



# Bag om drikkevandet

Foto: GEUS

*Den nye opgørelse af vor drikkevandsressource, som blev offentliggjort tidligere på året, har næsten halveret den tilgængelige mængde drikkevand. Artiklen går bag om tallene i opgørelsen, som det tog syv år at bestemme med en ny vandressource-model. Status, er at vi pumper for meget vand op.*

Af Hans Jørgen Henriksen, Anker Lajer Højberg og Lars Troldborg

■ I Danmark bruger vi næsten udelukkende rent og urensset grundvand som drikkevand. Det er billigt, nemt og sikkert. Men nu er der grund til bekym-

ring: For 11 år siden var det bedste bud på størrelsen af vore drikkevandsressourcer, at den tilgængelige mængde grundvand var på ca. 1,8 mia. kubikmeter

om året. I foråret blev resultatet af den nye opgørelse af drikkevandsressourcerne offentliggjort. Den nye opgørelse, som er baseret på en detaljeret vandres-

source-model (*DK-model*), viser, at den tilgængelige mængde grundvand nu er 1,0 mia. kubikmeter årligt – altså næsten en halvering.

Forklaringen på halveringen er dels en mere detaljeret beregning af hele *vandkredsløbet* end tidligere, samtidig med at der i den nye opgørelse er taget højde for forureningen med miljøfremmede stoffer som f.eks. pesticider.

### EU kræver hensyn til naturen

Vi har som nævnt en unik situation her i landet, hvor 99% af vandforsyningen er baseret på urenset, rent vand fra undergrunden. De nye tal tyder på, at denne situation måske er uholdbar.

Vi pumper så meget vand op, at vandløb tørlægges og grundvandsspejl sænkes. Samtidig siver pesticider, nitrat og andre miljøfremmede stoffer langsomt ned gennem jordlagene og skaber voksende problemer i det øvre grundvand.

Den nye ressourceopgørelse, der er baseret på eksisterende retningslinier, viser, at der ikke er sammenhæng mellem vore målsætninger for vandløb og vandkvalitet og den nuværende strategi for vandindvinding.

Fra årsskiftet skal EU's såkaldte *vandrammedirektiv* udmøntes. Direktivet fastsætter en række miljømål, der skal opfyldes inden for en fastsat frist. Det opstiller desuden overordnede rammer for den administrative struktur, for planlægning og gennemførelse af tiltag og for overvågning af vandmiljøet. Med Vandrammedirektivet står vi over for bindende krav til de målsætninger, der opstilles for grundvand og overfladevand. Det er derfor helt essentielt, at vi i forbindelse med Vandrammedirektivet bliver i stand til at fastlægge grænserne for, hvor meget vi kan påvirke vandkredsløbet. Vi vil blive hængt op på de målsætninger, der opstilles.

Arbejdet med DK-model (se boks næste side) har endvidere vist, at vi har problemer med at få regnskabet med *vandbalancen* til at gå op. Vi har ikke godt nok styr på, hvor meget det regner, og hvor meget vand der fordamper. Fejl i opgørelserne af vandbalancen medfører problemer for vurdering af vand-

løbspåvirkning og grundvandsdannelse og dermed også for vurdering af nitratudvaskning samt konsekvenser af vandindvinding.

Derfor er resultaterne fra DK-model vigtige og bør indgå i det fremtidige arbejde med Vandrammedirektivet.

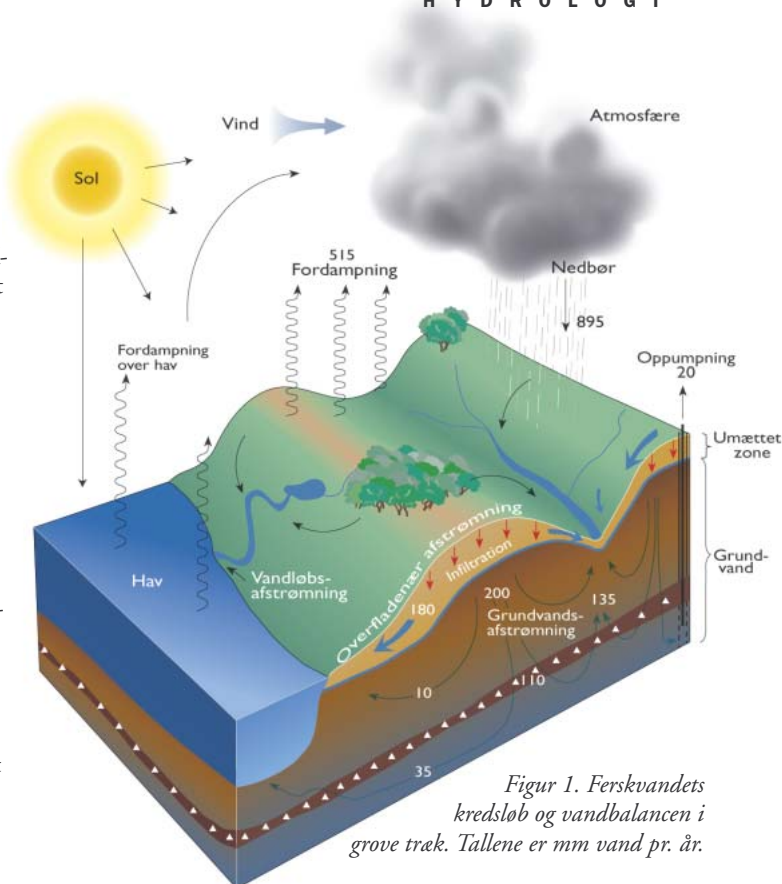
### Grænser for indvinding af grundvand

Når grundvand pumpes op fra undergrunden påvirker det miljøet på flere måder:

- Det kan påvirke vandløbene, hvor vandføringen reduceres, og nogle strækninger helt tørlægges
- Det kan øge hastigheden, hvormed nitrat, pesticider og andre stoffer siver ned i grundvandet med regnvandet
- Det kan påvirke frigivelsen af stoffer fra undergrunden f.eks. nikkel, klorid, sulfat mv. som følge af sænkning af grundvandsspejlet og iltning af jordlag

Disse tre forhold sætter således grænser for, hvor meget vand der kan pumpes op under givne vegetations- og klimaforhold. Og dermed er de centrale for en opgørelse af vandressourcens størrelse.

Med rapporten *Ferskvandets Kredsløb* har vi for første gang regnet detaljeret på vandkredsløbet for hele landet. Vore beregninger viser, at påvirkninger af vandløb og natur (bl.a. planter, krebsdyr og fisk) giver større begrænsninger i de mængder, der kan hentes op fra grundvandet, end vi hidtil har antaget. Oven i dette kommer så problemerne med forureningen af det øvre grundvand dvs. de øverste 30-50 meter under terrænoverfladen, hvor hver femte boring i dag viser en forurening med både nitrat og pesticider over grænseværdien. Dvs. at vi må antage, at en større del af grundvandet bliver forurennet med tiden, idet det tager fra 10 til 100 år for vandet at sive ned til det dybe grundvand. Undervejs sker der dog en vis naturlig "rensning" af vandet, men vil situationen i det dybere grundvand yderligere forværres, eller er den stabil?



Figur 1. Ferskvandets kredsløb og vandbalancen i grove træk. Tallene er mm vand pr. år.

## Vandbalance

Vandbalancen for et opland kan udtrykkes ved en vandbalanceligning, der udtrykker, at nedbøren modsvares af summen af fordampning, vandløbsafstrømning, underjordisk afstrømning (i grundvandet), oppumpning og ændret magasinering i jorden i oplandet. Alt i alt et stort regnskab.

Overordnet set er det vigtigt at få styr på vandbalancen og ikke mindst dens påvirkelighed. For at sikre bæredygtig udvikling er det vigtigt, at der er styr på sammenhæng mellem vandforbrug og naturpåvirkninger. At opgøre vandbalancen er et kompliceret spil mellem geologiske forhold, indvindinger, vandløb og søer, arealudnyttelse og klimapåvirkninger.

## Vandrammedirektivet

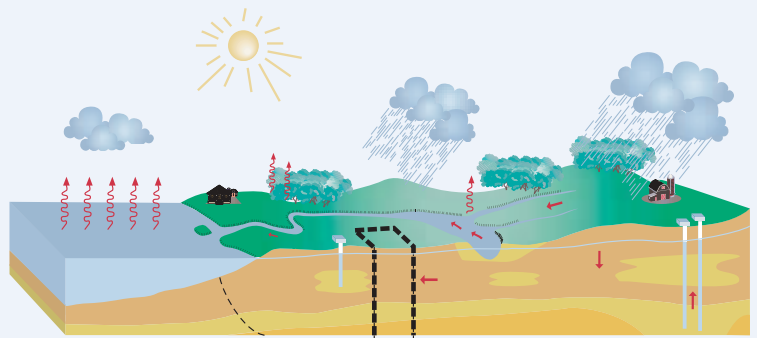
Formålet med vandrammedirektivet er at sikre beskyttelse af vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Dette skal ske ved:

- at forebygge yderligere forringelse og beskytte og forbedre vandøkosystemernes tilstand og, hvad angår deres vandbehov, også tilstanden for jordbaserede økosystemer og vådområder, der er direkte afhængige af vandøkosystemerne,
- at fremme bæredygtig vandanvendelse baseret på langsigtet beskyttelse af tilgængelige vandressourcer,
- at sigte mod forøget beskyttelse og forbedring af vandmiljøet bl.a. gennem specifikke foranstaltninger til vedvarende reduktion af udledninger, emissioner og tab af prioriterede stoffer og ophør eller udfasning af udledninger, emissioner og tab af prioriterede farlige stoffer,
- at sikre vedvarende reduktion af forurening af grundvand og forhindre yderligere forurening heraf,
- at bidrage til at afbøde virkningerne af oversvømmelser og tørke.

Direktivet skal herigennem bl.a. bidrage til at opfylde målene fra relevante internationale aftaler, herunder om beskyttelse af havmiljøet.

## En geologisk model

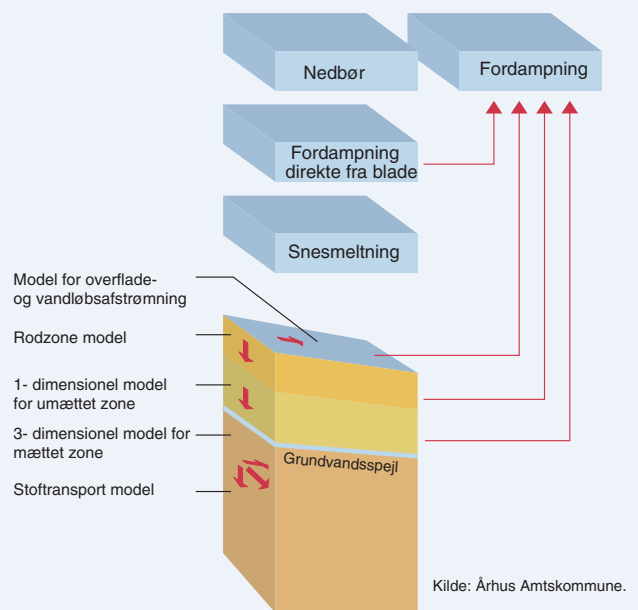
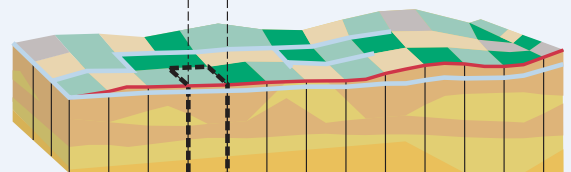
En **geologisk model** viser den rumlige fordeling af bjergarter og jordlag, der findes i undergrunden i et område. Før i tiden blev geologiske modeller konstrueret og tegnet i hånden, men i dag foregår det meste af arbejdet på computere, mens indsamlingen af data til brug for opstillingen af modellerne stadig i høj grad foregår i felten.



## En grundvandsmodel

En **grundvandsmodel** er en matematisk beskrivelse af vandets strømning i de forskellige jordlag (se figur), der er opstillet i den geologiske model. Det vigtigste grundlag for en grundvandsmodel, er derfor den geologiske model og tal for nedbør og fordampning. Til hvert geologisk lag er der i grundvandsmodellen parametre, der karakteriserer lagets strømningsegenskaber. Eksempelvis gives sandlag højere talværdier (permeabilitet) for vandets evne til at strømme igennem mediet end lerlag. I praksis er en grundvandsmodel et computerprogram, som udfører og sammenkæder alle de beregninger, der tilsammen beskriver vandets strømnings- og opmagasineringsforhold i grundvandssystemerne, såvel som udvekslingen mellem grundvand, vandløb og søer.

En model er en forenklet beskrivelse af den faktiske virkelighed, og vil derfor aldrig kunne vise et fuldt korrekt billede af grundvandsforholdene. Jo flere informationer og data, for eksempel geologiske data, man putter ind i en grundvandsmodel, desto bedre og mere nøjagtig, kan det forventes, at modellens efterligning af virkeligheden (naturen) bliver, i lighed med meteorologernes vejrprognoser.



## DK-modellen

### En integreret grundvands- og overfladevandsmodel

Den nye nationale vandressource-model, DK-model, er en integreret grundvands- og overfladevandsmodel opbygget i et 1x1 km net for Danmark dækkende 43,000 km<sup>2</sup>. Modellen består af et relativt simpelt rodzonemodul til beregning af nettonedbør og en detaljeret og omfattende tre-dimensionel grundvandsmodel til simulering af grundvandsdannelse og trykniveau i forskellige geologiske lag. Dertil kommer et relativt detaljeret overflademodul, der beskriver afstrømning i dræn

og vandløb, herunder udveksling mellem grundvand og vandløb. Modellen udnytter de fleste af de data, der foreligger i de nationale databaser vedrørende geologi, jordart, topografi, klima og hydrologi.

Konstruktionen af DK-modellen har været særdeles udfordrende, fordi alle disse data ikke har været sammenstillet på denne måde før, og derfor ikke nødvendigvis indebærer gensidig konsistens. Formålet med modelstudiet har været at udvikle et værktøj til anvendelse i praktisk vandressourceforvaltning.

En meget vigtig sidegevinst er muligheden for at gennemføre en kvalitetssikring af de hydrologiske data og procesforståelse på stor skala. Opbygningen af modellen krævede, at vi udnyttede viden fra en lang række institutioner med forskellige fagområder. Et samarbejde som bl.a. har gjort os opmærksom på inkonsistens i vores fortolkning af nedbør og fordampning. Modellen har også givet feedback til forståelse af den geologiske tolkning, der er selve fundamentet for den hydrologiske model.

Det endelige resultat af DK-modellen viser, at det har været muligt at konstruere en kombineret grundvands-/overfladevandsmodel, som giver pålidelige resultater med hensyn til simulering af trykniveau og afstrømning. Desuden er den brugt til at integrere tilgængelig viden og retningslinier til et bud på størrelsen af Danmarks drikkevandsressource.

Det endelige resultat af DK-modellen viser, at det har været muligt at konstruere en kombineret grundvands-/overfladevandsmodel, som giver pålidelige resultater med hensyn til simulering af trykniveau og afstrømning. Desuden er den brugt til at integrere tilgængelig viden og retningslinier til et bud på størrelsen af Danmarks drikkevandsressource.

Det endelige resultat af DK-modellen viser, at det har været muligt at konstruere en kombineret grundvands-/overfladevandsmodel, som giver pålidelige resultater med hensyn til simulering af trykniveau og afstrømning. Desuden er den brugt til at integrere tilgængelig viden og retningslinier til et bud på størrelsen af Danmarks drikkevandsressource.

## Vandregnskabet skal stemme

En ubetinget styrke ved en model som DK-model er dens evne til at påpege inkonsistens i de anvendte data – f.eks. at vandbalancen ikke går op.

Dette problem viste sig, da de nyeste nedbørs- og fordampningsdata fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og Danmarks Jordbrugsforskning (DJF) blev anvendt i modellen. Dette gav en fejl på vandbalancen på 50-100 mm/år – regnskabet stemte ikke.

Det viste sig nemlig, at det ikke var muligt at opnå den ønskede nøjagtighed med hensyn til modellens evne til at simulere daglig vandføring ved de målestationer, der indgik i kalibrering og validering af modellen. GEUS (*Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse*) valgte derfor lidt "frækt" at korrigerer den daglige nettonedbør for at synliggøre, at her var et alvorligt problem.

Da DK-model var opstillet og testet for størstedelen af Danmark, stod det klart, at der var tale om "en systematisk fejl", der tilmed kunne underbygges af studier på mindre skala. En kulegravning i samarbejde mellem DJF, DMI, Danmarks Miljøundersøgelser (DMU) og GEUS gav anledning til et sæt nye anbefalinger, hvor resultaterne fra DK-modellen spillede en væsentlig rolle sammen med studier af vandbalancen fra målte oplande. Under færdiggørelsen af DK-model blev der konstateret nogle særlige problemer omkring Limfjorden (Thy og Mors) og i Sønderjylland, som måske kunne tyde på, at ikke alle problemer er løst med de nye anbefalinger. Der er derfor fortsat behov for mere viden, og løsningen af vandbalanceproblemet er kun af midlertidig karakter.

## Behov for at revurdere retningslinier

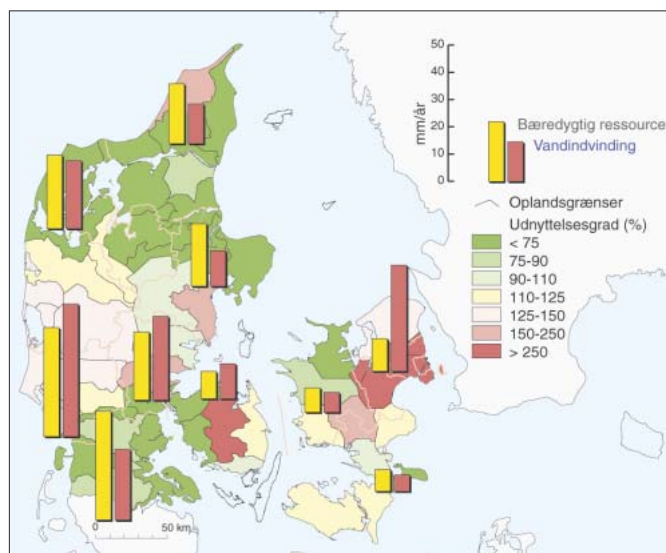
På basis af resultaterne fra DK-model må det konstateres, at flere af de retningslinier, der er anvendt i ressourceopgørelsen, ikke overholdes med den nuværende indvinding. Et eksempel

er kravet til minimumsvandføringen for strækninger udpeget til f.eks. gyde- og opvækstområder for ørreder. Denne må maksimalt reduceres med 10 %, hvilket ikke overholdes i mange områder.

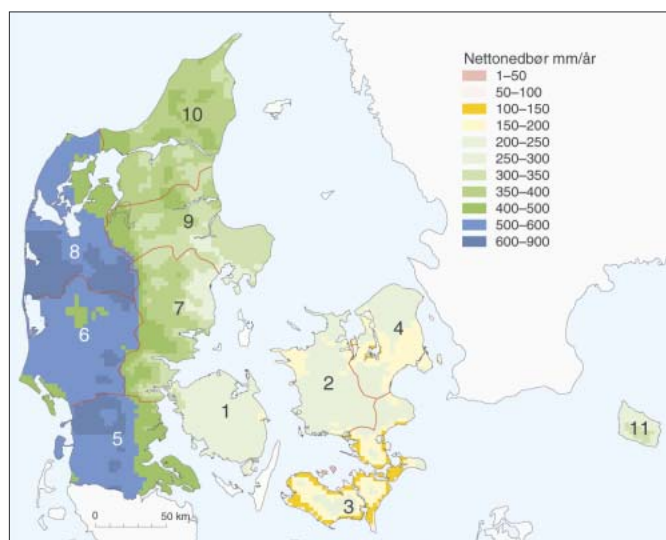
I Nordsjælland og Køge bugt pumpes op til 3 gange for meget. På Fyn 30 % for meget. I Sydøstjylland 20 % for meget. I områder udpeget til at udgøre ryggen af den fremtidige vandindvinding (som udgør ca. 1/3 af Danmarks areal) pumpes der 40 % for meget. Vi har et problem: det hænger ikke sammen.

I forbindelse med Vandrammedirektivets implementering i Danmark er der et stort behov for at opstille egentlige modeller for dyre og planteliv i og omkring vandløb (såkaldte habitatmodeller). De skal bruges til at belyse et sæt mere realistiske grænser for, hvor meget man kan påvirke vandmiljøerne i og omkring de danske vandløb som følge af oppumpning af grundvand. Hvor stor en reduktion i tilførslen af rent og køligt grundvand tåler planter, smådyr og fisk?

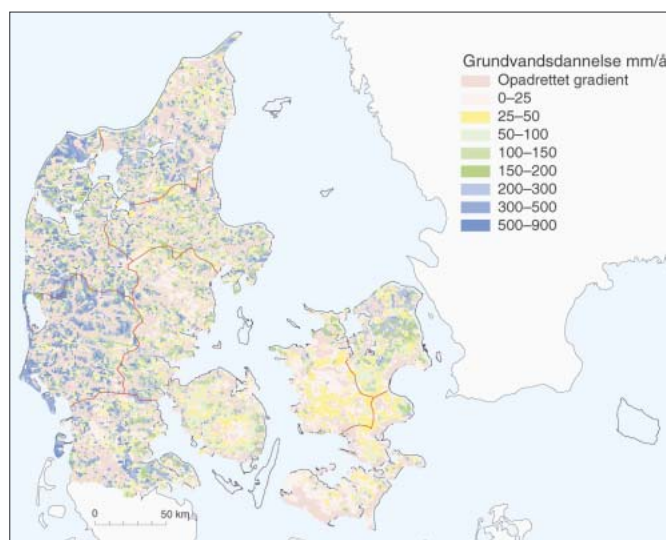
Lige nu er der ikke sammenhæng mellem indvinding og de retningslinier, der eksisterer. Så hvis vi fastholder disse retningslinier, vil vi ikke kunne leve op til Vandrammedirektivet, medmindre vi (1) reducerer kraftigt i vandforbruget, (2) laver en helt ny indvindingsstruktur eller (3) renser vandet. Men før vi bruger en masse ressourcer på at diskutere ovenstående alternativer, skal vi dog først sikre os, at retningslinierne er meningsfulde. Man kan med rette spørge, om de gældende retningslinier, som stammer fra en vejledning i vandforsyningsplanlægning fra 1979, ikke fokuserer lidt for ensidigt på problematikken med reduktion af vandføringen. En mere tværfaglig og helhedsorienteret metodik burde indeholde vurderinger, hvor både vandmængden, vandkvaliteten og de fysiske forhold i vandløb indgik i en samlet vurdering af den acceptable vandløbspåvirkning. Det ville nok være i bedre tråd med ånden i



Figur 2. Udnyttelig vandressource



Figur 3. Nettonedbør og 11 modelområder (etaper i modelopstillingen). Figuren viser et udjævnet billede baseret på data fra 1x1 km net.



Figur 4. Grundvandsdannelse til dybere reserver (mm/år). Grundvandsdannelsen til magasiner i 30-50 m's dybde er central for vurderingen af udnyttelig vandressource, som endnu ikke er væsentligt forurenet med nitrat og pesticider.



Foto: GEUS

Rent drikkevand er vigtigt for folkesundheden.

Vandrammedirektivet.

Under alle omstændigheder vejer betydning af de anvendte retningslinier meget tungt i den nye ressourceopgørelse. Hvis man kan tage naturen i hånden og komme lidt tættere på, hvad den realistiske smertegrænse er vurderet ud fra en helhedsbetragtning, ja så kunne det jo være, at vi nåede frem til en større ressource på landsplan end den efterhånden berømte ene milliard  $m^3/år$ . Hvis vi kan sikre bedre fysiske forhold og vandkvalitet, kunne vi så leve med en lidt mindre vandføring?

#### Klædt på til Vandrammedirektivet

I forbindelse med implementeringen af Vandrammedirektivet, hvor hele ferskvandskredsløbet skal behandles samlet, har

vi et klart behov for at kunne opstille modeller og oversigter over vandets kredsløb. I første omgang kan DK-model give værdifulde input til det grundlæggende arbejde vi står overfor i 2004.

Vandrammedirektivet vil indebære en hel ny tilgang til vurdering af den grundvandsressource, der kan udnyttes. Hidtil har indvinding til vandværker været prioriteret uafhængig af vandmiljøet. Dette vil ikke være tilfældet i fremtiden. Der kan blive vendt op og ned på prioriteringen, når der er fastlagt miljømål, og grundvandets betydning for den økologiske tilstand i bl.a. vandløb er klarlagt.

For meget pumpning udtørres ikke kun vandløb, men kan også i sig selv være med til

at accelerere nedsivningen af nitrat og pesticider og forøge frigivelsen af nikkel, sulfat og klorid til grundvandet. Vi kommer til at vænne os til en noget mere helhedsorienteret forvaltning, hvor vandkvantitet, fysiske forhold, økologiske forhold og økonomiske forhold vurderes samlet, og hvor de forskellige forekomster af vand skal ses i sammenhæng. Det kræver med garanti mere udbredt brug af modeller.

Med DK-model har vi taget det første spadestik med en national integreret model. Vi har påvist nogle problemer med inkonsistenser med både vandløbspåvirkninger og vandbalancen, der skal løses, før vi rent fagligt er klædt tilstrækkeligt på til Vandrammedirektivet. ■



**Om forfatterne**  
Hans Jørgen Henriksen er seniorrådgiver  
e-mail: [hjh@geus.dk](mailto:hjh@geus.dk)



Anker Lajer Højberg er forsker, ph.d.



Lars Trolldborg er forskningsassistent og ph.d.-studerende

Adresse:  
GEUS (Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse)  
Øster Voldgade 10,  
1350 København K  
Tlf.: 38 14 20 00

#### Baggrund:

Henriksen, H.J., Trolldborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C. og Madsen, B. (2003): *Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark*. *Jour. of Hydrology*. (280/1-4) 52-71.

Plauborg, F., m.fl. (2002): *Vandbalance på mark- og oplandskala. Notat udarbejdet af DJF, GEUS, DMU, DMI*. DJF Rapport 70 Markbrug.

Sonnenborg, T.O. m.fl. (2003): *Transient modeling of regional groundwater flow using parameter estimates from steady-state automatic calibration*. *Jour. of Hydrology* (273) 188-204.

**Yderligere læsning:**  
[www.vandmodel.dk](http://www.vandmodel.dk)  
Rapporten NOVA 2003 rapport: "Ferskvandets kredsløb":  
[http://vandmodel.dk/ferskvands\\_2003\\_final.htm](http://vandmodel.dk/ferskvands_2003_final.htm)