet den hurtige gentagelsesfrekvens, og derfor er der lagt betydelig indsats i at vandkøle senderinstrumenterne, så udstyret ikke brænder af i felten. I fronten af ATV'en er der en tablet med en GIS-visning, så man kan evaluere resultaterne af de indsamlede data øjeblikkeligt, og sikre, at man kører langs de ønskede linjer. Den typiske linjeafstand, når der kortlægges med metoden, er 10-25 meter, hvilket svarer til placeringen af køresporene på markerne. Med denne opstilling kan der typisk kortlægges 100 hektar landbrugsjord om dagen, hvor man opnår helt op til 200 geofysiske målinger per hektar.

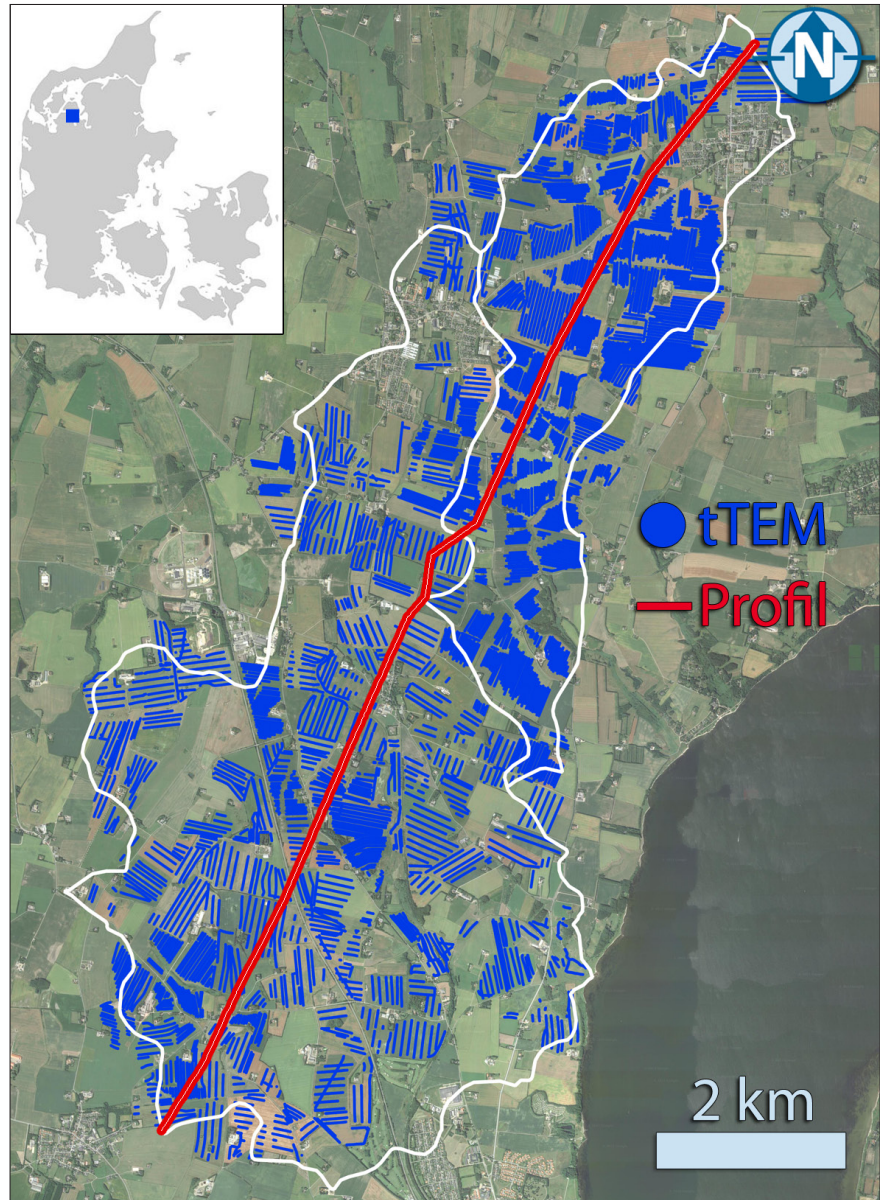
Den geofysiske kortlægning i demonstrationsområderne

tTEM geoscanneren er anvendt til at kortlægge de geologiske strukturer i de fire LOOP-områder samt demonstrationsområderne Hulebro Bæk og Hagens Møllebæk, som tilsammen udgør 4200 hektar landbrugsjord. De geofysiske målinger og omridset af demonstrationsområderne fremgår af figur 2.

Områderne blev kortlagt på 21 dage, og i alt er der 88.846 målepunkter tilgængelige efter databehandling. I databehandlingen fjernes alle målepunkter, som er påvirket af elektromagnetisk støj fra menneskabte kilder, såsom elektriske kabler, højspændingsledninger eller dyrehegn. Den typiske sikkerhedsafstand til menneskeskabte støjkluder, før der kan opnås brugbare data, er 25-50 meter. Når data er behandlet, udføres der en geofysisk tolkning, så de målte henfaldsrater konverteres til modstandsmodeller for jorden. Resultaterne præsenteres oftest som fladekort i form af middelmodstandskort i koter og dybder og/eller todimensionelle profilsnit igennem jorden.

Kortlagte geologiske strukturer

Demonstrationsområderne Hulebro Bæk

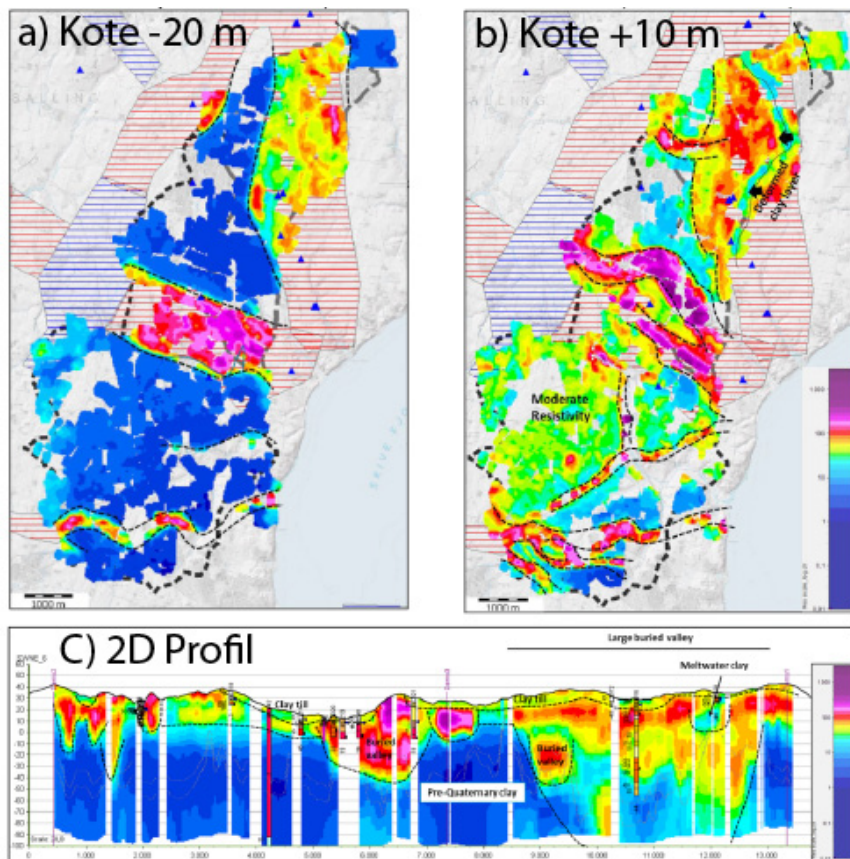


Figur 2. tTEM kortlægningen i demonstrationsområderne Hulebro Bæk og Hagens Møllebæk. De blå cirkler markerer tTEM målepunkter, og den hvide polygon det totale kortlægningsområde. Den røde linje markerer placeringen af 2D profilet, som der vises i figur 3c.

og Hagensmølle Bæk ligger på Salling i den nordvestlige del af Jylland ud mod Skive Fjord i et ler-domineret moræne-landskab fra sidste istid /2/. Figur 3a og 3b viser middelmodstandskort fra henholdsvis kote -20 m og +10 m. De rød og blå skraverede områder uden for demonstrationsområderne markerer allerede kortlagte helt eller delvist begravede dale. Fladekortene giver et indblik i modstandskontrasterne mellem det godt ledende prækvartære ler (blå farver) og de forskellige generationer af nedskårne begravede dalsystemer, som er dannet under istidene. Modstandsvariationerne i dalene relaterer sig til forskellige former for dalfyld. Den nord-sydligt orienterede dal (3a,b) viser høje og moderate modstande (grøngullig-rød farve), som indikerer fyld af sand

og ler. Dette bekræftes af borer i dalen, som beskriver moræneler, smeltevandsler og smeltevandssand /2/. Den mere end en kilometer brede VNV-ØSØ orienterede dal (3a) er domineret af høje modstande, som svarer til sand og grus (lilla farve). To smallere og mindre dybe dale med omtrent samme orientering ses også i området (3a). I middelmodstandskortet i kote +10 meter (3b) ses de samme dalstrukturer, men de er nu helt op til 1,5 kilometer brede, og der ses adskillige små dale internt i dal-strukturerne. I den nord-sydligt orienterede dal ses tilmed en aflang lavmodstandsstruktur af deformeret smeltevandsler.

I figur 3c vises der et 13,5 kilometer lang sydvest-nordøst orienteret, todimensionelt profilsnit. Den geografiske placering af profil-



Figur 3. Middelmodstandskort i a) kote -20 meter b) kote +10 meter. c) 2D profilsnit med geologisk tolkning. Placeringen af profilet fremgår af Figur 2. Middelmodstandskort og profil er fra /2/.

snittet fremgår af figur 2. I profilafstand 9-13 km ses en dyb begravet dal. I den begravede dal ses en intern begravet dal og det skråstilte deformerede smeltvandsler. Snittet giver et godt indblik i, hvor komplekse de begravede dale kan være. I en profilafstand af 5,5-8 kilometer ses en række eksempler på dale med højmodstandslag indikerende grus og sand. Disse dale vil kunne udgøre korridorer for vandtransport og dermed også kvælstof.

Konklusion og perspektivering

De præsenterede geologiske kort, som er baseret på data fra tTEM geoscanneren, viser en helt ny detaljegrundt tTEM-systemets unikke vertikale og laterale opløselighed. Med metoden er vi nu i stand til kosteffektivt at kortlægge de begravede dale, som i høj grad er styrende for vandtransporten og hvor vi finder meget af vores drikkevand i Danmark. Inputtet fra geofysikken er essen-

tielt for at kunne lave en hektar-skala modellering af vandets og kvælstoffets kredsløb. I MapField-projektet skal resultaterne anvendes til at fastlægge vandets transportveje i forbindelse med kvælstofretention, men de opnåede høj-opløselige geologiske kort vil kunne anvendes i adskillige andre sammenhænge, hvor viden om undergrundens strukturer er nødvendig for at træffe beslutninger. Det kunne for eksempel være i forbindelse med råstofindvinding, hvor forekomsten af sand og grus nær terræn er vigtig viden /3/. Metoden vil ligeledes være anvendelig i forbindelse med punktkildeforureninger, hvor mulige strømningsveje skal kortlægges for, at der kan udarbejdes en risikovurdering for vores grundvand /3, 4/. Den geofysiske kortlægning vil også kunne være relevant i forbindelse med geotekniske undersøgelser ved større anlægsprojekter eller jordbundundersøgelser ved etablering af nye veje. Resultaterne kan også anvendes i forbindelse med vurdering af

grundvandsmagasineres sårbarhed og rumlige dimensioner /4/, såvel som udpegning af optimale lokaliteter for kunstig infiltration af regnvand. Metoden vil ligeledes være yderst anvendelig i data-fattige områder med vandmangel, såsom flygtningelejre eller landlige områder i Afrika. I disse regioner er succesraten for vandindvindingsboringer i dag meget lav, da placeringen af borerne ofte finder sted med kun begrænset viden om undergrunden. Ved at inddrage tTEM geoscanneren har et demoprojekt i Sydafrika allerede vist, at succesraten stiger betydeligt når der i stedet bores på et oplyst grundlag. Hele 12 ud af 13 borer, som blev placeret på baggrund af tTEM geoscanneren, har fundet vand i et område hvor det ellers var en mangelvare /5/.

Referencer

- /1/ Auken, E., N. Foged, J. J. Larsen, K. V. T. Lassen, P. K. Maurya, S. M. Dath and T. T. Eiskjær, 2019, tTEM – A towed transient electromagnetic system for detailed imaging of the top 70 m of the subsurface, *Geophysics*, 84, E13-E22.
- /2/ Sandersen, P.B.E. & Kallesøe, A.J., (2021). Geological mapping in MapField LOOP-areas and demo sites. GEUS Report 2021/36, 76 s.
- /3/ Maurya, P. K., A. V. Christiansen, J. B. Pedersen and E. Auken, 2020, High resolution 3D subsurface mapping using a towed transient electromagnetic system – tTEM: case studies, *Near Surface Geophysics*, 18, 249-259.
- /4/ Sandersen, P.B.E, Kallesøe, A.J., Møller, I, Høyer, A.-S., Jørgensen, F., Pedersen, J.B. & Christiansen, A.V. (2021). Utilizing the towed Transient ElectroMagnetic method (tTEM) for achieving unprecedented near-surface detail in geological mapping. *Engineering Geology*, 288 (2021) 106125.
- /5/ Grombacher, D., Maurya, P., Lind, J. C., Auken, E., Lane, J., Kraghede, R., & Pedersen, J. (2021). Rapid Mapping of Hydrological Systems in Remote Conditions Using the tTEM System. In NSG2021 1st Conference on Hydrogeophysics (Vol. 2021, No. 1, pp. 1-5). European Association of Geoscientists & Engineers.

JESPER B. PEDERSEN (jesper.bjergsted@geo.au.dk) er senior geofysiker, ANDERS V. CHRISTIANSEN (anders.vest@geo.au.dk) og ESBEN AUKEN (esben.auken@geo.au.dk) er professorer. Alle ved HydroGeofysik Gruppen, Institut for Geoscience, Aarhus Universitet
PETER SANDERSEN (psa@geus.dk) er seniorforsker ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS