

# Kortlægning af begravede dale - gebyrkortlægning og undersøgelsesmetoder

Af Verner Søndergaard, Århus Amt; Jette Sørensen, Rambøll (tidl. ansat i Sediment-samarbejdet); Richard Thomsen, Århus Amt; Christian Kronborg, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, Ole Bjørnslev Nielsen, Geologisk Institut, Aarhus Universitet

Århus Amt er i lighed med landets øvrige amter i gang med en omfattende kortlægning af grundvandsressourcerne i Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD-områder). Disse områder er beskrevet ved et antal indsatsområder, for hvilke der skal udarbejdes indsatsplaner med henblik på beskyttelse af fremtidens drikkevandsressourcer.

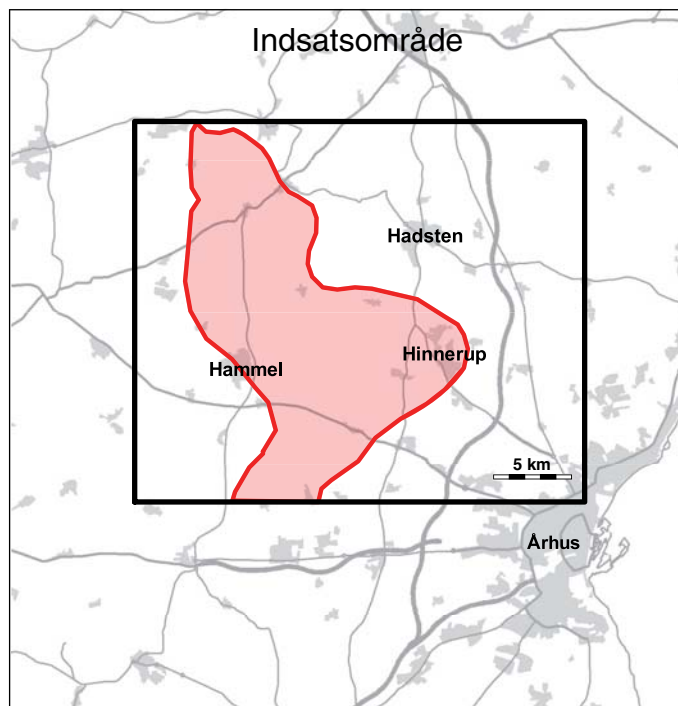
Et væsentligt grundlag for udarbejdelse af indsatsplanerne er et solidt kendskab til grundvandsressourcerne og deres sårbarhed i de enkelte områder, og dette kræver de fleste steder nye konkrete undersøgelser i marken. For at finansiere dette kortlægningsarbejde og udarbejdelsen af selve indsatsplanerne er der i Danmark pålagt al forbrug af vand et gebyr.

Den gebyrfinansierede kortlægning af grundvandsressourcerne i Århus-Nord-området er gennemført og detaljeret beskrevet i 4 delrapporter /1/. Den tilsvarende kortlægning i Hadsten-området er under udførelse i øjeblikket og er derfor endnu ikke afrapporteret. De to områder omfatter tilsammen 10 indsatsområder med et samlet areal på ca. 350 km<sup>2</sup>, der strækker sig fra den nordlige udkant af Århus op til omkring Hadsten, og i vest-østlig retning fra Hammel til Mejlbj og Hårup (se figuren ovenfor).

## Kortlægning af imponerende dalsystem

Kortlægningsarbejdet beskrives i to artikler i dette nummer. I denne artikel fokuserer vi på to af de undersøgelsesmetoder, der er benyttet i forbindelse med kortlægningen i Århus-Nord- og Hadsten-områderne, (figuren ovenfor). Størstedelen af arealet er blevet undersøgt med TEM-metoden, hvilket har medført, at der er blevet kortlagt et imponerende system af begravede dale, hvis indfyldning repræsenterer vigtige fremtidige og nuværende grundvandsmagasiner. Dalene er efterfølgende påvist med en række

Oversigtskort med angivelse af Århus-Nord- og Hadsten-området. Frijsenborg-Foldby-plateauet er angivet med rød signatur. (Grafik: Verner Søndergaard)



dybe undersøgelsesboringer, og på baggrund af bl.a. fingrusanalyser på prøver fra disse boringer har det været muligt at bestemme relationen mellem de enkelte dales indfyldning samt at foretage en relativ datering ved at sammenligne med den stratigrafi, som i forvejen kendes fra råstofgrave og øvrige boringer i området.

I den efterfølgende artikel kigger vi nærmere på delområdet, Frijsenborg-Foldby-plateauet, som gennemskæres af en række meget smalle og dybe begravede dale. På baggrund af de geofysiske resultater forklares dalenes udformning og indbyrdes relationer. Vi skal også se, at dalenes indfyldning petrografisk set er markant anderledes end i de øvrige dale i Århus Nord, og at den ene dal formodentligt er dannet i et Præ Elster isfremstød, sandsynligvis Menap.

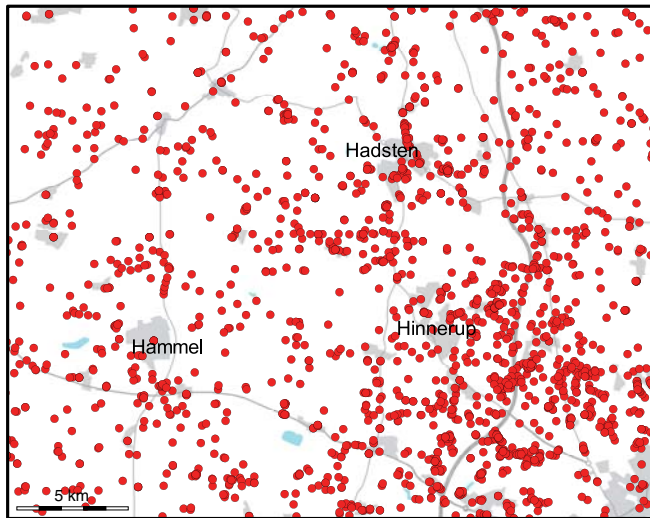
## Kortlægning med TEM-metoden

TEM er en forkortelse for den Transiente Elektromagnetiske Metode. Baggrunden for at denne geofysiske målemetode kan anvendes i forbindelse med geologisk og hydrogeologisk kortlægning er, at forskellige sedimentter ofte har forskellige elektriske egenskaber. TEM-metoden er især velegnet til at bestemme dybden til lag med særligt

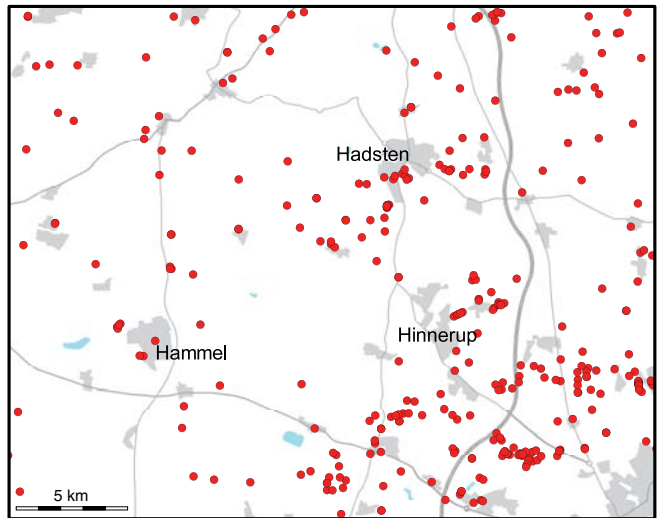
lave elektriske modstande (fx tertiære lerlag), og netop dette forhold udnyttes i forbindelse med kortlægningen af begravede dale. Sådanne dale findes i Århus-området i stort omfang, hvor de typisk er eroderet ned i et underlag af tertiært, fedt ler med lave elektriske modstande og efterfølgende fyldt op med kvartære aflejringer med højere elektriske modstande. Arealdækkende TEM-målinger, der kan opfattes som en form for scanning af de øverste ca. 200 meter af jordoverfladen, har netop i Århus-området vist sig særdeles velegnede til kortlægning af de begravede dale.

Anvendelsen af TEM-målinger i grundvandskortlægningen tog sin begyndelse i 1991, hvor Aarhus Universitet udførte den første TEM-undersøgelse i Danmark af et 7 km<sup>2</sup> stort område ved Fløjstrup syd for Århus. Undersøgelsen blev udført i forbindelse med et samarbejde mellem Aarhus Universitet, Århus Amt og Århus Kommune Værker omkring kortlægningen af de vigtigste grundvandsmagasiner i Århus-området /2/. På dette tidspunkt var man blevet klar over, at de vigtigste grundvandsmagasiner i Århus-området skulle findes i dybt nedskårne dalstrukturer i den tertiære, lerede undergrund.

Alle boringer



Boringer dybere end 50 m



Kortet til venstre viser alle eksisterende boringer i boredatabasen. Der er i alt 1850 boringer svarende til mindre end 3 boringer/km<sup>2</sup>. På kortet til højre ses det samme område, men nu kun med boringer dybere end 50 m. Under 20 % af boringerne er dybere end 50 m svarende til en gennemsnitlig boringsafstand på 2 km. (Grafik: Verner Søndergaard)

### Begrænset omfang af boringer

Eksisterende boringer sammenholdt med bl.a. gravimetrisk og geoelektrisk (DC) måleresultater viste adskillige, spredte indikationer på sådanne dalstrukturers eksistens. Metodemæssige begrænsninger betød imidlertid, at de nævnte geofysiske målinger oftest var vanskelige at tolke, ikke mindst pga. den komplekse, østjyske kvartærgeologi.

Samtidig var omfanget af geologiske oplysninger fra eksisterende boringer begrænset i forhold til antallet af registrerede og beskrevne boringer i boredatabasen.

På figuren ovenfor ses til venstre et kort over alle boringer fra det indrammede område på figuren på foregående side. Kortet dækker de to undersøgelsesområder Århus Nord og Hadsten. På kortet til højre ses samme område, men nu kun med alle boringer dybere end 50 m. Som det fremgår af kortet, er der kun meget få boringer dybere end 50 m, som dermed er dybe nok til at kunne give informationer om de begravede dale og de potentielle magasiner, som er så

vigtige i grundvandskortlægningen. De begravede dale har nemlig oftest en dybde på 100-150 meter eller mere.

Det tilførte derfor kortlægningen af grundvandsmagasiner afgørende nye muligheder, da det viste sig, at de første TEM-målinger gav særdeles gode og lovende resultater. Siden har TEM-metoden bevist sit værd i forbindelse med kortlægning i store dele af landet /2/, og et omfattende og vellykket udviklingsarbejde på Geofysisk Afdeling på Geologisk Institut, Aarhus Universitet har resulteret i, at stort set alle TEM-målinger nu udføres med den helikopterbårne, såkaldte Sky-TEM-udgave af TEM-målemetoden.

### Interessant dalsystem

Et af de steder, hvor TEM-målingerne virkelig har afdækket et meget udbredt og komplekst mønster af begravede dale, er omkring Århus, hvor der nu er en næsten fuldstændig dækning med TEM-målinger. På figuren på næste side er der fra Århus Nord- og Hadsten-området vist et udsnit af

disse omfattende målinger. Koden for den gode elektriske leder afslører her et helt netværk af begravede dale, som er vidt forskellige, hvad angår såvel retning som længde, bredde og dybde.

Dalsystemet er yderst interessant, fordi det er her, man i dette tætbefolkede østjyske område skal finde drikkevandsressourcer af god kvalitet i form af vandførende sand- og grusaflejringer i de begravede dalstrukturer og samtidig udarbejde planer for beskyttelsen af grundvandet, så der kan leveres drikkevand af god kvalitet også i fremtiden.

Figuren på næste side viser TEM-målingerne og koden for den gode, elektriske leder. Som tidligere nævnt afspejler den et komplekst netværk af nedskårne dale i den tertiære leroverflade. De højtliggende tertiære lerområder fremtræder på kortet med røde/gule farver, medens de begravede dale fremstår med blålige farver. Nogle af disse begravede dale er ret langstrakte og relativt brede og indrammer i visse tilfælde større sammenhængende og selvstændige plateau-



# vi gør din jord grøn igen!

### meldgaard tilbyder et totalkoncept til jordrens.

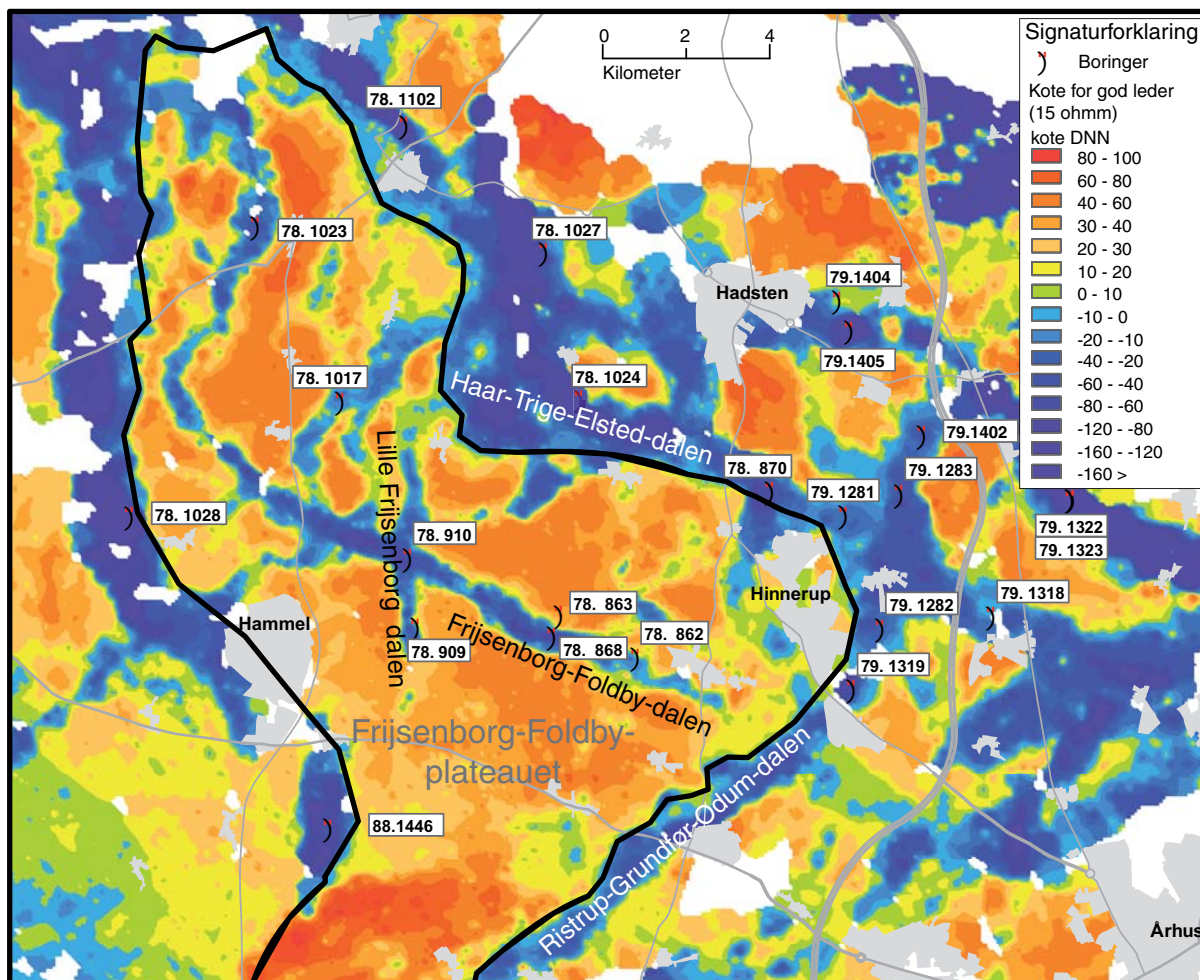
Det vil kort sagt sige - uanset hvilket problem du står overfor - så kan du nøjes med at ringe til ét nummer - **74 33 72 00**.

- transport
- rådgivning
- prøvetagning
- opbevaring
- jordrens
- handlingsplan

**meldgaard MILJØ & GENBRUG A/S**

j o r d r e n s

Sønderjyllands største miljøcenter  
Bladknæk 19 • 6200 Aabenraa  
74 33 72 00 • [www.meldgaard.com](http://www.meldgaard.com)



På kortet ses koten for den gode leder (<15 ohmm) baseret på TEM-målinger. Med sort streg er der afgrænset et højmodstands-område, som indikerer højtliggende tertiært ler. Dette højtliggende tertiære plateau er afgrænset af relativt brede og markante, begravede dale. Internt på plateauet ses en langsgående smal begravet dalstruktur med nogle mindre sidedale og en tværgående nord-syd-dal. TEM-målingerne i den vestligste del af kortet er udført af Viborg Amt. (Grafik: Verner Søndergaard)

enheder. Et sådant selvstændigt plateauområde er Frijsenborg-Foldby-plateauet, der er markeret på kortet ovenfor. Bemærk i øvrigt her, at der centralt på dette plateau, hvor prækvartæroverfladen ligger allerhøjest, findes en lang og meget smal, begravet dal (Frijsenborg-Foldby-dalen), som strækker sig hen over hele plateauet fra sydøst mod nordvest for til slut at dreje mod nord-nord-øst. En nærmere beskrivelse af Frijsenborg-Foldby-plateauet med den langstrakte, begravede dal langs plateauets højderyg findes i næste artikel.

Hvis man er interesseret i at få et kig ned i det fantastiske netværk af begravede dale i Århus-området, kan man gå ind på nedenstående hjemmeside og få sig "en flyvetur" rundt i en del af de begravede dale. Mulighederne blev nærmere præsenteret i en artikel i GeologiskNyt Nr. 1/06: "Geologi og grundvand i 3D – GeoScene3D til præsentation".

(<http://www.aaa.dk/aaa/index/serviceomraader/nm/nm-drikkevand/nm-drikkevand-gv/nm-grundvand3d.htm>).

### Undersøgelse af indfyldningen i dalene

For at undersøge de begravede dales ind-

fyldning og relationen til de prækvartære plateauer udførte Århus Amt i 2002 i alt 11 dybe undersøgelsesboringer. De 10 af boringerne blev med udgangspunkt i resultaterne af de geofysiske undersøgelser placeret centralt i de forskellige begravede dale, mens en enkelt boring (78.863) blev placeret på det prækvartære plateau /3/. Boringerne placeres i forhold til de begravede dale fremgår af figuren ovenfor. Prøverne fra 9 af boringerne blev, som led i Sedimentsamarbejdet mellem de Jysk Fynske amter og Afd. for Sediment-Geologi, Geologisk Institut, Aarhus Universitet, efterfølgende undersøgt på Geologisk Institut /3/. Formålet var at korrelere og eventuelt foretage en relativ datering af sedimenterne i de enkelte dale samt at foretage en tolkning af aflejringsmiljøet.

Undersøgelsesboringerne er udført med lufthævemetoden, hvor prøven i en blanding af boremudder og luft transporteres op til overfladen inde i borestammen. Erfaringen viser, at der ved denne boremetode sker et tab af finklastisk materiale fra de løse aflejringer, mens der fra aflejringer af ler og silt normalt bringes intakte cuttings op til overfladen. De talrige sedimentanalyser, der er udført af Sedimentsamarbejdet, har da

også vist, at lufthævemetoden generelt giver gode prøver, og at der kun sker begrænset nedfald og sammenblanding af materiale. Der er i sedimentfang udtaget én prøve for hver boremeter, og prøverne er herefter udlagt på fiberduk, og beskrevet i felten i henhold til Vejledning i Ingeniørgeologisk Prøvebeskrivelse.

Der er udført borehulslogging i de åbne og uforedede boringer. Logningen er udført som naturlig gammalog, resistivitetslog, fluidresistivitetslog samt som induktionslog og spektral gammalog i udvalgte boringer. På Geologisk Institut er prøvebeskrivelserne blevet kontrolleret, og der er udført fingrusanalyser, ler- og bulkanalyser samt kornstørrelsesanalyser på i alt 168 udvalgte prøver fra boringerne.

### Fingrusanalyse

Fingrusanalysen er baseret på en opdeling af sedimenternes fingrusfraktion i forskellige bjergarter. Metoden er i princippet gammel, idet den har udviklet sig fra de stentællinger, der allerede blev taget i brug fra midten af 1800-tallet. Geologerne undrede sig dengang over de mange blokke og sten af fremmede bjergarter, der fandtes i

Danmark. Da man senere erkendte, at landet havde været overskredet af flere gletschere i den kvartære tidsperiode, blev sten- og ledebloktællinger flittigt benyttet til at forsøge at bestemme isens bevægelsesretning og udbredelse samt til at skelne mellem aflejringer fra forskellige gletschere. Metoden mødte dog også kritik, hvoraf den vigtigste gik på, at når isen overskred tidligere kvartære aflejringer, ville den også optage materiale herfra, og derved kunne det blive vanskeligt at bestemme isens bevægelsesretning ud fra ledeblokke alene. Netop det forhold, at isen eroderer i tidligere afsatte sedimenter, skal dog senere vise sig, at blive centralt i anvendelsen af fingrusanalyser.

I 1979 benytter Jürgen Ehlers den hollandske fingrusmetode til sammen med andre stratigrafiske metoder, at skelne mellem forskellige tillenheder ved en kvartærstratigrafisk undersøgelse af Ristinge Klint. Metoden er baseret på en opdeling af fraktionen mellem 3-5 mm i forskellige bjergartstyper og er mere håndterlig end stentællinger, samtidig med at den kan benyttes på mindre prøvemængder /4/. Metoden er siden blevet benyttet flittigt i det kvartærstratigrafiske arbejde i Danmark, bla. af Michael Houmark-Nielsen, der i 1987 publicerer sin pleistocæne stratigrafi for den centrale del af Danmark /5/.

Christian Kronborg opstillede i 1983 /6/ en model med det udgangspunkt, at fingrusfordelingen i et kvartært sediment afhænger af det underlag, som den is, der har afsat materialet, har bevæget sig henover. I modellen, der tilpasser de faktiske værdier på en lang række lokaliteter, ser man, hvorledes kvartsindholdet falder med antallet af isoverskridelser, mens indholdet af krystalline korn stiger. Dette er betinget af, at det første isfremstød, der bevægede sig ind over Danmark, godt nok medbragte materiale fra områder med grundfjeld og flint, men til gengæld optog meget kvarts ved bevægelsen ind over de dengang blotlagte senter-tiare flodsletter, og herved blev indholdet af krystalline korn og flint kraftigt fortyndet.

For hvert efterfølgende isfremstød blev der bragt stadigt mere materiale med fra grundfjeldsområderne og fra områderne med sandsten og kalk og flint, og derfor stiger koncentrationen af disse bjergarter successivt med antallet af isfremstød. Mens de ældste kvartære aflejringer, der kendes fra Midtjylland, indeholder mellem 80 og 90 % kvarts, så indeholder de yngste i modsætning hertil op mod 80 % krystalline korn. Om den horisontale variation vises det, at kvartsindholdet stiger i isens bevægelsesretning mod vest, mens det krystalline indhold falder. Dette er betinget af, at jo længere isen bevæger sig væk fra det krystalline kildeområde, jo mere fortyndes koncentrationen af disse bjergarter, idet der hele tiden optages og afsættes materiale.

Det er dog ikke kun på Geologisk Institut i Århus, at fingrusanalyser i dag indgår i

det kvartærstratigrafiske arbejde. Senest er resultater af fingrusanalyser benyttet af Kjær et al. (2003) /7/, der sammenstiller en lang række af petrografiske data og retningsdata fra aflejringer fra de tre sidste fremstød i Weichsel; det Midtdanske Fremstød, det ungbaltiske Fremstød og Bælthav Fremstødet, og herunder redegør for disse fremstøds dynamik, udbredelse og strømningsretninger.

På Geologisk Institut i Århus opdeles og tælles minimum 300 korn i fraktionen 2-4 mm. Denne fraktion er dels valgt ud fra nødvendigheden af at kunne få en statistisk tilstrækkelig stor prøvemængde fra boreprøver og dels for at sikre et tilstrækkeligt bidrag fra kvarts, som stort set kun findes i fraktionen under 5 mm. Fingruset opdeles dels i en forvitningsstabil gruppe; kvarts, flint, sedimentære bjergarter samt krystalline bjergarter og en ustabil gruppe; porøst flint, kalk fra Kridt og Danien samt palæozoisk kalk og øvrige ustabile korn (fx pyrit, okker, brunkul m.m.). Kun den forvitningsstabile gruppe benyttes ved korrelation af prøver og sammenligning med kendte formationer fra daglokaliteter. Forholdet mellem palæozoisk kalk og kalk fra Kridt og Danien kan dog også med forsigtighed bruges til korrelation. Endvidere har det vist sig, at den samlede mængde af kalk i prøverne fra grundvandsmagasinerne i visse tilfælde kan bruges i en tolkning af, hvor en eventuel foretrukket strømning i magasinet foregår /8/.

### Resultater fra Århus Nord

Resultaterne af de petrografiske analyser fra borerne ved Århus Nord er blevet sammenlignet med tilsvarende analyser fra velundersøgte og daterede glacialstratigrafiske enheder i råstofgrave og andre daglokaliteter i området. På denne baggrund har det været muligt dels at korrelere sedimenterne i borerne og dels at foretage en relativ datering af dalfyldet i de enkelte begravede dale. Vi kan således vise, at den nedre del af indfyldningen i flere af de store begravede dale kan henføres til ét af fremstødene i Saale eller Tidlig Mellem Weichsel, mens den øvre del af indfyldningen kan korreleres til fremstødene i Sen Weichsel. Kun den lange og smalle, begravede dal, som gennemskærer Frijsenborg-Foldby-plateauet, afviger fra dette mønster ved at have en nedre indfyldning med en petrografisk sammensætning, som korrelerer til de Præ Elster-sedimenter, der kendes fra området.

En oversigt over alderen af de enkelte dales indfyldning kan ses i figuren på s. 22 i næste artikel, hvor vi vil kigge nærmere på Frijsenborg-Foldby-plateauet og de dale, der er nedskåret i det.

### Referencer

/1/ Søndergaard, V., Thomsen, R., Dyrø, O., Nyholm, T., Fuglsang, E., Thorling, L., Misser, P.V., Hansen, B., Weng, S., 2004: Rede-

gørelse for grundvandsressourcerne i Århus Nord-området. Århus Amt, Natur og Miljø. (kan downloades fra følgende adresse: <http://www.aaa.dk/aaa/nm-publikationer.htm?ResID=600>)

/2/ Sørensen, K., Thomsen, R. og Søndergaard, V., 1995: Overvågning af grundvandet baseret på nye geofysiske målemetoder. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 11.

/3/ Sørensen, J., Kronborg, C., Nielsen, O.B., Kragelund, A., 2004: Århus Amt, Århus Nord. Fase 2, petrografisk korrelation af 9 borer fra Århus Nord. Afd. for Sediment-Geologi, Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

/4/ Ehlers, J., 1979: Fine gravel analyses after the Dutch method as tested out on Ristinge Klint. Bull. geol. Soc. Denmark, 27, p. 157-165.

/5/ Houmark-Nielsen, M., 1987: Pleistocene stratigraphy and glacial history of the central part of Denmark. Bull. Geol. Soc. Denmark, V. 36, 189 p.

/6/ Kronborg, C., 1983: Glacialstratigrafien i Øst- og Midtjylland. Upubl. Lic. afhandling. Geologisk Institut, Aarhus Universitet.

/7/ Kjær, K.H., Houmark-Nielsen, M. og Richardt, N., 2003: Ice-flow patterns and dispersal of erratics at the southwestern margin of the last Scandinavian Ice Sheet: signature of palaeo-ice streams.

/8/ Sørensen, J., Hansen, B., Kronborg, C. og Nielsen, O.B., 2006: Korrelation af borer – sammenhæng mellem geologi og kemi. Borer og prøvetagning. ATV møde nr. 95.

Tak til Helle Clausen fra Sedimentsamarbejdet for omhyggelig korrekturlæsning af artiklen og forslag til sproglige forbedringer ■

MALÅ  
GEOSCIENCE

ABEM  
Instrument AB

DYNØ  
Dyno Nobel

Tel. 43 45 15 38  
www.dynonobel.com