

# Kortlægning af dræn med georadar

Mere en halvdelen af det danske landbrugsareal er kunstigt afdrænet. Her er der potentielt mulighed for implementeringen drænvirkemidler, som kan reducere kvælstoftabet til vandmiljøet. Der er derfor stor interesse i at vide, om en mark er drænet eller ej, og hvor drænrørene præcist ligger placeret. Artiklen beskriver mulighederne for at detektere drænrørs placering ved hjælp af en georadar.

**BO V. IVERSEN, JØRGEN RINGGAARD  
& TRIVEN KOGANTI**

Udvaskning af næringsstoffer fra landbrugsområder via markernes drænsystemer kan være betydelig. Det vurderes, at lidt over halvdelen af danske landbrugsarealer er drænet /1/. Transporten i drænsystemerne afhænger af strømningsforholdene, der i høj grad er styret af de lokale hydrogeologiske forhold. Drænenes beliggenhed i landskabet samt dræntintensiteten vil ligeledes være en bestemmende parameter for transporten af næringsstoffer. Kendskabet til drænrørens beliggenhed kan være afgørende i relation til anlæg af konstruerede vådområder, i forståelsen af vandbevægelsen i jorden og i forbindelse med retentionskortlægningen.

I mange tilfælde er det muligt at indhente de oprindelige drænplaner fra landmanden, fra den entreprenør, der i sin tid udførte drænarbejdet eller fra Orbicons eksisterende drænarkiv. I en del tilfælde er drænkortet dog ikke tilgængeligt, eller det kan være fejlbehæftet, da det måske kun har været anvendt i en projekteringsfase, men ikke fulgt ved selve nedgravningen af drænrørene. Der er derfor brug for praktisk anvendelige metoder, der kan lokalisere de nedgravede drænrør i marken. En oplagt metode til lokalisering af drænene kan være at udføre en sondering ved hjælp af en rendegraver i kombination med spyd, der bankes ned i jorden. Denne metode er dog både besværlig og destruktiv. Ikke-destruktive metoder, der hurtigt og præcist kan lokalisere drænene i marken, er derfor ønskelige. Amerikanske undersøgelser har vist, at det i nogle tilfælde er muligt at finde drænene

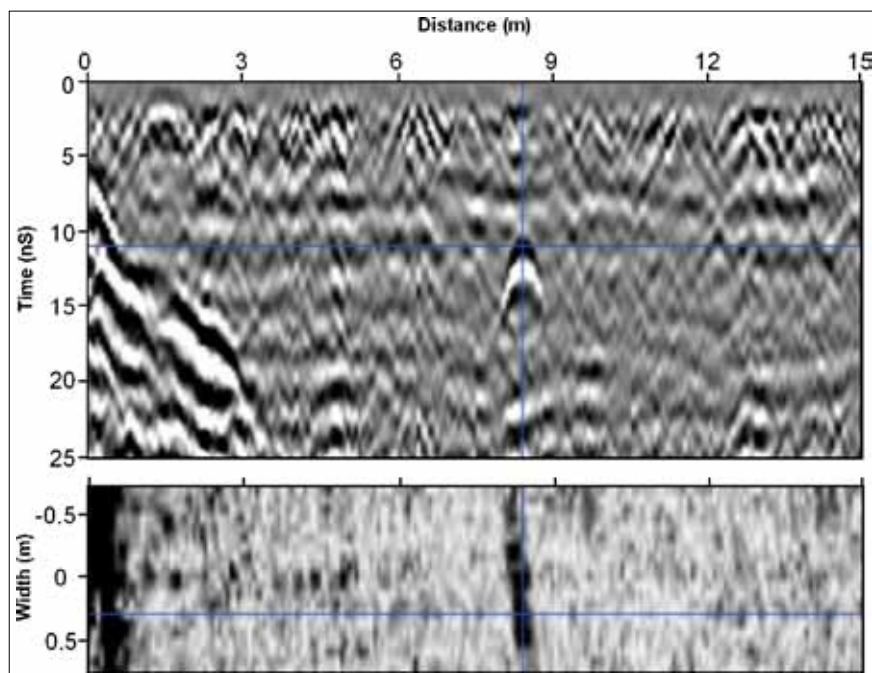
ved hjælp af en georadar på jordtyper, der er sammenlignelige med danske drænedede jorde /2/. I forbindelse med forskningsprojektet TRENDS (Transport og reduktion af nitrat i danske landskaber på forskellig skala – TRENDS) blev der derfor udført forsøg med georadar til lokalisering af dræn. Til at understøtte målingerne blev jordens elektriske ledningsevne ligeledes målt med et EMI-instrument (elektromagnetisk induktion).

## Georadaren

En georadar (se fig. 1 venstre) kan anvendes til en række forskellige arkæologiske eller ingeniørmæssige formål. Den kan kortlægge forskellige typer af fortidsminder, lagtykkelser i veje, begravede objekter såsom nedgravede tanke og beholdere, installationer og hulrum. Når georadaren bevæges hen over jordoverfladen, sender en antenne elektromagnetiske



Figur 1. Den anvendte georadar (venstre, foto: Rambøll Danmark) og det anvendte elektromagnetiske induktionsinstrument (højre, foto: Mogens H. Greve). Begge instrumenter trækkes af en ATV (All-Terrain Vehicle).



Figur 2. Eksempel på databehandlede georadarsignaler (et radargram). Øverste et vertikalt snit, hvor dybderne er udtrykt i den tid, det har taget signalet at bevæge sig ned gennem jorden. Det detekterede drænrør erkendes som en hyperbel (det blå kryds). Nederst et horisontalt snit i en signaltid på 11-12 ns svarende til ca. 0,5 meter. Drænrøret erkendes som et lineært mønster.

pulser (bølger) ned i jorden. Dele af de elektromagnetiske bølger vil ved overgangen mellem materialer af forskellig beskaffenhed blive reflekteret tilbage til en modtagerantenne på georadaren, mens de resterende bølger fortsætter dybere ned i jorden. Mere præcist vil dele af signalet reflekteres ved overgangen mellem materialer med forskelle i elektrisk polariseringsevne. Når det reflekterede signal returnerer til antennen, registreres amplitude og tidsforsinkelse. Disse måleværdier sammensættes i et så-

kaldt radargram, hvor x-aksen repræsenterer den horisontale position langs det transekt, der måles, og y-aksen viser dybden, udtrykt ved den tid den elektromagnetiske bølge bruger på at trænge ned i jorden og blive reflekteret tilbage til antennen. Farverne på radargrammet er udtryk for signalets amplitude (styrke). Et eksempel herpå er vist i fig. 2. På radargrammer fremstår laggrænser som sammenhængende reflektorer med større amplitude. På landbrugsjorde repræsenterer laggrænserne normalt overgangen mellem

forskellige jordlag (pløjelag, sand, ler, etc.). Punktformede genstande (eller rør som passerer på tværs) vil på radargrammet blive aftegnet som hyperbler, hvor hyperbeltoppen svarer til positionen af drænrøret (se fig. 2 øverst). I princippet kan et sådant signal også være en større sten eller andre genstande, der befinder sig i jorden, men på et horisontalt snit i de databehandlede georadarsignaler vil drænrøret vise sig som et tydeligt lineært forløb (se fig. 2 nederst). Derfor er det en stor fordel at benytte et fladedækkende georadarsystem fremfor et system, som udelukkende kortlægger i linjer. Det elektromagnetiske signal vil, når det bevæger sig ned gennem jorden, blive mere eller mindre dæmpet afhængigt af jordtypen. Nedtrængningsdybden af signalet vil typisk variere mellem en halv og fem meter og vil specielt for meget lerede jorde med en høj elektrisk ledningsevne være begrænset. Nedtrængningsdybden kan derfor være en udfordring i forbindelse med detektion af drænrør, da disse som oftest ligger i en dybde af minimum én meter.

### Elektromagnetisk induktionsinstrument (EMI)

EMI-instrumentet (se fig. 1 højre) sender et lavfrekvent elektromagnetisk signal ned i jorden. Som respons genereres et magnetfelt i jorden, der måles i en antenne og er udtryk for jordens elektriske ledningsevne. Ved at indsamle et større antal parallelle linjer kan man efterfølgende samle data til kort, som viser ledningsevnen i forskellige dybder. På dyrkningsjorden har metoden typisk været brugt til at kortlægge jordbundsforholdene rumligt. Et højt indhold af ler eller organisk materiale i jorden giver en høj elektrisk ledningsevne. Afhængig af sensortype og jordens beskaffenhed vil metoden typisk kunne kortlægge jorden ned til en dybde af to til tre meter, altså generelt til større dybde end georadaren. De behandlede data fra EMI-instrumentet kan kombineres med data fra georadaren. En høj elektrisk ledningsevne i jorden målt med EMI-instrumentet vil ofte være sammenhængende med en høj dæmpning af det elektromagnetiske signal fra georadaren.

### Målinger med georadaren

Syv forskellige drænedede områder blev udvalgt som testområder, hvor der er målt med georadar og EMI-metoden: Fensholt, Silstrup, Estrup, Fårdrup, Holtum, Lillebæk og Juelsgaard (se tab. 1). I Fensholt er der målt på to lokaliteter, og ved Lillebæk på tre lokaliteter. Lokaliteterne er udvalgt så de dækker en variation i jordtyper og hydrologiske forhold.

Tabel 1. Undersøgte lokaliteter. Sidste kolonne ("Successrate") viser andelen af de i jorden forventede drænrør, der blev detekteret vha. georadaren.

Lokalitet	Areal-dækning	Elektrisk ledningsevnet (0-1,6 m)	Nedtrængningsdybde†	Successrate§
	%	mS/m	m	%
Fensholt (højbund)	30	18	0.5 - 1	10
Fensholt (lavbund)	100	22	1.5	75
Silstrup	50	18	1 - 1.5	0
Estrup	95	29	1 - 1.5	5
Fårdrup	100	15	1.6	99
Holtum (højbund)	5	6	2	Høj
Lillebæk 1	100	21	0.5 - 0.8	25
Lillebæk 2	50	20	0.6 - 1.2	15
Lillebæk 3	50	21	0.6 - 1.2	25
Juelsgaard	100	7	2.3 - 2.7	80

†Målt med EMI-metoden (middelværdi), ‡målt med georadar, §dækningsgrad ift. drænkort

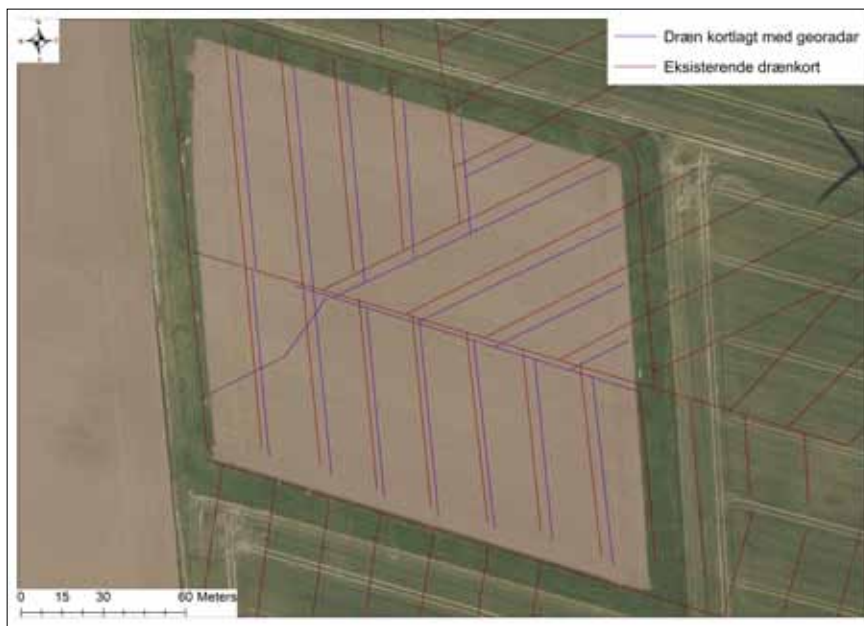
Den ene lokalitet ved Fensholt samt Holtum-lokaliteten er lavbundslande, hvor Fensholt overvejende består af tørv og gytje, og Holtum overvejende består af sand. De resterende lokaliteter er alle højbundslande af glacial oprindelse med forskellige indhold af sand og ler. Alle områder er kunstigt afdrænet med drænrør (tegl, beton eller PVC). Drænkort eksisterer for alle lokaliteter med undtagelse af Holtum. Samtlige kortlagte lokaliteter er systemdrænet med drænen lagt i et typisk sildebensmønster. Enkelte af lokaliteterne blev fuldstændigt afdækket med georadaren (100% arealdækning, se tab. 1), mens der ved andre lokaliteter kun blev kørt i enkelte linjer (eksempelvis langs markernes kørespår).

Succesraten med at lokalisere drænen med georadaren er varierede fra 0 til 100 % (se tab. 1). For lavbundslandene ved Fensholt og Holtum og på højbundslandene ved Fårdrup og Juelsgaard er næsten alle drænrør lokaliseret. På trods af, at der ikke eksisterede et drænkort for Holtum, antages det, at de fleste drænrør er lokaliseret på de scannede arealer, idet detekteringen var entydig. Et eksempel på en succesrig georadarkortlægning er vist i fig. 3, hvor de lokaliserede drænrør er optegnet mod et digitaliseret oprindeligt drænkort. De lokaliserede dræne er forskudt lidt mod øst i forhold til det oprindelige drænkort, hvilket kan skyldes, at drænen ikke blev lagt fuldstændigt efter planen eller, at der er en mindre usikkerhed i digitaliseringen af det oprindelige drænkort. I den sydvestlige del af marken viser georadaren et dræn, der ikke fremgår af drænkortet. Dette kan være et dræn, der er tilført under anlægsfasen eller et nyere eller ældre dræn i forhold til dræprojektet.

Det forventes, at drænrørene for systemdrænet arealer er lagt i en dybde af godt en meter. Den beregnede dybde af georadarsignalet (se tab. 1) giver en mulig forklaring på, hvorfor succesraten er relativ lav for nogle af lokaliteterne. Nedtrængningsdybderne for de succesfulde lokaliteter ligger højt (1,5, 2, 1,6 og 2,5 meter for henholdsvis Fensholt lavbund, Holtum, Fårdrup og Juelsgaard). For Fensholt højbund og områderne ved Lillebæk er nedtrængningsdybderne generelt lave (ca. mellem 0,5 og 1 m). Der er store laterale udsving i den estimerede nedtrængningsdybde på markerne. Sandsynligvis har georadarsignalet på store dele af markerne ikke kunnet trænge ned til drædybde.

### Anvendelse af EMI-målinger

Middelværdien af den elektriske ledningsevne repræsenterende jordprofilen ned til en dybde af 1,6 m for de forskellige lokaliteter er vist i tab. 1. Selv om resultaterne ikke er helt



Figur 3. Resultatet af georadarmålingerne ved Fensholt (der er kun målt på ortofotoets lyse areal). Det eksisterende digitaliserede drænkort er vist med rød streg, mens resultatet fra georadarmålingen er vist med blå streg.

entydige, er der en tendens til, at lokaliteter med lave ledningsevner målt med EMI-metoden samtidig også har en høj nedtrængningsdybde af georadarsignalet og dermed også en høj succesrate i forbindelse med detektion af drænrør. Holtum, Juelsgaard og Fårdrup viser relativt lave ledningsevneværdier, hvorimod Fensholt, Silstrup, Estrup og Lillebæk har relative høje værdier. Den relativt høje ledningsevne for lavbundslandene ved Fensholt skyldes sandsynligvis en høj grundvandsstand på det tidspunkt, hvor EMI-målingen blev udført.

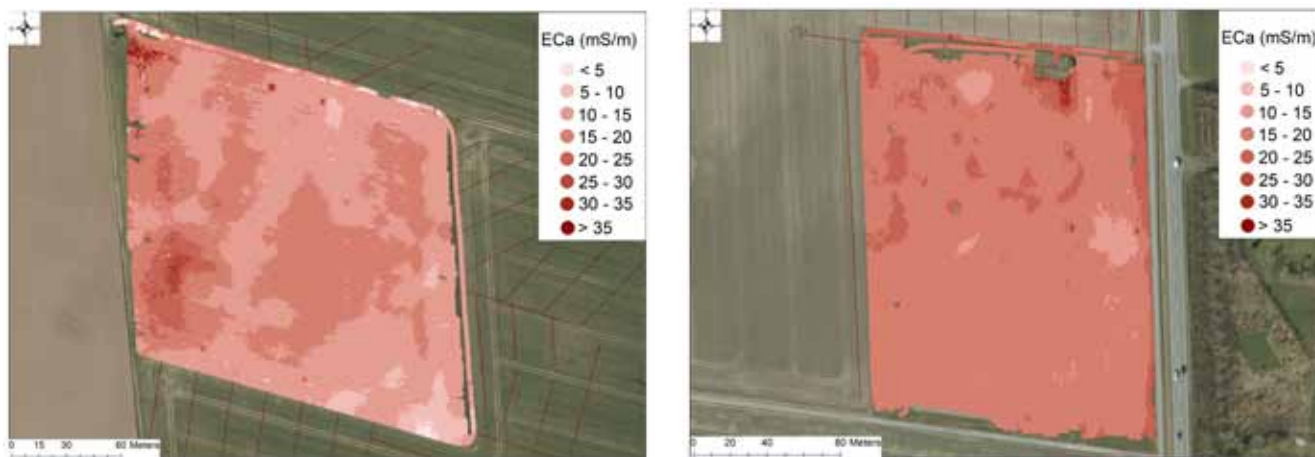
Den rumlige fordeling af den elektriske ledningsevne på henholdsvis Fårdrup- og Silstruplokaliteten viser tydeligt forskellen mellem de to marker (se fig. 4). Fårdruplokaliteten har store områder med en lav elektrisk ledningsevne under 10 ms/m, hvorimod Silstruplokaliteten har en meget ensartet og høj elektrisk ledningsevne på over 20 ms/m. Disse forskelle kan være en del af forklaringen på, at succesraten for at finde drænen med georadaren var lav for Silstruplokaliteten.

En manglende succes med lokaliseringen af drænen med georadaren kan også relateres til andre faktorer såsom jordens vandindhold, køreretning og ujævnheder på markoverfladen. En høj mængde af ioner i jordvandet vil forøge den elektriske ledningsevne og dermed udtynde signalet og begrænse nedtrængningsdybden. Det anbefales derfor at køre på marken på tidspunkter af året uden for vækstsæsonen, hvor jorden er forholdsvis tør. Det anbefales også, hvis man har kendskab til drænrørens forventede placering, at undgå at køre parallelt med drænet, da dette

mindsker sandsynligheden for en sikker detektering. Ligeledes vil en meget ujævn jordoverflade også generere støj, som forplanter sig til resultaterne fra radargrammet.

Det er muligt i mange tilfælde at lokalisere drænen med georadar, men som det fremgår af de præsenterede resultater er metoden langt fra skudsikker. Skal metoden kunne bruges til at afgrænse drænoplande, er det vigtigt, at metoden finder stort set alle drænrør, da der ellers kan opstå usikkerhed omkring dræneløbet. Metoden vil i mange tilfælde være mest anvendelig i forbindelse med sonderingsopgaver, hvor det udelukkende skal klarlægges om et område er drænet eller ej. I denne forbindelse er metodens sikkerhed vigtig, da man ellers vil stå med problemet: Lokaliseres der ingen dræne, fordi der ingen er, eller er det fordi, at metoden kommer til kort? Årsagerne til metodens succes eller mangel herpå, bør derfor studeres nøjere. På marker med egnet beskaffenhed giver metoden dog en sikker entydig detektering. EMI-målinger vil måske med fordel kunne bruges til at vurdere succesmulighederne for georadarmålingerne. EMI-målingerne er samtidig hurtig og relativt billig kortlægningsmetode, og mange landmænd har allerede disse data til rådighed.

Der findes også andre sensorbaserede metoder, der med fordel kan testes til en kortlægning af drænenes placering i marken. Forskellige typer kameraer monteret på droner kan ved hjælp af optiske teknikker under de rette omstændigheder fastlægge drænenes placering. På visse tidspunkter af året, specielt i forårs- og efterårsmånederne, kan der være stor forskel på jordens vandindhold over og



Figur 4. Variationen i den elektriske ledningsevne (mS/m) målt med EMI-metoden ved Fårdrup (venstre) og Silstrup (højre). Ledningsevnen repræsenterer jordprofilen ned til en dybde af 1,6 m.

mellem dræn. Da en tør jord opvarmes hurtigere end en våd, kan det derfor under gunstige omstændigheder være muligt med et termisk kamera at fastlægge drænenes placering. Forskelle i vandindholdet kan ligeledes påvirke afgrødens udvikling, hvilket måske kan genkendes med et multispektralt kamera. I nogle tilfælde kan forskelle i afgrødernes vækst også genkendes med et almindeligt kamera ligeledes monteret på en drone. Satellitbilleder kan også i nogle tilfælde anvendes til konstatering af, om et område er drænet eller ej. Endelig kan det også være muligt at lokalisere dræn ved hjælp af et magnetometer,

der kan konstatere forskelle i den magnetiske anomali mellem drænrør og den omliggende jord. Metoden er dog kun egnet til drænrør fremstillet af tegl. Flere af disse teknikker vil blive undersøgt nærmere ved Aarhus Universitet i den nærmeste fremtid i forbindelse med et igangsat ph.d.-studie.

Udover TReNDS er dette arbejde også finansieret af Innovationsfondsprojektet Future Cropping.

#### Referencer

/1/ Møller, A.B., Børgesen, C.D., Bach, E.O., Iversen, B.V., Moeslund, B. 2018. Kortlægning af drænedede arealer

i Danmark. DCA Rapport Nr. 135, DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.  
/2/ Allred, B.J., Fausey, N.R., Peters, L., Chen, C.C., Daniels, J.J., Youn, H. 2004. Detection of buried agricultural drainage pipe with geophysical methods. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(3), 307-318.

BO VANGSØ IVERSEN (bo.v.iversen@agro.au.dk) er ph.d. og lektor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.  
JØRGEN RINGGAARD (jri@ramboll.dk) er seniorgeofysiker ved Rambøll Danmark.

TRIVEN KOGANTI (triven.koganti@agro.au.dk) er ph.d.-studerende ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.