Kortlægning af grundvandet i Århus og omegn 1872–2006

AF: RICHARD THOMSEN & VERNER H. SØNDERGAARD

Richard Thomsen [richard@thomsenpost.dk], Rosenvangs Allé 180, 8270 Højbjerg. Verner Halskov Søndergaard [verner.sondergaard@gmail.com], Dalgas Boulevard nr.9, 4tv, 2000 Frederiksberg.

Thomsen, R. & Søndergaard, V.H.: Kortlægning af grundvandet i Århus og omegn 1872–2006. Geologisk Tidsskrift 2026, pp. 15–54. ISSN 2245-7097, København.

Dette er historien om problemerne og udfordringerne med at kunne finde godt og rigeligt rent drikkevand til borgerne i Århus Kommune fra 1872 og frem til 2006 og betydningen af at beskytte grundvandet nu og i fremtiden. I denne periode skete der en rivende udvikling i metoderne til vandressource-kortlægning. Det er også historien om en flok ildsjæle, der lykkedes med at udvikle geofysiske metoder, der har gjort det muligt at kortlægge meget kompliceret geologi nationalt og internationalt. Omkring 1850'erne begyndte flere af de store byer i Danmark at etablere fælles vandforsyning baseret på grundvand. Det viste sig, at geologien under Århus var meget kompliceret. Efter mange forgæves boringer blev Århus' første fælles vandforsyning fra 1872 derfor baseret på å-vand. Først i 1920'erne fandt man rigeligt grundvand syd for Brabrand Sø som kunne erstatte å-vandet. I 1930 ansatte Århus Kommunale Vandværker direktør E. Frederiksen, der begyndte systematisk analyse af boringsresultaterne og han tolkede sig i 1933 frem til, at grundvandet kun kunne findes i begravede render i det tertiære ler under byen. I 1964 blev Laboratoriet for Geofysik, Geologisk Institut, Århus Universitet etableret ved professor Sven Saxov og meget hurtigt indledte de et samarbejde om kortlægningen af grundvandet i Århus og omegn. De første resultater publiceres i 1974, samme år som de nyoprettede amter fik til opgave at kortlægge grundvandsressourcerne til vandforsyning. Samarbejdet mellem Århus Universitet, Århus Kommunale Vandværker og Århus Amt udviklede sig de næste 25 år til et meget højt niveau inden for kortlægning af kompliceret geologi med geofysik. I 1998 vedtog folketinget at grundvandet skulle kortlægges landsdækkende. Erfaringerne fra Århus indgik med stor vægt i Folketingets beslutning. Den landsdækkende kortlægning skulle bruges til indsatsplaner for beskyttelse af grundvandet. E. Fredriksens drøm om en systematisk kortlægning af de begravede render i det tertiære ler med istidsgrus og sand gik i opfyldelse. Med udgangen af 2006 blev amterne nedlagt og den fortsatte kortlægning blev videreført under ledelse af Miljøministeriet. Til supplering af historien om grundvandskortlægningen i Århus og omegn 1872–2006 bliver der udgivet et skrift eller en bog, der giver nogle glimt af historien bag den omfattende nyudvikling og videreudvikling af geofysiske metoder, instrumenter, programmer til tolkning af geofysik og geologi i forbindelse med grundvandskortlægningen fra slut-1980'erne og 25 år frem fra en udkigspost i Aarhus (Søndergaard *et al.* under udarbejdelse).

Historien er inddelt i syv afsnit

1. Starten på vandforsyningen 1872–1966.
2. Vandforsyningen og samarbejdet med Århus Universitet 1966.
3. Amtskommunerne oprettes og får flere nye opgaver 1974.
4. Vandforsyningsplan for indvinding 1985.
5. Ny kortlægning af grundvandet starter i Århus i begyndelsen af 1990'erne.
6. Grundvandskortlægning på national skala igangsættes i 1999.
7. Vigtige begivenheder.

I perioden fra 1948 til 2011 stavedes Århus med bolle Å. Før og efter staves Aarhus med Aa. Århus Amtskommune bliver til Århus Amt i daglig tale og staves med bolle Å. Århus Kommunale Vandforsyning staves bolle Å fra 1948 til 2011.

Starten på vandforsyningen 1872–1966

Den store koleraepidemi hærger Danmark

Historien om vandforsyningen af Aarhus er på mange måder en udvikling, der blev sat i gang som følge af koleraepidemien, der hærgede landet og startede i København i 1853 (Andrup 1953). København blev særlig hårdt ramt, og af ca. 130.000 indbyggere døde næsten 5000 i løbet af månederne juli–oktober. Fra København bredte smitten sig ud over det øvrige land, og ved årets udgang havde sygdommen krævet næsten 7000 dødsfald. Koleraepidemien krævede ca. 4 % af befolkningen, men andelen var endnu større

i provinsen (i Ålborg og Frederikshavn over 5 %). I årene efter hærgede koleraen landet i flere omgange. Hvad der særligt forøgede uhyggen ved epidemierne, var at man ikke kunne finde sygdommens årsag eller smittekilde. Odense slap næsten helt uden dødsfald. Og det var der en særlig grund til. Det første grundvands-baserede vandværk i Danmark blev indviet i Odense i 1853 (Andrup 1953). Vandet blev leveret fra kildevæld gennem tætte vandledninger og filtreret gennem sandfiltre og drikkevandet var derfor sterilt og bakteriefrit, og på den måde havde man undgået at sygdommen spredte sig med drikkevandet. I årene efter begyndte man at etablere bedre vandforsyninger i de større byer. Ålborg fik vandværk i 1854 og København i 1859.

Forbedret vandteknik fremmer vandforsyningen med rent drikkevand

Det var især tre faktorer, som skabte grundlaget for en væsentligt forbedret vandteknik. Den første faktor var, at det i London i 1817 blev forbudt at anvende rør af træ (Andrup 1953). Det medførte, at der blev sat fart på produktionen af støbejernsrør, som samtidig blev billigere at fremstille. Støbejernsrør kunne holde til langt større tryk end de skrøbelige rør af træ. Den anden faktor var, at de engelske konstruktører med James Simpson i spidsen i årene efter 1840 begyndte at benytte dampdrevne vandværkspumper. Den tredje faktor var konstruktionen af vandfiltre til rensning af vandet. De såkaldte 'engelske filtre', hvor vandet langsomt filtreres gennem sand, der tilbageholder urenheder i form af partikler som f.eks. udfældet okker. Og endnu vigtigere opbygger filtrene med tiden en 'filter hud', der kan tilbageholde bakterier, herunder kolerabakterier. De almindelige 'engelsk filtre' var bakterie-tætte, således at vand, som var inficeret med dræbende bakterier, blev ufarligt ved at passere igennem de rensende sandfiltre.

Betydningen af sandfiltre med langsom filtrering blev særligt tydeligt efter erfaringerne fra det omfattende koleraudbrud i Hamborg i 1892 (Vandforsyning 1969). Under koleraepidemien var der i Hamborg 16.000 sygdomstilfælde med 9000 dødsfald. Hamborg blev forsynet med overfladevand fra Elben og vandets behandling bestod kun i en kortvarig bundfældning. Smittekilden var sandsynligvis matroser på et skib, som befandt sig oven for indtaget for vand til Hamburg. Det er bemærkelsesværdigt, at Altona, der tog vand fra Elben nedstrøms for Hamborg, kun havde få tilfælde af kolera. Det til trods for, at spildevandet fra Hamborg løb ud i Elben og indeholdt store mængder kolerabakterier fra patienternes afføring. Ved Altona blev vandet langsomt filtreret igennem et sandfilter, der fangede koleraen.

Det første vandværk i Aarhus i 1872

Efter langvarige forhandlinger blev det første vandværk oprettet i Aarhus i 1872 begrundet i at "En meget stor Del af Byen kun har slet eller utilstrækkeligt vand. Dødeligheden i Aarhus var langt større end i Randers, hvor Vandet var godt, og i Odense og Aalborg, der havde Vandværker" (Aarhus Vandforsyning 1922). Vandværket blev anlagt ved Ceres grunden og vandet blev taget fra Århus Å og filtreret gennem et langsomfilter før det blev pumpet videre.

Forsyningen forbedres med artesisk grundvand

I Danmark begyndte intensiveringen i landbruget i sidste del af 1800-tallet at forurene vandløbene så stærkt, at rensning af drikkevand enten blev for kostbart eller helt umuliggjort, og man måtte snart forlade overfladevandet og ty til brugen af grundvand. Odense begyndte i 1876 at tage artesisk vand fra et boringsanlæg, hvor vandet med frit løb førtes gennem en gravitationsledning ind til byen. København satte en boring ved Damhussøen i 1851 og forsatte med nye boringsanlæg i 1893.

Det var selvfølgelig et meget stort fremskridt med hensyn til byens vandforsyning i Aarhus, at man i 1872 indrettede et vandværk, selv om vandet kom fra åen (Aarhus Vandforsyning 1922). Men vandet var ikke frisk og velsmagende, om sommeren meget



Fig. 1. Boring i 1920 efter artesisk grundvand i Brabrand dalen med op til 8 meter overtryk.

varmt, og flere epidemier henførtes til å-vandet, som på sin vej ind mod byen var udsat for mindre heldige tilløb. Tanken om at skaffe byen bedre vand ulmede derfor stadig.

Inden vandværket blev anlagt i 1872, havde man undersøgt muligheder for at skaffe grundvand fra boringer. I 1867 og 1877 blev der udført undersøgelsesboringer ved Marselisborgskovene og ved vandværket uden resultat. På Ceresgrunden borede man med meget primitivt udstyr i 3 år frem til 1890 ned til 210 meters dybde igennem fed tertiært ler (borejournal nr. 89.17; DGU 1912). I København havde man fundet rigeligt vand i grønsandskalken. I Aarhus håbede man at kunne finde grønsandskalk under det tertiære ler. Så heldig var man ikke. I de efterfølgende år blev der rundt om i Aarhus boret en del korte boringer ned i det tertiære ler. I 1914 prøvede firmaet Otto Mønsted at lave en ny dyb boring på deres grund ikke langt fra Ceres (borejournal 89.43; DGU 1912). Mens borearbejdet stod på, havde Otto Mønsted løbende brevveksling med DGU ud fra fremsendte boreprøver (DGU 1912). I starten var det ledsagende brev fra Otto Mønsted meget høfligt "*om man ud fra de tilsendte jordprøver troede, at man snart ville ramme det vandførende lag*". Hver gang svarede V.J.H. Nordmann, at det så lovende ud og at Otto Mønsted forsat skulle huske at indsende jordprøver.

Der fandtes på det tidspunkt kun få dybe boringer i Jylland, så derfor var boringen i videnskabelig sammenhæng yderst interessant. Der var endnu ikke helt styr på de tertiære lagserier og slet ikke deres tykkelse. Som tiden gik med forsat at bore i fedt ler, blev de ledsagende breve mere og mere uformelle – svaret fra V.J.H. Normann var dog stadig, at det så lovende ud og "husk at sende jordprøver fra boringen". Efter en dybde på 220 meter og tre år var tålmodigheden brugt op og boringen blev stoppet. Otto Mønsted tilbød DGU at overtage boringen til videnskabelige formål, hvis Carlsbergfonden ville betale for det videre borearbejde. Det blev dog ikke til noget, da man af tekniske grunde ikke kunne bore dybere i den eksisterende boring.

Efter mange resultatløse boringer i Aarhus byområde kunne det konstateres, at grundvandet skulle hentes længere væk og opmærksomheden faldt på Brabrand by, hvor flere højt beliggende ejendomme var forsynet med vand fra boringer med naturligt overløb.

Hvis man på dette tidspunkt som ved København havde fundet udbredte vandlag med rigeligt vand ved Ceres, kan det meget vel tænkes, at den efterfølgende historie om udviklingen af avancerede geofysiske metoder ved Århus Universitet til kortlægning af grundvandet i begravede render ikke ville have fundet sted. At rigeligt grundvand alene kan findes i begravede render i det tertiære ler, skulle vise sig at udfordre opfindsomheden i en usædvanlig grad.

Nye undersøgelser i Aarhus ådal

Der blev i 1894–96 på initiativ af Vandværksudvalgets formand Dr. Ørum udført en del undersøgelsesboringer nord og syd for Brabrand Sø (Aarhus Vandforsyning 1922). Boringerne blev udført med 3" borerør ved den Mortensenske skyllemetode, der også var berømt uden for landets grænser og opfundet 1850'erne. De forskellige jordlag blev fastslået, og stighøjder og vandføring blev målt. Alle boringer gav rigeligt med vand med betydelig stighøjde flere meter over terrænet (Fig. 1).

Ved hjælp af stighøjderne blev der tegnet vandspejlskurver for ådalen ud fra boringerne og de omkringliggende boringer og brønde. Ud fra disse kunne man slutte, at der under ådalen og Brabrand sø måtte løbe en underjordisk vandstrøm med tilløb fra begge sider, og som omtrent fulgte åens strømningsret-

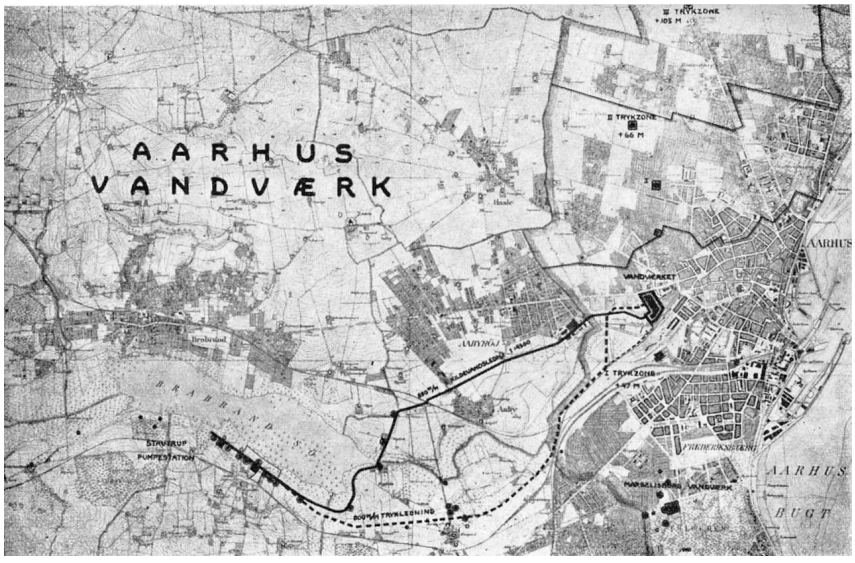


Fig. 2. Gravitationsledningen i beton støbt på stedet fra Stavtrup til Ceres grunden 1922.

ning, og som – rimeligvis – måtte udmunde et sted i havbunden i Aarhus Bugt. Kurverne viste tillige, at den underjordiske vandstrøm fik sin tilførsel fra et meget stort opland, såvel nord for som syd for åen. For ikke at påvirke boringerne i Brabrand by blev det besluttet, at lægge vandindvindingsanlægget med boringer på sydsiden ved Stavtrup. Grundvand blev i starten ledt ind til vandværket ved Ceres igennem en kildevandsledning støbt i beton. Da vandet i boringerne stod over terræn, kunne vandet ved egen kraft løbe hele vejen ind til vandværket. I 1920–21 blev det nødvendigt at supplere de efterhånden 14 boringer med pumper for at kunne tilfredsstille det stadigt voksende behov for (Fig. 2).

Den første kortlægning af grundvandet i 1933

Fra foredraget af E. Frederiksen, holdt ved Jysk Forening for Naturvidenskab, Aarhus, kender vi kortlægningen af grundvandet i 1933 ganske godt (Frederiksen 1933): *"Med Byens forsat raske Udvikling voksede Kravene til Vandforsyningen som i 1929 fik hele sin Kildevandsforsyning fra Boringerne i Stavtrup. Da de artesiske Boringer derude ikke længere magtede Opgaven, besluttede Udvalget for Vandværket at lade Forholdene undersøge nærmere. Der var påtænkt Nyanlæg længere ude ved Ormslev Enge, hvor Vandværket tidligere i slutningen af det forrige Aarhundrede havde udført artesiske Boringer, der gav rigelige Vandmængder, ja, så rigelige, at mange Boringer endnu gav Vand med Vandrejsning over Terræn. Men forinden dette Projekt blev bragt til Udførelse, fandt Stadsingeniøren det nødvendigt at få en fornyet Undersøgelse, hvorved det var muligt at få et samlet Overblik over Grundvandsforholdene i og om Aarhus. Dette først og fremmest for at blive klar over, hvor Vandet bedst kunde tages, men tillige for at forsøge endnu en gang, om det ikke var muligt at finde Vand nærmere Byen. Dette ville betyde, at kostbare Ledningsanlæg til længere bortliggende Pumpestationer kunde udskydes en Aarrække. Ved hjælp af Kendskabet til Terrainet og ved gennemgang af alle Boringer, det var muligt at finde, samt en geologisk og hydrologisk Betragtning af forholdene, var det muligt at opstille en Arbejdshypotese, efter hvilken de Vandførende Lags art og Beliggenhed kunde bestemmes så nøje, at det på Forhaand var al mulig Sandsynlighed for Hypotesens Rigtighed.*

Hvad Terrainforholdene angaar, vil De vide, at Aarhus Aa har et meget stort Opland, ca. 330 km^2, og at Terrainet i det store Hele falder ned mod Aaen og Langs denne ud mod Bugten. Antager vi, at Grundvandet nogenlunde følger de Terrain former, der her er Tale om, vil De se, at dette fra Naturens Haand saa enestående beliggende Opland alene ved en nøgtern Betragtning giver god Grund til at antage, at den Del af den der paa faldende Nedbør, der ikke paa anden Maade gaar bort, danner det grundvand, vi søger efter. Den Grundvandsmængde, det er muligt at faa fra dette Terrain, er på Grund af manglende Undersøgelse ikke bestemt nærmere, men sættes den aarlige Nedbør i Aarhus egnen til ca. 660 mm, og det Område giver mulighed for at 1/6 del synker ned til de Vandførende Lag i 2/3 af Området. Dette Regnestykke giver i alt 1/6 x 2/3 x 330 x 0,66 = 24 millioner m^3 Grundvand om aaret. Da Aarhus bruger (1930) over 5 millioner per aar synes der saaledes at være Vand nok. Det er sandsynligt, at det Grundvand, det her drejer sig om, nogenlunde følger aaen på dens Vej gennem den Dalsænkning, der strækker sig fra Vest mod Øst ind mod Byen og Bugten. Tænker man sig, at denne Dalsænkning er opstaaet engang i Istiden af en mægtig Smeltevandflod, må dette gamle Flodleje have de bedste Betingelser for at indeholde de Sand- og Gruslag, der først og fremmest udgør det Vandførende Lag, som Grundvandet fortrinsvis følger" (Fig. 3).

I Århus-dalen findes grundvandsforekomsterne i dybe render, som er nedskåret i det tertiære ler. På baggrund af *"vidtløftige"* undersøgelser herunder optegning af profilsnit med boringer fortæller E. Frederiksen – *"Paa det løse Grundlag, Terrainformen, Vandrejsningskurver, Dalens Mægtighed i Bredde og Dybde og af Lagens Art og Tertiærlagets Beliggenhed slutter vi os til, at der netop paa det angivne Sted ved Skovbrynet maatte være en i Dybde og Bredde til disse Betragtninger svarende Gennemgang i Tertiærlaget"*. Prøveboringer viste, at grundvandet fra Brabrand-dalen strømmer ud i en dyb kanal ved skovbrynet ved Marselisborgskovene, hvor Tivoli i dag ligger.

I 1932 startede vandværksprojektet ved Marselisborgskovene baseret på nye boringer. Længdeprofiler af geologien viste, at grundvandet formodes at strømme forbi vandværket ud i havet. Kontakten til havet blev dokumenteret med sammenligning af vandspejlsvariationer i boringer med variationerne i havets vandspejl i bugten.

E. Frederiksen fortæller *"De nye Boringer har i al Fald givet betydningsfulde Oplysninger om denne imponerende Dalsænkning og tertiærlagets Beliggenhed, men det er endnu Langtfra muligt at drage faste geologiske Slutninger ud fra dette, vi har blot forsøgt ved Hjælp af simple geologiske og praktiske Betragtninger at faa Kla-*

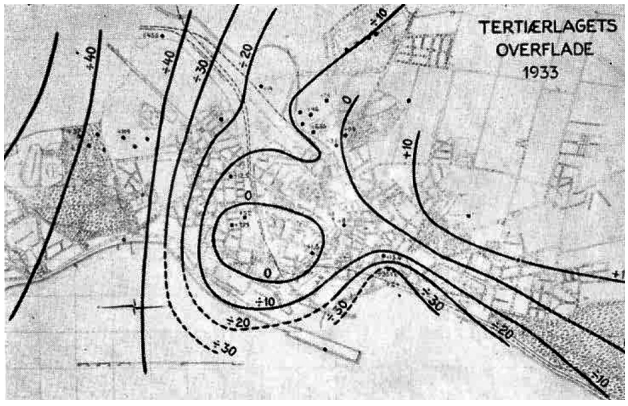


Fig. 3. Kort fra 1933 over tertiærlagets overflade.

ring i Spørgsmaalet angaaende de vandførende Lags Beliggenhed i Aarhus nærmeste Omegn og vil overlade Dr. Ødum ved Danmarks Geologiske Undersøgelse at drage de endelige Slutninger Vi har kun praktisk benyttet vort Fuskeri i Faget til at naa et Resultat".

E. Frederiksen præsenterede ved denne lejlighed det første kort over højdeforholdene for grundvands magasinernes nedre afgrænsning i det tertiære ler ved Århus.

Første geofysiske målinger i 1937

Bestræbelserne på at udrede geologien i Århus og omegn fortsatte. Som et led i undersøgelsen af undergrunden fik Århus Vandværk foretaget en magnetisk undersøgelse af egnen mellem Aarhus og Silkeborg af den tyske professor Dr. A. Ebert i samarbejde med Danmarks Geologiske Undersøgelse (V. Madsen 1938). Arbejdet udførtes i marken i august 1937, og resultaterne forelå i marts 1938 (Fig. 4). Det anførtes, at der ved målingen fandtes en zone med ændring i magnetkraften ved Århus, og den daværende direktør for Danmarks Geologiske Undersøgelse, Dr. V. Madsen (Madsen brevveksling, 1937–38), skrev herom: *"Ændringszonen strækker sig fra det inderste af Aarhus Bugt ret mod Vest og kan med aftagende Intensitet følges paa en Strækning af en 17 km omtrent til Storring. Ændringen er størst Syd for og strækker sig Vest paa til Nord for Skibby. Her forskyder Maximumslinien sig mod Syd og forløber fra Skibby mod Vest omtrent til Storring, og med meget mindre Forskel i Intensiteten. En Fjord, som havde skaaret sig dybt ned og langt ind i Landet, og som sandsynligvis var fremkommet ved et Brud i Jordskorpen, er i Istiden blevet udfyldt med en mægtig Aflejring af Grus og Smaasten (afsat af Indlandsisens Smeltevand), medens der i Omraaderne paa begge Sider af den smalle Rende, som gennemsnitlig har en Bredde af 200-300 m, kun findes et Dække af Istidsaflejringer med saa ringe Tykkelse som 20 –80 m, hvilende paa tertiære Aflejringer. Kurverne er her kun skitserede og viser ikke Ændringerne i Magnetkraften nøjagtigt. Fastlæggelsen af denne Ændringszone er snarlig værdifuld, idet den saaledes paaviste Rende antagelig kan faa Betydning for Aarhus Vandforsyning". I en følgeskrivelse af den 19. april 1938 skrev Dr. Madsen (Madsen, brevveksling, 1937–38): "Istidsgruset i Renden er sikkert Vandførende, og der maa kunde fremskaffes en Del Vand fra det til Aarhus's Vandforsyning."*

Vandindvinding i grundvandsområdet omkring Aarhus Å

I 1940 afsagde Landvæsenskommissionen en kendelse for vandindvindingen i grundvandsområdet omkring Aarhus Å (Landvæsenskommission 1940). I afsnit om ændring af vandforsyningsloven blev Landvæsenskommissionens opgaver forklaret. Kendelsen omfattede alle 38 indvindinger af grundvand til vandforsyning eller erhverv i området og der blev i kendelsen redegjort for overvejelserne om, hvor meget grundvand der kunne indvindes ved det enkelte vandværk. Vurderingen på de store vandindvindinger byggede primært på prøvepumpninger på

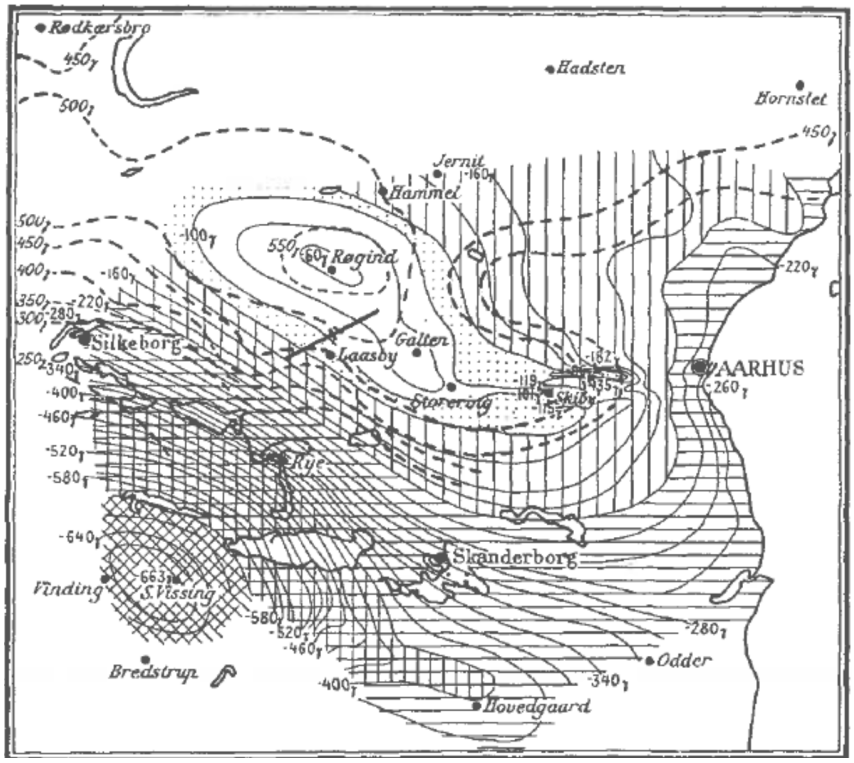


Fig. 4. Målinger af magnetkraftens lodrette styrke i egnen mellem Aarhus og Silkeborg (Madsen 1938).

boringerne. Man havde ringe kendskab til udstrækningen af det grundvandsmagasin, som indvindingen forgik fra. Det resulterede i en overvurdering af mængden af vand der kunne indvindes. Ud fra de kendte boringer og målinger af vandspejlet i boringerne blev der udarbejdet et kort over grundvandsspejlets højdeforhold. Egentlige geologiske kort ud over resultatet af de geofysiske målinger, der blev udført i 1938, indgik ikke i vurderingerne. I alt blev der givet tilladelse til indvinding af 12.804.000 m^3 per år. I samme kendelse blev grundvandsoplandet fastlagt til 120 km^2. På dette tidspunkt var der hos de teknisk sagkyndige udviklet en praksis, som skønnede at grundvandsdannelsen var 100 mm per år. På den måde blev der til alle vandværker ofte tegnet cirkulære indvindingsoplande svarende til 100 mm. I kendelsen blev hele grundvandsoplandet udlagt som beskyttelses/fredet område. "*Ingen maa uden forud erhvervet Tilladelse fra Myndighederne gennem Brønde eller Boringer eller paa anden Maade, hvorved der kan opstaa fare for Forurening af Grundvandet, aflede Overfladevand, Husspildevand eller andre forurenende Væsker til grundvandet indenfor Områder hvor dette benyttes af Vandforsyningsanlæg*" (Vandforsyningsloven 1926).

Udlægget af de fredede områder omkring indvindingsboringerne gav ikke varig beskyttelse, for allerede i 1950'erne begyndte Århus by at deponere affald ved Eskelund mindre end 2 km fra den kommunale vandforsyning ved Stavtrup. Over de næste 30 år blev der deponeret mere end 6.000.000 m^3 blandet affald på 19 lossepladser inden for grundvandsoplandet. Behovet for drikkevand fortsatte med at stige efter krigen og var i 1947 8,5 millioner m^3 per år (Fig. 5).

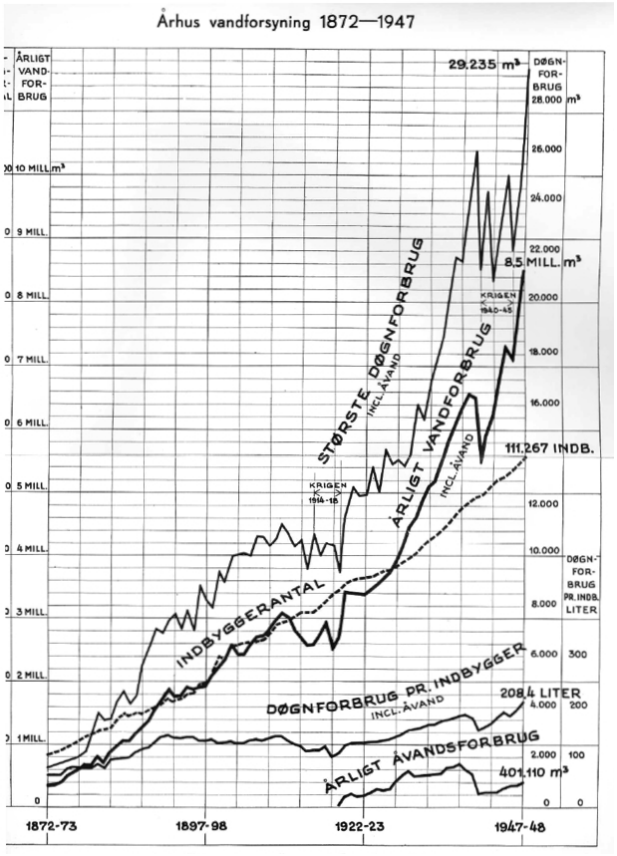


Fig. 5. Vandforbrugets udvikling 1872 til 1947.

Nye prøveboringer i Kasted Mose

I tiden efter krigen begyndte E. Frederiksen at gennemføre systematiske undersøgelses- eller prøveboringer i områder rundt om Århus. I flere år foregik det med Århus Vandforsynings eget boreudstyr. Det var vel at mærke boringer med høj kvalitet i prøvetagningen til geologisk bedømmelse og ikke mindst dybe boringer – typisk 80 til 100 meter, i alt ca. 800 boringer. De nye boringer blev placeret ud fra en nøje gennemgang af resultaterne fra de foregående boringer. Hvis der blev fundet vandførende lag, blev boringerne prøvepumpet. Boringerne på de fremtidige kildepladser blev prøvepumpet i hele eller halve år som det primære grundlag for at vurdere vandressourcens størrelse. Efter meget positive prøvepumpninger og landvæsenskommissionens godkendelse af indvindingstilladelsen blev Kasted værket igangsat i 1953 med en tilladelse til indvinding af 3 millioner m^3 per år, og tilladelsen blev i 1959 udvidet til 3,8 millioner m^3 per år (Frederiksen 1954; Fig. 6).

Da vandforbruget forsat steg, blev der igangsat undersøgelser i nye områder. E. Frederiksens systematiske undersøgelser med undersøgelsesboringer gav gode resultater, men der var fortsat mange forgæves boringer. Det var derfor stadigvæk meget kostbart at finde nye kildepladser alene ud fra boringer.

I perioden mellem 1957 og 1966 gennemførte DGU

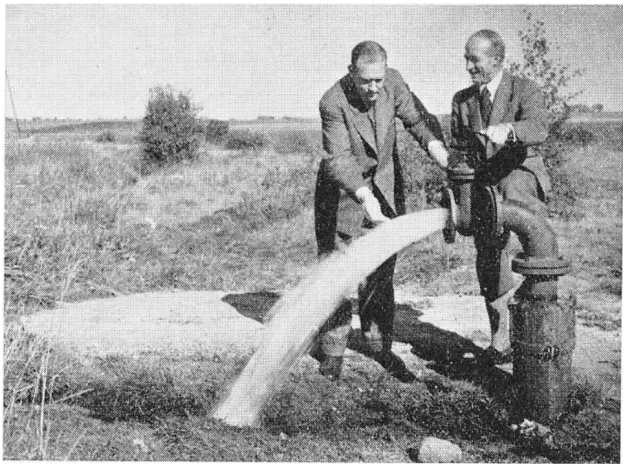


Fig. 6. E. Frederiksen til højre i billedet tester prøvepumpning ved Kasted mose 1954.

med deres nye DC-geoelektriske måleudstyr flere geofysiske undersøgelser i Århus og omegn, for at finde egnede kildepladser. I 1957 gennemførte DGU eksempelvis geoelektriske DC-målinger ved Th. Sorgenfrei i området ved Lisbjerg og Beder (Jessen 1959; Fig. 7). Brugen af DC-udstyret viste sig at kunne begrænse antallet af undersøgelsesboringer betragteligt. I 1955 anskaffede Odense Vandforsyning selv geoelektrisk DC-måleudstyr. Udstyret er i dag udstillet på Geologisk Institut i Aarhus. De efterfølgende år i 1970'erne og 80'erne blev DC-målinger meget anvendt i hele Danmark, samtidig med at tolkningsmetoderne løbende blev forbedret.

Nye vandværker etableres i Beder og Lisbjerg

DC-målingerne og ikke mindst de efterfølgende undersøgelses-boringer og langtids-prøvepumpninger viste meget lovende resultater i Beder og Lisbjerg. I 1965 gav landvæsenskommissionen ved Beder området tilladelse til indvinding af 5 millioner m^3 per år.

Grundvandsdannelsen blev dog, som det senere skulle vise sig, overvurderet ud fra den grafiske tolkning (Fig. 8).

Vandforsyningen og samarbejdet med Århus Universitet 1966

Oprettelsen af Geologisk Institut i Århus

Det naturvidenskabelige fakultet ved Århus Universitet blev oprettet i 1954 på initiativ af professor i matematik Svend Bundgaard (Bertelsen 1986). I 1958 var man begyndt at arbejde på at udbygge den naturhistoriske-geografiske undervisning ved Århus Universitet. Statsgeolog dr. phil. Keld Milthers havde i flere år undervist i Århus som rejsende lektor i geologi og var udset til stå for etableringen af geologi-undervisningen ved fakultetet. Men Keld Milthers blev alvorligt syg i 1958. I 1961 tiltrådte Asger Bertelsen som den første professor i geologi ved fakultetet i Århus. I 1964 tiltrådte den næste professor ved fakultetet, Svend Saxov, som professor i geologisk anvendt geofysik. S. Saxov lagde meget vægt på det 'anvendte', og det blev en vigtig tilgang til den forskning, udvikling og deltagelse i projekter, der de følgende mange år kom til at præge aktiviteterne ved Laboratoriet for anvendt Geofysik, Geologisk Institut, Århus Universitet (Fig 9).

Fra 1966 til 1972 havde Laboratoriet for anvendt Geofysik til huse i den gamle Hammelbanegård. Ventesalen var auditorium, bibliotek, kantine m.v. Under det sorte skiffer-tag uden isolering var der opstillet en flexwriter (mekanisk dataterminal) tilsluttet Århus Universitets regneanlæg RECAU. Om vinteren startede man med at tø terminalen op for nattens rim med en hårtørrer. Om sommeren var der til gengæld meget varmt (Fig. 10).

Da E. Frederiksen havde opnået gode erfaringer med DC-målinger udført af DGU og havde stor interesse for geologi var det naturligt, at der blev oprettet kontakt mellem Århus Kommunale Vandforsyning og Laboratoriet for anvendt Geofysik. E. Frederiksen var ganske vist gået på pension, men var stadigvæk meget engageret i at løse vandforsyningsproblemerne for den hastigt voksende Århus by med konstant stigende efterspørgsel efter mere vand.

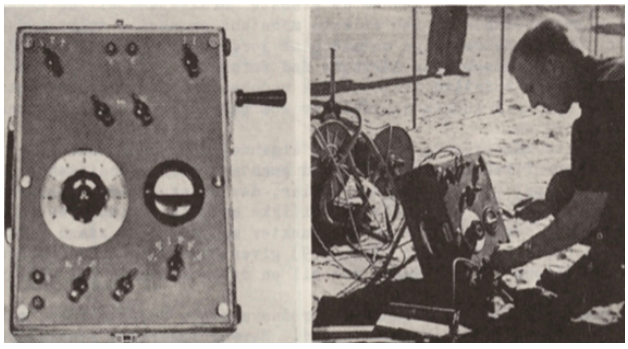


Fig. 7. Niels Viggo Jessen DGU laver DC målinger ved Risskov-Lisbjerg 1959.

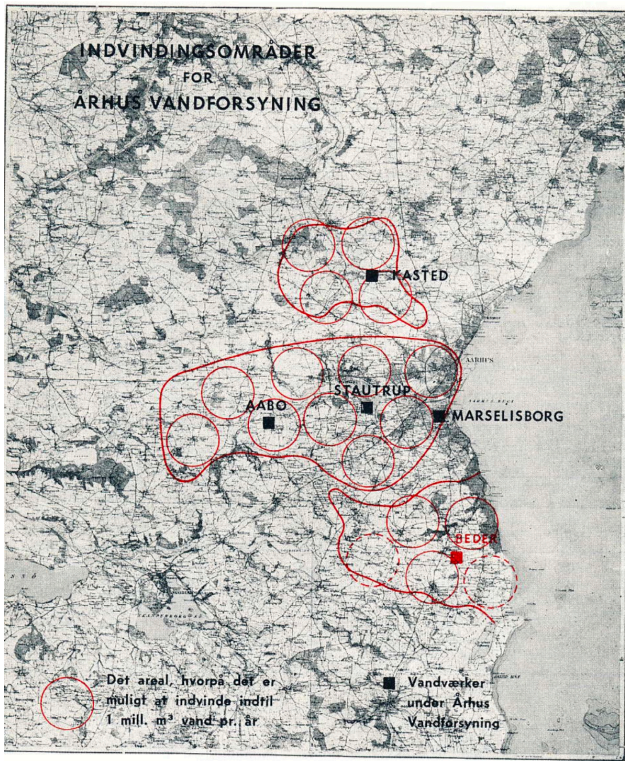


Fig. 8. Indvindingsopland i 1960 vist som en cirkel - svarende til 1 million m^3 ved 100 mm nedsivning.



Fig. 9. Sven Saxov's 60 år fødselsdag fejres på Laboratoriet for Geofysik 1973.

Egnsplankommissionen for Århus og omegn i 1966

Egnsplankommissionen for Århusegnen blev nedsat i 1961 med det formål, at tilvejebringe en ny byudviklingsplan for Århusegnen. Som et resultat af kommissionens arbejde udkom i 1966 "Egnsplan for Århusegnen". Heri behandledes meget omhyggeligt befolkningsudviklingen, boligforsyningen, erhvervsudvikling, center-, oplands- og omsætningsforhold, offentlige institutioner og anlæg; og trafikforholdene. Vandsyningen blev ikke behandlet.

I februar 1967 anmodede kommissionen direktør E. Frederiksen, overingeniør H. F. Hastrup og professor Svend Saxov om at udgøre et udvalg, der skulle fremsende et forslag til kommissionen om en undersøgelse af vandforsyningsforholdene inden for det egnsplankommissionen for Århusegnen omfattende område. Udvalget fremsendte den 1. april 1967 sit forslag omfattende følgende punkter som efterfølgende blev igangsat af Århus Universitet, Laboratoriet for Geofysik ved Geologisk Institut i perioden frem til 1974 (Saxov 1967): 1) Samtlige afsagte landvæsenskommissionskendelser i området og de op til området stødende områder gennemgås og kortlægges. 2) De hos amtslægerne beroende indberetninger om grundvandets kemiske og biologiske forhold inden for området gennemgås og kortlægges. 3) De hos Danmarks Geologiske Undersøgelse beroende indberetninger om boringer og disses geologiske forhold gennemgås og kortlægges inden for området. 4) De eksisterende oplysninger om vandstandspejlinger, nedbørsforhold og afstrømningsforhold indsamles, gennemgås og kortlægges. 5) Etablering af yderligere pejlestationer, afstrømningsmålestationer og nedbørsmålinger. 6) Udførelse af elektriske modstandsmålinger samt eventuelt benyttelse af andre geofysiske målemetoder, såsom gravimetriske og magnetiske målinger, såfremt sådanne vil være nødvendige for at fastlægge undergrundens strukturelle forhold. 7) Udførelse af enkelte boringer, specielt i områder, hvor kun få eller ingen dybere boringer foreligger.

Det var en meget omfattende aftale, der i første omgang primært kom til at omhandle den geologiske kortlægning med boringer og geofysik, samt oprettelse af nye nedbørsstationer og afstrømningsstationer.

Det praktiske arbejde med gennemførelsen af dels DC-elektriske sonderinger og dels tolkninger af boringerne blev foretaget under ledelse af mag. scient. Holger Lykke Andersen for det sydlige område og cand. scient. Niels Frederik Schrøder for det nordlige område (Lykke-Andersen & Schrøder 1974a). I 1968 blev der etableret et elektronikværksted på Laboratoriet for anvendt Geofysik, og det blev starten på, at der blev brugt ressourcer på at vedligeholde og udvikle bedre geofysiske måleinstrumenter. Til projektet udviklede ingeniør Niels Krøll Breiner og elektrotekniker Otto Larsen et kraftigt DC-geoelektrisk udstyr OL1 til indbygning i en VW-bus. Mange specialestuderende ved Laboratoriet for anvendt Geofysik deltog sidenhen i målearbejdet, som gav en kærkommen indtægt til S. Saxovs cigarkasse. Den var suppleret med en tyk rulle femhundrede-kroner-sedler med en elastik omkring, som S. Saxov havde i sin bukselomme. Det var ikke penge i lommen på S. Saxov til private formål, men han elskede at kunne hive penge op af lommen og på stedet bevilge midler til projekter, han fandt gode og væsentlige for forskningen. Databehandlingen af DC-målingerne krævede, at der blev fremstillet et omfattende analogt kurveatlas for lag-modeller for geologien til tolkning af måleresultaterne.

De teoretisk simple modelberegninger kunne gennemføres på RECAU, der sammenlignet med i dag havde meget begrænset regnekapacitet. Det var først flere år senere, at computer-kapaciteten og det teoretiske grundlag for tolkning af lag-modellerne kunne omsættes til iterative tolkningsprocedurer på computer. For at skaffe bedre tolkning af sammenhængen mellem elektrisk ledningsevne og geologi blev der i en række tilfælde målt den elektriske ledningsevne direkte i borehuller såvel som i laboratoriet på boreprøver.



Fig. 10. Ventesalen på den gamle Hammelbanegård 1970.

I 1972 flyttede Laboratoriet for anvendt Geofysik til Finlandsgade 72, Århus N, til en gammel værkstedsbygning, der i de følgende år ud over nye undervisningslokaler og laboratorier også gav en meget rummelig fysisk ramme til omfattende udvikling af geofysisk udstyr frem til 2006, hvor Laboratoriet for anvendt Geofysik blev flyttet sammen med resten af Geologisk Institut til Vennelyst Parken. Udviklingen af geofysisk udstyr blev forsat i lejede lokaler uafhængig af universitet (Fig. 11).

Resultat af kortlægningen i 1974

Undersøgelsen af Århusegnens undergrund var den første store kortlægning af grundvandsressourcerne i Århusområdet. Ved undersøgelsens igangsætning var der tidligere af DGU udført ca. 900 DC-sonderinger, der udgjorde grundlaget for etableringen af de store vandforsyninger nord og syd for Aarhus. Der blev udført yderligere 2000 DC-sonderinger af Laboratoriet for anvendt Geofysik samt udført undersøgelsesboringer fem steder (Fig. 12). Undersøgelsen fandt gode muligheder for supplerende vandindvinding i den sydlige del af Brabranddalen i retning af Hørning–Tiset. I nord var der lovende muligheder for en større vandindvinding ved Ristrup, hvilket blev bekræftet af en undersøgelsesboring. I området mellem Pøtmølle, Vitten og Ristrup ligger '60 meter smeltevandssletten' (Lykke-Andersen & Schrøder 1974b), som blev skønnet til at rumme store mængder grundvand, da området var helt uden større overfladeafstrømning. Desværre var DC-metoden ikke i stand til af kigge igennem tykkere sandlag med lavt grundvandsspejl (Lykke-Andersen & Schrøder 1974a, side 43). Derfor var det ikke muligt nærmere at udpege egnede boresteder. Men de helt store, brede og dybe dalsystemer kortlagde DC-sonderingerne med stor succes (Schrøder 2014).

På figur 12 vises beliggenheden af de dybe dale i prækvartæret, som udgør bunden og rammen for de største sammenhængende grundvandsforekomster og de steder, hvor der i disse allerede foretages indvinding fra dybtliggende sandlag, samt de steder, hvor tilstedeværelsen af sådanne lag ved hjælp af de udførte prøvepumpninger var blevet påvist. I tidsskriftet Varv er der gengivet et mere detaljeret kort over den tertiære overflade (Lykke-Andersen & Schrøder 1974b; Fig. 12).

Sidebemærkning: Prisen for trykning af den geologiske rapport i 1974 blev meget dyrere end forventet og det resulterede i, at stadsingeniør Johannes Sørensen blev meget sur. Han ville derfor ikke offentliggøre rapporten med kortbilag – Geologisk Institut fik kun et begrænset antal til uddeling på instituttet. Kort og rapporter blev bortgemt i rådhusets kælder og blev først udleveret til universitet efter oprydning flere år efter at stadsingeniøren var gået på pension i 1980'erne. Rapporten kom derfor ikke i første omgang til nytte for vandværkerne. Men da Richard Thomsen havde deltaget i undersøgelsen og korttegningen, kom hans personlige eksemplar og erfaringerne med kortlægningen alligevel til stor nytte, da amterne overtog vandressourcekortlægningen i Danmark i 1974.



Fig. 11. Laboratoriet for Geofysik flytter til industribygninger i Finlandsgade 1972.

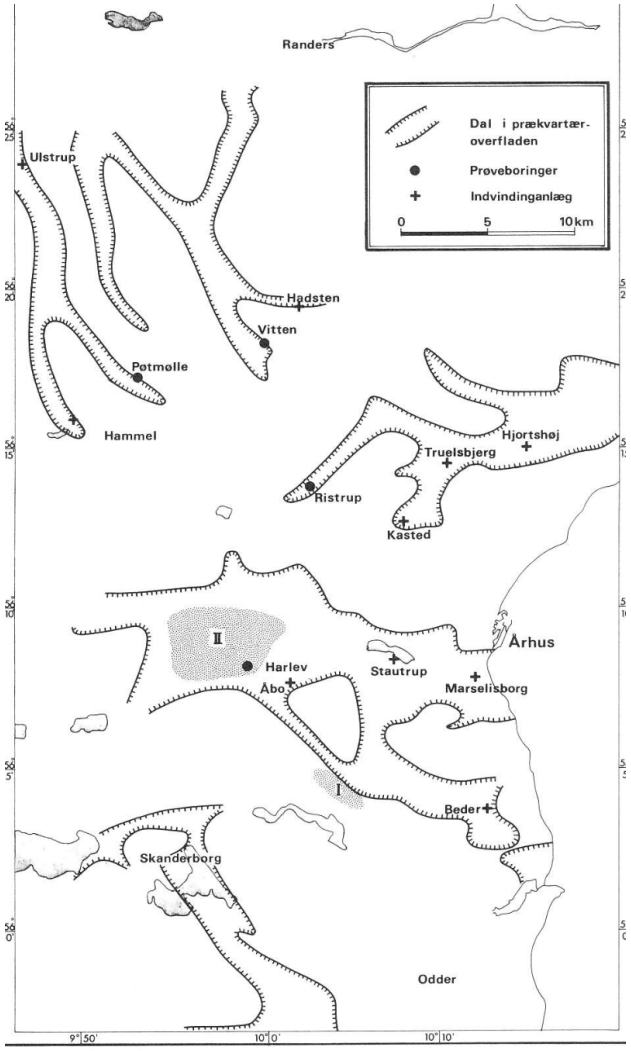


Fig. 12. Sammentegning af de begravede dale som resultat af kortlægningen 1974.

System til bearbejdning af afstrømningsdata i 1972

Laboratoriet for anvendt Geofysik's opgaveløsning for Egnsplankommissionen omfattede oprettelse af ti nye afstrømningsstationer til måling af vandføringen i vandløb og 12 nye nedbørstationer. Stationerne supplerede de landsdækkende afstrømningsstationer, der blev drevet af Det Danske Hedeselskabs Hydrometriske afdeling fra starten af 1920'erne (Fig. 13).

Richard Thomsen udviklede et digitalt program-system til bearbejdning af analoge afstrømningsdata på universitetes regneanlæg. Programmeringen blev udviklet sammen med programmør Ivan Munck (Thomsen 1978). Udviklingen skete med faglig sparring med Jørgen Lundager Jensen, der var chef-hydrolog ved Hedeselskabets Hydrometriske Undersøgelser i Slagelse (HU). J. Lundager Jensen var ansat på Laboratoriet for anvendt Geofysik som ekstern lektor til undervisning i hydrologi på højt niveau og blev bistået i undervisningen af Richard Thomsen, der var ansat som studenterinstruktor. Ideerne til udviklingen af de digitale programmer tog J. Lundager Jensen med hjem til Slagelse, og i løbet af de næste år blev behandlingen af de landsdækkende afstrømningsdata også digitaliseret ved HU. Til opgaven erhvervede HU i 1973 deres første computer til at løse opgaven (Jensen 1992). De 10 afstrømningsstationer blev i midt -70'erne overtaget af det nye Århus Amt og videreført af HU. Nogle af de 12 nedbørsstationer overgik til Danmarks Meteorologiske Institut.



Fig. 13. J.Lundager Jensen demonstrer skift af analog vand standsdiagram 1972.

Kommunalreformen i 1970

På det administrative område kom der i 1970 en kommunalreform, der fuldstændig ændrede hele den administrative fordeling af offentlige samfundsopgaver. Kommunalreformen havde til formål fremadrettet at styre den næsten eksplosive byudvikling, der var opstået efter krigen. Der blev bygget huse og industrianlæg uden nogen overordnet plan (Michelsen *et al.* 2004).

Staten skulle nu med love og bekendtgørelser fastlægge de overordnede rammer for planlægning og administration. Amtskommunerne skulle udarbejde regionale planer og udføre administrationen, når regionplanerne var godkendt af staten. Inden for de regionale rammer skulle kommunerne gennemføre kommuneplaner og stå for administrationen af disse.

Ved kommunalreformen sammenlagde man de gamle statsamter fra 1849 til færre amtskommunale enheder. Den nye Århus Amtskommune (i daglig tale Århus Amt) opstod ved sammenlægning af statsamterne for Århus, Randers og Skanderborg. Vandadministrationen ved amtsvandvæsnerne blev samlet. Amtsvandvæsenet fik ansvaret for de nye opgaver inden for vandadministration. Før kommunalreformen var det landvæsenskommissionerne, der gav tilladelse til indvinding af vand fra overfladevand og grundvand. Landvæsenskommissionerne blev ledet af en dommer, der havde bistand af en teknisk sagkyndig. Landvæsenskommissionerne blev nedsat efter behov. Godkendelser blev ofte givet, uden at der fandtes et samlet overblik over tidligere udstedte tilladelser til indvinding, og derfor var administrationen blevet helt utidssvarende (Fig. 14).

Ved lov om lands- og regionplanlægning 1975 (Michelsen *et al.* 2004) blev det pålagt amtskommunerne at tilvejebringe en regionplan. Formålet var at skabe en sammenfattende fysisk lands- og regionplanlægning, således at landets areal- og naturressourcer kunne udnyttes ud fra en samfundsmæssig helhedsvurdering. Regionplanen var således et resultat af en koordinerende lov, der samlede en lang række sektorplaner, hvis gennemførelse blev fastlagt i en række love vedtaget fra 1970 og frem til 1975. Blandt de væsentlige skal nævnes vandforsyningsloven, landbrugsloven, miljøbeskyttelsesloven, råstofloven samt naturfredningsloven. Alle disse love havde en særlig relation til naturressourcer i det åbne land. Et karakteristisk træk ved alle disse sektorplaners grundelementer var, at de havde nær tilknytning til hinanden igennem naturbundne kredsløb. Indgreb i disse systemer ville således give effekter, der ville forplante sig til omgivelserne og fremkalde mere eller mindre utilsigtede tilstande.

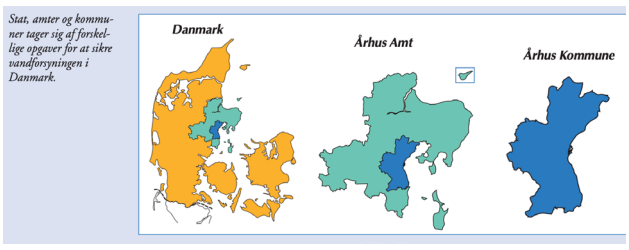


Fig. 14. Opdelingen af de administrative områder efter 1970.

Amtskommunerne oprettes og får flere nye opgaver 1974

Vandressourceplanlægning og administration i 1974

I 1974 fik amterne ved amtsvandvæsenerne en meget central rolle i administrationen af vandforsyningsloven. Som noget nyt skulle amterne basere deres administration på kortlægning og planlægning af vandressourcen. Tilladelserne til at udnytte vandressourcerne skulle ske ud fra en helhedsbetragtning, herunder hensyn til påvirkningen af naturen. Kommunerne skulle forestå det praktiske med drift af offentlige kommunale vandværker samt kontrollere vandkvaliteten og vandindvindingen ved samtlige vandværker, både private og offentlige. Den nye opgave til amterne betød, at der de følgende år som noget helt nyt blev ansat et større antal geologer og hydrogeologer i de 13 nye amter. Mange var uddannet på Århus Universitet, og de dannede rygraden i et meget velfungerende medarbejdernetværk frem til amterne blev nedlagt med udgangen af 2006. Ved kommunesammenlægningen samledes alle offentlige vandværker i Aarhus Kommune under Århus Kommunale Værker. Det drejede sig om i alt 22 vandværker, 12 pumpestationer og 21 højdebeholdere og vandtårne.

Vandplanlægningens baggrund i 1973

Den første regionale vandplanlægning i Danmark havde baggrund i Lov om Vandforsyning fra 1973. Her følger nogle citater fra bemærkninger til vandforsyningsloven:

"Amtsrådet iværksætter med bistand af kommunalbestyrelserne undersøgelser over de vandmængder, der vil være til rådighed for kommunernes vandforsyning. På grundlag heraf udarbejder amtsrådet planer for den fremtidige vandforsyning inden for amtskommunens område under hensyntagen til den igangværende eller forventede udvikling. I planerne skal der tages stilling til, i hvilket omfang og i hvilken takt den fremtidige vandforsyning mest hensigtsmæssigt kan baseres på offentlige vandforsyningsanlæg."

"På grundlag af planerne udarbejder ministeren for forureningsbekæmpelse samlede planer for landets vandforsyning, som skal lægges til grund ved behandlingen af sager i henhold til denne lov."

Vandforsyningsplanen var en delplan i miljøplanen, der indgik som en sektorplan i amtsrådets regionplan. Der var mange grunde til vandplanlægningskravet, hvoraf de vigtigste var:

"*Ved et ikke ubetydeligt antal små private fællesvandværker svarer installationer og ledningsnet ikke til de hygiejniske krav. Et utilstrækkeligt ledningsnet kan blive katastrofalt i bl.a. brandsituationer). En større kontrol med disse vandforsyninger er nødvendig."*

"Det er ønskeligt, at vandforsyning i højere grad end hidtil inddrages i den generelle fysiske planlægning, hvilket især gælder i udviklingsområder."

"Efterhånden som de lettest tilgængelige grundvandsressourcer er udnyttede, kræver yderligere indvinding af fersk grundvand en systematisk kortlægning af de resterende grundvandsreserver."

"Det stigende antal konflikter i forbindelse med indvinding som følge af kraftige grundvandssænkninger i lokale områder og beskyttelse af grundvand kræver ligeledes en systematisk kortlægning af grundvandsressourcerne."

"En systematisk og ensartet registrering af vandforsyninger og hydrogeologisk kortlægning vil lette såvel primærsom amtskommunernes fremtidige arbejde med at administrere vandforsyningsloven — ikke mindst hvad angår amtskommunernes udstedelse af vandindvindingstilladelser såvel til almen vandforsyning som til markvandingsanlæg og industri."

Vandplanlægningens indhold

Miljøministeriet udgav i 1975 Vejledning om hydrogeologisk kortlægning og vandforsyningsplanlægning med følgende generelle retningslinjer for indholdet af vandplanlægningen:

Fase A. Kortlægning og registrering af de eksisterende fælles vandforsyninger og større enkelte vandindvindinger og deres aktuelle vandforbrug (indvinding), vandværkernes aktuelle forsyningsområder og antallet af indbyggere i forsyningsområdet.

Fase B. Udarbejdelse af prognoser for det fremtidige vandbehov på grundlag af en vurdering af udviklingen i de enkelte områders befolknings- og erhvervsstruktur, samt den forventede udvikling i vandforbruget i de forskellige forbrugskategorier.

Fase C. En hydrogeologisk kortlægning.

Fase D. Videre undersøgelser af udnyttelige grundvandsressourcer.

Fase E. Planlægning af den fremtidige vandforsyningsstruktur.

Fase A og B blev udarbejdet med bistand fra I. Krüger A/S og for Samsø Akvadan-Harvey A/S. I fase C blev amtet bistået af Laboratoriet for anvendt Geofysik, DGU og I. Krüger A/S. Vandplanlægningen ved Århus Amtskommune blev forestået af amtsvandinspektør Svend Faurby med daglig projektledelse af Richard Thomsen, der som nyuddannet mag. scient. i fysisk hydrologi i 1974 blev ansat til opgaven.

I Århus Amtskommune indebar fase A en ny total kortlægning af alle informationer om vandværker, da beskrivelse af vandværkerne kun fandtes i sags-

akter fra landvæsenskommissionernes afgørelser fra før amtet fik opgaven med at give vandindvindingstilladelser. Disse afgørelser var totalt ukoordinerede og det tog amtet 2 år blot at systematisere afgørelserne og tegne vandværkerne og deres boringer ind på kort med angivelse af deres tilladte indvinding. Efter en praksis, som de tekniske sagkyndige ved landvæsenskommissionerne havde udviklet gennem tiden, blev tilladelsen til indvindingen vist med cirkel, hvor indvindingen var omregnet til et areal med en nedsivning på 100 mm. Hvis der var lavet en mere dybgående undersøgelse, blev indvindingsoplandet fra undersøgelsen tegnet, men i praksis var disse oplande også tilpasset en nedsivning på 100 mm. Et indvindingsopland ved Langå var dog lidt af et mysterium i sin udformning. Det lignede en andefugl uden at det var muligt at gennemskue grundlaget. Mysteriet blev delvist løst et par år senere, da Martin Grünbaum fra Viborg Amt tilfældigt kom til at se indvindingsoplandet ved Langå. Martin Grünbaum kunne oplyse, at Viborg Amt også havde to oplande, der var magen til. Ved eftersyn viste det sig, at det var den samme tekniske sagkyndige, der havde været på spil. Det ville sikkert have glædet den teknisk sagkyndige, at Århus Amt de næste mange år beholdt anden på kortene (Fig. 15).

Det viste sig, at mange vandværker ikke var kendt af det offentlige til trods for, at embedslæger og kommuner havde pligt til at føre tilsyn med, at de overholdt vandkvaliteten. Det var typisk vandværker, der var etableret før den første vandforsyningslov trådte i kraft i 1926. Disse vandværker skulle efter den på det tidspunkt gældende lov ikke have tilladelse, da de allerede var etableret.

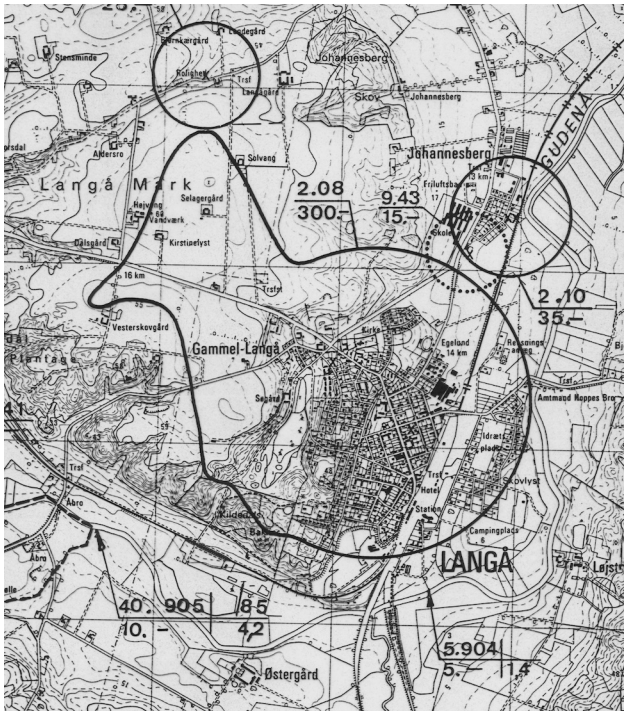


Fig. 15. "Anden" ved Langå – overlevede i flere år på kort over indvindingstilladelser.

De første prognoser i fase B for vandforbruget blev beregnet i vandplan 1977. Det samlede vandforbrug i amtet blev opgjort til 95 millioner m^3 og det forventede vandforbrug blev skønnet at stige til 123–131 millioner m^3 i 2000. Senere skal det vise sig, at prognosen skød en del over målet, da man på det tidspunkt ikke kunne forestille sig, at der senere ville blive igangsat sparekampagner.

Hydrogeologisk kortlægning i fase C bliver igangsat på basis af boringsoplysninger fra DGU. I vejledningen om hydrogeologisk kortlægning blev det beskrevet, at kortlægningen skulle omfatte: 1) Basisdatakort/cirkeldiagramkort, 2) Vandkemikort, 3) Vandrejsningskort (potentialkort), 4) Kort over de vandførende lags hydrauliske ledningsevne (transmissivitetskort), 5) Kort over potentielle kildepladser og 6) Kort over undergrundens højdeforhold (Prækvatæret).

Kilderne til kortene var dels landvæsenskommissionernes afgørelser i forbindelse med godkendelse af vandindvinding af grundvand og overfladevand og dels borearkivet og vandanalysearkivet på DGU. Alle kilder var på dette tidspunkt på papir alene. Lokaliseringen af boringer fyldte meget i vejledningen fordi stedfæstelsen af boringerne var meget mangelfuld. For at kunne udnytte borejournalerne og de vandkemiske analyser i sagsbehandlingen og kortlægningen var det vigtigt, at koordinaterne til boringerne kunne stedfæstes entydigt. De næste årtier brugte amterne mange tusinde timer på ny lokalisering. I Århus Amt blev mere end 90 % af boringerne ny-lokaliseret.

Digitalisering af borearkivet i Århus Amt

I vejledningen blev det fremhævet, at kortlægningen af vandressourcerne var amternes ansvar. Derfor kunne de selv vælge at gennemføre kortlægningen eller vælge bistand af rådgivende ingeniørfirmaer og DGU. Især havde DGU en særlig rolle med udarbejdelse af basisdatakort. Udarbejdelse af kort over undergrunden skulle også ske i samarbejde med DGU. DGU havde aftalt med Miljøstyrelsen, at borearkivet skulle udbredes til amterne med tolkede trykte basisdatakort. Basisdatakortene præsenterer en faggeologisk tolkning af geologien, men havde den ulempe, at ikke alle boringer kunne medtages på kortet. Boringsbeskrivelsen blev tolket og samtidig var kortene kostbare at opdatere til daglig sagsbehandling. De digitale og tolkede borejournaler i DGU's boredatabank blev brugt til at lave digitalt tegneforlæg til trykning af basisdatakortene. DGU digitaliserede fra 1984 alle oplysninger fra borejournalerne, både brøndborerens notater og DGU's prø-

vebeskrivelser (Graversen *et al*. 1984).

Århus Amt ønskede fra 1974 at udnytte de nye muligheder med edb til at kunne benytte alle boringer med alle geologiske oplysninger i den daglige sagsbehandling på den mest effektive måde og i alle skalaer. Århus Amt besluttede derfor på anbefaling af Richard Thomsen at igangsætte et edb-udviklingsarbejde i samarbejde med Århus Universitet (Platou 1974) med digitalisering af borearkivet. Lic. scient. S. V. Platou havde til brug på Grønland allerede udviklet edb-systemet AGTO/System II til Grønlands Geologiske Undersøgelse (Platou 1971). Lektor Holger Lykke-Andersen bistod med at beskrive kodesystemet til digitalisering af borejournaler. Århus Amts borearkiv skulle videreudvikles med omfattende muligheder for udtegning af temakort og profilsnit. Richard Thomsens erfaring med udvikling af programmer til behandling afstrømningsdata for Egnsplankommissionen i start 1970'erne havde lagt grunden til, at Richard Thomsen var meget optaget af, at der i databearbejdningen skulle udnyttes alle de nye muligheder med edb. Digitaliseringen af borearkivet i Århus Amt er mere udførligt beskrevet i Geologisk Tidsskrift 2023 (Thomsen 2023).

Digitale arealdata

I Århus Amts nye boredatabank var oplysningerne altid let tilgængelige, så de kunne 'genbruges' ved lokale projekter og undersøgelser af alle, der udførte sagsbehandling. Ofte viste der sig behov for andre sammenstillinger af boredata, end dem, der kommer til udtryk på de hydrogeologiske tematiske kort fra DGU.

Det var f.eks. en stor fordel, at se boreoplysningerne i flere kombinationer og evt. sammen med andre typer miljødata. Endvidere var det meget hensigtsmæssigt at få korttegningerne i det målestoksforhold, der passede bedst til den givne opgave. Århus Amts boredatabank anvendtes både til den overordnede vandplanlægning og til den daglige sagsbehandling.

Udover at indlæse koordinaterne til boringer fra kort i målestok 1:25.000 blev der samtidig indlæst koordinaterne til kystlinjer, vandløb, søer, amtsgrænser og kommunegrænser til brug ved temaplotning.

Temakort for prækvartæret udtegnet på selve juleaften fortæller noget om tid og engagement. Konkurrencen om at få adgang til RECAU var stor – derfor var det nødvendigt at benytte alle tidspunkter. På kortet blev vist signaturer med koten for den prækvartære lerflade og koten for bunden af boringer, der ikke nåede ned til prækvartær lerfladen (Fig. 16).

Fra 1976 kunne uddatadelen fra STEM II tegne tematiske kort for geologi og profiler for borejournaler med detaljeret beskrivelse af geologien til brug ved sagsbehandlingen ved enkeltsager og regionale ressourcevurderinger. F.eks. blev udtegningen benyttet som fagligt forlæg for det første sammenhængende kort over prækvartæret i Århus Amt i målestok 1:100.000 i 1977. Et arbejde der blev forestået af geolog Inga Sørensen. Kortlægningen af begravede dale blev for første gang udbredt til hele Århus Amt (Fig. 17).

Senere udviklede S.W. Platou andre systemer til behandling af areal- og miljødata, og fra 1979 blev han fast knyttet til Landbrugsministeriets Arealdatakontor i Vejle. I forbindelse hermed blev boredatabanken flyttet fra RECAU til Arealdatakontorets EDB-anlæg i Vejle (Kierkegaard 1979).

SYSTEM II var i 1970'erne og flere år frem det mest avancerede databehandlingssystem for miljødata i Danmark. F.eks. kunne systemet klare at håndtere en ø i en sø. Det tog rigtig mange år før de øvrige GIS systemer kunne klare den udfordring.

Boredatasystemet havde mange brugervenlige udtegningsmuligheder. I 1980'erne og frem til nedlæggelse af Arealdatakontoret i 1993 valgte 7 af de 13 amter at benytte boredatasystemet ved Arealdatakontoret til sagsbehandling baseret på en kopi af DGU's digitale borearkiv.

Da Arealdatakontoret lukkede i 1993 sørgede geofysiker Christian Sodemann for at Århus Amts boringsdata og programmer blev flyttet til amtets egen SUN 10 arbejdsstation med adgang til Oracle database og meget avanceret grafik. Christian Sodemann udviklede til amtet boringsdatabasen BORIS samt det avancerede men samtidig brugervenlige korttegningssystem gMap.

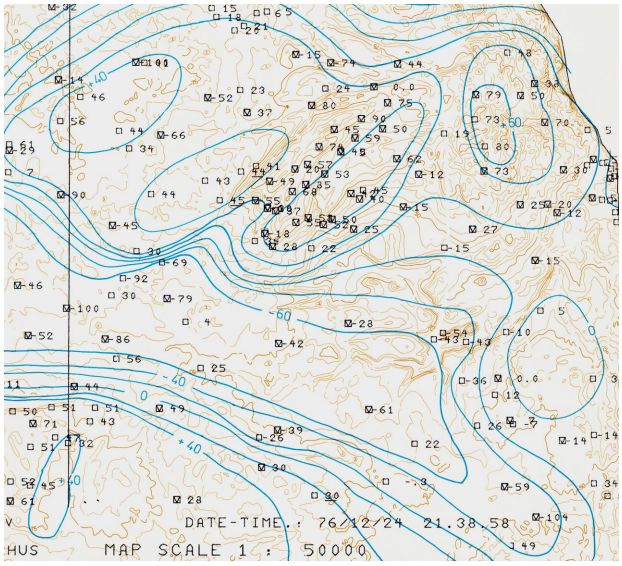


Fig. 16. Digitalt kortforlæg til tegning af kort over den prækvartære lagflade 1976, 24. dec. kl. 21.

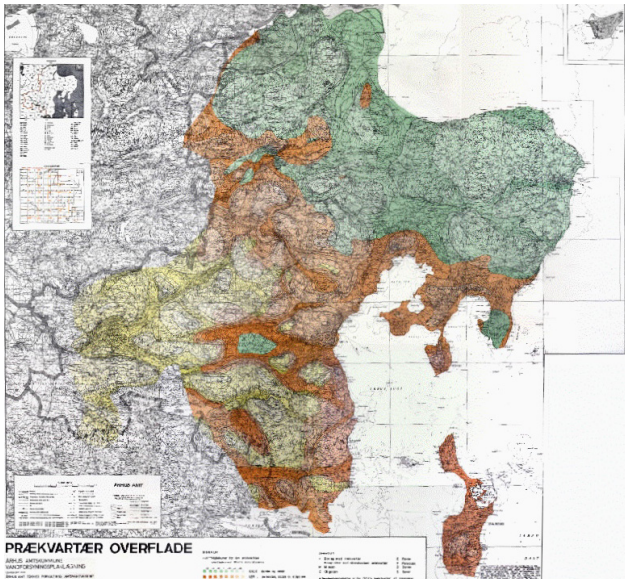


Fig. 17. Den prækvartære lagflade i målestok 1:100.000. Brun: Tertiært ler, gul: Miocænt sand, grøn: kalk.

Al edb-anvendelse i de første mange år foregik uden anvendelse af et internet, som først blev tilgængeligt i begyndelsen af 1990'erne (WWW, World Wide Web og teknikken bag blev først offentliggjort af opfinderen i 1991). Indtil da måtte alle plots, udskrifter etc. enten hjemtages via terminal-forbindelser op mod større computercentraler eller ved brug at egne, lokale IT-systemer, der omfattede såvel computerenhed som print- og plottefaciliteter. Afdelingens første vektor-grafiske skærm fra 1975 – en Tektronix 4014, der kostede det samme som en helt ny Volvo Amazon stationcar – blev i 2016 optaget i Steno Museets samlinger (Buhl 2016).

Digitale arkiver for vandanalyser

Koordinaterne på boringerne og vandværkerne var nødvendige for at kunne stedfæste grundvands/råvandsanalyserne fra vandværksboringerne og drikkevandsanalyserne fra vandværkerne. Århus Amt oprettede til det formål databasen GRUVIS, som blev benyttet frem til amternes nedlæggelse. Ved amternes nedlæggelse samlede DGU/GEUS alle analyserne fra de lokale amtsdatabaser i JUPITER databasen.

Grundvandskemiker Lærke Thorling blev i 1988 ansat til at styre og udvikle det nyetablerede grundvandsovervågningsprogramm (GRUMO) i Århus Amt. Grundvandsovervågningen er en del af det nationale overvågningsprogram for Natur og miljø, der fortsat rapporteres hvert hver (Thorling *et al.* 2025).

Overvågningsprogrammet blev finansieret ved et årligt bloktilskud over finansloven. Da amterne og staten skulle bruge dataene fra overvågning/monitering til at regulere forureningen fra by og land, blev det prioriteret meget højt, at data var troværdige, og kvalitetskontrollen var derfor meget høj. Samtlige amter lagde af den grund betydeligt flere timer i dette arbejde, end det var forudsat, da driftsopgaven blev prissat.

Miljøtekniker Per Misser og altmuligmand Torben Wandall stod for feltarbejdet med indsamling af højkvalitetsdata, som sikrede, at der ikke kunne rejses tvivl om måleresultaterne. Per Misser opstillede sammen med Grundfos A/S kravspecifikationerne til deres nye prøvetagningspumpe SMP1 til prøvetagning fra overvågningsboringer med lille diameter. Per Misser testede pumpen grundigt i felten, inden den gik i produktion. Pumpen blev en stor succes i både GRUMO og jordforureningsundersøgelser.

Geologerne Else Sørensen og Brian Sørensen ydede i alle årene en enestående indsats for at holde databaserne på en teknisk state of art, så vandanalyser og alle relevante metadata i databasen var kvalitetssikrede maksimalt. Vandanalyserne bliver stedfæstet præcist i forbindelse med prøvetagningen og indlagt direkte i databasen af analysefirmaerne.

Takket være amternes store indsats i samarbejde med GEUS er databasen for vandkemiske analyser forsat grundlæggende af en meget høj kvalitet og med lange tidsserier over udviklingen i vandkvaliteten. Med de lange tidsserier for nitratudviklingen kombineret med aldersbestemmelse af vandet i overvågningsboringerne blev det muligt at beskrive landbrugets påvirkning af grundvandet, fra før landbruget blev effektiviseret med deraf følgende højt forbrug af gødningsstoffer og husdyrgødning.

I perioden før 1980 var indholdet af nitrat stigende, fordi landbruget ikke udnyttede gødningen optimalt. Efter iværksættelsen af de første vandmiljøplaner faldt nitratudvaskningen, for senere at stabilisere sig efter årtusindskiftet (Hansen *et al.* 2014; Thorling *et al.* 2025; Fig. 18).

Den lange tidsserie med vandanalyser giver også mulighed for forskning ved at koble vandanalyserne med påvirkningen af folkesundheden, hvor der på tilsvarende måde findes lange tidsserier. De landsdækkende, lange tidsserier af miljødata i Danmark udgør et værdifuldt og globalt sjældent aktiv, der kan hjælpe med at udforske eksponeringens indvirkning på menneskers sundhed (Knudsen 2017; Horsdal *et al*. 2023).

Det var amternes medarbejdere, der i amternes levetid med tusinder af timers indsats og stort engagement skabte grundlaget for de lange tidsserier for vandkemi. En indsats, der bør huskes og være et eksempel til efterfølgelse ved nye administrative omlægninger af vandforvaltningen.

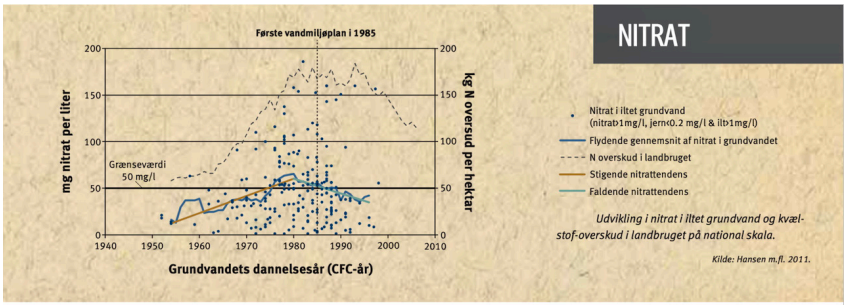


Fig. 18. Lange tidsserier kan illustrere landbrugets påvirkning af grundvandet.

Tørke i Danmark 1975–76

Der opstod tørke i store dele af Danmark efter to somre i 1975–76 og en mellemliggende vinter med næsten ingen nedbør. Manglende vinternedbør har store konsekvenser for grundvandsdannelsen. På grund af den omfattende tørke opstod der en stor interesse for markvanding for at sikre afgrøder, og dermed anledning til at begrænse vandværkernes indvinding i perioder, så markvanding kunne prioriteres. I Jylland steg antallet af ansøgninger om markvanding nærmest eksplosivt. Det blev derfor nødvendigt, at begrænse indvinding i tørkeperioder på flere vandværker, samtidig med at flere mindre vandløb helt mistede alt vand. Især på Samsø var det meget kritisk, da overpumpning kan medføre indtrængning af saltvand. I 1978 lavede Richard Thomsen en meget omfattende undersøgelse af vandressourcerne på øen (Thomsen 1978). Som noget nyt viste det sig, at grundvandsdannelsen over nogle hundrede år i sammenhængende perioder havde været halveret på Samsø. Modelberegninger viste, at grundvandsdannelsen i perioden 1964/65 til 1982/83 i gennemsnit af 19 år var 102 mm. Til sammenligning var grundvandsdannelsen i perioden 1884/85 til 1908/09 i gennemsnit af 25 år, kun 46 mm. Dette forhold blev præsenteret ved et keynote foredrag på Conference on Climate and Water i Helsinki i 1989 (Fig. 19; Thomsen 1990).

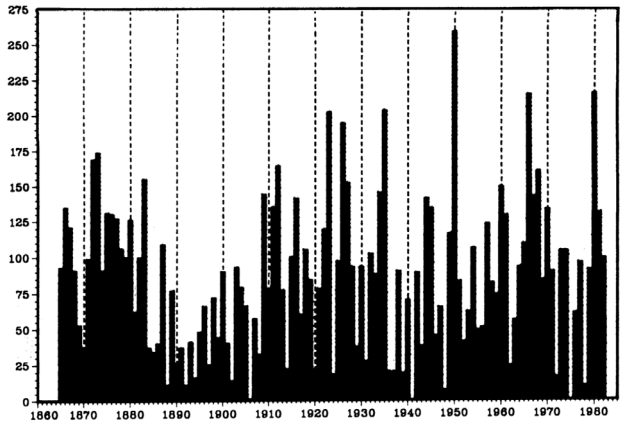


Fig. 19. Grundvandsdannelse i mm/år på Samsø.

Richard Thomsen gennemførte efterfølgende en omfattende sammenligning af månedsnedbøren i Vesteuropa. Det viste sig, at svigtende vinternedbør i sammenhængende perioder var et udbredt problem i Vesteuropa, fra Rouen i Frankrig til København (Thomsen 1987, 1990, 1993, 1996).

Vinternedbøren blev beregnet som summen af nedbør fra november til og med marts. Denne periode blev valgt, fordi fordampningen i denne periode var meget lav. Det var derfor denne periode, der var vigtigst for grundvandsdannelsen. Før 1900 har der været lange sammenhængende perioder med vinternedbør under middel (Fig. 20). Tilsvarende har der efter 1960'erne været lange sammenhængende perioder med vinternedbør over middel. I Danmark er forskellen 58 mm.

Klimasvingninger var vigtige at tage højde for i administrationen af vandressourcerne. I de følgende år administreredes indvindingstilladelser under hensyn til mulige tørkeperioder i Århus Amt og efter 1995 i resten af landet. MST anbefalede i 1995, at den maksimalt udnyttelige grundvandsressource korrigeres med en faktor 0,7. Korrektionen var baseret på analyser af svigtende vinternedbør i Århus Amt (SMP1/6 1995). Nedbøren i Århus Amt svarede til landsgennemsnittet. Klimasvingninger i Århus Amt var især kritiske på Samsø og Tunø, fordi grundvandsressourcen var begrænset og risikoen for saltvandsindtrængning var meget stor. I de efterfølgende år blev det prioriteret højt i Århus Amt at have adgang til hydrologiske digitale modeller på amtets SUN10 arbejdsstation, der løbende kunne beregne grundvandsressourcens størrelse og dermed behovet for regulering af vandressourcernes udnyttelse i alle dele af kredsløbet. Samtidig skulle kortlægningen af geologien forbedres betydeligt, for at sikre at de fysiske rammer i modellerne passede med virkeligheden.

Vandforsyningsloven af 1978

I Vandforsyningsloven fra 1978 præciseredes opgavefordelingen mellem stat, amter og kommuner. Staten skulle tage sig af lovgivning med bekendtgørelser og cirkulærer, samt den overordnede planlægning gennem landsplansretningslinjer for vand-

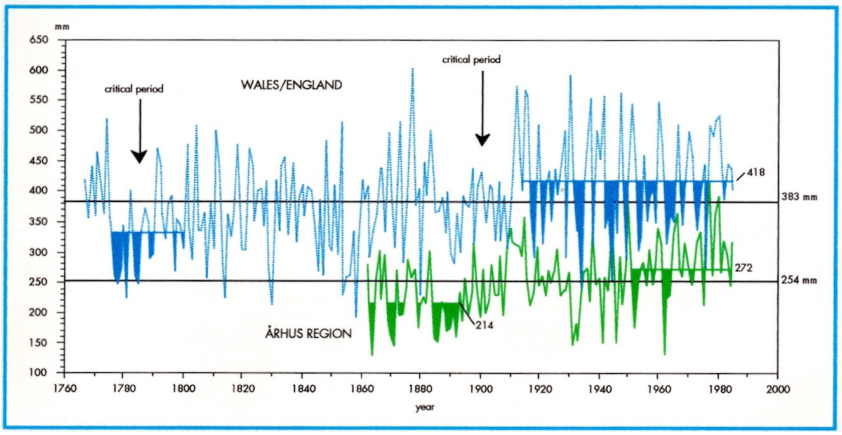


Fig. 20. Klimasvingninger har stor indflydelse på vinternedbøren/grundvandsdannelsen (i mm per år).

planlægning. Amterne skulle tage sig af kortlægning, overvågning, planlægning og administration. Kommunerne skulle tage sig af kvalitetskontrol på alle vandværker, private boringer samt drift af offentlige vandforsyninger.

Anvendelsen af grundvand og fersk overfladevand skulle reguleres på grundlag af en samlet plan. Planlægning af vandforekomsternes anvendelse skulle ske på grundlag af en kortlægning af vandressourcens beliggenhed, størrelse og kvalitet og ved en samlet vurdering af: 1) Befolkningens og erhvervslivets behov for en tilstrækkelig og kvalitetsmæssig tilfredsstillende vandforsyning, 2) miljøbeskyttelse og naturbeskyttelse, herunder bevarelse af omgivelsernes kvalitet, samt 3) andre samfundsmæssige hensyn, herunder anvendelse af råstofforekomster.

Vandindvindingsplanen og vandforsyningsplanerne af 1979

Planlægningen af vandforekomsternes anvendelse blev opdelt i vandindvindingsplanlægning (ressourceplanlægning) og vandforsyningsplanlægning (strukturplanlægning).

Vandindvindingsplanen skulle udarbejdes af amtsrådet efter forhandling med kommunalbestyrelserne. Vandindvindingsplanen skulle forelægges miljøministeren til godkendelse. Vandforsyningsplaner for de enkelte kommuners fremtidige forsyningsstruktur skulle udarbejdes af kommunalbestyrelserne. Vandforsyningsplanerne skulle forelægges amtsrådet til godkendelse.

Vandindvindingsplanen skulle ifølge miljøministeriets bekendtgørelse fra 1980 indeholde: 1) Angivelse og lokalisering af de forventede behov for vand i amtskommunen, fordelt på forskellige forbrugergrupper (husholdning, institutioner m.v., industri- og håndværksvirksomheder, landbrug, herunder markvanding og gartneri samt dambrug). 2) Angivelse af de eksisterende indvindingsanlæg. 3) Angivelse af den omtrentlige placering, ydeevne og kvalitet af de vandforekomster til grundvandsindvinding og de vandområder til overfladevandsindvinding, som vil være til rådighed for vandindvinding i amtskommunen. 4) Angivelse af retningslinjer for vandressourcernes anvendelse inden for amtskommunen. Retningslinjerne skulle under hensyn til de samfundsmæssige forhold angive en prioritering og fordeling af de vandressourcer, der var til rådighed for almen vandforsyning, enkeltvandforsyninger og erhvervsformål. 5) Angivelse af, om amtskommunen havde behov for tilførsel af vand udefra, eller om der fra amtskommunen kunne leveres vand til forbrug uden for amtskommunen. 6) Angivelse af retningslinjer for den fremtidige placering af indvindingsanlæg med tilhørende behandlingsanlæg, herunder ledninger til fjerntransport. 7) Angivelse af de foranstaltninger, der skulle foretages til forebyggelse af skadevirkninger på omgivelserne. Det skulle i denne forbindelse angives, hvilken grundvandsstand, hvilken vandstand i søer m.v. og hvilken vandføring i vandløbene, der ønskes opretholdt. Det skulle endvidere angives, på hvilken måde disse forhold skulle kontrolleres, og hvilke foranstaltninger der skulle foretages til opretholdelse af vandstand og vandføring. 8) Opstilling af en tidsfølge for etablering og udbygning af almene vandforsyningsanlæg af betydning for regionens samlede vandforsyning.

Til løsning af opgaverne udarbejdede Miljøstyrelsen vejledning nr. 1/1979, der bestod af tre dele. 1) Planlægning af grundvandsindvinding, 2) Planlægning af vandindvinding af overfladevand samt 3) Planlægning og udbygning af vandforsyning.

Indvinding af grundvand i 1985

Vandindvindingsplanen af 1985

I 1985 offentlig gjorde Århus Amt sin første vandindvindingsplan udarbejdet af Richard Thomsen på grundlag af vandforsyningsloven fra 1978. Planen trådte i kraft i 1985 (Århus Amt 1985). Planen blev

udarbejdet ud fra tilgængelig viden om vandindvindingen og uden nye yderligere markundersøgelser. Planen viste, at der var et stort behov for et mere dybtgående arbejde, omfattende blandt andet markundersøgelser, før amtsrådet kunne tage endelig stilling til væsentlige udvidelser af eksisterende eller nye større indvindinger til almen vandforsyning.

I vandindvindingsplanen var der især fokus på vandforsyningernes voksende problemer med nitrat, udsivning af forurening fra lossepladser og pesticider fra by og landbrug. Samtidig var vandressourcen overvurderet i Århusområdet i forhold til de indvindinger, der var givet tilladelse til. På kildepladser både nord og syd for Århus by faldt grundvandsstanden op til 1 meter om året.

Vandforbruget blev fremskrevet ud fra den erfaring, der i 1985 var tilgængelig til en beregningsmodel. I Århus Kommune var vandforbruget samlet set i 1982 på 27,8 millioner m^3, og modelberegninger viste, at forbruget i 1992 måtte forventes at nå op på 28,7 millioner m^3 og derefter stigende til 30,3 millioner m^3 årligt. Den mængde grundvand blev det skønnet ville ikke kunne indvindes inden for kommunens eget område. Supplerende grundvand så derfor ud til at skulle hentes vest for Silkeborg, da ingen af de tilgrænsende kommuner havde overskud ud over til dækning af eget vandforbrug.

Vandforbruget var imidlertid på dette tidspunkt begyndt at vise faldende tendenser ved samtlige de vandværker, der allerede havde indført betaling af vandforbruget baseret på aflæsning af vandmålere. På mindre vandværker kunne faldet i vandforbruget efter indførelse af vandmålere være helt op til 40 % på et år. I de efterfølgende år faldt vandforbruget betragteligt.

Det konkluderes i indledningen til vandindvindingsplanen, at det ikke er muligt at beregne vandressourcens samlede størrelse. På grundlag af det foreliggende materiale, herunder hydrogeologisk kortlægning, nedbør og afstrømningsmålinger, måtte man nøjes med at foretage en vurdering af mulighederne for indvinding af det vand, der var behov for frem til år 1997. De væsentligste indvindingsområder blev angivet på kort (Fig. 21).

Vandressourcens størrelse vurderet ud fra medianminimum

Vandressourcens størrelse blev skønnet primært ud fra måling af medianminimumsafstrømningen til vandløbene. Målingerne startede i 1976 (Fig. 22). Ideen til målingerne opstod som følge af de tørre somre i midt 1970'erne. Medianminimum skulle fra starten bruges til at vurdere, hvor meget spildevandet kunne fortyndes, når vandføringen i vandløbene var lav. Medianminimumsafstrømning blev målt efter flere dage uden nedbør synkront i hele vandløbssystemet. Målingerne blev igangsat på anbefaling af chef-hydrolog Jørgen Lundager Jensen ved Hedeselskabets Hydrometriske Undersøgelser (Jensen 1973). Målingerne blev gennemført i hele Danmark fra 1976 til 1995 koordineret af Hydrometriske Undersøgelser med omfattende deltagelse af amternes medarbejdere. Landbruget ønskede at kunne markvande i tørkeperioder i et omfang, der fik tydelige konsekvenser for afstrømningen i søer og vandløb. Målingerne gav mulighed for at vurdere, hvor stor en del af afstrømningen i vandløbene, der var grundvand, og samtidig gav målingerne oplysninger om, hvor grundvandet strømmede til vandløbet. Medianminimumsafstrømning – de mørke områder i Fig. 22 – havde de største grundvandsbidrag i liter/sek. per km^2. I Midtjylland bestod afstrømningen næsten udelukkende af grundvand. Kortene viste, hvor grundvandet strømmer til vandløbene men ikke noget om beliggenheden af grundvandsmagasinerne, der føder vandløbet med vand (Vandføringens medianminimum, samlet rapporteret 1998). Målingerne gav helt ny viden om koblingen mellem grundvand og vandløbenes afstrømning. Datidens hydrologiske modeller kunne kun simulere nedbør – grundvand – afstrømning, bygget op omkring en meget forenklet geologisk model. Synkronmålingerne blev den første kortlægning af den regionale fordeling af grundvandets andel af vandsløbsafstrømningen. De lyse områder viser, hvor der er en stor nedsivning, da disse områder stort set er uden overfladeafstrømning.

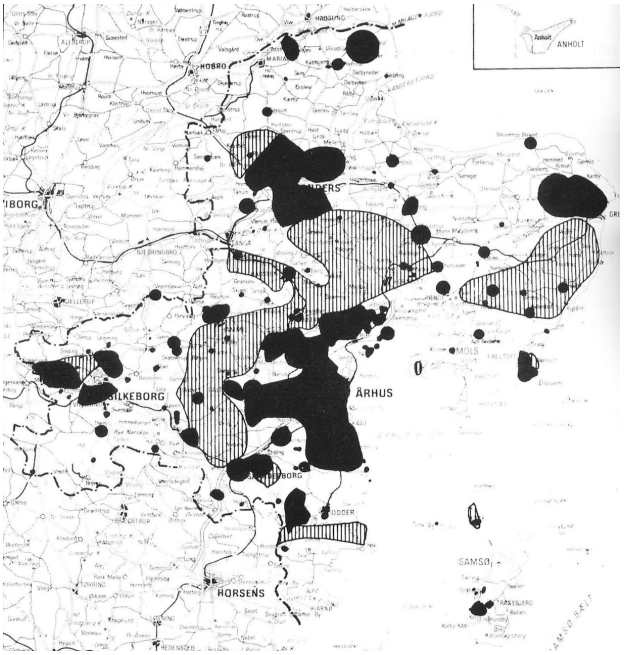


Fig. 21. Nuværende (sorte) og fremtidige (skraverede) indvindingsområder 1985.

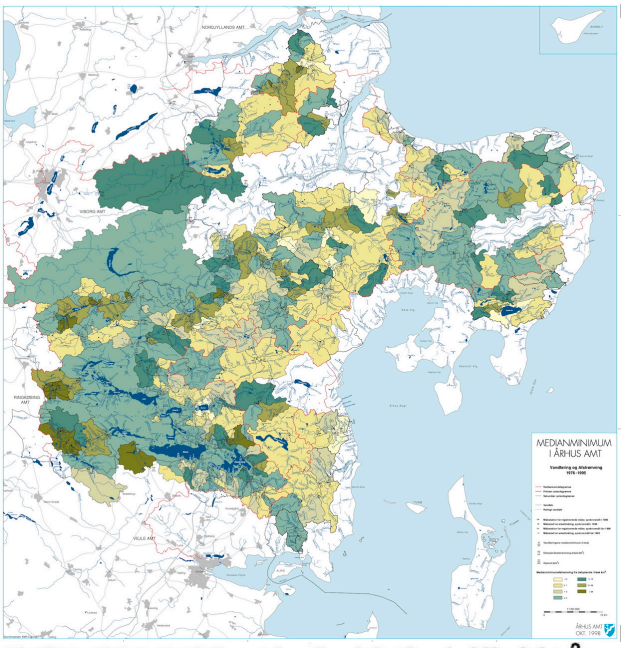


Fig. 22. Grundvandstilførslen til vandløbene målt som medianminimum l/sek. Deloplande i farver l/sek per km^2, 1998 (1 l/sek./km^2 = 31,55 mm).

Nitrat i drikkevandet, 1985

Inden for Århus Amtskommunes grænser var nitratindholdet i vandforsyningerne blevet erkendt som et alvorligt problem. Miljøstyrelsen fastslog endda i deres redegørelse: Nitrat i drikkevand og grundvand i Danmark fra oktober 1983, at Århus Amt sammen

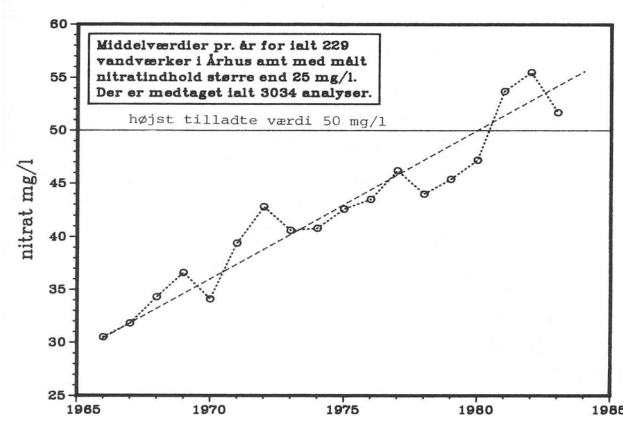


Fig. 23. Nitratudviklingen for Århus Amt 1985.

Belastning NO_3 mg/l	Antal vand-værker	Indvindings-tilladelse m^3/år	Procent af samlet indvindingstilla-delse for Århus amt
25 - 50	122	6.431.000	7,1%
51 - 75	60	2.909.000	3,2%
76 - 100	31	608.000	0,7%
101 -	16	105.000	0,1%

Fig. 24. Tabel over nitratbelastede vandværker i Århus Amt. Vandindvindingsplanens redegørelse 1985.

med Ribe og Viborg amter havde den alvorligste nitratbelastning af drikkevandet i Danmark. Nitratforureningen betragtedes med stor alvor, da den kunne resultere i, at ellers anvendelige grundvandsressourcer må afskrives. Den vejledende højeste værdi for nitrat i drikkevand var 25 mg NO_3/l. Den højeste tilladelige værdi var 50 mg NO_3/l, og den var fastlagt af sundhedsmæssige årsager (Fig. 23).

Det fremgår at vandindvindingsplan 1985 (Århus Amt 1985), at det primært var de mindre vandværker med korte boringer, der havde problemer (Fig. 24). Derudover var det tydeligt, at problemerne var størst for de vandværker, der lå i de geologiske områder af amtet, hvor der ikke fandtes en vis naturlig beskyttelse fra lerlag over grundvandsressourcen.

I den efterfølgende periode blev alle vandværker med problemer med højt nitratindhold enten lukket eller sluttet sammen med andre vandværker, der ikke havde nitratproblemer. Det gik dog ikke stille af i den politiske diskussion om behovet for at overholde grænseværdierne af hensyn til folkesundheden. Især gav det lidt støj, at en enkelt embedslæge førte sig frem ved at så tvivl om niveauet for grænseværdien (Fig. 25). Det er stadigvæk uklart, hvad den sorte hest i valgannoncen skulle stå for.



Fig. 25. Jørgen Winther ved amtsrådsvalget i 1993.

Kortlægning af affaldsdepoter

I 1981 var der kommet fokus på forureningsrisikoen fra udsivning fra affaldsdepoter. Med hjælp fra kommunerne var det muligt i Århus Amt at kortlægge 380 affaldsdepoter, hvoraf de 147 skønnedes at kunne indeholde kemikalieaffald. Amtet igangsatte en omfattende vurdering af pladserne ud fra en prioriteret liste over risikoen. I 1983 trådte lov om kemikalieaffaldsdepoter i kraft, hvorefter amtet skulle udrede forureningsfaren fra lossepladser med kemikalieaffald (Fig. 26). Fra 1984/85 startede omfattende undersøgelser ved to sammenhængende pladser ved Ølstedvej på kommunegrænsen mellem Hinnerup og Århus Kommuner samt ved fire delvist sammenhængende pladser i Brabrand-dalen (Eskelund/Rugholm området). I slutningen af 1980'erne blev der etableret afværgeforanstaltninger. Det blev Århus Amt, der skulle betalte for undersøgelser og etablering af afværgeforanstaltninger. Det blev også Århus Amt, der skulle betale Århus Kommune for rensningen af det forurenede vand. Det gjaldt uanset, at Århus Kommune havde overtrådt vandforsyningsloven fra 1926, der forbød forurening inden for vandværkernes indvindingsoplande (lov om vandforsyning 1926).

Ved prioriteringen var der især taget hensyn til Århusområdet, dels fordi de væsentligste affaldsmængder blev fundet omkring Århus, dels fordi grundvandsressourcerne i Århusområdet var stærkt udnyttet til vandindvinding, hvorfor en forurening af grundvandet her ville være særlig alvorlig.

De udsivninger, der skete fra pladser, udgjorde en alvorlig trussel for grundvandet. I undersøgelsesfasen indgik geoelektriske undersøgelser, lagfølgeboringer, prøvepumpninger, prøvetagning af vandkvalitet og pejling af grundvandsstanden for samtidig at fastlægge retningen af grundvandets strømning.

I de efterfølgende år kom der fokus på flere kilder til forureningen: fra nedlagte og eksisterende virksomheder, gødningsfabrikker, renserigrunde, træimprægnering, rensning af jern med perklor-ethylen, benzinstationer, m.fl.

Omfanget af forureningen har vist sig at være meget omfattende og undersøgelser og afværgeforanstaltninger fortsatte mange årtier efter igangsætningen i 1985. Regionerne forventer i 2026 stadig at skulle gennemføre undersøgelser og nødvendige afværgeforanstaltninger de næste 30–40 år – tidsperioden er lang, fordi undersøgelser er kostbare. Der kommer også hele tiden nye typer forureningskilder til, der skal behandles af regionerne.

Kemiske bekæmpelsesmidler 1985

I indvindingsplanen 1985 blev der peget på, at forbruget af pesticider var støt stigende og derfor måtte forventes at kunne resultere i udvaskning til grundvandet. Problemet var kendt i udlandet men ikke erkendt i Danmark, da vandprøver fra vandværkerne ikke blev analyseret for pesticider og deres nedbrydningsprodukter, hverken i grundvandet eller i vandet som vandværket pumpede ud til forbrugeren.

Kravene til renhed af drikkevand var strenge. De højeste tilladte indhold af pesticider totalt var 0,5 µg/l, men kun 0,1 µg/l per enkelt stof. I amtsrapporten foreslås i 1985, at der kontrolleres for indholdet af 30 ud af 200 anvendte pesticider på grund af deres vandopløselighed og svage binding til jorden.

I 1984 udarbejdede Arne Helweg en oversigt over hvilke pesticider, som i teorien kunne følge vandbevægelser i jorden, og som derfor kunne betragtes som potentielle dræn- og grundvandsforurenende stoffer (Fig. 27; Helweg 1984). Kategoriseret efter skønnet risiko for udvaskning I–III (III med største udvaskningsrisiko; Århus Amt 1985, side 6.75–6.80).

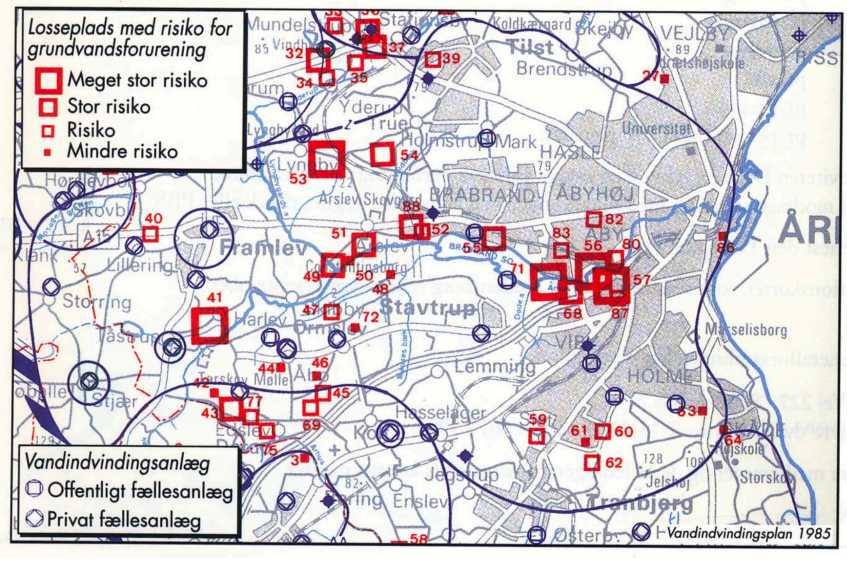


Fig. 26. Kort over indvindingsoplande med affaldsdepoter vist med rødt og vandværker vist med blåt, (Vandindvindingsplan 1985).

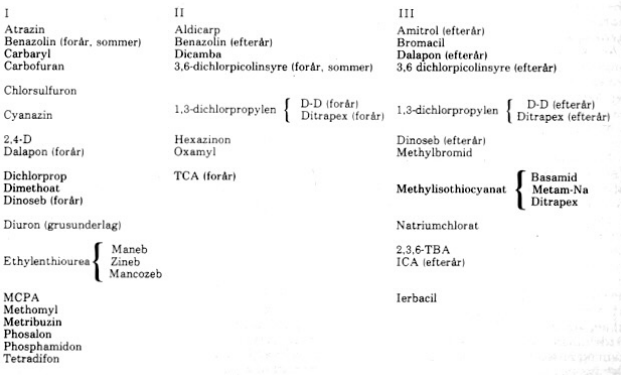


Fig. 27. Forslag til analyse for pesticider der i teorien let udvaskes af jorden.

Der blev på initiativ fra enkelte af vandværkerne i Århus Amt og ved vandværker i det øvrige Danmark efter 1985 analyseret for indhold af enkelte udvalgte pesticider i grundvand og drikkevand. Omfattende analyseprogrammer for pesticider blev først igangsat og løbende udvidet efter at overvågningsprogrammet for vandmiljøet blev besluttet af folketinget i 1989. Arne Helwegs teoretiske overvejelser over risikoen for udvaskning af visse grupper pesticider blev bekræftiget med vandkvalitetsmålinger i de nye moniteringsboringer i overvågningsprogrammet.

Brugen af sprøjtemidler steg voldsomt efter 1985 og frem til i dag (2026; Fig. 28). Udvaskningen af pesticider og deres nedbrydningsprodukter har udviklet sig eksplosivt til at blive et af de alvorligste problemer for at opretholde en god vandkvalitet uden avanceret rensning af drikkevandet.

Problemerne med grundvandets forurening i 2020'erne blev det altoverskyggende problem for at sikre rent drikkevand i tilstrækkelige mænger (Thorling 2023).

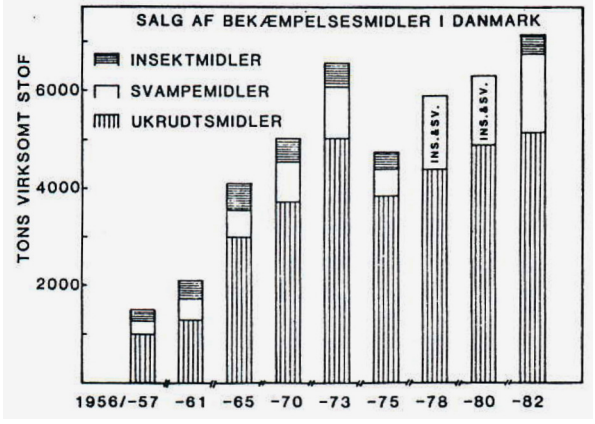


Fig. 28. Salget af bekæmpelsesmidler 1982. I 2019 var salget på 11.240 tons.

Gravimetriske målinger 1986

I 1986 gennemførte Geologisk Institut i Århus ved geofysiker Jan Reisz et forsøg med kortlægning af de begravede dale med gravimetriske målinger (målinger af ændringer i tyngdeacceleration) ved Beder i Århus Kommune og ved Boulstrup i Odder Kommune (Reisz 1986; Thomsen 1986). Metoden bygger på, at jordarterne har forskellig vægtfylde og derfor kan påvirke tyngdeaccelerationen målbart forskelligt. F.eks. er sand tungere end fint ler, og det betyder, at hvis sandet udfylder en dalsænkning i fint ler vil tyngdeaccelerationen være højere midt i dalen, hvor sandlaget er tykkest (Fig. 29). Det betyder, at det er muligt at tolke sig frem til undergrundens opbygning. I undersøgelsen blev der opmålt profiler på tværs af Giber Å og Ådal og den begravede dal ved Boulstrup i Odder Kommune. Resultaterne viste tydeligt dalenes tværsnit med sider og dybde. Målingerne viste, at bunden af den begravede dal under Giber Ådalen i profilet lå meget dybt – det blev senere dokumenteret med en dyb boring ved Vilhelmsborg kildeplads. Boringen viste, at bunden lå i en dybde af 267 meter. Det var heldigt, at den begravede dal ikke var dybere, da bunden blev fundet med den sidste del af de borestænger, brøndboreren havde til rådighed. Det var endog med i overvejelserne på det sidste at tage luften ud af hjulene på boreriggen for at nå endnu et nyk dybere, men heldigvis nåede man bunden inden. Ud fra måleprofilet ved Boulstrup besluttede Odder Vandværk at bygge et nyt vandværk, hvor profilet viste den største dybde til bunden af den begravede dal. Man vidste, at der måtte være et stort grundvandsmagasin i dalen, fordi grundvandsafstrømningen var så effektiv, at der i dalen ikke fandtes vandløb. Den gravimetriske metode viste sig at være god til kortlægning af store geologiske strukturer. Men grænserne for grundvandsmagasinerne i det tertiære ler kunne ikke bestemmes bedre end med de kendte DC-metoder.

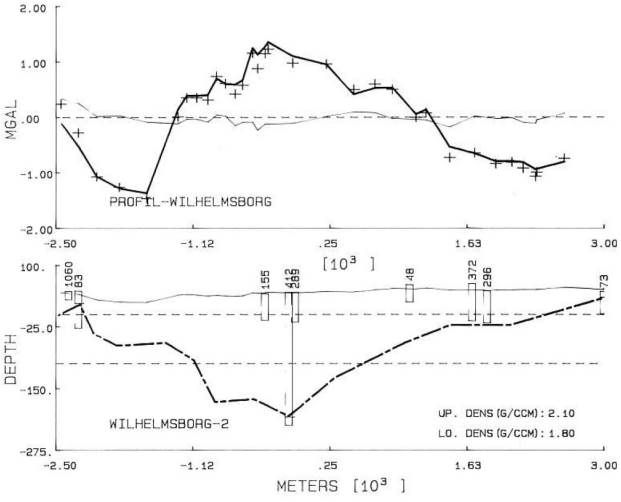


Fig. 29. Gravitations profil Vilhelmsborg Beder 1986.

Vandressourcerne i Århusområdet var overvurderede

Vandindvindingsmulighederne i Århusområdet var på flere kildepladser overvurderet i 1940 – især i forbindelse med de tilladelser til vandindvinding, der efter krigen blev givet i Beder og Lisbjerg. Tilladelserne var givet med ringe kendskab til grundvandsmagasinernes rumlige udbredelse. I tilladelserne var der stillet krav om en del pejleboringer til kontrol af vandindvindingen. Grundvandsstanden ved de store kildepladser både nord og syd i Århus Kommune begyndte i 1980'erne at falde med næsten en meter per år, kort tid efter vandindvindingen ved de nye vandværker var sat i gang.

Samtidig blev afstrømningen i Giber Å (Beder) og Egå Å (Lisbjerg-Kasted) kraftigt reduceret om sommeren, fordi tilstrømningen af grundvand manglede i vandløbene. Trods flere møder mellem Århus Amt og Vandforsyningen var det dog svært at overbevise overingeniør H. F. Hastrup, Århus Kommunale Værker om, at der var behov for en justering af de tilladte indvindinger.

Ny kortlægning af grundvandet starter i Århus i begyndelsen af 1990'erne

Muligheden for ny kortlægning opstår i 1986

Uenigheden forsvandt samme dag, overingeniør Hastrup gik på pension i 1986. Efterfølgeren, Hugo Lund fra Århus Kommunale Værker foreslog samme dag et tættere samarbejde mellem Århus Amt og Århus Kommunale Værker. I samarbejdet deltog fra Århus Kommunale Værker fra starten afdelingsleder Hugo Lund, afdelingsleder Ejgil Pedersen og fra 1991 også afdelingsleder Lars Schrøder, og fra Århus Amt afdelingsleder Richard Thomsen og fra 1989 geofysiker Verner H. Søndergaard.

Århus Amt og Århus Kommunale Værker aftalte at undersøge mulighederne for at justere indvindingstilladelserne og erstatte tilladelserne med midlertidige tilladelser med reduceret indvinding på flere vandværker. For Århus Kommunale Vandværker skete der en nedsættelse på 2,6 millioner m^3/år fra 27,6 millioner m^3/år til 25 millioner m^3/år (Thomsen 1990). Den midlertidige tilladelse blev i fuld enighed givet i 1986 på vilkår af, at Århus Amt og Århus Kommunale Værker i samarbejde skulle lave en grundig analyse af vandforekomsternes størrelse, kvalitet og sårbarhed over for forurening. Til denne analyse skulle der opstilles en digital grundvandsmodel med bistand fra Dansk Hydraulisk Institut (DHI), der ud fra de geologiske informationer skulle kunne beregne vandbalancen og indvindingens påvirkning af vandløbene.

Kommissorium for vandplangruppen

Arbejdsgruppen skulle tilvejebringe et samlet materiale til brug for vandressourcevurderinger inden for Århus Kommunes interesseområde,

- Udarbejde prognoser for det fremtidige vandbehov.
- Kortlægge og beregne vandressourcernes størrelse og kvalitet.
- Beskrive følgerne af indvindingen.
- Fastlægge den fremtidige indvindings størrelse.
- Opstille kontrolprogram for at følge udviklingen.
- Udpege nye områder, der eventuelt skal undersøges med henblik på fremtidig supplerende indvinding.
- Fremkomme med forslag til eventuelle supplerende undersøgelser, disses faglige indhold og gennemførelse.
- Arbejdsgruppen skulle endelig udarbejde forslag til en samlet justering af givne indvindingstilladelser med henblik på dels at sikre en rimelig teknisk og økonomisk vandforsyning i hele Aarhusområdet og dels at bringe tilladelserne i overensstemmelse med de beregnede muligheder for indvinding.

Teknisk rapport for hydrologiske modeller 1988

Dansk Hydraulisk Institut ved Jens Christian Refsgaard udarbejdede sammen med Richard Thomsen til vandplangruppen en teknisk rapport for hydrologiske modeller i 1988 (Refsgaard 1988). Rapporten var oplæg til Refsgaards arbejde i start 1990'erne med den hydrologiske model. Modellen indgik i rapporten: Grundvand og drikkevand i Århus og omegn fra 1993.

Århus Kommune fik ny indvindingstilladelse i 1993

Resultaterne af analysen forelå i den omfattende rapport i 1993. En central del af analysen omfattede opstilling af den hydrologiske vandbalancemodel. På grundlag heraf blev vandindvindingen ved Århus Kommunale Værker reguleret yderligere ned med 2,6 millioner m^3/år til 22,3 millioner m^3/år i en frivillig aftale mellem Århus Amt og Århus Kommunale Værker. De øvrige tilladelser – markvanding, industri og private vandværkers indvindinger – blev også

KOMMUNALE VANDVÆRKER	Oppumpede vandmængder i 1000 m³						Prognose		Tilladt indvinding 1000 m³		
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1992	2010	Nuv.	Fremtidig	Difference
10-0202 Stautrupværket	4844	4576	3760	3547	3399	3.753			4000	3700	-300
10-0203 Åboværket	2795	2462	2152	2169	2202	2.459			2500	2000	-500
10-0204 Kastedværket	3573	3466	3263	3169	3338	3483			3800	3800	0
10-0205 Bedværket	3773	3580	3476	3487	3143	2.471			3200	2700	-500
10-0206 Holmstrupværket	798	816	748	683	656	581			900	900	0
10-0207 Lyngbyværket	1270	1847	1815	1728	1581	1.341			1800	900	-900
10-0208 Truelsbjergværket	2483	2704	2959	2645	2499	2.202			2500	2300	-200
10-0209 Elstedværket	1133	1233	1255	1265	1257	1.282			1300	1600	300
10-0211 Skødstrupværket	37	36	36	36	33	34			40	40	0
10-0214 Brabrandværket	1284	891	863	936	794	958			1400	1200	-200
10-0215 Vibyværket	1598	1350	1261	1265	1131	791			1500	1200	-300
10-0216 Lysengværket	107	325	573	510	513	477			600	600	0
10-0217 Holmeværket	447	395	399	392	257	375			500	500	0
10-0219 Østerbyværket	710	864	721	745	837	756			900	900	0
Århus kommunale værker ialt	24849	24545	23282	22576	21641	20.962	20351	21540	24940	22340	-2600
Private fællesvandværker ialt	3587	3839	3980	3507	3532	3418	3108	3360	4628	4340	-288

SAMLET INDVINDING FOR HELE ÅRHUS KOMMUNE	Oppumpede vandmængder i 1000 m³						Prognose		Tilladt indvinding 1000 m³		
	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1992	2010	Nuv.	Fremtidig	Difference
Ialt	29532	29536	27859	27372	25946	25462	24629	26070	31923	28585	-3338

Fig. 30. Oversigt over de ændrede indvindingstilladelser 1993.

nedjusteret. I alt blev den samlede, tilladte indvinding af grundvand til alle formål nedsat med 3,4 millioner m³/år (Fig. 30).

Sparekampagner op gennem 1990'erne sænkede vandforbruget ved Århus Kommunale Værker betragteligt fra 25 millioner m³/år til under 20 millioner m³/år. Det niveau holdt Århus Kommunale Værker i de næste to årtier trods øget befolkningstilvækst (Fig. 31).

Samtidig med sparekampagnerne indledte Århus Kommunale Værker et omfattende kontrolprogram efter lækager og fik efterhånden nedbragt tabet i ledningsanlæggene til mindre end 8 %. De stigende priser på afregning for vand og spildevand bidrog ret væsentligt til motiveringen til at spare på vandforbruget (Fig. 32).

Resultater af analysen med den hydrologiske model

Ud fra analysen og på basis af den hydrologiske model var det blevet klart, at de geologiske informationer i Århusområdet flere steder var mangelfulde. Især kunne det ikke ud fra den kendte viden om geologien forklares, hvordan der strømmede 0,5 millioner m3 i havet for enden af Giber ådalen. Ved kalibrering af grundvandsmodellen havde det vist sig, at beregningerne ikke kunne passe, medmindre denne vandmængde strømmede underjordisk til havs (Fig. 33).

Modelberegningerne blev udførligt rapporteret i 'Grundvand og drikkevand i Århus og omegn 1993'. Århus Amt anskaffede en på daværende tidspunkt usædvanlig kraftfuld computer, en SUN 10 arbejdsstation, til at udføre beregninger med den hydrologiske model MIKE-SHE fra DHI. Frem til amternes nedlæggelse ydede Christian Sodemann en stor indsats for, at den avancerede software på SUN 10-maskinen fungerede, og desuden stod han for opbygningen af BORIS-databasen, samt den tekniske vedligeholdelse af databaserne BORIS og GRUVIS, der i takt med udviklingen flyttedes til nye platforme for i sidste ende at ligge som avancerede Oracle databaser. Det muliggjorde en yderst effektiv flytning af amtets data til GEUS' Oracle databaser, da amterne blev nedlagt i 2006. Christian Sodemann udarbejdede udtrækprogrammer – boringsprofilsnit, temakort for geologi og geofysik m.v. der var meget brugervenlige og kunne bruges af alle i afdelingen. Verner Søndergaard fik indført, at alle digitale kort baseret på databaseudtræk automatisk skulle vise tidspunkt for dataudtræk, alle søgekriterier mv. i en egentlig signaturforklaring på de computergenererede kort. 'Digitale kort og den nødvendige varedeklaration', forfattet af Christian Sodemann og Verner Søndergaard (Sodemann & Søndergaard 1995), beskriver dette emne mere detaljeret.

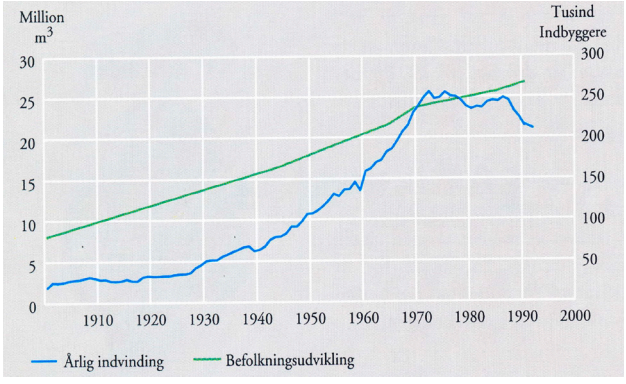


Fig. 31. Befolknings udvikling og vandindvinding 1993.

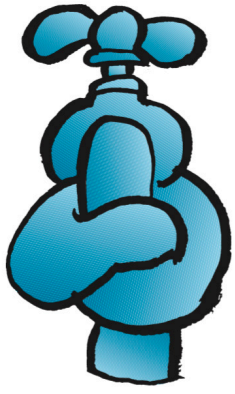


Fig. 32. Symbol for sparekampagnen i 1993.

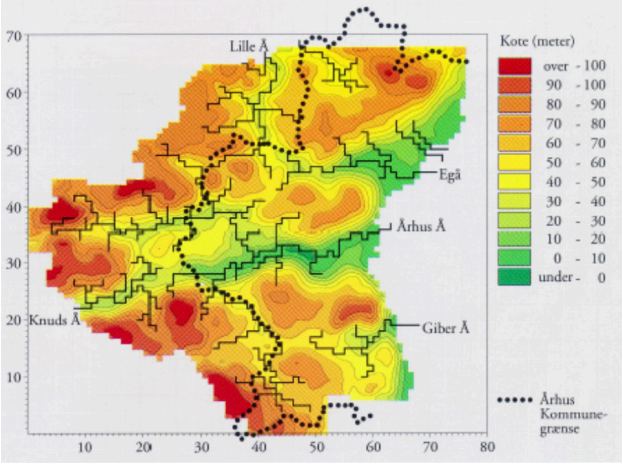


Fig. 33. Grundvandsmodellen for Århus og omegn af J.C. Refsgaard, DHI, 1993.

Kortlægningssamarbejdet med Århus Universitet starter

På baggrund af erfaringerne fra modelberegninger i start 1990'erne var det tydeligt, at grundvandsmodellen med de tilgængelige geologiske informationer kun kunne give overslag over den tilgængelige grundvandsmængede, der kunne indvindes.

Dybe boringer (dybere en 80 meter) med overliggende tykke lerlag havde vist sig at have en markant bedre vandkvalitet med hensyn til nitrat end vandet fra de øvrige boringer. Der opstod derfor et udtalt ønske om, at en kortlægning af den volumenmæssige afgræsning af grundvandsmagasinerne blev kombineret med en kortlægning af tykkelsen af lerlag over grundvandsmagasinerne (sårbarheden af grundvandet). Dette skulle sikre, at de rigtige arealer der var størst behov for at beskytte, kunne blive fastlagt. Samtidig kunne man udpege de arealer, som ikke behøvede at blive udlagt som beskyttelsesområder, fordi de lå i nogen afstand fra eller slet ikke havde kontakt til grundvandsmagasinerne.

Derfor indledte Århus Amt og Århus Kommunale Værker i 1989 et tæt samarbejde med geofysiker Kurt Sørensen fra Geologisk Institut, Århus Universitet, der på det tidspunkt var kommet langt med at udvikle en ny geofysisk metode, den slæbegeoelektriske målemetode, til ret detaljeret at kunne kortlægge bl.a. leraflejringer samt sand- og grusforekomster til råstofindvinding. Metoden var imidlertid også velegnet i forbindelse med kortlægning af den naturlige beskyttelse af grundvandsmagasinerne i form af først og fremmest dæklag af ler.

Den slæbegeoelektriske metode

Gruppen omkring Kurt Sørensen på Århus Universitet havde siden 1979, i forbindelse med bl.a. et nært samarbejde med geofysiker Verner Søndergaard, Århus Amt, arbejdet på videreudvikling af et slæbegeoelektrisk udstyr til råstofkortlægning. Udstyret var velegnet til kortlægning af de øverste jordlag ned til en 20–30 meter under terræn. Kendskabet til geologien i de terrænnære lag oven over grundvandsmagasinerne havde stor betydning for, hvor der løbende dannes mest nyt grundvand og for vurderingen af, hvor indsatsen mod forskellige typer forurening mest hensigtsmæssigt kunne sættes ind.

Den første TEM-kortlægning i Danmark

I 1991 havde Århus Universitet ved geofysiker Niels Bøie Christensen anskaffet et nyt måleudstyr, et TEM-instrument, Geonics Protem 47, til udførelse af Transiente Elektromagnetiske Målinger (TEM; Christensen 2022). Metoden var kendt i udlandet fra mineindustrien og malmefterforskningen, men spørgsmålet var, om metoden kunne bruges i forbindelse med grundvandskortlægning i Danmark?

Beder-områdets østligste del, hvor der var problemer med at afgrænse grundvandsmagasinets udbredelse mod nordøst og sydvest, var oplagt som forsøgsområde ved afprøvning af TEM-måleudstyret under danske forhold. Århus Amt havde brug for at få en mere præcis afklaring af magasinets udbredelse og kontakt med havet, for at kunne finde ud af, hvor og i hvilke mængder grundvand til drikkevandsformål ville kunne pumpes op, inden det løb ud i havet, jf. afsnittet om den hydrologiske model.

I 1992 blev det første, større antal TEM-målinger i Danmark udført ved Beder. En tydelig afgrænsning af en begravet dal, som indeholdt Beder-områdets vigtige grundvandsmagasin, kom tydeligt til syne ud fra TEM-målingerne. Den herved kortlagte, begravede dals udstrækning og forløb afslørede, hvordan de årligt ca. 0,5 millioner m^3 grundvand, som grundvandsmodellen jo havde beregnet sig frem til, kunne strømme til havs. Kortlægningen blev publiceret i artiklen 'Kortlægning af Beder Magasinet – en ny måde at gøre det på' (Sørensen *et al.* 1992). Til tolkningen blev anvendt software udviklet af Niels Bøie Christensen (Sørensen *et al.* 1992; Christensen 2022; Fig. 34).

Først og fremmest på grundlag af de overbevisende resultater ved Beder besluttede Århus Amt og Århus Kommunale Værker i 1992 at bede Århus Universitet, ved Kurt Sørensen, om straks at igangsætte en omfattende udvidelse af kortlægningen af store dele af Århus Kommune og omegn med jordbaserede TEM-målinger for at lokalisere begravede dale, og med slæbegeoelektriske metoder for at finde tykkelsen af lerdæklagene. Med de to effektive kortlægningsmetoder var grundlaget for at gennemføre fladedækkende grundvandskortlægning blevet økonomisk muligt. Udgifterne blev fordelt mellem År-

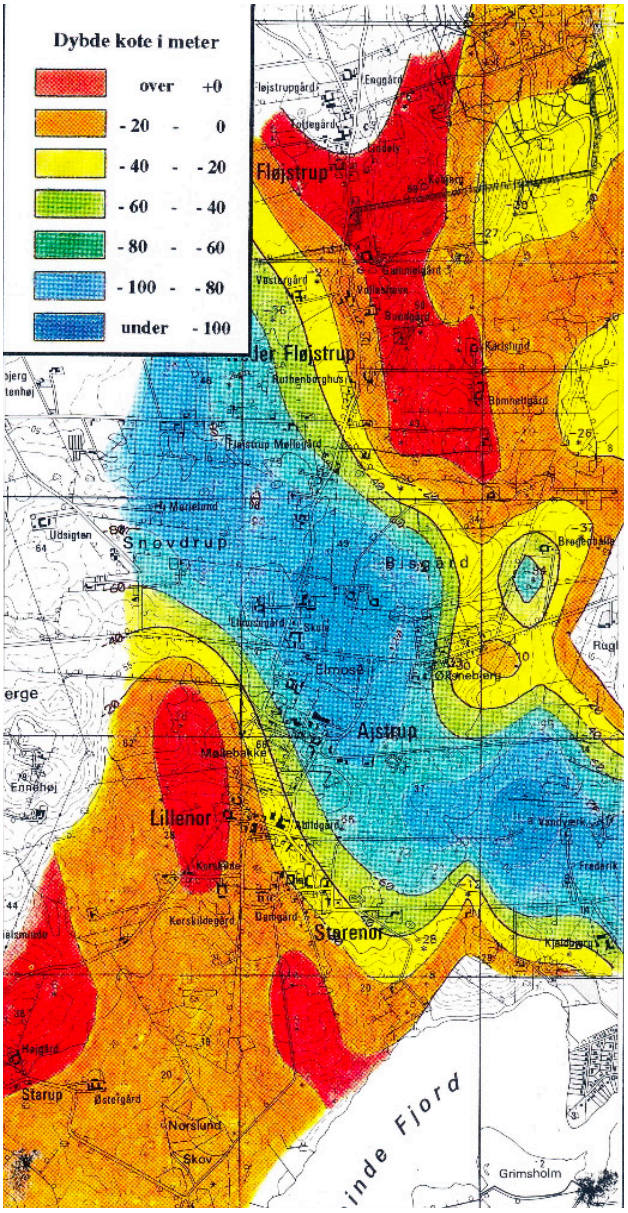


Fig. 34. Begravet dal (blålig farve) der er i underjordisk kontakt med havet ved Beder 1992.

hus Amt og Århus Kommunale Værker. Tilsammen brugte Århus Kommunale Værker og Århus Amt 25 millioner kr. på at gennemføre projektet frem til 1999.

Kurt Sørensens 'opfinder-gen' blev hurtigt tændt på at udvikle udstyr, hvormed man kontinuerligt kunne udføre TEM-målinger, mens måleudstyret var i bevægelse (PATEM). Det resulterede i et udstyr, der blev slæbt efter en mindre firehjulet traktor. Dette blev forløberen for, at det i 2003 lykkedes Kurt Sørensen at udvikle et luftbåret SKYTEM udstyr, der kunne lave tætte TEM-målinger fra en helikopter med stor opløselighed og en kortlægningsdybde i størrelsesordenen 300 m. Samtidig kunne man kortlægge helt uden at blive bremset af hegn, vandløb og søer. I forbindelse med udviklingsarbejdet fortsatte Kurt Sørensen og Verner Søndergaard deres idé-udvekslinger omkring hvad kortlægningsudstyr i grundvandskortlægningen skulle kunne (Sørensen 2005, 2014).

Regeringens '10-punktsprogram' vedtages i 1994

I sit 10-punktsprogram for at beskytte grundvandet understregede regeringen, at den generelle indsats for at beskytte grundvandet skulle opretholdes samtidigt med, at der blev lagt op til en skærpet beskyttelsesindsats i forhold til de vigtigste grundvandsmagasiner.

Et væsentligt element i 10-punktsprogammet var udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser. Den første udpegning på det foreliggende grundlag skulle ske i regionplanen, der skulle træde i kraft i 1997. Viborg Amt havde som det første amt i deres regionplan på eget initiativ i 1991 gennemført en prioriteret udpegning af drikkevandsområder i tre klasser. Kortet skulle opfylde en vigtig mission ved at give et nyt bud på hvor store arealer, der skulle beskyttes, hvis vandværkerne skulle sikres tilstrækkeligt rent grundvand. Senere fulgte Vejle og Fyns amter efter i 1993. Denne udpegning var inspirationen for landsdirektivet for udpegningen i 1997.

Vejledning om udpegning af drikkevandsinteresser, 1995

Vejledningen havde til formål at beskrive de retningslinjer, efter hvilke amternes klassificering af grundvandsressourcen og udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser skulle foregå (Miljøstyrelsen 1995). Vejledningen indgik som en del af den statslige udmelding til regionplanlægning 1997. Danmarks fremtidige vandforsyning skulle bl.a. sikres ved en udpegning af strategiske indvindingsområder på grundlag af en prioritering inden for grundvandsressourcen. Disse blev kaldt 'områder med særlige drikkevandsinteresser'. Udpegningen skulle i 1997 især bruges som grundlag for prioriteringen af oprydningsindsatsen imod forurening fra de kortlagte affaldsdepoter, forurenede industrigrunde, gasværksgrunde og andre jordforureninger. Kortlægningen af disse forureningskilder havde vist sig at være omfattende, samtidig med at oprydningen blev meget kostbar, så derfor var der et stort behov for prioritering af takten i oprydningen. Men flere amter meldte samtidig ud, at områderne også ville blive brugt i administration og øvrige arbejde for at sikre grundvandet. Flere amter og kommuner begyndte nu at lægge vægt på, at grundvandsbeskyttelsen skulle

have en mere central placering i de kommende revisioner af region- og kommuneplaner. Især inden for områder med særlige drikkevandsinteresser.

Miljøstyrelsens projekt om jord og grundvand i 1995

Miljøstyrelsen startede i 1993 en projektpakke om grundvandsforurening, hvis formål var at udvikle prioriteringsværktøjer over for jord- og grundvandsforureninger samt retningslinjer for den overordnede forvaltning af grundvandsressourcerne. Projektpakken indgik i det Strategiske Miljøforsknings Program (SMP1+2) 1992–2004, der havde som overordnet mål at koordinere og forstærke indsatsen inden for dansk miljøforskning. SMP1+2 projektpakken omfattede bidrag fra syv ministerier og blev udført af 12 forskningscentre og havde en bevilling på 700 millioner kr. (Bjørn 2005).

Det var et bærende element i projektpakken om grundvandsforurening SMP1, at resultaterne fra de enkelte projekter skulle være meget anvendelsesorienterede for de lokale og regionale miljømyndigheder. Det var væsentligt for Miljøstyrelsen, at amterne og Danske Vandværkers Forening m.fl. deltog i projektforløbet for at opnå enighed om projekterne og metoderne. De konkrete projekter blev gennemført af sektorforskningsinstitutioner, højere læreanstalter, rådgivende firmaer og frikøbte personer fra amterne. Geolog Jens Morten Hansen var centerleder for Grundvandsgruppen og geolog Johnny Fredericia var sekretær for gruppen (Hansen 1997). SMP1 projektpakken grundvand 1993–96 blev fulgt op af SMP2 grundvand 1996–2000, der handlede om forureningen med pesticider. De i alt 21 projektrapporter blev en vigtig del af det faglige grundlag for det videre arbejde med at beskytte grundvandet.

Århus Universitet, Geofysisk Afdeling og Århus Amt, Natur- og Miljøkontorets Grundvandsafdeling udarbejdede sammen rapporten 'Overvågning af grundvandsressourcen baseret på nye geofysiske målemetoder 1995' (i daglig tale 'rapporten med anden', fordi der på den foreløbige rapports forside var en illustration med bl.a. en and; SMP1/11 1995). Rapporten beskrev hvorledes overvågningen af grundvandet kunne effektiviseres og kvaliteten forbedres gennem en optimal udnyttelse af de kortlægningsresultater, som kan opnås ved at anvende geofysiske måleresultater.

Århus Amt deltog i udarbejdelsen af yderligere tre SMP1 rapporter: Klassificering af grundvandsressourcen (SMP1/6 1995), Zoneopdelt grundvandsbeskyttelse (SMP1/14 1995), Grundvandsbeskyttelse i vandindvindingsområder (SMP1/17 1995).

I 1995 blev Danmarks Geologiske Undersøgelser (DGU) lagt sammen med Grønlands Geologiske Undersøgelser (GGU) og blev til De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS).

Notat om en national grundvandskortlægning, 1996

I 1996 var kortlægningen af indvindingsoplandene i Århus Kommune og omegn nået så vidt, at Århus Amt valgte at sende et notat til Amtsrådsforeningen med en beregning udført af Verner Søndergaard over, hvor meget det ville koste at kortlægge samtlige OSD-områder i Danmark efter samme koncept, som var anvendt i Århusområdet og baseret på et efterhånden solidt erfaringsgrundlag (Heise 1996).

Især havde kortlægningen i Århus Kommune med TEM-målinger vist, at kortlægning med boringer alene, selv med stor tæthed ikke kom i nærheden af at kunne afsløre topografien af den prækvartære overflade med dybe, smalle, begravede dale. Figur 35 viser i øverste højre hjørne resultatet af kortlægning alene baseret på boringer. I hovedfiguren er det samme område vist med et kortlægningsresultat baseret på TEM-målinger, og det er tydeligt, at udbredelsen og forløbet af de begravede dale her er meget anderledes, end vi troede alene baseret på boringsoplysninger. Det var bl.a. denne figur der blev brugt til at vise, at kortlægningen med de nye metoder kunne

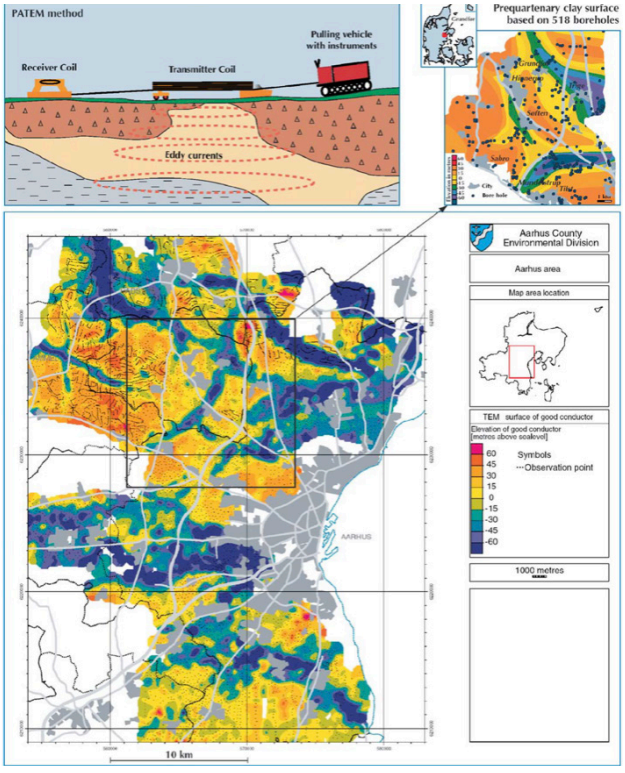


Fig. 35. Kortlægningen med TEM-målinger viser topografien i den tertiære leroverflade (Thomsen *et al.* 2004).

sikre en væsentlig højere sikkerhed i kortlægningen af grundvandsressourcernes beliggenhed (Fig. 35).

Grundvandskortlægning på national skala igangsættes

Drikkevandsudvalgets betænkning udkommer i 1998

Vandmiljøplan II blev vedtaget i 1997 og blev rammen for en storstilet plan for beskyttelsen af grundvandet. Drikkevandsudvalget anbefalede en række initiativer, der skulle være med til at sikre, at vandforsyning også i fremtiden kunne baseres på rent grundvand (Betænkning fra Miljøstyrelsen 1998).

Drikkevandsudvalget anbefalede, at nitratfølsomme indvindingsområder inden for områder med særlige drikkevands interesser skulle kortlægges. Efterfølgende skulle der udarbejdes en indsatsplan, der nærmere beskrev, hvordan nitratudvaskningen kunne reduceres. Ændringer af arealanvendelsen skulle tage udgangspunkt i frivillige aftaler og diverse støtteordninger. Hvis dette ikke var tilstrækkeligt, anbefalede udvalget, at kommunerne og amterne fik mulighed for at pålægge landbruget dyrkningsrestriktioner. Dette kunne ske ved kompensation til landbruget eller om nødvendigt ved at ekspropriere ejendommen. For at indføre en ekstra sikkerhed skulle der gennemføres en følsomhedskortlægning, der dokumenterede, hvor der kunne være behov for at forbyde eller begrænse pesticidanvendelsen. Udvalget anbefalede, at der blev tilvejebragt en hjemmel, der gav mulighed for at påbyde de nødvendige restriktioner i pesticidanvendelsen i særligt følsomme områder.

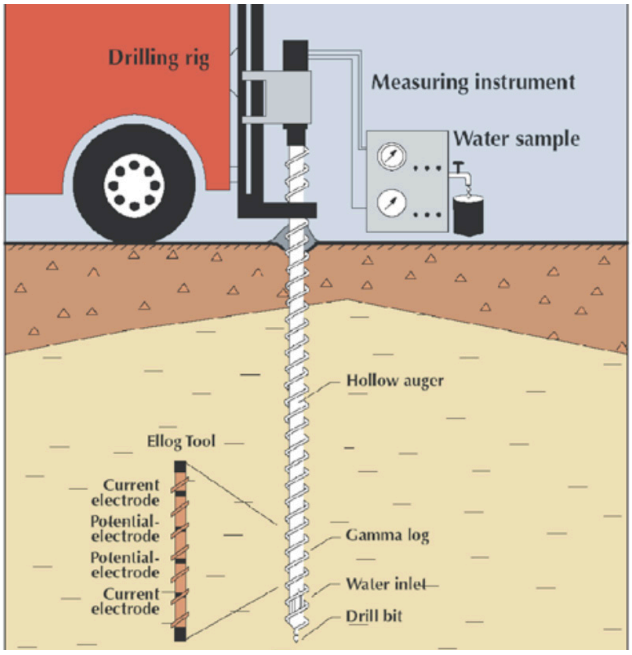


Fig. 36. Princippet i el-log-metoden.

Grundvandsplan 1997

I grundvandsplan 1997 udpegede Århus Amt – indtegnet på kort – områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD), områder med drikkevandsinteresser (OD) og områder uden drikkevandsinteresser. Jfr. landsdirektiv fra Miljøstyrelsen (Århus Amt 1997).

Grundvandsbeskyttelse og kort over lerlagstykkelser fra 1998

Den samlede lerlagstykkelse inden for de øverste ca. 30 m under terræn var én blandt flere parametre, der kunne give et indblik i, i hvilket omfang grundvandet var beskyttet fra naturens side i et givet område. Lerlagstykkelsen vurderes på grundlag af al tilgængelig geofysisk kortlægning og oplysninger fra alle registrerede boringer i det område, som kortlægningsområdet dækkede. Verner Søndergaard og Kurt Sørensen udarbejdede et kort over den samlede tykkelse af lerdæklagene i Århusområdet, da de fladedækkende, geofysiske målinger i slutningen af 90'erne var nået op på at have et tilstrækkeligt arealmæssigt omfang. Den primære idé med kortet var at tilvejebringe et grundlag for på en enkel og tilgængelig måde, at kunne vurdere sårbarheden af et grundvandsmagasin. Samtidig skulle kortets betydning være umiddelbart forståelig, så det også kunne anvendes af ikke-geologer, f.eks. i administrative sammenhænge. Erfaringer i Århus Amt havde underbygget opfattelsen af, at fordi stor tykkelse af lerdæklagene reducerede vandets nedsivningshastighed, ville en række forskellige forurenende stoffer på vej ned mod grundvandet i varierende omfang kunne nå at blive tilbageholdt, eller eventuelt helt eller delvist blive omdannet.

For at støtte tolkningen af bl.a. resultaterne af slæbe-geoelektriske profilmålinger udviklede Kurt Sørensen el-log-metoden. Under nedboringen med dette udstyr blev det muligt at måle elektriske logs af de uforstyrrede jordlag og – ikke mindst – samtidig udtage vandprøver af det uforstyrrede grundvand på vejen ned gennem de forskellige lag i boringen (Thomsen *et al.* 2004; Figs 36, 37).

Figur 37 viser øverst et fladedækkende kort over den elektriske modstand af de terrænnære lag ned til 30 meters dybde målt med slæbe-geoelektrik (PACEP). I områder med blå farve var jordlagene meget lerede (lav elektrisk modstand), og i de rød/gule områder var jordlagene sandede (høj elektrisk modstand). Figur 37 viser nederst i et vertikalt snit resultaterne fra udtagning af niveubestemte vandprøver med el-log-bo-

remetoden langs den viste profillinje på øverste del af figuren. De udtagne vandprøver blev analyseret for nitrat, og nitratindholdet blev anskueliggjort med blå for ingen nitrat og rød for meget nitrat (op til 100 mg/l). Det ses tydeligt, at nitraten har svært ved at trænge igennem de meget lerede jordlag. Modsat har nitraten let ved at komme langt ned i 'sandvinduet'. Profilet nederst på figur 37 viser også, at nitraten kan løbe med grundvandsstrømmen ind under lerlagene. Man kunne således nemt komme til at fejlslutte, at nitraten var kommet ned gennem leret, hvis man blot borede et enkelt hul ned gennem et leret dæklag uden at kende til, at der nærved var et sandvindue, som nitraten var kommet ned igennem og sidenhen med grundvandsstrømningen var nået ind under lerlagene. For at beskytte grundvandet imod forurening er det vigtigt at undgå aktiviteter med risiko for forurening i og omkring de 'sårbare vinduer', hvor der er hurtig nedsivning til grundvandet og filtreringen er mindre effektiv eller helt fraværende. Kortlægningen viste, at det i Århus Kommune først og fremmest var i de begravede dale i det tertiære ler, der var mulighed for at indvinde grundvand, og at 'sandvinduerne' var vigtige for en stor del af grundvandsdannelsen.

Det er store mængder grundvand, indvindingen flytter rundt med i grundvandsmagasinerne, både lodret og vandret. Hvis først forureningen er kommet ned igennem et 'sandvindue', spredes den over et stort område.

Fra grundvandsmagasinerne i Århus Kommune indvindes årligt 19 millioner m³. Hvis vi sætter nedsivningen/grundvandsdannelsen til 100 mm, dannes der 0,1 millioner m³ per km². Det betyder, at indvindingen på 19 millioner m³ trækker vand fra områder, der samlet er på mindst 190 km². Århus Kommunes samlede areal er på 469,56 km². Dannelsen af det grundvand, der danner grundlag for den årlige vandindvinding, foregår derfor på en stor del af de arealer, som udgør Århus Kommune. Der er samtidig store områder, hvor der ikke er grundvandsinteresser, og hvor byaktiviteter udgør en mindre risiko for forurening af grundvandet.

I 1998 var kortlægningen af de beskyttende lerlag i Århus Kommune så langt fremme, at Århus Amt og Kommune sammen kunne offentliggøre et lertykkelseskort for Århus Kommune ved en fælles præsentation på Århus Rådhus den 19. marts 1998 (Fig. 38). Kortet fik en væsentlig indflydelse på den fremtidige byudvikling i Århus Kommune (Figs 38, 39).

I præsentationsmødet deltog amtsborgmester Johannes Flensted Jensen, rådmand Poul B. Skou fra Århus Kommune, afdelingsleder Eigil Pedersen og afdelingsleder Lars Schrøder fra Århus kommunale Vandværker, afdelingsleder Richard Thomsen og geofysiker Verner H. Søndergaard fra Natur og Mil-

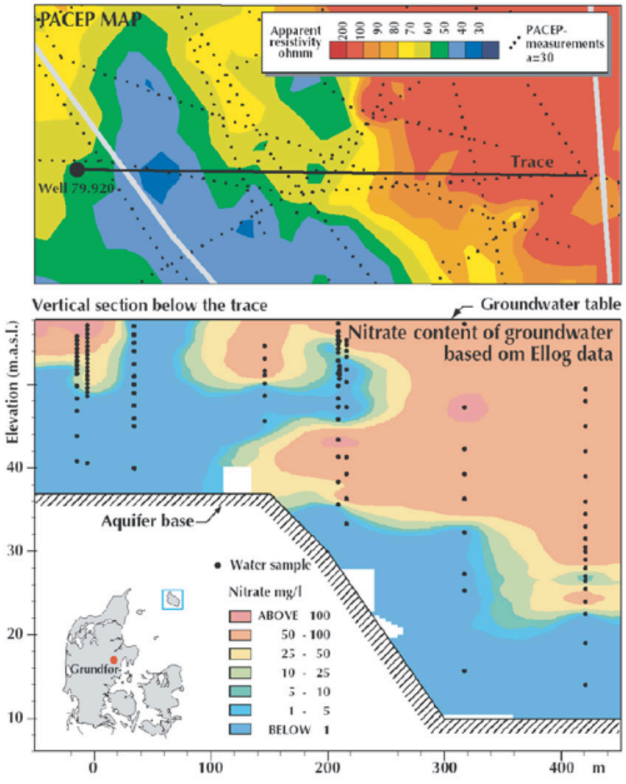


Fig. 37. Øverst: Kortlagt elektrisk modstand i et område. Nederst: El-log-profil langs den sorte linie tværs gennem det kortlagte område.

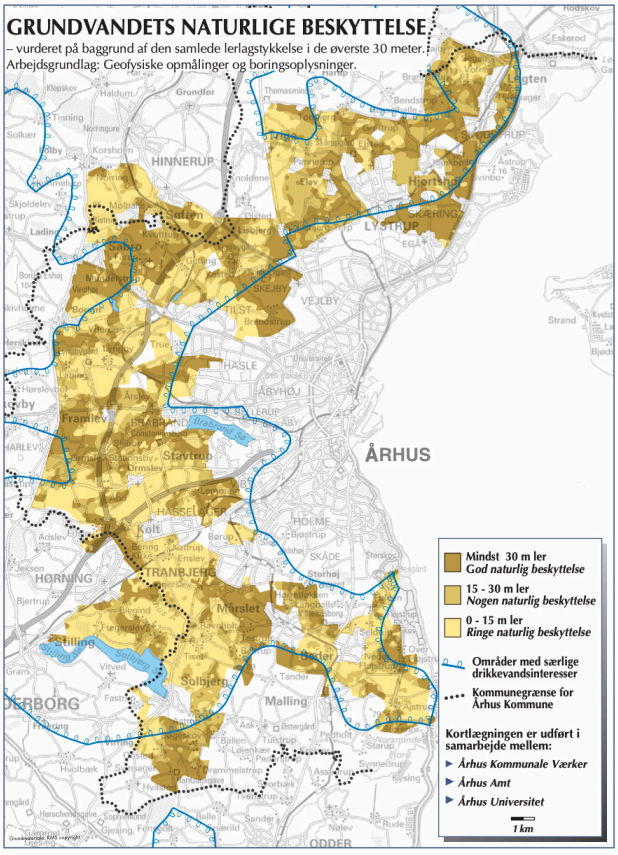


Fig. 38. Kort over lerdæklagenes tykkelse; et element i grundvandets naturlige beskyttelse.

jø, Århus Amt og seniorforsker Kurt Sørensen samt Jan Jørgensen fra Geologisk Institut Århus Universitet.

Århus Amtsråd besluttede ved godkendelse af Regionplaner i 2001 og 2005, at kortet over lertykkelsens naturlige beskyttelse skulle blive styrende for amtets indstilling til al fremtidig byudvikling i Århus Kommune. Byudviklingen skulle ske uden for de sårbare vinduer til grundvandet. I Kommuneplan 2025–2037 fastholder Aarhus Kommune forsat styringen af byudviklingen som led i beskyttelsen af grundvandet.

Vandforsyningslov om beskyttelsen af drikkevandet i 1998

I efteråret 1998 blev Richard Thomsen inviteret af Folketingets Miljøudvalg til at fortælle om visionerne for en national kortlægning af OSD-områder med baggrund i de gode erfaringer fra Århus. Senere fik Richard Thomsen et heldagsbesøg af landbrugets miljøkonsulent Christian Østergaard fra Axelborg, hvilket sikrede, at landbrugets interesseorganisation også bakkede op om vandforsyningslovens nye krav om grundvandskortlægningen – en ikke helt uvæsentlig detalje!

Drikkevandsudvalgets anbefalinger blev udmøntet i konkret lovgivning. Den 4. december 1998 fremsatte Folketinget et lovforslag til 'Ændring af lov om vandforsyning mv.'. Amterne fik i henhold til vandforsyningsloven pligt til at foretage en detaljeret kortlægning af Områder med Særlige Drikkevandsinteresser (OSD-områder) og indvindingsoplande udenfor disse svarende til 37 % af landets areal, herunder også udpegning af forureningsfølsomme områder. På baggrund af kortlægningen skulle der udarbejdes indsatsplaner for drikkevandsbeskyttelsen. I lovbemærkningerne vurderedes det, at kortlægningen vil forløbe over en 10-årig periode med en anslået udgift til kortlægningen på 54.000 kr./km^2.

Den socialdemokratiske miljøminister Svend Auken præsenterede lovforslaget på regeringens vegne. På side 12 i ministeriets bemærkninger til lovforslaget nævnes, at: "*Konceptet for kortlægningen er opbygget ud fra erfaringer fra Århus Amt, som allerede har gennemført kortlægning af væsentlige dele af amtets områder med særlige drikkevandsinteresser*". Svend Auken havde ganske godt kendskab til, hvad der foregik i Århus. Loven, fremlagt af Svend Auken, blev vedtaget med 95 stemmer for og 16 imod ud af 111 fremmødte folketingsmedlemmer.

Lov for gebyrfinansering grundvandskortlægning vedtages i 1999

Århus Amt indsendte den 24. februar 1998 sine bemærkninger til Amtsrådsforeningen, vedrørende lovforslag om 'Beskyttelse af drikkevandsressourcer og vandforsyning'. Heri nævnes bl.a., at kortlægningen af hele landets grundvandsressourcer i henhold beregninger, baseret på flere års erfaringer fra Århus Amt, ville beløbe sig til ca. 855 millioner kr. (1996-priser). Udgangspunktet var en pris på ca. 55.000 kr./km^2, som var nærmere specificeret i et tidligere brev og notat fra Århus Amt til Amtsrådsforeningen i 1996.

Finansieringen af kortlægningen blev forhandlet mellem Miljøministeriet og Finansministeriet. Finansministeriet meldte ud, at de ville indstille, at der over finansloven skulle afsættes 500 millioner til opgaven. Richard Thomsen blev ved et møde mellem amterne og Miljøstyrelsen i Odense i kaffepausen orienteret af Christian Armmitsøe fra Miljøstyrelsen om dette udspil. På dette grundlag lavede Richard Thomsen på en papirlap et overslag over, at hvis man i stedet lavede en kobling mellem udgiften til kortlægningen og tilladelserne til vandindvinding ville man kunne finansiere kortlægningen med et gebyr på kun 14 øre per m^3 tilladt vandindvinding over en tiårig periode. Dette overslag tog Miljøstyrelsen med i forhandlingen med Finansministeriet, og slutresultatet blev, at lov for gebyrfinansiering blev vedtaget (Lov om Gebyr 1999), hvorved amterne fik hjemmel til at opkræve et gebyr til at dække omkostningerne ved grundvandskortlægningen. Gebyrets størrelse defineres ikke i loven, men kunne variere afhængig af udgifternes konkrete størrelse i de forskellige egne af landet. Århus Amt fastsatte i 1999 et gebyr på 14 øre/per m^3, som en a conto-betaling fra dem, der havde tilladelse til at indvinde vand – dvs. først og fremmest vandværkerne – for de første 5 år.

Gebyret kunne reguleres årligt. Til gengæld skulle amterne årligt redegøre for anvendelsen af gebyret til kortlægningen for at sikre, at man ikke blev fristet til at lade gebyret indgå i betalingen for amternes øvrige opgaver. Århus Amt udgav således årsrapporter i hvert af årene fra 2002 til 2006, hvori man beskrev status for kortlægningen og for udgifterne til kortlægningen (Århus Amt Årsrapporter 2002–2006).



Fig. 39. Amtsborgmester J. Flensted Jensen ydede en stor indsats sammen med amtsrådet for at beskytte grundvandet - valgplakat 1993 (Grafik Peter Lindström fxa.dk)

Koordinering af de nye vandressourceopgaver

Med den nye lov om vandforsyning i 1998 fik amterne mange nye opgaver på grundvandsområdet. Der var i amterne et klart ønske om at sikre, at opgaverne blev løst koordineret, økonomisk og administrativt med stor faglig kvalitet i arbejdet. Amternes tekniske direktører oprettede derfor på et møde den 27. maj 1999 en ERFA-gruppe sammensat af amtslige grundvandsledere (Thomsen & Jensen 2002). Formanden for ERFA-gruppen var medlem af Amtsrådsforeningens Vandpanel. Miljøstyrelsen, GEUS og Amternes Videncenter for Jordforurening deltog i gruppens møder og kunne deltage i arbejdet i de faglige undergrupper. I en lang periode var Niels Bull, Københavns Amt, formand. ERFA-gruppen oprettede en række faglige undergrupper.

Geofysik-undergruppen og geofysiksamarbejdet
Kurt Sørensen, Geofysik Afdeling forslog i et notat i 1999 oprettelsen af et 'Geofysisk Videncenter' på Geologisk Institut, Århus Universitet i relation til den forestående kortlægning af grundvandsressourcerne. Notatet var blevet til på baggrund af nogle fælles overvejelser om det nødvendige i at sikre højest mulig kvalitet af den omfattende geofysik, der kunne forventes at ville blive benyttet i forbindelse med den landsdækkende grundvandskortlægning (Sørensen 1999). Der var bred enighed om, at amternes og rådgivernes fagfolk med ganske forskellige specialistbaggrunde var nødt til at have et forskningscenter til at sikre, at de målinger og tolkninger, der skulle udføres, kunne leve op til en høj internationalt anerkendt standard og kunne tåle at blive gjort til genstand for kontrol af eksempelvis et internationalt panel bestående af videnskabsfolk og specialister. Til yderligere kvalitetssikring af specifikt TEM-målinger på jorden og i luften foranstaltede Kurt Sørensen etablering af en testlokalitet nord for Aarhus.

Geofysikundergruppen bestod af repræsentanter fra de involverede amter, Geofysisk Afdeling og GEUS som faglig bisidder. Formanden for styregruppen var fra start afdelingsleder Richard Thomsen i årene fra 1999 til 2009. Forretningsudvalget bestod af formanden, afdelingsleder Jes Pedersen, Vejle amt, Ejner Nielsen, Storstrøms amt og Kurt Sørensen, Geofysisk afdeling.

I tilknytning til GeoFysikSamarbejdet (GFS) oprettede Geofysisk Afdeling, Geologisk Institut, Århus Universitet, Hydro-Geofysik-Gruppen (HGG) der under ledelse af geofysiker Esben Auken udviklede et meget avanceret system af programpakker til bearbejdning og tolkning af elektriske og elektromagnetiske data (WORKBENCH; https://hgg.au.dk/). Sammen med rådgiverne og GEUS udviklede HGG standarder for indlæsning af måledata og tolkede data fra elektriske og elektromagnetiske målinger til lagring i en national database, GERDA ved GEUS. Navn og grund-design til denne geofysikdatabase leverede geofysiker Christian Sodemann. Statsgeolog Jørgen Tulstrup sørgede for gennemførelsen af det nødvendige arbejde med at videreudvikle GERDA-databasen i takt med, at mængden og typen af geofysisk data voksede i godt samarbejde med Hydro-Geofysik-Gruppen. De vedtagne datastandarder sikrede, at GERDA-databasen kunne spille sammen med Workbench programpakkerne.

Aarhus Universitet udarbejdede også standarder for måling, tolkning og lagring af seismiske data i GERDA-databasen. Slæbeseismik blev i 00'erne udviklet til at være økonomisk effektivt og af høj kvalitet og blev i stort omfang brugt til at kortlægge dybtliggende grundvandsmagasiner, bl.a. i Vestjylland, hvor Erik Skovbjerg Rasmussen, GEUS i 2008 fik til opgave at sammentolke mere end 100 meget dybe højkvalitets undersøgelses-boringer med kilometervis af slæbeseismik til kortlægningen af det Miocæne grundvandsmagasin (Rasmussen *et al.* 2010). Kortlægningen var en opfølgning af de jyske amters kortlægning af Ribe Formationen (Friborg & Thomsen 1999).

Gebyr-undergruppen
Formålet med nedsættelse af undergruppen var at følge de administrative opgaver, der var forbundet med den gebyrfinansierede indsats efter vandforsyningsloven. Gebyr-gruppen bestod af repræsentanter fra Ribe, Københavns, Nordjyllands, Roskilde, Storstrøms, Vestsjællands og Viborg amter. Formand var Willy Høj Jensen, Ribe Amt og fra nov. 2002 af Jørgen Krarup, Nordjyllands Amt.

Model-undergruppen
Et af formålene med undergruppen var at skabe et kontaktnet for de medarbejdere i amterne, der til daglig arbejdede med grundvandsmodeller. Amterne indledte i 2000 et samarbejde med GEUS, DTU og DHI om udarbejdelse af en ståbi i grundvandsmodellering med kurser. GEUS udviklede modeldatabasen for hydrologiske grundvandsmodeller. Alle amter deltog i modelarbejdsgruppen. Desuden var GEUS og Amternes Videnscenter for jordforurening repræsenteret. Morten Sørensen, Fyns Amt, varetog formandskabet for undergruppen.

Kemi-undergruppen
Undergruppens formål var bl.a. at medvirke til en faglig oprustning af amterne, til bedre brug af geokemiske data, kvalitetssikring i samarbejde med laboratorierne, samarbejde med DTU, GEUS og universiteterne, der desuden stod for efteruddannelse. Undergruppen udarbejdede Kemikogebogen.

Kemi-undergruppen bestod af en repræsentant

fra samtlige amter. Formand for undergruppen var Hans Peter Birk Hansen, Bornholms Amt.

Indsats-undergruppen
Undergruppens formål var at sikre erfaringsudveksling mellem amterne i forbindelse med udarbejdelse af indsatsplaner efter vandforsyningslovens bestemmelser. Undergruppen med alle amter repræsenteret blev oprettet primo 2001. Formand for indsats-gruppen var Jan Reisz, Århus Amt.

Zoneringsvejledning 2000

Vejledningen skulle sikre, at udpegningen at følsomme indvindingsområder skulle ske på et solidt fagligt og ensartet grundlag og efter ensartede kriterier i hele landet. Den detaljerede kortlægning af grundvandsressourcen og dens beskyttelse skulle ske med egnede metoder, så resultaterne kunne skabe det bedst mulige faglige grundlag for den fremtidige planlægning af grundvandsbeskyttelsen (Miljøstyrelsen 2000).

Regionplan 2001 og begrænsning af byvækst

I regionplan 2001 forhandlede Århus Amt og Århus Kommune sig frem til, at lertykkelseskortet skulle indgå i regionplanen ved udlægning af byvækst-områder, fordi forureningen under byerne havde ført til lukning af mange boringer. Derfor skulle byvækst ske udenfor de sårbare grundvandsområder (Århus Amts Regionplan 2001).

De gule områder på Fig. 40 viser de områder i den gældende kommuneplan, der skulle friholdes for fremtidig byvækst, ca. 1200 ha. De lyserøde områder, ca. 2000 ha, viser de områder, der blev udpeget til erstatning (Fig. 40). I Regionplan 2005 blev den nye udpegning af sårbare grundvandsmagasiner fastholdt og siden har Aarhus Kommune i stort omfang fulgt regionplanen fra 2005 og friholdt de sårbare områder for ny byvækst. Det gælder også i kommuneplan for Aarhus Kommune 2025–2037.

Grundvandsbeskyttelse i Århus Kommune i 2002

I 1999 vedtog Århus Kommune en overordnet beskyttelsesplan for grundvandet i Århus Kommune. Formålet med beskyttelsesplanen for grundvandet var at beskrive behovet og muligheden for sikring af grundvandet, og dermed drikkevandsforsyningen i Århus Kommune på lang sigt, samt at prioritere indsatsen. Beskyttelsesplanen for Århus Kommune skulle fra 2003 og frem suppleres med udarbejdelse og godkendelse af de amtskommunale indsatsplaner for grundvandsbeskyttelse inden for de områder, der i Regionplan 2001 var udpeget som områder med særlige drikkevandsinteresser. I Århus Kommunes rapporter 'Overordnede Beskyttelseplan for Grundvandet, 1999' og 'Vandforsynings investeringsoversigt 2001-2012', blev omtalt, at fire kommunale værker skulle nedlægges: Lyseng-, Holme- Viby- og Brabrand værkerne i 2001–2004. Alle vandværkerne lå i byområder. Disse vandværker kunne indvinde 3,5 millioner m^3/år, svarende til vandforbruget i husholdningen for 70.000 borgere. Lukningen skyldtes først og fremmest, at flere af boringerne ved vandværkerne havde vandkvalitetsproblemer. Med lukningen af de ovennævnte fire vandværker og ibrugtagningen af nye kildepladser havde Århus Kommunale Værker udnyttet samtlige de vandressourcer, der var til rådighed i kommunen. Ressourcerne dækkede Århus Kommunes forbrug i 2002, men hvis Århus skulle sikre vand til en fortsat befolkningsvækst, var der ikke råderum til yderligere at lukke boringer og vandværker på grund af forurening.

Lukning af de fire nævnte vandværker betød, at der ville blive behov for at udlægge nye beskyttelsesområder omfattende et areal på mindst 35 km^2. Beskyttelsesområderne ville strække sig langt ind i

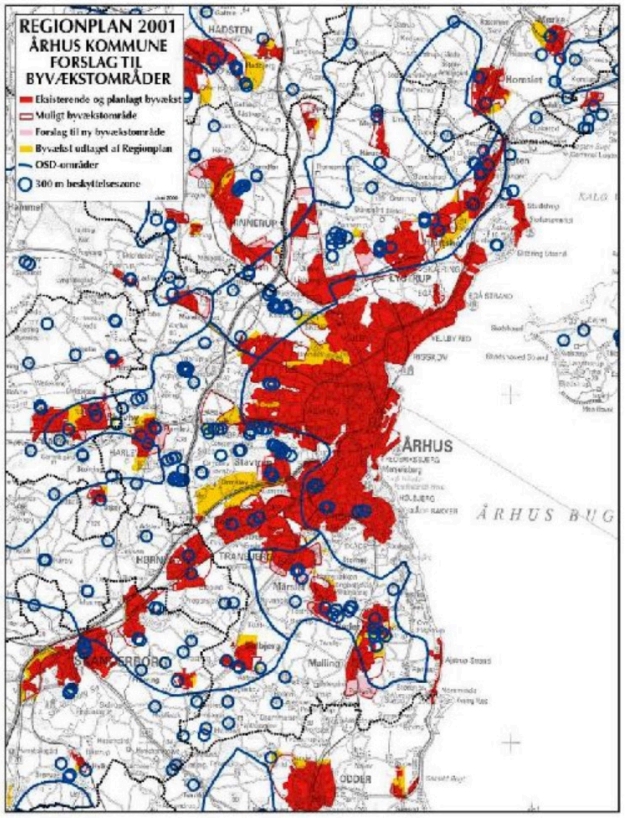


Fig. 40. Regionplan 2001 regulerer byvækst områder i forhold til grundvandsbeskyttelse.

nabokommunerne. I disse nye områder skulle gennemføres indsatsplaner for beskyttelse af grundvandet. Igennem de sidste 20 år havde Århus Kommunale Værker overtaget vandforsyningen fra 28 private vandværker, hvoraf de fleste var lukket på grund af problemer med vandkvaliteten. Disse vandværker havde tilsammen tilladelse til indvinding af i alt 1,7 millioner m^3 per år. På grund af vandbesparelser havde det været muligt at overtage disse vandværkers forsyningsforpligtelser, uden at der på kort sigt opstod vandforsyningsproblemer.

Bliver der kortlagt for store arealer?

I 2002 stillede Bjarne Madsen og Olav Hansen, Water Vision a/s i VANDteknik spørgsmål ved, om amternes indsatskortlægning af områder med særlige drikkevandsinteresser var den rigtige vej til at sikre beskyttelsen af grundvandet i vandværkernes indvindingsområder (Madsen & Hansen 2002). Den vedtagne indsatskortlægning omfattede 37 % af Danmarks areal med et index-fremskrevet budget på ca. 1 milliard kr. over en ti-års periode. Bjarne Madsen og Olav Hansen syntes, at det var vigtigt, at man for at spare tid begrænsede kortlægningen alene til de enkelte vandværkernes indvindingsoplande, som i så fald efter deres skøn kun ville udgøre 4 % af Danmarks areal. De mente, at indvindingsoplandene kunne bestemmes tilstrækkeligt ud fra kendt viden og erfaring. Samtidig havde de erfaret, at en del vandværker ikke syntes, at de var ordentlig informeret om, hvad formålet med indsatskortlægningen gik ud på.

I det efterfølgende nummer af VANDteknik gav Richard Thomsen en gennemgang af formålet med amternes indsatskortlægning (Thomsen 2002). Richard Thomsen understregede samtidig, at amterne var enige om, at løsning af opgaven med at sikre rent grundvand, var en opgave der skulle løses i samarbejde med vandværkerne. I alle amter var der blevet etableret koordinationsfora med repræsentanter fra alle interesseorganisationer, der ville blive berørt af indsatskortlægningen. De skulle stå for den overordnede koordinering, og i kommunerne blev der sammen med vandværksforeningerne oprettet kontaktudvalg, der omfattede alle vandværker. Men amterne skulle selvfølgelig hele tiden arbejde med at blive bedre til at informere. Richard Thomsen konkluderede i artiklen at "Det kan vi gøre meget bedre sammen" (Thomsen 2002). Konklusionen blev i artiklen fulgt op med billedet af en gammel plakat fra anden verdenskrig med Winston Churchill med teksten "LET US GO FORWARD TOGETHER". Grundvandsafdelingens grafikker Inge Østergård syntes, at dette budskab bedre kunne formidles med en figur (Fig. 41).

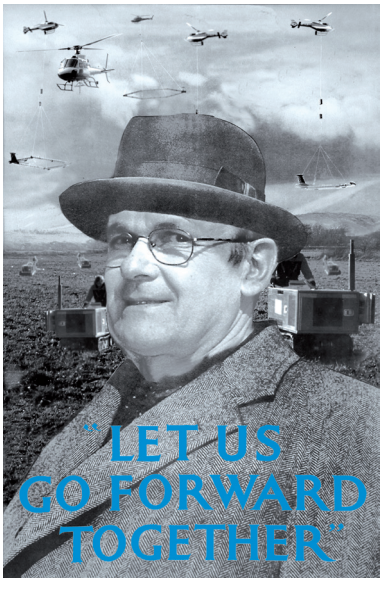


Fig. 41. Richard Thomsen 2004, grafik Inge Østergaard.

Grundvandskortlægning i Århus Amt ved udgangen af 2006

Ved udgangen af 2006, da amterne blev nedlagt, var der kortlagt 1400 km^2 af Århus Amt. Udbredelsen af de dybe, begravede dale – og dermed potentielt vigtige grundvandsmagasiner – fremgår tydeligt af det viste kort over koten for den gode elektriske leder (her blå/grønlige farver) baseret på TEM-målinfer (Fig. 42). I 2006 omfattede det kortlagte område det største sammenhængende område nationalt og internationalt, der var detaljeret kortlagt med de i Danmark anvendte forskellige udgaver af TEM-målemetoder. I den forbindelse skal særligt SkyTEM-systemet fremhæves – den luftbårne udgave af et TEM-måleudstyr – som Kurt Sørensen sammen med Jan Jørgensen og et fantastisk team af forskere og teknikere på Århus Universitet havde nyudviklet, produceret og testet klar til aktion i felten i slutningen af 2002. Dette skabte en revolution såvel i Danmark som internationalt og satte yderligere turbo på grundvandskortlægningen fra 2003 og fremefter.

Århus Universitet havde i det hele taget spillet en helt afgørende rolle i forbindelse med nyudviklingen og videreudviklingen af de mange geofysiske målemetoder, af tilhørende udstyr og tolkningssoftware, som var afgørende for gennemførelsen af den omfattende, fladedækkende kortlægning af vore vigtigste grundvandsmagasiner.

Den nordlige del af Århus Amt bestod af højt liggende kalkundergrund med overliggende sandlag, jfr. fig 17. TEM-metoden var ikke velegnet til kortlægning af den kombination af geologi. I den del af Århus Amt findes grundvandet i sandlagene over kalken, og i den øverste del af kalken, der er knust af gletsjerne i istiden.

TEM-målingerne gjorde det muligt at kortlægge

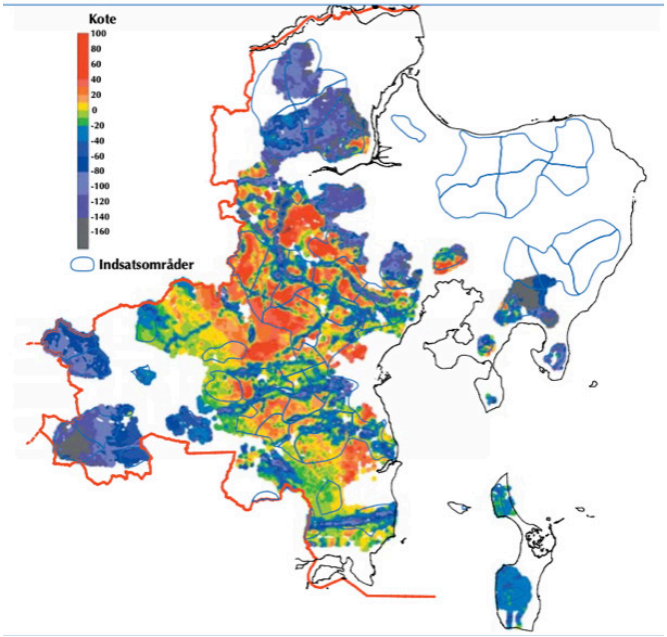


Fig. 42. Kortlægning af grundvandsmagasinerne i det tertiæreler 2006.

bunden og siderne af grundvandsmagasinerne i store del af Århus Amt med uhørt stor detaljeringsgrad (Fig. 42). De dybe dale blev yderligere dokumenteret med et antal velplacerede undersøgelses-boringer. Det blev nu muligt, ikke mindst på baggrund af de omfattende TEM-målinger, at opstille 3D-hydrologiske strømningsmodeller med høj opløselighed, der mere præcist kunne redegøre for strømningen i grundvandsmagasiner – herunder konsekvenserne for forurening og indvinding. Godt hjulpet på vej af nutidens computere med enorm regnekapacitet.

Direktør Erik Frederiksens drøm fra 1937 om kortlægning af grundvandet i dybe render i Århus og omegn var endeligt blevet opfyldt.

Som en del af den nationale grundvandskortlægning fra 1999 til 2015 gennemførte Sandersen og Jørgensen en landsdækkende geologisk tolkning og beskrivelse



Fig. 43. Oversigtskort med angivelse af Århus- Nord- og Hadsten-området. Frijsenborg-Foldby-plateauet er angivet med rød signatur.(Søndergaard 2006).

af de begravede dale i 3D baseret på den omfattende landsdækkende grundvandskortlægning (Sandersen & Jørgensen 2017).

TEM-kortlægningen betød, at det også blev muligt at kortlægge dalene under hedesletterne vest for Lille-åen og Granslev Å, hvor DC-målingerne tidligere var kommet til kort. Hedesletterne er vist på figur 43 med rødt.

TEM-målinger for samme område viser, at det højtliggende tertiære plateau er afgrænset af relativt brede og markante begravede dale (Fig. 44). Lagene under hedesletterne er gennemskåret af dybe smalle begravede dale, der afvander området på kryds og tværs. Internt på plateauet ses en langsgående smal begravet dal med nogle mindre sidedale og en tværgående nord–syd dal. TEM-målingerne i den vestligste del af kortet blev udført af Viborg Amt (Søndergaard 2006). På kortet ses koten for den gode leder (<15 ohm) baseret på TEM-målinger. Med sort streg er der afgrænset et høj-modstands område, som indikerer højtliggende tertiært ler (Fig. 44).

I 2002 indgik de jysk-fynske amter en samarbejdsaftale med Aarhus Universitet, Geologisk Institut om kortlægning af de øvre grundvandsførende sedimenter. Aftalen blev indgået med lektor Christian Kronborg med titlen SESAM projektet.

Amterne havde et ønske om at kunne identificere de enkelte formationer, så korrelationen mellem boringerne kunne styrkes, og kortlægningen af grundvandsmagasinerne kunne gøres mere sikker. Desuden ønskede amterne at styrke deres viden om de enkelte formationers egenskaber set i relation til grundvandsbeskyttelse. Geologisk Institut ønskede at styrke den glacialgeologiske forskning, så der kunne etableres et bedre kendskab til de enkelte sedimentenheders sammensætning og egenskaber og herigennem at opnå en betydelig større indsigt i den kvartære lagseries dannelse. Derved kunne man

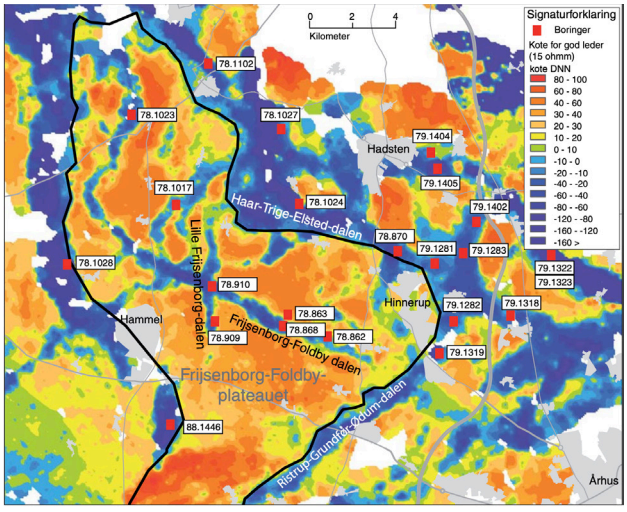


Fig. 44. Dalsystemerne under hedesletterne (Søndergaard 2006).

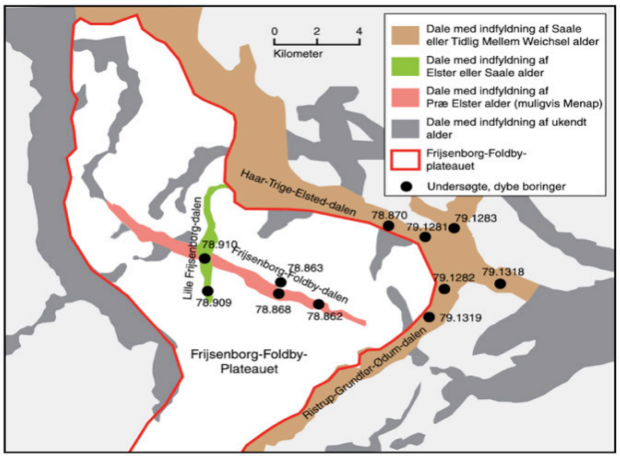


Fig. 45. Oversigt over de begravede dale og det undersøgte Frijsenborg-Foldby-plateau i Århus Nord og ved Hadsten (Grafik: Jette Sørensen).

samtidig få en bedre forståelse af de involverede processer og sedimenternes oprindelse. Projektet benyttede i stort omfang fingrustællinger fra de nye boringer. Tællinger og analyser blev i stort omfang udført af geolog Jette Sørensen.

De forskellige aldre på dalenes fyld fra de sidste istider blev bestemt ud fra fingrustællinger (Fig. 45; Sørensen *et al.* 2006). Fyldet fra de forskellige glaciationer understøttede den geologiske tolkning af området. Projektet blev ikke videreført efter amternes nedlæggelse. Det kunne have været spændende at undersøge, hvor stor indflydelse indfyldningerne har på grundvandsbeskyttelsen, vandindvindingsmulighederne og vandkvaliteten.

Synkronmålinger for området vest for Lille-åen og Granslev Å viser, at hedesletten drænes til Lille-åen og Granslev Å (Fig. 46). Men målingerne viser samtidig, at strømningen i undergrunden ikke alle steder

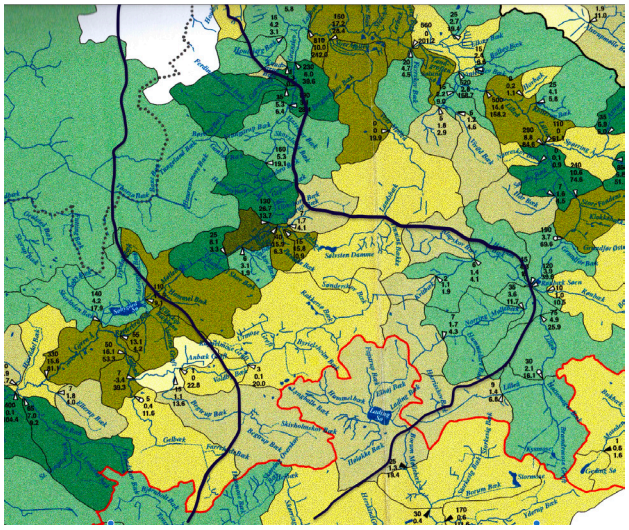


Fig. 46. Det undersøgte Frijsenborg-Fodby-plateau er vist på kortet med synkronmålinger fra figur 22.

følger vandløbene i de synlige dale. Det er stadigvæk en udfordring af knytte 3D-geologien sammen med hvor grundvandet strømmer ud i vandløbene.

Regionplan i 2005

I 2005 blev der vedtaget en ny regionplan (Århus Amts Regionplan 2005). Med regionplanen blev der vedtaget en justering for kortlægning og indsatsplanlægning. Regionplanen gjaldt også efter kommunalreformen, hvor den blev ophævet til landsplandirektiv 2007. Prioriteringen af indsatsområderne var foretaget på baggrund af en samlet vurdering af følgende forhold: Indvindingsinteresser, sårbarhed, grundvandskvalitet, arealanvendelse og punktforurening (Fig. 47).

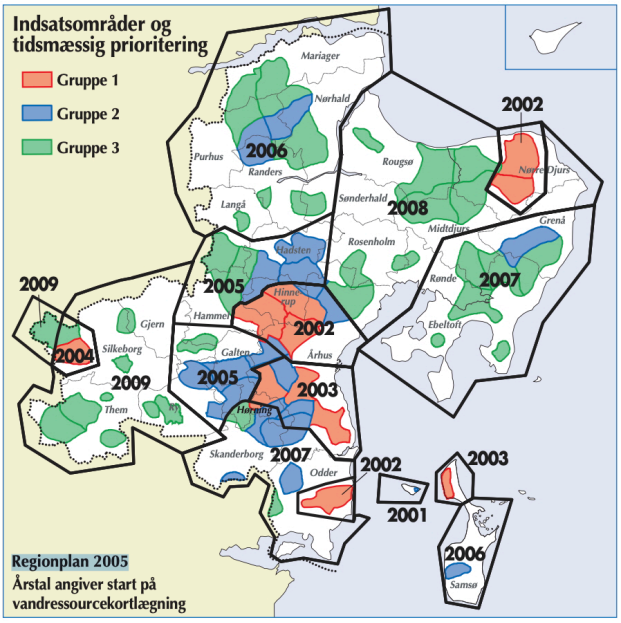


Fig. 47. Prioritering af grundvandskortlægning og indsatsplaner 2005.

Den nye kommunalreform 2007

Fra den 1. januar 2007 var amterne i Danmark en saga blot, og Århus Amts geologiske kortlægning stoppede. Amternes miljøopgaver blev fordelt på de nye kommuner, de nye regioner og på nyoprettede statslige miljøcentre. Administrationen af vandindvindingen og kontrollen overgik til kommunerne. Den regionale vinkel på planlægning og administrationen af vandressourcer forsvandt helt. Det faglige grundlag for indsatsplaner i Århus Kommune blev afleveret af Århus Amt inden amtet lukkede med udgangen af 2006. Det faglige grundlag for at vedtage og implementere indsatsplanerne i Århus kommune var dermed til stede.

Implementeringen af indsatsplanerne i Aarhus Kommune er kun i begrænset omfang her i 2026 gennemført. Den politiske vilje hos kommunalbestyrelserne og skiftende regeringer har ikke været tilstrækkelig til at få gennemført de nødvendige påbud på trods af, at der er lovhjemmel til det. I 2026 går snakken om, at fremtidens grundvandsbeskyttelse kan ske ved etablering af grundvandsparker. Imens bliver stadig flere boringer konstateret forurenede i Aarhus Kommune. I 2026 er der målt forurening i halvdelen af alle drikkevandsboringer. Ved blanding af råvandet fra boringerne er det dog stadig muligt for vandværkerne i Aarhus Kommune at levere drikkevand, der opfylder de officielle kvalitetskrav.

Rent grundvand i dag og fremtiden

Miljøstyrelsens godkendelsesordning og regulering af kemikalier og sprøjtemidler har vist sig at være for utilstrækkelig til at sikre rent grundvand. Ordningen var baseret på en forventning om, at naturen kan omsætte og nedbryde de kemikalier, der tilføres på jordoverfladen. Godkendelsesordningen har ikke kunnet sikre imod en omfattende forurening af grundvandet frem til i dag og vil, uanset justeringer, næppe i fremtiden sikre rent grundvand. Der er lukket rigtig mange boringer både i byerne og på landet og flere vil komme til. Den omfattende forurening af boringer, der i dag kan registreres, viser samtidig, at der ikke er forskel på forureningenspåvirkningen i by og på landbrugsjord. Jorden kan ikke rense og nedbryde for alle de nye typer af kemiske stoffer, der spredes ud på jorden i landbruget og byerne. Med beskyttelseszoner vil det være muligt at sikre, at der siver nyt og rent grundvand til grundvandsmagasinerne. Uden effektive beskyttelseszoner nu vil grundvandet over alt i løbet af få årtier være så forurenet, at det skal renses. Rent drikkevand har en pris – beskyttelseszoner skal være en lige så naturlig del af drikkevandsforsyningen som boringer, vandværk, rør og pumper. I det følgende nævnes nogle indsatser, som har båret frugt og som viser, at det nytter noget at gøre noget konkret, der bygger på veldokumenteret viden.

Reguleringen af vandindvindingen i 1993 blev en succes

Reguleringen af vandindvindingen på baggrund af modelberegningerne ved Aarhus Vands kildepladser i 1993 har vist sig som en succes – grundvandsspejlet steg igen og blev fornuftigt retableret og udviklingen i vandkvaliteten blev stabiliseret (Fig. 48). Vandbalancen kan bære den nødvendige vandindvinding til vandforsyning og samtidig sikre en afbalanceret påvirkning af vandløb. I Giber Å bliver afstrømningen suppleret med vand fra regnvandsbassiner og i særlige kritiske perioder med grundvand.

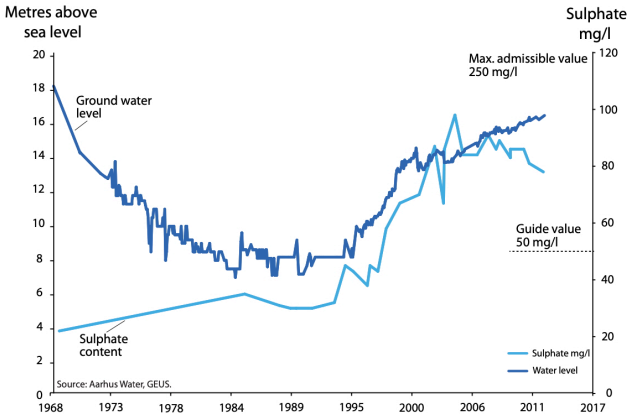


Fig. 48. Udviklingen i grundvandsspejlet og sulfatindholdet i grundvandet 2012.

Beskyttelseszoner på Tunø i 1986 blev en succes

I 1986 blev der ved Tunø vandværk udlagt beskyttelseszoner for at beskytte drikkevandsforsyningen mod forurening med nitrat (Thomsen 1990). Behovet for beskyttelseszoner var opstået, fordi en intensiv dykning af grønsager i indvindingsoplandet til Tunø vandværk helt havde opbrugt jordlagenes naturlige jernindhold til at binde nitrat. Det var derfor helt nødvendigt, at der ikke måtte udvaskes nitrat fra dyrkningslaget i vandværkets indvindingsområde, hvis vandværket fortsat skulle kunne levere rent drikkevand til øens beboere. Amtet undersøgte, om det var muligt at flytte indvindingen til et andet område på øen. Det var ikke muligt at finde et erstatningsområde med tilstrækkeligt grundvand til vandforsyning. Amtet undersøgte hvilke alternative muligheder der var for at kunne forsyne øens beboere (Fig. 49).

Den billigste løsning for sikring af rent drikkevand var etablering af beskyttelseszoner. Odder Kommune opkøbte jorden i den indre beskyttelseszone til vandværkets boringer, og gartneren fik erstatningsjord, der lå nedstrøms for vandværkets indvindingsopland. Landbruget fastholdt, at det var muligt at begrænse udvaskningen af nitrat fra de dyrkede arealer med markstyring i den ydre beskyttelseszone. Amtet valgte derfor at etablere et omfattende overvågningssystem, der kunne følge udvaskningen fra den dyrke-

Løsningsmodel	Etablering	Løbende omkostninger
Beskyttelseszoner og Effektmålinger	200.000 kr 400.000 kr	ca. 2.000 kr. 80.000 kr.
Rensning af vandet.	1,5-2 mio.kr.	ca. 200.000 kr.
Import af vand i tankvogn	65.000 kr.	ca. 265.000 kr.
Import af vand rørledning	3,6 mio. kr.	ca. 400.000 kr.

Fig. 49. Beskyttelseszoner var langt den billigste metode til varig fremtidssikring af rent grundvand.

de rodzone hele vejen ned til de vandførende lag, som vandværket indvandt fra i begge beskyttelseszoner.

Til kontrol af vandkvaliteten af udsivningen fra rodzonen blev etableret seks jordvandsstationer med sugeceller i såvel den indre som den ydre beskyttelseszone. Sugecellerne kunne med vakuum tage vandprøver fra umættet jord. Hver jordvandsstation opsamlede vand fra 12 forskellige sugeceller. Hver af de seks jordvandsstationer blev bygget op over tre 24 m lange grøfter med ca. 45 graders vinkel imellem. Mængden af grundvand, der dannes i området blev målt ved opsamling af vand i to lysimetre i hver af de to beskyttelseszoner. Lysimetrene havde en overflade på 1,33 m^2 og var placeret ca. 1,25 m under jordoverfladen. De kunne tømmes med en pumpe. Koncentrationen af nitrat kunne sammenholdes med den nedsivende mængde nyt grundvand. Til kontrol af grundvandets kvalitet på vej fra rodzonen og ned til de vandførende lag blev der i to jordstationsfelter etableret to boringer med filtre i flere niveauer i grundvandsmagasinet.

Sugecellerne viste, at det nye grundvand, der forlod rodzonen efter et år, kunne overholde drikkevandskvalitetskravene under de ny-udlagte græsområder i den indre beskyttelseszone. Sugecellerne viste samtidig efter to år, at landbrugets markstyring var helt utilstrækkelig til at beskytte grundvandet imod nitratudvaskning i den ydre beskyttelseszone. Derfor accepterede landbrugets nationale rådgivning i Skejby efter de to år, at de dyrkede arealer inden for oplandet i den ydre beskyttelseszone også skulle omlægges til græs eller braklægges.

Den omfattende overvågning med avanceret måleudstyr var helt afgørende for, at der kunne blive enighed om det nødvendige omfang af beskyttelseszoner (Thorling & Thomsen 1999). Beslutningerne kunne således baseres på faktuelle målinger og ikke kun på teoretiske overvejelser med mangelfuld dokumentation. Den systematiske overvågning og prøvetagning stoppede desværre ved amternes nedlæggelse 2006.

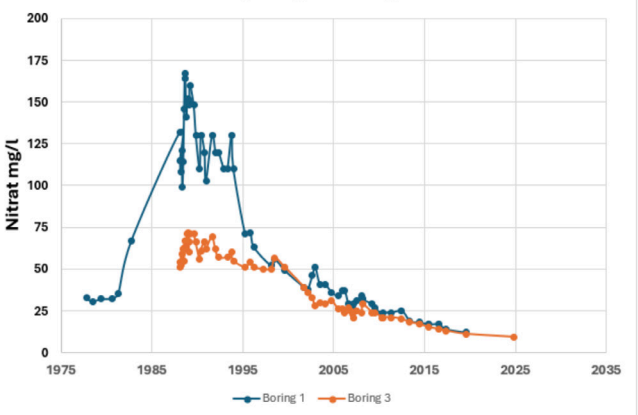


Fig. 50. Nitratudviklingen på Tunø. Drikkevandskvaliteten er opfyldt omkring år 2000. Grafik: Lærke Thorling.

Efter etableringen af beskyttelseszonen begyndte nitratindholdet i boringerne at falde i de lag, hvorfra grundvandet indvindes (Fig. 50). I 2025 er nitratindholdet faldet til et indhold på 7 mg i alle boringer og dermed langt under de 50 mg, som hele tiden har været grænseværdien for en godkendt vandkvalitet.

Selv et meget omfattende analyseprogram efter miljøfremmede stoffer, pesticider m.v. har ikke kunnet afsløre anden ny forurening. Danmarks første grundvandspark har dermed sikret rent drikkevand på Tunø i al fremtid, forudsat selvfølgelig, man aldrig vender tilbage til de gamle, intensive dyrkningsformer i vandværkets beskyttelseszone/indvindingsopland. I 2012 var det dokumenteret, at effekten af beskyttelseszonen for grundvandet på Tunø nu og i al fremtid var sikret uden nitrat og sprøjtemidler (Tunø 2012).

Formidling af kortlægningsresultaterne til borger og bønder

Som det første amt i Danmark valgte Århus Amt i starten af 00'erne at offentliggøre vigtige resultater fra den omfattende kortlægning af grundvandsressourcerne på internettet ved hjælp af 3D-grafik udviklet af geolog og systemudvikler Lars Nebel (Nebel *et al.* 2006). På amtets hjemmeside blev det muligt visuelt at bevæge sig rundt både over og under jordoverfladen og betragte de geologiske flader og boringer fra alle vinkler. Visualiseringen i 3D gjorde det nemmere at formidle geologiske problemstillinger til folk, som ikke arbejder med geologiske data og kort i det daglige. Grafikken kunne vise strukturen i undergrunden – blandt andet et netværk af dybe, underjordiske dale og drikkevandsressourcer, som man tidligere ikke havde haft kendskab til. Ud over at kunne give borger og bønder en forståelse af forholdene under jordens overflade, kunne amtets geologer og geofysikere også bruge den tredimensionelle grafik til selv at få en bedre forståelse af grundvandsmagasinernes udbredelse. Samtidig blev det muligt på en mere effektiv måde at kvalitetssikre data. Hvis der var huller eller fejl i dataoplysningerne, kunne det med det samme ses med den tredimensionale grafik. På den måde kunne man meget hurtigt overskue og fortolke store mængder data. Amtets tredimensionelle computeranimationer blev til i samarbejde med virksomheden I-GIS i Risskov. Systematisk formidling i 3D på nettet af grundvandskortlægningen stoppede, da amtet blev nedlagt med udgangen af 2006.

Senere blev 3D-visualiseringen, af firmaet I-GIS, videreudviklet til GeoScene3D, som blev et yderst velegnet værktøj i forbindelse med den geologiske modellering baseret på sammenstilling af boringer og geofysiske målinger.

Vigtige begivenheder

Begivenheder kort fortalt

Geologien er kompliceret i Århusområdet, og de vigtigste grundvandsmagasiner ligger i begravede render i det tertiære lerlag, der er kraftigt påvirket af gletsjere og smeltevand under istiderne, og derfor kan de være svære at kortlægge. I Københavnsområdet ligger de vandførende lag overvejende i mere regelmæssigt lagdelte formationer med gode indvindingsmuligheder (Nørregård & Christensen 1959). Her ville de geologiske forhold næppe have kunnet motivere en udvikling af nye, avancerede geofysiske kortlægningsmetoder i den skala, som vi har set i Århus.

I 1930 ansatte Århus Vandforsyning Erik Frederiksen, som med indsigt og tålmodighed satte sig for at kortlægge grundvandet i de begravede render i det tertiære ler, der var fyldt med sand og grus. Først med systematisk placerede boringer og siden suppleret med geofysik i 1938.

I 1964 oprettes Laboratoriet for anvendt Geofysik, Geologisk Institut ved professor Svend Saxov. På laboratoriet blev der lagt vægt på undervisning og udvikling af anvendt geofysik til kortlægning af vand og olie m.v. Samtidig tilbød laboratoriet undervisning i hydrologi på højt niveau.

I 1967 blev kortlægningen af grundvandet i Århus Kommune igangsat af Egnsplankommissionen for Århus og omegn baseret på et samarbejde mellem Laboratoriet for anvendt Geofysik og Århus Kommunale Vandforsyning.

I 1970 gennemførtes kommunalreformen for offentlig administration. Staten skulle nu med love og bekendtgørelser fastlægge de overordnede rammer for regional og kommunal planlægning og administration. Amtskommunerne skulle udarbejde regionale planer og udføre administrationen inden for de udstukne rammer.

I 1972 oprettedes Miljøministeriet med stærke miljøministre op gennem 90'erne. Især Svend Auken var en stærk miljøminister.

I 1974 fik amtskommunerne opgaven med at kortlægge, planlægge og administrere vandressourcen. Amtsrådene ønskede, at deres afgørelser skulle hvile på et højt fagligt og videnbaseret grundlag. Miljøministeriet lagde fra start en linje med høj faglighed på alle niveauer i organisationen, og det smittede af på amternes valg af fagfolk med henblik på at kunne matche statens og forskningsinstitutionernes ekspertise. Det skal også nævnes, at miljøområdet i den periode havde høj prioritet såvel politisk som ude i befolkningen.

I 1985 begyndte det samarbejde mellem Århus Amt, Århus Kommunale Vandforsyning og Universitetet, som førte til kortlægningen af grundvandet i Århus Kommune på et niveau, der kunne bruges som model for detaljeret kortlægning af grundvandet i hele landet 1998.

I 1989 blev programmet for overvågning af grundvandets kvalitet vedtaget. Frem til 1989 var det blevet tydeligt, at forurening af grundvandet kunne måles og var stigende.

I 1989 blev affaldsdepotloven vedtaget. Loven havde til formål at få ryddet op på forurenede grunde. De efterfølgende år udvidedes lovens ansvarsområde efterhånden som nye forureninger blev opdaget – i 2026 er der stadigvæk lange udsigter til, at loven bliver overflødig.

I 1995 Udgav Miljøstyrelsen vejledningen i udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD). Danmarks fremtidige vandforsyning skulle bl.a. sikres ved en udpegning af strategiske indvindingsområder på grundlag af en prioritering inden for grundvandsressourcen (Fig. 51).

1998 blev vandforsyningsloven vedtaget. Loven pålagde amterne en omfattende landsdækkende kortlægning af vandressourcerne i områder med særlige drikkevandsinteresser.

I 1999 blev lov om opkrævning af gebyr vedtaget i forhold til den tilladte vandindvinding til finansiering af amternes kortlægning og kommunernes indsatsplanlægning. Amternes netværk af medarbejdere på alle niveauer og ikke mindst grundvandschefernes ERFA-gruppe med faglige undergrupper sikrede, at kortlægningen i samarbejde med vandværker,

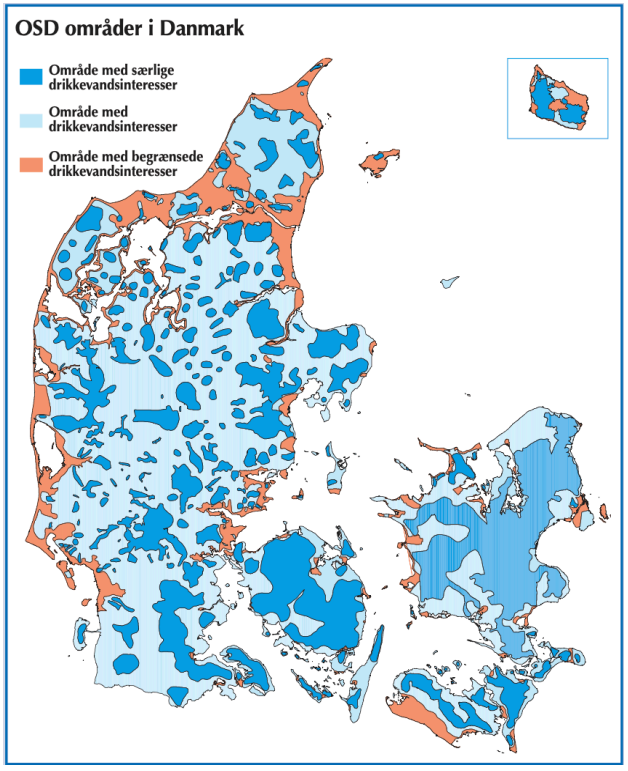


Fig. 51. OSD områder i Danmark.

kommunerne, rådgiverne, Århus Universitet, GEUS og andre forskningsinstitutioner kunne gennemføres på et højt fagligt niveau frem til amterne blev nedlagt. Udlæg af beskyttelseszoner igennem indsatsplaner har store konsekvenser for landbruget og byernes brug af jorden, og derfor var det vigtigt, at udpegningen kunne hvile på et videnbaseret grundlag af høj faglig kvalitet.

I 2001 efter rekvirering fra amterne/ Geofysiksamarbejdet og medfølgende finansiering sørgede GEUS for at videreudvikle GERDA-databasen til opsamling af alle geofysiske målinger og tolkningsresultater, der blev frembragt ved den landsdækkende kortlægning. GEUS oprettede rapport- og modeldatabaser, der sammen med Jupiter databasen skulle sikre, at alle data – måleresultater, geofysiske og geologiske tolkninger samt hydrologiske modeller kunne sikres digitalt.

I 2001 indtraf en ændring af det høje faglige niveau i Miljøministeriet, da Anders Fogh Rasmussen i november blev statsminister og udtrykte sine ambitioner om at gøre op med og kraftigt reducere det indflydelsesrige Miljøministerium, som hævn over Svend Auken og hans markante resultater på miljøområdet.

I 2006 nedlagde Anders Fog Rasmussen og Lars Løkke Rasmussen amterne, og dermed forsvandt en væsentlig del af den tætte sammenhæng, der var blevet etableret mellem videnopbygning og administration på vandområdet i regional sammenhæng. Det nye – set i forhold til Svend Auken-tiden – blev, at betjeningen af den siddende miljøminister mere skulle rette sig efter dennes ønsker og mavefornemmelser og gå forud for den mere videnbaserede sikring af miljøet (Refsgaard *et al.* 2024).

I 2006 blev Århus Kommunale Vandforsyning til Aarhus Vand - Vandforsyning og Spildevand. I 2006 aftalte Miljøministeriet og GEUS, at Miljøstyrelsen sammen med GEUS fra 2007 skulle gennemføre den sidste del af den landsdækkende grundvandskortlægning med GEUS som fagansvarlig vejleder og Miljøstyrelsen som projektansvarlig. Centrale personer i aftalen var direktør Johnny Fredericia og statsgeolog Alex Sonnenborg fra GEUS samt Christian Armmitsøe fra Miljøstyrelsen.

I 2007 oprettede GEUS en ny afdeling i Aarhus – Afdelingen for Kvartær- og Grundvandskortlægning med Richard Thomsen som statsgeolog med 15 medarbejdere fra de tidligere amter og fra GEUS (DGF, Grundvandsmøde 2006). Det blev en vigtig opgave for afdelingen at bistå Miljøstyrelsen og rådgiverne med faglige vejledninger og datasikring (Meilby 2017).

I 2014 udgav Miljøministeriet, Naturstyrelsen Ålborg, et temanummer om grundvandskortlægningen i Danmark: Vand og Jord (Vand & Jord 2014).

I 2015 var den landsdækkende grundvandskortlægning og indsatsplanlægning i det store hele afsluttet. Udgifterne til kortlægningen var store. Fra 1993 til 1998 brugte Århus Amt og Århus Kommunale Vandværker tilsammen 25 millioner kr. til kortlægning i Århus Kommune. Fra 1999 til og med 2006 brugte amterne gebyret på vandindvinding til grundvandskortlægning og indsatsplanlægning; det beløb sig til 1,1 milliard kr. (Fig. 52).

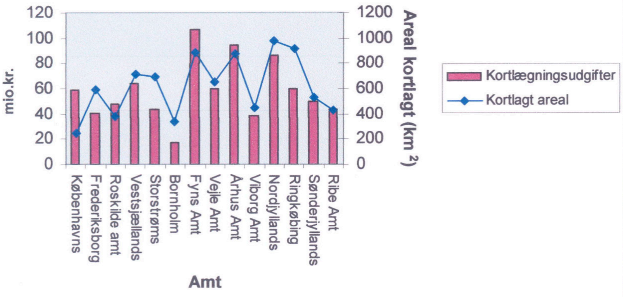


Fig. 52. Status 1999–2006 for kortlægningsudgifter og kortlagt areal.

Da Miljøstyrelsen i 2007 overtog den landsdækkende kortlægning og indsatsplanlægning blev gebyret ændret til en afgift på vandindvinding. Den samlede pris for Miljøstyrelsens kortlægning og indsatsplanlægning blev på 1,6 milliarder kr. (Deloitte 2008). Budgettet for kortlægningen og indsatsplanlægning fra 2007 til og med 2015 var i gennemsnit 0,5 million kr. per dag.

I 2016 flyttede GEUS fra Amtsgården ind på Aarhus Universitet for at understøtte Geocenter Danmark samarbejdet mellem Aarhus Universitet, Københavns Universitet, Geologisk Museum og GEUS. Flytningen blev hjulpet på vej af, at prodekanen for Naturvidenskabeligt fakultet Kurt Nielsen og Richard Thomsen havde arbejdet sammen på Miljøkontoret på Århus Amt. Til Richard Thomsens afskedsreception i 2013 aftalte prodekan Kurt Nielsen og direktør Johnny Fredericia, GEUS at samarbejde om flytning af afdelingen fra Amtsgården til universitet.

Den fantastiske fælles rejse med ildsjæle fra 1960'erne frem til 2007

I fortællingen har Richard Thomsen og Verner H. Søndergaard valgt at fortælle om den fælles rejse set fra et sted i Århus Amt. Inden amterne i 2006 blev nedlagt, var der med gebyrfinansieringen igangsat en omfattende grundvandskortlægning i alle amter (Fig. 52).

Der var mange vigtige forudsætninger for, at den fælles rejse blev igangsat og lykkedes. Helt overordnet havde miljøspørgsmål fra 1970'erne og tre årtier frem en stor politisk opbakning, og Miljøministeriet

arbejdede målrettet for at beskytte miljøet/grundvandet med love og bekendtgørelser. Særligt Svend Auken spillede en vigtig rolle sammen med mange fagligt dygtige medarbejdere i Miljøministeriet/Miljøstyrelsen, og det var helt afgørende i den indledende fase med et stærkt engagement fra øverste instans. Det smittede nemlig!

På Århus Amt niveau var der stor opbakning til at beskytte grundvandet med amtsborgmester Johannes Flensted Jensen i spidsen. Til at løse opgaven var det direktør P.B. Heise, der sammen med Miljøkontoret ved miljøchef Jytte Heslop og kontorchef Jan Reisz skabte rammerne for grundvandsafdelingens arbejde. I grundvandsafdelingen var det afdelingsleder Richard Thomsen, der sammen med alle medarbejderne i afdelingen lagde deres sjæl i, at Århus Amts andel af projektet kunne lykkedes til den sidste dag i 2006.

Grundvandscheferne og det samlede netværk af medarbejdere i amterne var vigtige for den praktiske del af landskortlægningen i samarbejde med de rådgivende firmaer. Det faglige område blev sikret i samarbejde med primært forskningsinstitutioner som GEUS: Johnny Fredericia, Jørgen Tulstrup og Alex Sonnenborg, og Aarhus Universitet: Kurt Sørensen, Esben Auken, Niels B. Christensen og Anders Vest Christiansen. Fra Miljøstyrelsen deltog især Christian Ammitsøe aktivt i samarbejdet. Fra Århus Kommunale Værker/Aarhus Vand var Hugo Lund, Eigil Pedersen og Lars Schrøder stærkt medvirkende til at skubbe kortlægningen igang, da det i Aarhusområdet var særlig svært at finde rent grundvand. I frugtbart samarbejde med Århus Amt bidrog alle kommunerne, vandværksforeningerne – især Anders Bækgaard, DANVA – samt vandværkerne i Århus Amt til at rejsen kunne gennemføres med gode resultater. Gruppen af konsulentfirmaer/rådgivere udførte hovedparten af de konkrete kortlægningsaktiviteter i marken og deltog hele vejen igennem med stort engagement, bl.a. i flere faglige arbejdsgrupper, hvilket fik stor betydning for det konstruktive samarbejde og den høje faglige kvalitet, den praktiske udførelse af kortlægningen blev gennemført med. Det skal også nævnes at brøndborerfirmaerne udførte boringerne med høj kvalitet i boreprøverne.

Tak til Johnny Fredericia og Lærke Thorling for konstruktive forslag til rettelser og justeringer af historien.

Referencer

Andrup, G.O. 1953: Af Odense vandforsynings historie, 175 sider.

Betænkning fra Miljøstyrelsen 1998: Drikkevandsudvalgets betænkning, nr. 11, 269 sider. Miljø- og Energiministeriet.

Berthelsen, A. 1986: De første 5 år, om etableringen af faget geologi ved Århus Universitet, 11 sider.

Bjørn, C. 2005: Det Strategiske Miljøforskningsprogram 1992-2004. Aarhus Universitetsforlag.

Buhl, H. 2016: En computerskærm til 175.000 kr. STENOMUSEN 68, medlemsblad for Steno museets venner – Februar 2016.

Christensen, N.B. 2022: Pivotal moments: Seven scenes from a geophysics adventure. Preview. https://doi.org/10.1080/14432471.2022.

Deloitte 2008: Økonomisk analyse af grundvandskortlægningen og indsatsplanlægningen, By- og Landskabskontoret.

DGF Grundvandsmøde 2006: Nye aktører på det danske grundvandsområde, GEUS' ny afdeling i Århus. DGF 23. november 2006.

DGU 1912: Brevveksling til borejournal DGU 89.43.

Graversen, P. & Fredericia, J. 1984: Zeus-geodatabasesystem, borearkivet. Danmarks Geologiske Undersøgelse Serie D, bind 3, 259 sider.

Frederiksen, E. 1933: Foredrag holdt ved Jysk Forening for Naturvidenskab, Århus 1933.

Frederiksen, E. 1954: Årsberetning Århus Kommunale Værker.

Friborg, R. & Thomsen, S. 1999: Kortlægning af Ribe Formationen: Et fællesjysk grundvandssamarbejde. 2: Populær rapport, 2 bind.

Hansen, J.M. 1997: Hvad kom der ud af grundvandsforskningen? Dansk Vandteknisk Forening, Kursusbog 46, 103–122.

Hansen B., Thorling, L., Schullehner, J. & Dalaard, T. 2014: Virker beskyttels. Geoviden, Nr. 4, 10–11.

Helweg, A. 1984: Udvaskning af pesticider. Ugeskrift for jordbrug, Årg. 129, nr. 22, 617–624.

Horsdal H.T. *et al.* 2023: Perspectives on environment and health research in Denmark. Scandinavian Journal of Public Health 52, 1–11.

Heise, P.B. 1996: Brev/notat til Amtsrådforeningen om behovet for og omkostningerne ved grundvandskortlægning.

Jensen, J.L. 1973: Afstrømningens medianminimum. Vand 4, 1–11.

Jensen, J.L. 1992: 75 år med hydrometriske Undersøgelser ved HU. Vækst 113, 4–6.

Jessen, N.V. 1959: Geologiske forarbejder i forbindelse med udvidelsen af Vejlby-Risskov vandforsyning. Vandteknik.

Kirkegaard, J., Tamdrup, K. & Thomsen, R. 1979: Naturressourcerne og den amtskommunale forvaltning, Ugeskrift for jordbrug 29.

Knudsen N.N. *et al.* 2017: Lithium in drinking water and incidence of suicide: A nationwide individual-level cohort study with 22 years of follow-up. International Journal of Environmental Research and Public Health 14, 627.

Landvæsenkommissionen 1940: Kendelse for vandindvinding i grundvandsområdet omkring Aarhus.

Lykke-Andersen, H. & Schrøder, N.F. 1974a: Undersøgelser af Århusegnens undergrund: hydrogeologisk kortlægning baseret på boringer og elektriske sonderinger. Laboratoriet for Geofysik, Århus Universitet, 101 sider.

Lykke-Andersen, H. & Schrøder, N. F. 1974b: Et begravet landskab ved Århus. Varv nr. 4, 110–113.

Madsen, B. & Hansen, O. 2002: Venner, ser på Danmarks kort. VANDteknik 3. april.

Madsen, V. 1938: Meddelelse om de i 1937 for Århus Kommune udførte målinger af magnetkraftens lodrette styrke i egnen mellem Århus og Silkeborg. Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening 9, 375–380.

Madsen, V. 1937–1938: Brevveksling med Århus Kommunale Værker/Byrådet.

Michelsen, V.B., Christensen, K.B. & Ferdinansen, I. 2004: Regionplanlægning – bidrag til regionplanlægningens historie. Dansk Byplanlaboratorium, Byplanhistoriske Noter 52, 59 sider.

Mielby, S. *et al*. 2017: Den nationale grundvandskortlægning (1999–2015). sikring af grundvandskortlægningens data – arvesølvsprojektet, 15 sider. GEUS.

MST 1975: Vejledning nr. 2, om hydrogeologisk kortlægning, vandforsyningsplanlægning m.v.

MST 1979: Vandforsyningsplanlægning del 1, 2 og 3. Vejledning nr.1.

MST 1995: Vejledning fra Miljøstyrelsen, Udpegning af områder med særlige drikkevandsinteresser, Nr. 4.

MST 2000: Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 3, Zonering, Detailkortlægning af arealer til beskyttelse af grundvandsressourcen.

Nebel, L.N., Hagensen, T.F. & Thomsen, R. 2006: Geologi og grundvand i 3D – GeoScene3D – nyt værktøj til præsentation. Geologisk Nyt 1/06.

Nørregård, G. & Christensen, W. 1959: Københavns vandforsynings Historie. Geologiske og hydrologiske forhold.

Platou, S.W. 1971: An electronic data processing system for geological field and laboratory data. The E. D. P. system Agto. Rapport Grønlands Geologiske Undersøgelse 39, 42 sider.

Platou, S.W. 1974: Oplæg i forbindelse med en eventuel anvendelse af SYSTEMII til administration af boringer og sonderinger i Århus Amt. Notat maj.

Rasmussen, E.S., Dybkjær, K. & Piasecki, S. 2010: Lithostratigraphy of the Upper Oligocene – Miocene succession of Denmark. Geological Survey of Denmark and Greenland Survey Bulletin 22, 92 sider.

Reisz, J. 1986: Gravimetrisk kortlægning af Odder Kommune, Kursus i vandforsyningsteknik nr. 35, 95–117.

Refsgaard, J.C. 1988: Hydrologiske modeller. Teknisk rapport Århus Amt og DHI.

Refsgaard, J.C & Thomsen, R. 2024: Fra smuk svane tilbage til grim ælling. Vand & Jord 31, 100–102.

Sandersen, P.B.E. & Jørgensen, F. 2017: Buried tunnel valleys in Denmark and their impact on the geological architecture of the subsurface. GEUS Bulletin 38, 13–16.

Saxov, S. 1967: Kommisorium for undersøgelse af Århusegnens grundvandsressourcer.

Schrøder, N.F. 2014: Progress in geo-electrical methods for hydrogeological mapping? Energy and Environmental Engineering 2, 14–19.

SMP1 1995/6: Klassificering af grundvandsressourcen, Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 6.

SMP1 1995/11: Overvågning af grundvandsressourcen baseret på nye geofysiske målemetoder.

SMP1 1995/14: Zoneopdelt grundvandsbeskyttelse, Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, Nr. 14.

SMP1 1995/17: Grundvandsbeskyttelse i vandindvindingsområder, Projekt om jord og grundvand, Miljøstyrelsen, Nr. 17.

Sodemann, C. & Søndergaard, V. H. 1995: Digitale kort: udførlige signaturforklaringer er nødvendige, Geologisk Nyt, nr 3, side 27 - 29.

Sørensen, J., Søndergaard, V.H., Kronborg, C., Nielsen, O.B. & Thomsen R. 2006: Begravede dale i Århus Amt – undersøgelse af Frijsenborg-Foldby-plateauet. Geologisk Nyt 4/06, 18–22.

Sørensen, K.I. & Søndergaard, V.H. 1992: Kortlægning af Beder magasinet – en ny måde at gøre det på, Vandteknik nr.2.

Sørensen, K.I. 1999: Notat om geofysisk videncenter i relation til den forestående kortlægning af grundvandsressourcerne.

Sørensen, K.I., Auken, E., Christensen, N.B. & Pellerin. L. 2005: An integrated approach for hydrogeophysical investigations: New technologies and a case history. I: Butler, D.K. (red.): Near-surface geophysics, SEG, Investigations in Geophysics Series No 13, 585–605.

Sørensen, K.I. 2014: Den flyvende pilekvist, 25 Søforklaringer. Aarhus Universitets forlag, side 63–77.

Søndergaard, V.H., Sørensen, J., Thomsen, R., Kronborg, C. & Nielsen, O.B. 2006: Kortlægning af begravede dale – gebyrkortlægning og undersøgelsesmetoder, Geologisk Nyt 4/06, 14–17.

Søndergaard, V.H. et al. under udarbejdelse: Kortlægning af grundvandet, 25 år med udvikling af elektriske og elektromagnetiske metoder set fra Aarhus.

Thomsen, R. 1978: Bearbejdning af rutinedata. Vannet i Norden nr. 1.

Thomsen, R. 1978: Grundvands undersøgelse på Samsø. Århus Amt, Amtsvandvæsenet.

Thomsen, R. 1986: Nye metoder inden for hydrogeologien, Gravimetriske undersøgelser, Kursus i vandforsyningsteknik nr. 35, 77–93.

Thomsen, R. 1987: Vandressourcerne og klimasvingninger. Miljøprojekt nr. 89, Miljøstyrelsen.

Thomsen, R. 1990: Vandforsyningen på Tunø. Dansk Vandteknik maj.

Thomsen, R. 1990: Århus skal have ny tilladelse til indvinding. Vandteknik 1990, 105–111.

Thomsen, R. 1990: Effect of climate variability and change in groundwater in Europe. Nordic Hydrology 21, 185–194.

Thomsen, R. 1993: Future droughts, water shortages in parts of western Europe. Eos Transactions, AGU 74(14), 161 og 164–165.

Thomsen, R. 1996: Fremtidig tørke og vandmangel. Vand & Jord 5, 183–185.

Thomsen, R. 2002: Det kan vi gøre meget bedre sammen. VANDteknik 4. maj 2002.

Thomsen, R. & Jensen J. I. 2002: Amternes ERFA-gruppe om grundvands beskyttelse, Dansk Vand 10.

Thomsen, R., Søndergaard, V.H. & Sørensen, K.I. 2004: Hydrogeological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark. Hydrogeology Journal 12, 550–562.

Thomsen, R. 2023: Borearkivets digitalisering i Aarhus Amt. Geologisk tidsskrift 2023, 1–5.

Thorling, L. & Thomsen R. 1999: Tunø - en succes historie, Vandteknik 6, August 1999 side 289.

Thorling, L., Albers, C.N., Hansen, B., Kidmose, J., Johnsen,

A.R., Kazmierczak, J., Mortensen, M.H. & Troldborg, L. 2023: Grundvand. Status og udvikling 1989–2021. Teknisk rapport GEUS, 167 sider.
Thorling, L., Albers, C.N., Hansen, B., Kidmose, J., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H., Troldborg, L. & Voutchkova 2025: Grundvand. Status og udvikling 1989–2024. Teknisk rapport, GEUS.
Tunø 2012: Indsatsplan, en plan for sikring af drikkevandsinteresser. Odder Kommune, Miljø oprindeligt tilrettelagt af Århus Amt 2006.
Vand & Jord 2014: Tema nummer om grundvandskortlægningen. Vand & Jord 21. årgang.
Vandforsyningsloven 1926: Udlæg af beskyttelses områder indenfor hvilket der ikke må afledes væsker til undergrunden eller oplagres stoffer der kan forurene grundvandet §11, stk. 2 og 8.
Vandforsyning 1969: Foredrag m.v. ved Dansk Forenings kursus i Vandforsyningsteknik, København i marts 1967. Vands bakteriologiske forhold, 138–139. Teknisk Forlag.
Vandføringens medianminimum 1998: Vandføringens medianminimum 1975 til 1996, Teknisk rapport, Århus Amt, Natur og Miljø.
Aarhus Vandforsyning 1872 til 1922: Jubilæums skrift, Aarhus kommunale værker
Århus Amt 1985: Vandindvindingsplan 1985, Redegørelse, Plandel og kortbilag.
Århus Amt 1993: Grundvand og drikkevand i Århus og omegn. Natur og Miljø.
Århus Amt 1997: Grundvandsplan for Århus Amt.
Århus Amt 2001 & 2005: Regionplan og Grundvandsplan.
Århus Amt 2002, 2003, 2004, 2005 og 2006: Årsrapporter for grundvandskortlægning.

Richard Thomsen modtog Dansk Vandteknisk Foreningen initiativprisen i 1992 (Vandteknik nr. 9, side 461) og G.O. Andrup's Grundvandspris i 2007 (Dansk Vand. nr. 7, 2007, side 42).