

TEMANUMMER **Vandressourcer**

**Ferskvand! Det 21. århundredes
hovedproblem?**

Den globale vandressource



**Hans Jørgen Henriksen
og Bjarne Madsen**

Vandet er i kredsløb i naturen i en stadig skiften mellem nedbør, fordampning og afstrømning. En del af den nedbør, der falder over landområder, fordamper. Den del af nedbøren, der ikke fordamper kaldes nettonedbøren. Den strømmer af, enten overfladenært til vandløbene, nogle steder gennem dræn, eller trænger videre ned i jorden og danner grundvand. Størstedelen af det dannede grundvand strømmer langsomt gennem grundvandsmagasinerne ud til vandløb og søer, og når via vandløbene frem til havet.

Grundvandsdannelse og størrelse og de hydrogeologiske forhold er afgørende for grundvands alder, og for hvor hurtigt en forurening fra overfladen vil udbredes i grundvandet.

Grundvandet findes i porerummene mellem aflejringerne enkelte korn samt i revner og sprækker i såvel lerede som hårde bjergarter.

Jordlagene evne til at lede grundvandet - kaldet permeabiliteten eller den hydrauliske ledningsevne - er helt afgørende for grundvandsforholdene og dermed for mulighederne for vandindvinding.

Grundvandet strømmer fra steder, hvor det står højt eller har højt tryk, mod steder med lavere grundvandsstand og tryk, f.eks. vandløb, søer eller steder, hvorfra der pumpes.

Ferskvand det 21. århundredes hovedproblem?

Det tilgængelige ferskvand er ulige fordelt på jordkloden. Den geografiske variation er afhængig af klimaet, topografien og de geologiske forhold. Derudover kan der

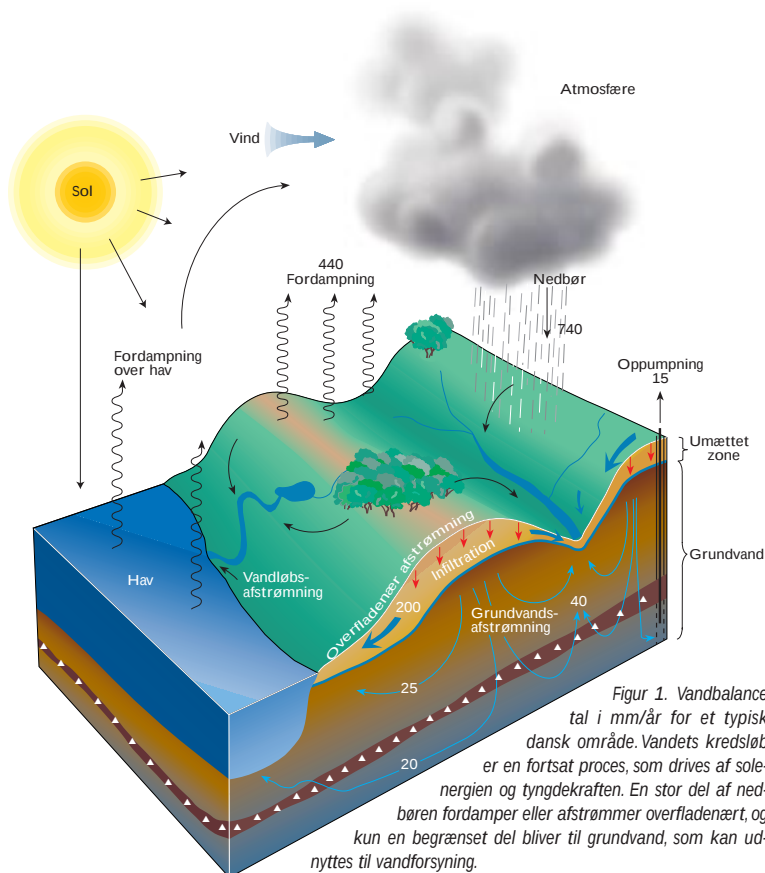
være tale om tidsmæssige variationer i vandressourcens størrelse som følge af længerevarende klimaændringer.

Vandressourcen har fundamental betydning for en række samfundsmæssige forhold. Den voksende knaphed som følge af jordens befolkningstilvækst og et stigende vandforbrug pr. indbygger truer en række forhold såvel på globalt niveau som inden for de enkelte lande.

Det drejer sig om:

- vandkvalitet og befolkningens sundhed,
- udnyttelsen af vandressourcen og økosystemers tilstand,
- vandressourcen og fødevareproduktion/landbrug,
- vandressourcen og energiproduktion/forbrug,
- knapheden på vand og sociale/politiske konflikter.

På verdensplan anslås nedbøren over landområder til i alt at være omkring 113.000 km³/år og fordampningen anslås til at være 72.000 km³/år. Nettonedbøren udgør dermed ca. 41.000 km³/år eller ca. 7.690 m³/år pr. indbygger på jorden.



Vandbalanceligning

$$N - E_A = Q_0 + P + Q_b + M$$

hvor:

N = Nedbør

E_A = Aktual fordampning (jord, planter, vandoverflader mm.)

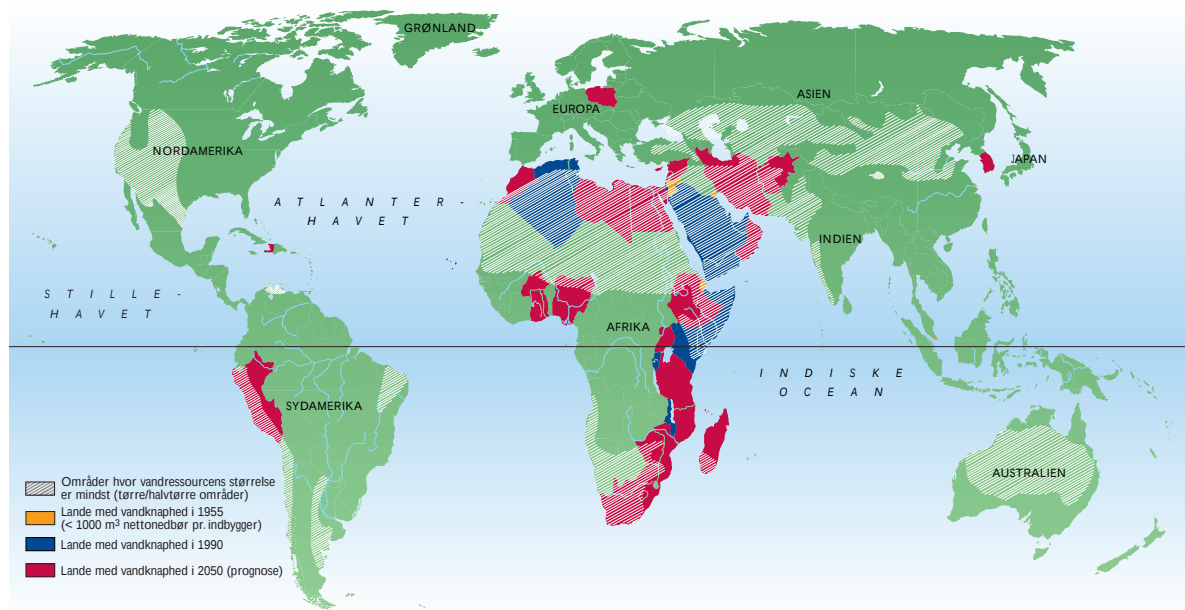
Q_0 = Overfladenær afstrømning (afstrømning på overflade, fra befæstede arealer, dræn, og i øverste jordlag, pløjelag mm.)

P = Vandindvinding

Q_b = Grundvandsafstrømning til vandløb, søer og hav

M = Ændret magasinering i jord og grundvand

Det kan antages at ca. 12.000 km³/år bidrager til grundvandsdannelse, mens 29.000 km³/år afstrømmer direkte til vandløb. Kun mellem 10 og 30 %, af nettonedbøren kan dog i praksis udnyttes. Hvis det antages, at en bæredygtig udnyttelse udgør 15 % af nettonedbøren, så udgør den udnyttelige vandressource på verdensplan godt 6.000 km³ pr. år.



Figur 2. Områder på jorden, hvor problemer med vandressourcens størrelse er størst. På figuren er vist vandfattige områder (skraverede). På grund af befolkningstilvæksten og et dermed voksende vandforbrug står et stigende antal lande overfor en situation med vandknaphed, dvs. at den tilgængelige vandressource pr. indbygger kommer under en kritisk lav værdi. På figuren er lande med absolut vandknaphed i 1950, 1990 og 2050 vist, svarende til, at nettonedbøren pr. indbygger er under 1000 m³/år (den udnyttelige vandressource anslås kun at udgøre 10-30% af nettonedbøren).

Vandknaphedsoversigt

I året 1955 tilhørte kun 7 lande denne knapheds kategori nemlig:

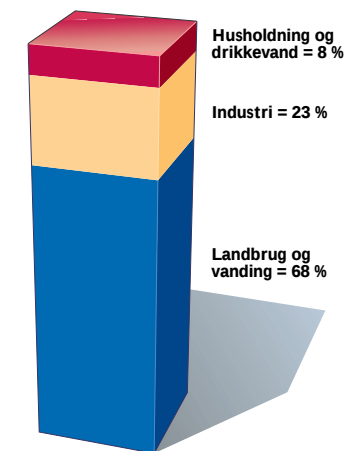
Bahrain, Barbados, Djibouti, Jordan, Kuwait, Malta og Singapore. I 1990 var denne liste forøget til i alt 20 lande deriblandt Algeriet, Burundi, Israel, Kenya, Malawi, Rwanda, Saudi Arabien, Somalia, Tunesien og Yemen.

I år 2050 vil yderligere 26 lande komme med i denne kategori bl.a.:

Afghanistan, Burkina Faso, Cypern, Egypten, Etiopien, Ghana, Iran, Libanon, Libyen, Marokko, Mozambique, Nigeria, Peru, Polen, Syd Afrika, Syd Korea, Syrien, Tanzania, Uganda og Zimbabwe.

Samlet anslås det at mellem 1 og 2,5 milliarder mennesker i år 2050 vil leve i lande med vandknaphed, svarende til ca. 10-20 % af verdens befolkning.

Det globale vandforbrug udgjorde i 1995 i alt 3.800 km³/år. Dette svarer til et forbrug pr. indbygger på ca. 660 m³/år. Det globale vandforbrug er firedoblet fra 1955-90 som følge af en fordobling af såvel befolkningstallet som forbruget af vand pr.



Figur 3. Opdeling af det globale vandforbrug i procent for 1995.

person. Landbrugsvanding udgør global set den største forbrugskategori med hele 68 %, industri udgør 23 % og forbruget til husholdninger og drikkevand i alt 8 % af det samlede vandforbrug (se fig. 3).

Prognoser anslår at verdens befolkning vil fordobles i år 2050 i forhold til de nu-

værende ca. 5.7 milliarder mennesker (1995). Det vurderes at en ny firedobling af vandforbruget ikke vil være mulig, og dette er baggrunden for at vand anses for at være det 21. århundredes måske alvorligste ressource problem.

Regionale forskelle og konsekvenser

I nogle dele af verden bruges kun en begrænset del af den bæredygtigt udnyttelige vandressource. På grund af en ulige fordeling indenfor de enkelte regioner og en voksende forurening, hvis omfang ikke er nærmere kendt, må det vurderes at ressourcen mange steder i verden er fuldt udnyttet.

I dag er nogle af de største forureningsproblemer i relation til den globale vandressource:

- ubehandlet spildevand,
- næringsstof- og pesticidforurening fra intensivt landbrug,
- tungmetaller fra industriel forurening,
- langsomt nedbrydelige klorerede organiske stoffer.

I lande hvor nettonedbøren er mindre end 1.000 m³/indbygger pr. år vurderes det, at der er en situation med vandknaphed.

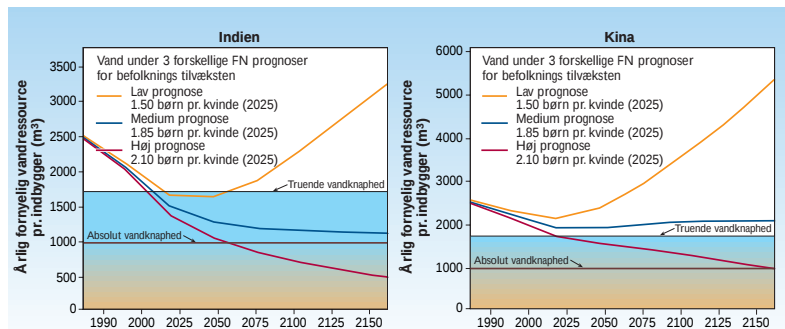
Konsekvensen af det stigende vandforbrug til specielt kunstvanding har været, at der indenfor de seneste 35 år er blevet iværksat flere og større vandindvindingsprojekter. Dette har medført en massiv ændring af det globale vandmiljø, der har resulteret i omfattende trusler mod og ødelæggelser af floders og vandsystemers grundlæggende økologiske funktioner.

I mange af verdens vigtige fødevareproducerende områder er der i dag en overudnyttelse af grundvandsressourcen, hvilket i værste fald giver anledning til at grundvandsmagasinerne tømmes. Dette gælder bl.a. store områder i USA, Mexico, den Arabiske halvø, det nordlige Afrika, dele af Indien, Nordkina og flere områder omkring større byer i Sydøstasien og Europa.

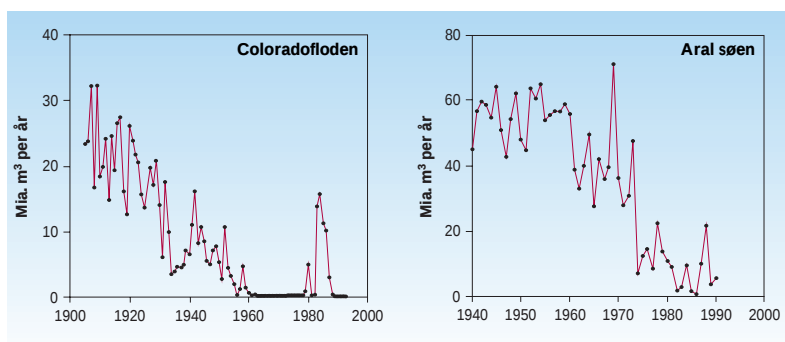
Adgangen til rent drikkevand er et universelt menneskeligt behov. På global basis vurderes det at 20 % af verdens befolkning ikke har adgang til rent drikkevand, mens 50 % lever med utilstrækkelige sanitære forhold. Sundhed er direkte afhængig af adgangen til rent drikkevand og forsvarlige sanitære forhold.

Situationen i dag på vandressourceområdet er således den, at der venter en truende vandkrise lige om hjørnet forårsaget af en kombination af dels en fortsat befolkningstilvækst og dels et stigende vandforbrug pr. indbygger. Hertil kommer et stadig større problem med vandforurening. Der er derfor behov for en række konkrete tiltag, f.eks.:

- en forstærket beskyttelse af vandmiljøerne,
- en mere effektiv anvendelse af vand specielt i områder med vandknaphed,
- en mere retfærdig fordeling af ressourcen,
- en større grad af offentlighed i beslutningsprocessen.



Figur 4. Fornyelig ferskvandsressource pr. indbygger for Indien og Kina vurderet ud fra 3 forskellige FN befolkningstilvækst prognoser.



Figur 5. Afstrømning gennem fra Colorado-floden i USA og tilstrømning til Aralsøen i Centralasien. Kilde: USGS, International Boundary and Water Commission og Micklin.



Figur 6. For at skaffe sig rent vand til deres landsby i Indien, har lokalbefolkningen hugget hul i et vandforsyningsrør, som leder rent drikkevand til storbyen Jaisalmer, der ligger ca. 10 km derfra.

Danmarks Vandressource

Pesticider, over grænseværdien, fundet i 3% af de undersøgte grundvandsboringer i Danmark.

Man har tidligere troet at vore grundvandsressourcer var godt beskyttet mod forurening på grund af grundvandsmagasinernes dybe beliggenhed og de overliggende tykke lerlag.

Først relativt sent erkendte man problemerne med forurening af grundvandet, bortset fra få lokale og spredte konstateringer af forurening fra olie- og benzinanlæg samt nedslivningsanlæg.

I 1960'erne og 1970'erne koncentreredes indsatsen hovedsageligt om at kortlægge og udnytte vandressourcen.

Fra starten af 1980'erne begyndte man at erkende problemerne med gamle lossepladser, kemikaliedepoter, gamle industrigrunde og intensiv landbrugsdrift. I forlængelse af påvisning af problemerne igangsattes en række forskningsaktiviteter, som bl.a. kom til at danne grundlag for regulering på området.

I begyndelsen af 1990'erne intensiveredes systematiske undersøgelser for sprøjtemidler i grundvandet, og disse undersøgelser gav foruroligende resultater, idet spor af såvel sprøjtemidler som deres nedbrydningsprodukter var mere udbredt i grundvandsmiljøet end forventet. I 1995 var der fundet spor af sprøjtemidler og nedbrydningsprodukter i 10 % af de undersøgte boringer, og i 3 % af de undersøgte boringer overskred indeholdet grænseværdien for drikkevand. Grundvandsforureningen i Danmark havde i midten af 1990'erne antaget et omfang, så den udgjorde en trussel mod den traditionelle, decentral vandforsyning baseret på simpel vandbehandling.

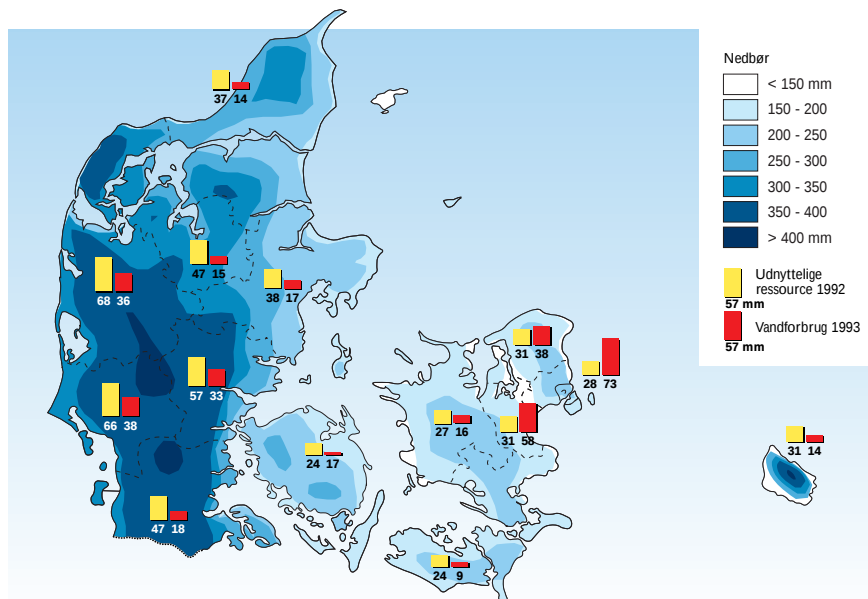
Ferskvandsressourcens størrelse og variationer

Den bæredygtigt udnyttelige grundvandsressource i Danmark er på landsplan større end den samlede indvundne vandmængde. Den seneste landsdækkende opgørelse foretaget af Vandrådet i 1992 vurderede den udnyttelige grundvandsressource til i alt 1.8 milliarder m³/år, hvilket er større end nuværende vandforbrug på omkring 1 milliard m³/år. Det meste af det ferskvand, der indvindes, er baseret på

oppumpet grundvand (ca. 99 %). Overfladevand anvendes kun i meget begrænset omfang. Store regionale forskelle betyder, at der visse steder i landet er vand nok og andre steder knaphed på vand (se fig. 7).

Der er væsentlige usikkerheder på vurderingen af den udnyttelige grundvandsres-

En vurdering af den udnyttelige vandressource, inkl. fradrag som følge af forurening med miljøfremmede stoffer og betydningen af længerevarende klimavariationer (specielt forekomst af tørkeperioder), vil derfor give et væsentligt reduceret skøn af den bæredygtig vandressource på landsplan i forhold til de 1.8 milliarder m³/år.



Figur 7. Nettonedbør i mm er vist med den blå fladesignatur. Den udnyttelige vandressource i mm er vist med gule søjler. Vandforbruget i mm er vist med røde søjler. Nettonedbøren (og dermed den udnyttelige vandressource) er størst i syd-vest Jylland og mindst på Øerne. Da vandforbruget er størst i Østjylland og på Øerne, er der et fordelingsmæssigt problem, således at der i visse dele af landet er vand nok, mens der f.eks. omkring København sker en overudnyttelse af vandressourcen.

sources størrelse. Der er i skønnet taget hensyn til, at visse områder generelt har vanskelige indvindingsforhold og at den naturlige vandkvalitet andre steder er så dårlig at vandet ikke kan udnyttes umiddelbart. Desuden sætter miljøtilstanden i vandløb og vådområder grænser for, i hvilket omfang ferskvandsressourcen kan udnyttes.

Der er imidlertid ikke taget hensyn til to væsentlige forhold:

- forurening som følge af miljøfremmede stoffer og
- betydningen af længerevarende klimavariationer.

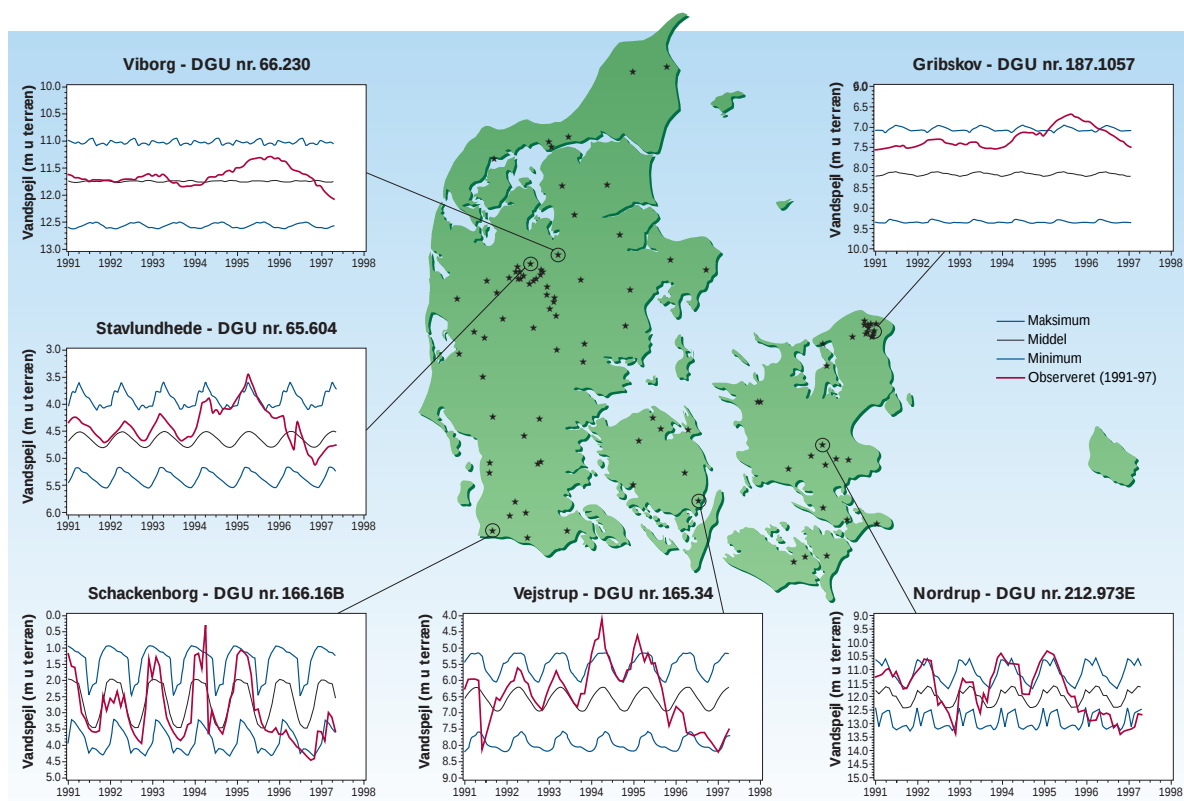
Vandforbrug

Indvinding og forbrug af ferskvand har været stigende igennem 1970'erne, mens det har været stagnerende gennem 1980'erne og faldende siden 1989.

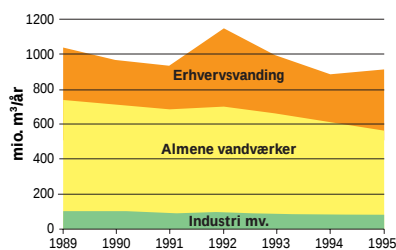
I figur 9 er vist udviklingen i industriens, de almene vandværkers og erhvervsvandings forbrug. Kategorierne er ikke helt entydige idet mange industrier eksempelvis forsynes gennem almene vandværker, således at det samlede industriforbrug udgør en væsentlig større andel.

Kategorien erhvervs vandning dækker vandforbrug i landbruget, bl.a. markvandning samt forbrug i dambrug.

Den stærke fokusering på vandbesparelser



Figur 8. Den røde kurve viser målinger fra 1991-97 i forhold til det gennemsnitlige, maksimale, middel og minimale grundvandspejl fra 1971-90. Nedbøren i vinterhalvåret er af stor betydning for grundvandsdannelsen, da planternes vandoptagelse og fordampningen er begrænset i denne periode. Der er påvist en meget nedbørsfattig periode lige før århundredskiftet, og indenfor de sidste 25 år var første halvdel og især midten af halvfjerdserne tør, og gav anledning til en lav grundvandstand. Perioden 1980-95 har været relativ nedbørsrig med høj grundvandstand. De seneste par vintre har været tørre med ringe grundvandsdannelse.



Figur 9. Udviklingen i vandforbruget indenfor industrien, de almene vandværker og erhvervsforbrug (markvandning og dambrug). Indvinding og forbrug af ferskvand har været stigende igennem 1970'erne mens det har været stagnerende gennem 1980'erne og faldende siden 1989.

og stigende vandafgifter i de forløbne år har haft en synlig effekt når det gælder husholdnings- og industriforbruget. Inden for de sidste 250 år er der målt betydelige svingninger i nedbørens størrelse, og dens betydning for grundvandsres-

sourcen er blevet påvist. Der er f.eks. påvist en meget nedbørsfattig periode lige før århundredskiftet, og indenfor de seneste 25 år kendes en periode med ringe nedbør fra starten og især midten af 70'erne. Perioden 1980-95 har derimod været relativ nedbørsrig. De seneste par år fra efteråret 1995 har været usædvanligt tørre, med såvel meget begrænset vinter-nedbør som relativt varme og tørre somre med et stort markvandingsbehov. Dette har medført et markant fald i grundvandsstanden specielt i Syd-, Vest- og Nordjylland. I slutningen af 1996 kunne faldet også ses på visse pejlestationer på øerne bl.a. på Midtsjælland og Sydøstfyn.

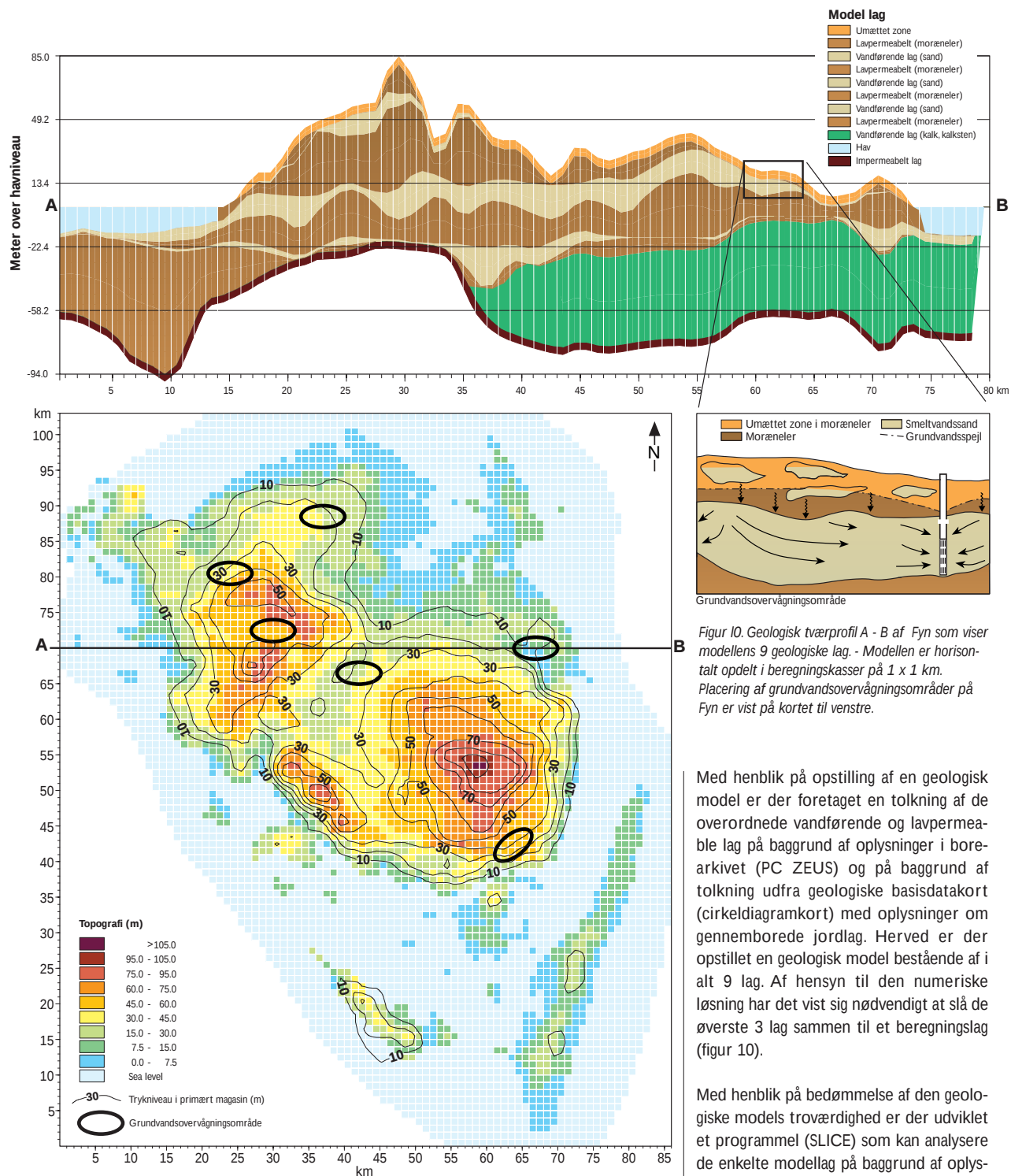
Den Nationale Vandressource Model

Med henblik på at foretage en mere præcis vurdering af vandressourcens størrelse og fordeling i forhold til de forholdsvis grove

skøn, som lå til grund for Vandrådets opgørelse har GEUS iværksat et projekt for Miljø- og Energiministeriet. Projektet har til formål at opstille en vandressource model for hele landet (DK-modellen). Heri skal indgå den tidsmæssige variation og regionale fordeling, samt en vurdering af den mulige fremtidige udvikling.

DK-modellen opbygges på grundlag af de meget omfattende informationer i GEUS' borearkiv om geologi og hydrogeologi under anvendelse af geostatistisk bearbejdning. Tidsplanen for modelopstillingen lyder: i 1996 Fyn, i 1997 Sjælland, i 1998 Sydjylland og i 1999 Nordjylland. Her skal de første resultater og erfaringer fra Fyn belyses.

Som grundlag for opbygningen af DK-modellen anvendes MIKE SHE systemet. Det er udviklet af Dansk Hydraulisk Institut og er en fysisk baseret model som beskriver



Figur 10. Geologisk tværsnit A - B af Fyn som viser modellens 9 geologiske lag. - Modellen er horisontalt opdelt i beregningskasser på 1 x 1 km. Placering af grundvandsovervågningsområder på Fyn er vist på kortet til venstre.

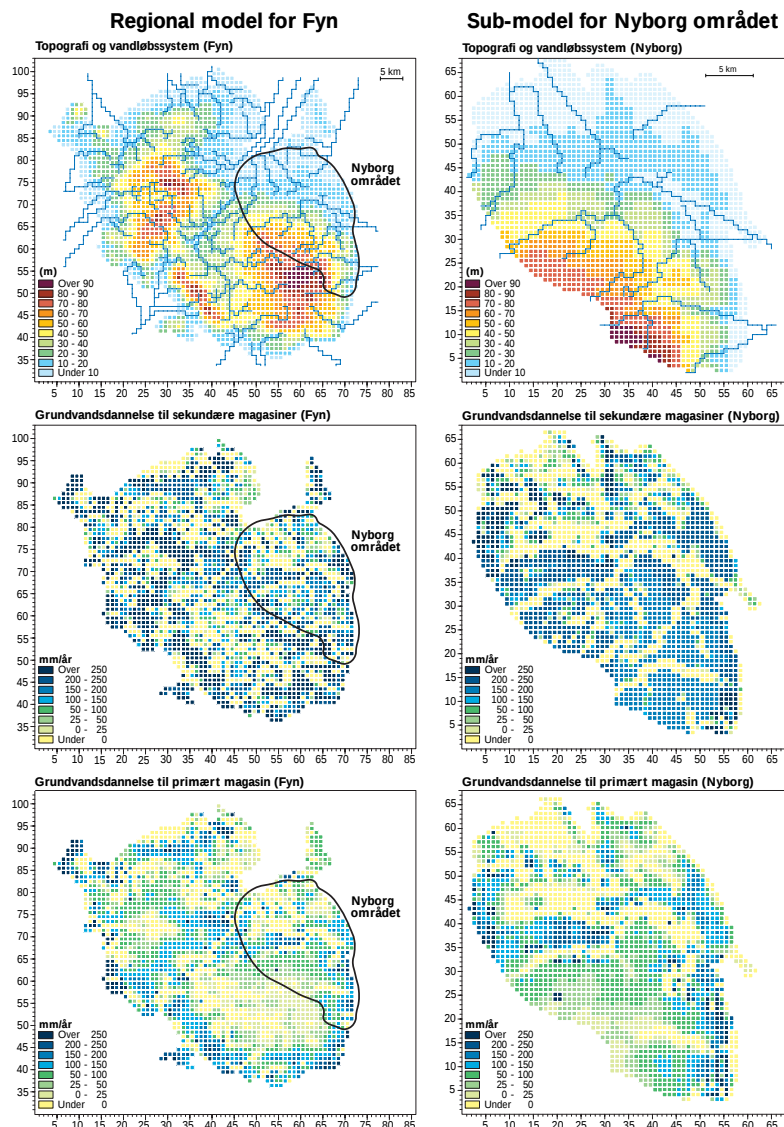
Med henblik på opstilling af en geologisk model er der foretaget en tolkning af de overordnede vandførende og lavpermeable lag på baggrund af oplysninger i borearkivet (PC ZEUS) og på baggrund af tolkning ud fra geologiske basisdatakort (cirkeldiagramkort) med oplysninger om gennemborede jordlag. Herved er der opstillet en geologisk model bestående af i alt 9 lag. Af hensyn til den numeriske løsning har det vist sig nødvendigt at slå de øverste 3 lag sammen til et beregningslag (figur 10).

Med henblik på bedømmelse af den geologiske models troværdighed er der udviklet et program (SLICE) som kan analysere de enkelte modellag på baggrund af oplysninger i PC ZEUS.

Der er i alt 174.000 borer i borerisdata-basen på landsplan, hvilket giver 4 borer i gennemsnit pr. km². Med SLICE kan det vurderes, hvorvidt der f.eks. er sand-

de væsentligste strømningsprocesser i landfasen af det hydrologiske kredsløb. MIKE SHE kan beskrive afstrømning på jordoverfladen, i vandløb, over og under

grundvandsspejlet samt drænvandsafstrømning. Desuden giver systemet mulighed for beskrivelse af snesmeltning og aktuel fordamning.



Figur 11. Topografi og vandløbssystem (øverst), grundvandsdannelse til sekundære magasiner (midten) og grundvandsdannelse til det primære magasin (nederst) i mm/år simuleret med Fynsmodellen.

vinduer i et lerlag, som så skal repræsenteres med en 'linse' i DK-modellen. Den tilføjes en højere hydraulisk ledningsevne i forhold til områder, hvor moræneler optræder sammenhængende.

En maskevidde på 1 km er anvendt i DK-modellen for Fyn. Dette valg er, som det ses i figur 10 baseret på et hensyn til såvel en rimelig opløselighed som en rimelig

repræsentation af de topografiske og geologiske variationer.

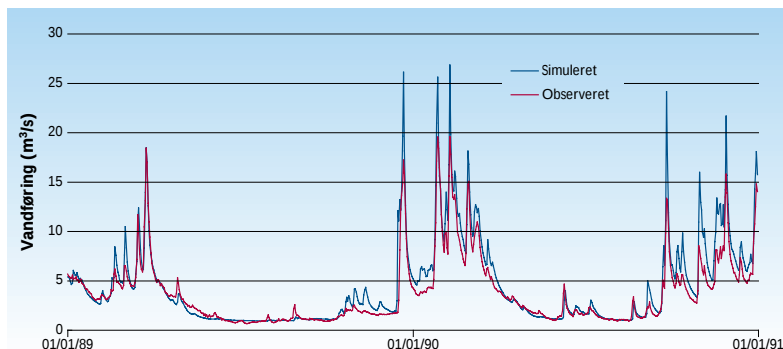
Modellen er kalibreret på baggrund af afstrømningsmålinger i vandløb (eks. se fig. 12) og målinger eller pejlinger af grundvandsstanden. På baggrund af den kalibrerede model er der for perioden 1971-96 foretaget simuleringer af vandbalancen og vurderinger af grundvandsdannelsen.

På baggrund af foreløbige kalibreringer er vandbalancen for Fyn for overvågningsperioden 1989-96 bestemt og er sammenlignet med vandbalancen for perioderne 1971-90 (se Fig 13B).

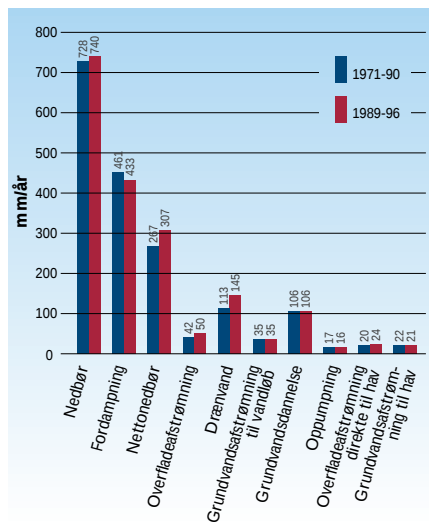
Som det fremgår af vandbalancen gengivet på figur 13A giver modellen en samlet grundvandsdannelse på omtrent 75 mm/år til de primære magasiner, hvorfra hovedparten af vandindvindingen sker. Før der kan foretages en endelig opgørelse af den udnyttelige vandressource for Fyn, skal der imidlertid foretages fradrag i ressourcen som følge af længevarende klimatiske variationer, områder med dårlig vandkvalitet eller på anden måde dårlige indvindingsbetingelser. Endelig kan hensyn til restvandføring i vandløb eller vandstand i søer og vådområder sætte grænse for den udnyttelige ressources størrelse.

Selvom indsigt i relationerne endnu er foreløbige vurderes det, at påvirkningen af minimumsvandføringen er knap 50 % af vandindvindingens størrelse. Dvs. en forøgelse af oppumpningen på Fyn med f.eks. 1 million m³/år vil reducere sommervandføringen med knap 500.000 m³/år.

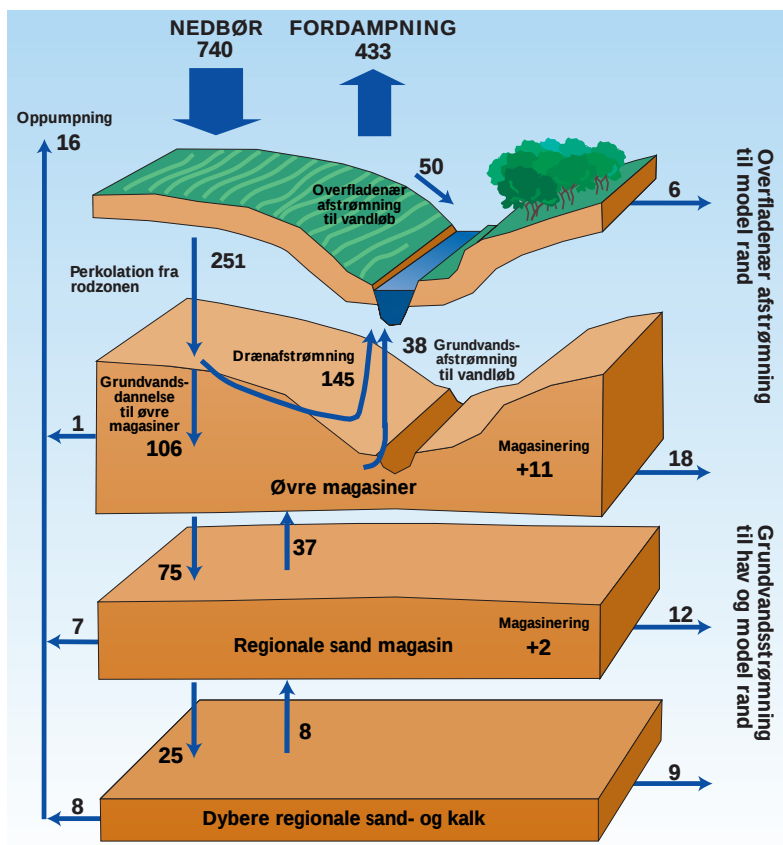
Der er benyttet en simpel beregningsmetode for vandudveksling i rodzonen, som beskriver fordelingen af vand til planteoptagelse (fordampning) og videre nedsivning til grundvandszonen. Denne beregningskomponent er koblet til den fysiske baserede MIKE SHE model således at grundvandsstrømningen og udvekslingen mellem grundvand og vandløb, overfladisk afstrømning og drænvands-afstrømningen så vidt muligt er baseret på en korrekt fysisk beskrivelse, mens processerne i rodzonen og umættet zone er væsentligt forenklede. Resultaterne med brugen af det udviklede rodzonemodul har imidlertid været gode. Ved beregningerne af nedsivning med rodzonemodulet tages der hensyn til arealanvendelse (landbrug, skov og vådområder), jordart samt topografi (nedbørsfordeling som funktion af topografi) ud fra daglige nedbørsdata og fordampningsdata fra Statens Planteavlfsorsøg (nu Dansk JordbrugsForskning) / Landskontoret for Planteavls nationalnet.



Figur 12. Eksempel på modelsimuleret og målt vandføring i Odense å for 1989-90. (Station 45.21).



Figur 13B. Simuleret vandbalance for Fyn.



Figur 13A. Modelsimuleret vandbalance for Fyn 1989-96. Med modellen er det muligt at vurdere ændringer i vandbalance størrelserne som følge af ændret nedbør, fordampning eller oppumpning. Herved kan det vurderes hvordan f.eks. minimumsvandføringen i vandløb vil ændre sig såfremt oppumpningen ændres. Alle tal i mm. Samme tal er vist som graf i fig 13B (røde søjler), og er sammenlignet med tal fra 1971-90 (blå søjler).

Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) deltagere i projektet og DMUs ydelser omfatter levering af afstrømningsdata og opbygning af et register for minimumsvandføringer i vandløb. Disse data er som tidligere om-

talt meget vigtige såfremt en nærmere kalibrering af grundvandskomponenten skal foretages, idet udnyttelse af tidsrækker ved faste stationer ikke er tilstrækkeligt.

Dansk Hydraulisk Institut (DHI) yder bistand til projektet i forbindelse med udvikling, opbygning og afprøvning af MIKE SHE modellen. Der er desuden sat et projekt i gang for Erhvervsfremmestyrelsen i tilknytning til DK-modellen, hvor der skal foretages en videreudvikling af MIKE SHE systemet for følgende områder:

- et tre-dimensionalt geologisk modul for dataindlæsning, som udgør en forbindelse mellem GEUS' borearkiv og MIKE-SHE
- et modul med interfaceprogrammer til andre eksisterende databaser
- et modul for salt/ferskvands interface beregning i grundvandszonen.
- et modul til transformation af parameterværdier mellem forskellige skalaer

Erfaringerne med DK-modellen har vist, at der er et stort behov for samtlige nye moduler, såfremt modellen skal kunne bruges som grundlag for mere detaljerede og lokale analyser i forbindelse med zoner, stofftransport og saltvandsindtrængning.

Landsdækkende stationsnet til måling af grundvandsstanden

Regelmæssige målinger af grundvandsstanden giver et direkte billede af ændringer i mængden af grundvand. Grundvandsstanden varierer naturligt hen over året med

den højeste vandstand omkring april måned og den laveste vandstand omkring oktober. På få år kan grundvandsstanden dog ændre sig betydeligt i forhold til den almindelige årstidsvariation, enten som følge af ændringer i nedbørsmængden eller på grund af grundvandsindvinding eller begge dele. Især nedbøren i vinterhalvåret er af stor betydning for grundvandsdannelsen, da planternes vandoptagelse og fordamningen er begrænset i denne periode.

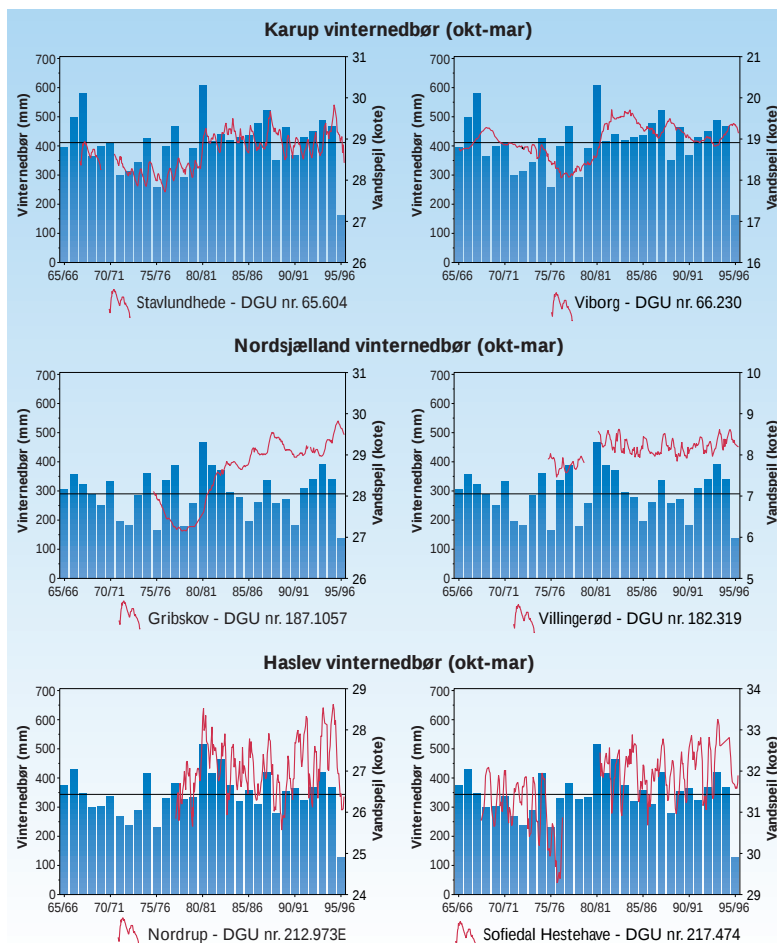
GEUS har siden 1950'erne løbende opbygget og drevet et landsdækkende målestationsnet. Der er nu behov for at reorganisere det nationale målestationsnet for at effektivisere overvågningen af grundvandsressourcens størrelse og udvikling nationalt og regionalt. Herunder at kunne levere opdaterede oplysninger om konsekvenser af variationer i klima, vandforbrug og vandindvinding på nationalt niveau. En løbende justering og verifikation af den Nationale Vandressource Model forudsætter løbende overvågning af grundvandsstanden og dermed ressourcens størrelse.

Det nationale målestationsnet opbygges således, at det vil være i stand til at afspejle indflydelsen fra omgivelserne på tre hydrogeologiske hovedsituationer:

- Terrænnært grundvand direkte påvirket af klima- og arealanvendelse.
- Dybtliggende grundvand afspejle langtidssvækninger.
- Grundvand påvirket af større vandindvinding.

Målestationsnettet skal i så høj grad som muligt afspejle variationer i de geologiske forhold, i klimaforholdene samt i arealanvendelsen.

En del af det reviderede nationale målestationsnet vil blive etableret og drevet af GEUS. Det vil bestå af 20-30 målestationer, hver med ét filter i et terrænnært grundvandsmagasin og ét filter i et dybereliggende regionalt magasin. Disse målestationer udbygges med dataloggere til kontinuert registrering og eventuelt on-line datatransmission af målingerne.



Figur 14. Regional variation i grundvandsressourcens størrelse. Søjlér viser vinternefbør og de røde kurver viser vandspejlskoter. På baggrund af målinger af grundvandsstanden fra det nationale målestationsnet kan det vurderes, hvordan den aktuelle grundvandsressource udvikler sig.

En anden del af målestationsnettet etableres og drives af amtskommunerne. Dette net vil bestå af 10-50 pejleboringer pr. amt. Pejleboringerne udvælges så de repræsenterer grundvandsmagasiner påvirket af større vandindvinding samt vigtige regionale og lokale grundvandsmagasiner, fortrinsvis, men ikke udelukkende, i områder med særlige drikkevandsinteresser.

Erfaringer fra opsætningen af den Nationale Vandressource Model vil blive inddraget ved valg af måleboringer til det nationale

net. Målestationsnettet vil, når det er fuldt udbygget i 1999, indgå som en del af Vandmiljøplanens overvågningsprogram for Grundvand. Når reorganiseringen af det nationale målestationsnet er tilendebragt, er det planen at GEUS kvartårligt udsender et nyhedsbrev om grundvandsituationen i Danmark.

Sprækker i moræneleret og andre vigtige forskningsresultater

Den stadig stigende fokus på drikkevandsressourcerne gennem de seneste år har

naturligt nok også øget forskningsindsatsen på området. Det har specielt været muligt gennem Det Strategiske Miljøforskningsprogram, hvor Grundvandsgruppens (se nedestående boks) undersøgelser har frembragt ny viden, som har betydning for, hvordan vi planlægger en hensigtsmæssig beskyttelse og en bæredygtig udnyttelse af Danmarks grundvand i fremtiden.

Grundvandsgruppen

Under regeringens strategiske Miljøforskningsprogram findes en grundvandsgruppe. GEUS er sekretariat for gruppen, der også tæller forskere fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU), Aarhus Universitet (ÅU), Københavns Universitet (KU), Danmarks Miljøundersøgelser (DMU), Dansk JordbrugsForskning (DJF) (tidligere Statens Plan-teavlsforsøg), Århus Amt, Geoteknisk Institut (GI) samt forskere fra USA, Canada og Tyskland.

Grundvandsgruppen har stået for gennemførelsen af Det strategiske Miljøforskningsprogram 1992-96 (SMP-1), der havde til formål, gennem en række delprojekter at skaffe overblik over grundvandsdannelse, vandkvalitet samt vandindvindingsmuligheder i Danmark.

Grundvandsgruppen interesserer sig, i et nyt forskningsprogram: "Pesticider og Grundvand" (SMP-96), for de lokale geologiske forholds betydning for bl.a. pesticiders trussel mod grundvandet. Foruden de ovennævnte institutioner (bortset fra ÅU, GI og Århus amt) deltager forskere fra Vandkvalitetsinstituttet (VKI) og Den Kongelige Veterinær og Landbohøjskole (KVL).

Som noget af det mest bemærkelsesværdige har en række feltforsøg til fulde bekræftet stærke formodninger om, at moræneleret mange steder i det østlige Jylland og på Øerne er gennemsåret af lodrette sprækker, som bl.a. er dannet under istiden. Geologerne mente indtil for få år siden, at moræneler generelt var en effektiv barriere mod nedsivning af miljøskadelige stoffer, men må nu erkende, at dette ikke er korrekt, og at nedsivning af miljøgifte til grundvandet kan ske meget hurtigt. Tilstedeværelsen af sprækkerne betyder, at lerlag i

tykkelser på 5-8 meter eller måske endnu mere nogle steder kan være hullede som en si. Denne erkendelse er ny (se fig. 15).

Sprækkerne virker som transportveje, hvor forurenende stoffer på jordoverfladen hurtigt kan sive ned i grundvandet med nedbøren uden den normale mulighed for tilbageholdelse og nedbrydning. Endnu tykkere og dybere liggende lerlag er antagelig også gennemsåret af sprækker, men vi ved endnu ikke, om de har lige så stor betydning her. Sprækkerne betyder desuden, at væsentlig forurening i lerlagene i årtier kan smitte af på det nye vand, som strømmer forbi i sprækkerne.

Den nye viden om sprækkernes tæthed og dybde har bl.a. betydning for placeringen af affaldsdepoter, for oprettelse af beskyttelseszoner for vandindvinding samt for vurderingen af, hvor længe forurenede jord vil påvirke det nydannede grundvand.

Men ikke blot sprækkerne har betydning for nedsivningen af vand. Resultaterne fra undersøgelserne har gjort det tydeligt, hvor væsentlig lerlagenes inhomogene opbygning i øvrigt er for transport og spredning af stoffer, og hvor vigtigt det er at få kortlagt de små sandlag og eventuelle "huller" i lerlaget, de såkaldte "sandvinder". Avancerede geofysiske kortlægningsmetoder kan i et vist omfang afsløre en række betydningsfulde detaljer vedrørende det geologiske skelet, men en dybere indsigt i nedsivningsforhold og strømningsbetingelser fås kun ved at supplere med andre typer målinger bl.a. aldersbestemmelse af grundvand.

Grundvandet aldersbestemmes

Her spiller muligheden for aldersbestemmelse af grundvand en væsentlig rolle. I forbindelse med Det strategiske Miljøforskningsprogram er der anvendt en ny metode til aldersbestemmelse af yngre grundvand, dvs. grundvand der er dannet i løbet af de seneste fem årtier. Dateringen gør det muligt at afklare, hvor hurtigt grundvandet fornyes. Samtidig kan dateringen bruges til at vurdere og forbedre matematiske modeller for grundvandets strømning.

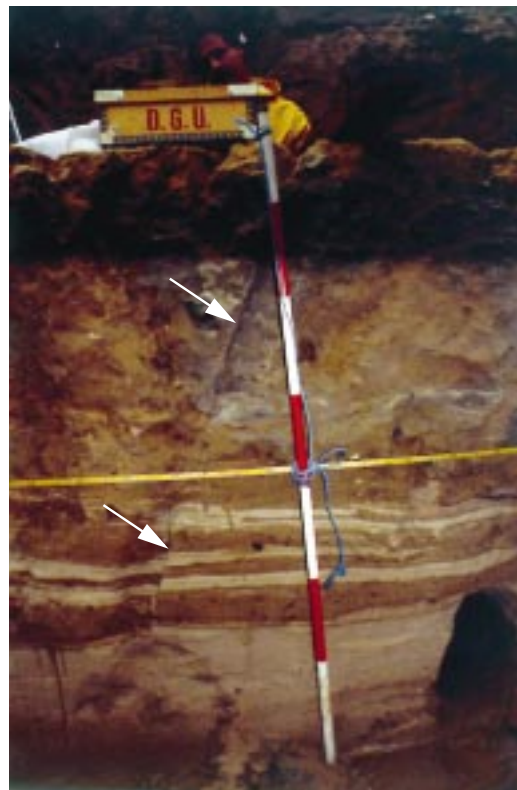
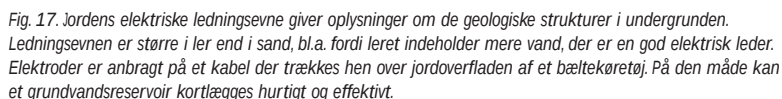


Fig. 15 Pilene viser en gennemgående sprække i moræneleret og sand. De lodrette mørkegrå områder i sprækken er nedsivende tjærestoffer.

Denne dateringsmetode udnytter paradoksalt nok den globale forurening af vort miljø, idet den er baseret på nedsivning af CFC-gasser fra luften. CFC-gasserne har været brugt i stort omfang i de sidste 50-60 år, f.eks. i kølemidler, fjernvarmerør og som drivgasser i spraydåser. Nu er brugen minimeret, da gasserne ødelægger ozonlaget. Der findes forskellige typer af CFC, og mængderne af de forskellige typer i atmosfæren er blevet beregnet fra 1940'erne og frem til 1970'erne. Herefter har man direkte målinger af mængderne af de forskellige slags CFC-forbindelser. Koncentrationerne af de forskellige CFC-gasser i regnvandet bestemmes af mængderne i atmosfæren. Grundvandet forekommer ofte i flere vandførende lag. De øverste indeholder typisk vand, som er dannet indenfor de seneste årtier. En væsentlig del af vort vandforbrug dækkes via små lokale vand-



Ferskvandet i de nedre grundvandsmagasi-
ner er langt ældre. Grundvandsgruppens
dateringer viser, at vandet i de undersøgte
dybe reservoirer ofte er mere end 2.000 år

Det er usandsynligt at vi nogensinde får sikret eller fjernet samtlige gamle lossepladser i Danmark. Vi må prioritere. Derfor er det i hvert enkelt tilfælde vigtigt at afklare, om forureningen truer vandboringer i lokalområdet. Samtidig må vi vide, om bakterier kan nedbryde de organiske stoffer, der siver ned i grundvandet. I hvor høj grad er naturen i stand til at rydde op efter os?

Samtidig er det blevet klart, at koncentrationen af stofferne har betydning for den mikrobielle nedbrydning. Paradoksalt nok nedbrydes høje koncentrationer i nogle tilfælde mere effektivt end lavere koncentrationer. Det skyldes, at der skal være en vis mængde af stofferne til stede for at skabe et livsgrundlag for de nedbrydende bakterier. Forskningsresultaterne har betydning for sikring og regulering af lossepladser samt for placeringen af vandboringer.

I de seneste år er der flere steder blevet påvist pesticider i grundvandet. Disse sprøjtegifte til bekæmpelse af skadedyr og ukrudt er ikke blevet undersøgt direkte i forskningsprogrammet under SMP-1. Men de generelle erkendelser, som Grundvandsgruppen har opnået med hensyn til dynamikken i grundvandssystemer, har naturligvis også betydning i denne sammenhæng. Grundvandsgruppen udforsker nu pesticidforureningen i et nyt program (SMP-96), Pesticider og Grundvand, under

Det Strategiske Miljøforskningsprogram. Disse nye projekter gennemføres i årene frem til årtusindskiftet.



Vandressourcer og



SAMFUNDET

Af alt vand på Jorden er kun 2.5 % ferskvand, og kun 0.26 % af denne mængde eller ca. 0.007 % af Jordens samlede vandmængde kan udnyttes. Men udfra en gennemsnitsbetragtning burde der være rigeligt til at imødekomme vore forskellige behov for rent vand. Desværre er ressourcerne ikke fordelt ligeligt på kloden, hverken tidsmæssigt eller arealmæssigt, og i dag er vandmangel et kronisk problem i mange områder af verden og giver derfor anledning til konflikter inden for de enkelte lande og mellem lande, der deler vandressourcer imellem sig.

Det er blevet et økonomisk gode, hvis styring vil blive et af hovedproblemerne i det 21ende århundrede.

Vi har her i landet en meget lang tradition for forvaltning af vore drikkevandsressourcer, hvor vi på flere områder har været foregangsland. Dette gælder bl.a. vandforsyningsloven fra 1926 (verdens første), etableringen af Miljøministeriet i 1971 (verdens første), den nationale hydrogeologiske kortlægning i 1976 og det nationale overvågningsprogram i 1988. Ved gennem mange år at have haft problemerne tæt inde på livet i et stadigt mere komplekst samspil med det omgivende samfund har vi således udviklet et erfaringsgrundlag, som er værdifuldt i forhold til såvel nationale som globale vandproblemer. Med en større samlet og koordineret indsats fra danske firmaer og institutioner kan vi gøre det endnu bedre. - Og behovet vil blive endnu større i fremtiden.

Med henblik på yderligere at styrke udviklingen tog en række institutioner initiativ til dannelsen af Dansk Vandressource Komité (DVK) medio 1994. Motivationen for etablering af DVK var, erkendelsen af et behov for et forum, som kunne koordinere aktiviteter og strategier og sikre udveksling og spredning af information indenfor vandressource området, både på det internationale og det danske område. Sekretariatet for DVK er placeret hos GEUS.



MILJØET

Vand er naturens vigtigste kilde til opretholdelse af liv og til transport af stoffer, og som sådan helt basalt for miljøets tilstand og udvikling. Det er vigtigt ikke kun at se på grundvandet som en afgrænset enhed, men at se det i en sammenhæng med de øvrige dele af vandkredsløbet, vandløb, søer, vådområder etc.

Samspillet mellem klima, vegetation og jordbund har stor indflydelse på fordampningen og dermed på nedsivningen til grundvandet, herunder også på kvaliteten af det vand, der dannes. Alt andet lige vil en øget nedbør øge vandressourcens størrelse, men nedbøren kan medføre en større udvaskning af stoffer, også de forurenende. En svigtende nedbør vil omvendt reducere udvaskningen og faren for forurening, men tørke vil til gengæld give faldende grundvandsstand, mindre vand i vandløbene og udtørre vådområderne.

Menneskeskabte aktiviteter vil yderligere påvirke vandressourcerne. Dette gælder især udnyttelsen af vand til forskellige formål som drikkevand, kunstvanding, kølevand, procesvand i industrien etc. Visse steder kan indvindingen være så intensiv, at grundvandsstanden permanent sænkes betragteligt og vådområder og vandløb tørlægges periodevis, bl.a. med risiko for langvarig forringelse af vandkvaliteten til følge (saltvandsindtrængning, øget sulfatindhold etc.). Afdræning af vådområder og søer, intensiv dyrkning af jorden med brug af gødningsstoffer og pesticider, deponering af affald og udledning af spildevand vil ofte give en markant påvirkning af vandressourcen.

Det er derfor vigtigt ikke kun at se på vand til drikkevandsformål, men også vandets rolle som indikator for miljøets generelle tilstand. Evnen til at opsamle og gemme de fingeraftryk naturen og vi mennesker sætter. Grundvandet er her af særlig interesse som en af de store mellemstationer på vejen med meget varierende men ofte lange opholdstider, et fantastisk arkiv som vi ikke har alle nøgler til endnu. Som eksempel herpå har vi inden for de senere år anvendt globale miljøforureninger (CFC - gasser og Tritium) som nyttige elementer i videnskabens tjeneste til datering af grundvands alder og derigennem fastlæggelse af strømningsvejene.



FORSKNINGEN

Der er gennem årene anvendt ressourcer i laboratorier og under aktuelle feltbetingelser på at klarlægge en lang række af de delprocesser, som er af betydning for en hensigtsmæssig forvaltning af vandressourcen. Sådanne studier vil der til stadighed være behov for efterhånden som kompleksiteten af problemerne øges og vidgrundlaget forbedres. Der er imidlertid også et stort behov for at kunne sætte de enkelte processer og elementer sammen til en helhed og udvikle operationelle værktøjer, således at de betydende processer og overordnede udviklingstendenser kan analyseres i de komplekse og integrerede systemer, som vandressourcen ofte er en del af. Der er i denne forbindelse tre væsentlige problemkomplekser af betydning for vandressourcens beskyttelse og udnyttelse:

Grundvandsdannelsen, hvor og hvordan foregår den, og hvad betyder den for mulighederne for at beskytte både grundvand og overfladevand?
Heterogenitetsforholdene, hvad betyder de for spredning af forurenende stoffer og muligheden for oprensning?
Robustheden af systemerne, hvor stor er naturens "helende" evner og hvilke tærskelværdier findes der?

For at kunne håndtere sådanne forhold er opskalering af parametre og detailprocesser til operationel skala af fundamental betydning og et meget vigtigt forskningsområde i de kommende år.

Et andet væsentligt område at få analyseret er klimaet, dets variation og indflydelse på vandressourcernes størrelse og fordeling. Her kan vi bl.a. udnytte viden om den historiske udvikling dokumenteret gennem målinger af nedbør og klima inden for de seneste 2-300 år, aflejringer i søer og indhold af sporelementer i Grønlands indlandsis.

Hvor kan man læse videre

- Baumann, J.: Kvalitetsboringer. Geologisk Nyt 4/96.
- Bjerg, P. L. et al.: Grundvandets selvrensningsevne ved forurening fra lossepladser. Geologisk Nyt 3/93.
- Clausen, S. W. & Kristensen, M.: Grundvandsplanlægning - ny landsdækkende ressourcemodel. Geologisk Nyt 4/96.
- Clausen, S. W.: Amterne og drikkevandet. Geologisk Nyt 3/96.
- Dahlgaard, J.: Rent Drikkevand - Ja tak! - Forurening af drikkevand kan begrænses. Geologisk Nyt 1/96.
- Danmarks fremtidige vandforsyning, Vandrådets betænkning. Betænkning fra Miljøstyrelsen nr. 1, 1992.
- Danmarks grundvand og drikkevand, Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr. 4. Miljø- og energiministeriet. 1994.
- DGU information juni 1994: Grundvand i Danmark.
- Drikkevand - en truet ressource. Petersen, S. og P. Løgstrop Bjerg, 1989, NOAHs forlag.
- Drikkevand, rent vand. men hvordan? Teknologirådet, 1997.
- Nygaard, E., Nyegaard, P. & Hinsby, K.: Grundvand i Danmark, kvalitet, fordeling og alder. DGUs årsberetning for 1994.
- Falsk Alarm - om giftrester i Københavns drikkevand. Miljø Danmark 3/1997.
- Grundvand og drikkevand. DGU, Kort For-
talt, 1991. Geografforlaget.
- Grundvand, vandforsyning og vådområder
Danmarks Naturfredningsforening, 1993.
- Grundvandsovervågning 1995 og 1996.
Miljø- og energiministeriet, Danmarks og
Grønlands Geologiske Undersøgelse.
- Hansen, J. M.: Geologi for enhver. Geograf-
forlaget 1994.
- Hansen, K. E. og Tuxen, A.: Kampen for rent
vand. Om natur og økonomi. Geografforla-
get, 1992.
- Hinsby, K., Laier, T. & Dahlgaard, J.: Datering
af grundvand ved hjælp af CFC. Geologisk
Nyt 2/97.
- Jørgensen, P. & Spliid, N.H.: Pesticider og
sprækket moræner. Geologisk Nyt 4/96.
- Kjellerup, M. og Hansen, A.M.: Vandbespa-
rende foranstaltninger. Teknisk forlag, 1994.
- Krog, M.: Aminosyrer og monosaccharider i
humus fra dybe grundvandsmagasiner i
Danmark. Geologisk Tidsskrift 1996/1.
- Krog, M.: Brunt Grundvand - hvor kommer
det fra? Geologisk Nyt 4/94.
- Linderberg, J.: Skovrejsning og grundvands-
beskyttelse - utopi eller virkelighed. Geo-
logisk Nyt 3/93.
- Marcussen, I. & Kelstrup, N.: Bryggerens
vand. Geologi, Nyt fra GEUS, 1/97.
- Natur- og Miljøpolitisk Redegørelse. 1995
Miljø- og energiministeriet.
- Nielsen, B. L.: Pesticider - lovgivning og
direktiver. Geologisk Nyt 2/94.
- Nielsen, R.H.: Danmarks grundvand en tru-
et ressource. Det Strategiske Miljøforsk-
ningsprogram. Grundvandsgruppen 1996.
- Projekt om jord og grundvand fra Miljøsty-
relsen. 21 rapporter fra Depot- og Grund-
vandsprioriteringsprojektet Miljø- og energi-
ministeriet, Miljøstyrelsen, 1996.
- Schrøder, L.: Vandforsyningernes analyser.
Geologisk Nyt 2/94.
- Tal om Natur og Miljø 1994 Miljø- og
energiministeriet, Miljøstyrelsen, Skov- og
Naturstyrelsen og Danmarks Statistik
Vandforsyning. Århus kommunale værker,
Århus Universitet og Århus Amt, 1995.
- Vandforsyningsstatistik 1995. Danske Vand-
værkers Forening, Miljøstyrelsen og Dan-
marks og Grønlands Geologiske Under-
søgelse. Danske Vandværkers Forening,
1996.
- Vandmiljø -95, Redegørelse fra Miljøstyrel-
sen nr. 3, 1995. Miljø- og energiministeriet,
Miljøstyrelsen.
- Villumsen, Arne :Det danske vand - vandet
i jorden., 1991, Gyldendal.
- Aamand, J.: Pesticider og grundvand. Geo-
logi, Nyt fra GEUS, 4/96.



Hans Jørgen Henriksen

Siden sin ansættelse ved GEUS i 1994 har Hans Jørgen Henriksen arbejdet med integreret vandressource forvaltning, herunder modellering af grundvandsressourcens størrelse, kvalitet og beskyttelse. Sideløbende hermed har han som sekretær for Dansk Vandressource Komité (DVK) arbejdet for en koordinering af aktiviteter mellem det internationale og det danske område, med bl.a. organisering af temamøder, formidling af information via "Nyt om Vandressourcer" og senest organisering af en international EWRA konference om: "Operationel Vandressource Forvaltning". Han har tidligere været ansat i Hedeselskabet, Tage Sørensen A/S og Rambøll. Ved GEUS arbejder han i afdelingen for Hydrologi og Glaciologi, hvor han er fagligt ansvarlig for GEUS' tværgående hydrologiske aktiviteter, herunder projektle-
der for projekterne: National Vandressource Model og Regional pesticidmodellering.



Bjarne Madsen

Bjarne Madsen er uddannet civilingeniør og som statsgeolog chef for Hydrologi og Glaciologi. Før sin nuværende ansættelse ved GEUS var han en årrække ansat i den private sektor inden for rådgivning, forskning og udvikling i både ind- og udland. Senest fungerede han som afdelingsleder på Vandkvalitetsinstituttet. Oprindeligt har han en fortid som videnskabelig assistent på det daværende DGU.



Årsberetning og Virksomhedsregnskab for 1996 Project Catalogue 1997

GEUS' "Årsberetning og Virksomhedsregnskab for 1996" (dansk sproget) og "Project Catalogue 1997" (engelsk sproget) er udkommet. Beretningen rummer udover virksomhedsregnskabet tillige følgende seks geologisk faglige artikler:

- Diamantfund i Grønland
- "Vinduer", sprækker og grundvandsbeskyttelse
- GEUS i Vietnam
- Nordatlanten; vandudveksling og klimasvingninger
- Nyvurdering af geotermisk energi
- Centralgraven i Nordsøen

Begge udgivelser kan fås så længe oplaget rækker ved henvendelse til GEUS.

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS), er en forsknings- og rådgivningsinstitution i Miljø- og Energiministeriet.

Institutionens hovedformål er at udføre videnskabelige og praktiske undersøgelser på miljø- og energiområdet samt at foretage geologisk kortlægning af Danmark, Grønland og Færøerne.

GEUS udfører tillige rekvirerede opgaver på forretningsmæssige vilkår. Interesserede kan bestille et gratis abonnement på **GEOLOGI - NYT FRA GEUS**. Bladet udkommer 4 gange om året. Henvendelser bedes rettet til: Knud Binzer på GEUS.

GEUS giver i øvrigt gerne yderligere oplysninger om de behandlede emner eller andre emner af geologisk karakter.

Eftertryk er tilladt med kildeangivelse.

GEOLOGI - NYT FRA GEUS er redigeret af geolog Knud Binzer (ansvarshavende) i samarbejde med en redaktionsgruppe på institutionen.

Konsulent: Marianne Vasard Nielsen.

Skriv, ring eller mail:

GEUS

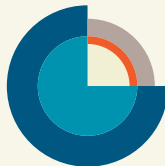
Danmarks og Grønlands
Geologiske Undersøgelse
Thoravej 8, 2400 København NV.

Tlf.: 38 14 20 00

Fax.: 38 14 20 50

E-mail: geus@geus.dk

Hjemmeside: www.geus.dk



GEUS

GEUS publikationer:

Alle GEUS' udgivelser kan købes hos Geografforlaget.

Henvendelse kan ske enten på tlf.:

64 44 16 83 eller telefax: 64 44 16 97.



Adressen er:

GEOGRAFFORLAGET 5464 Brenderup

ISSN 1396-2353

Produktion:

Carsten Thuesen, GEUS Grafisk

Tryk: From & Co.

Forsidebillede: Peter Moors

Illustrationer: Carsten Thuesen