

# Den kvantitative vandmodel - ferskvandets kredsløb (2)

Af Hans Jørgen Henriksen og Alex Sonnenborg, GEUS

Hvor går grænsen for, hvor meget vand vi kan hente op fra grunden? Hvor meget kan vi pumpe op uden at reducere sommervandføringen med mere end 10 %? Hvad betyder udviklingen i forureningen for drikkevandsressourcens størrelse?

Svaret på disse spørgsmål forudsætter tre værktøjer. En kvalitetssikret hydrologisk model, et sæt forudsætninger for opgørelsen af ressourcens størrelse og en dialog med brugerne.

For det første er det nødvendigt at kunne kvantificere ferskvandets kredsløb korrekt. Det er sket ved opstilling af en hydrologisk model hele landet (DK-modellen). Dernæst skal man vurdere udnyttelig ressource under hensyn til begrænsninger, der skyldes:

- Klimavariation/en serie tørre år
- Forurening fra terræn
- Sænkning af grundvandspejlet
- Hensyn til vandløbspåvirkning

Endelig skal resultatet formidles til de regionale myndigheder (amterne).

**Klimavariation og grundvandsdannelse**  
Vi har pålidelige tidsserier for nedbør, der går helt tilbage til 1891, og vi har observeret grundvandsstanden systematisk siden midten af forrige århundrede.



Gudenå, Uldum Kær. (Foto: Peter Moors)

Sammenligner man vinternedbøren med grundvandstanden, kan man se en tydelig sammenhæng. Grundvandet dannes om vinteren, og tørre vintre kan medføre lille grundvandsdannelse og et faldende grundvandspejl. Sidste serie af "vintertørre" år

havde vi i 1996-97, hvor grundvandspejlet faldt ca. 2 m fra omkring det højeste registrerede niveau i starten af 1995 til det laveste registrerede niveau blot 2 år senere i slutningen af 1996. Midten af halvårerne var også en tør periode, og her blev

## EKSPERTER I JORD, VAND OG MILJØ

- Geotekniske undersøgelser
- Forureningsundersøgelser
- Hydrogeologiske undersøgelser
- Havbundsundersøgelser
- Kystsikring af sandstrande

- Grundvandsboringer til vandforsyninger
- Modellering af olie-og gasreservoirer
- Grundvandssænkingsanlæg
- Jordankre
- Oprensning af forurening

**GEO** Geoteknisk Institut

GEO • Maglebjergvej 1 • P.O.Box 119 • DK-2800 Lyngby • Tlf:4588 4444 • Fax:4588 1240 • www.geoteknisk.dk

problemet forværret af en tør sommer i 1976 (figuren øverst på modstående side).

Inden for de sidste 10 år har der været 3 meget våde år og et enkelt tørt år. Men en analyse af en længere tidsserie har vist, at det, der svarer til en "hundrede-års-hændelse", nogenlunde er bestemt ved en nettonedbør på ca. 80 % af normalen.

### Forurening fra terræn

Over hele landet er der i de sidste ca. 10 år gjort et stort antal pesticidfund i grundvandsovervågningen med mange fund over grænseværdien for drikkevand på 0,1 mikrogram/l.

Samtidig har vi et stort problem med nitrat i Danmark. Faktisk er hele landet udpeget som nitratfølsomt område i et EU-direktiv.

Grundvandsforureningen med pesticider og nitrat skyldes en lang række kilder fra både by og land, både fra marker, gårdbidrag, punktkilder i byer osv.

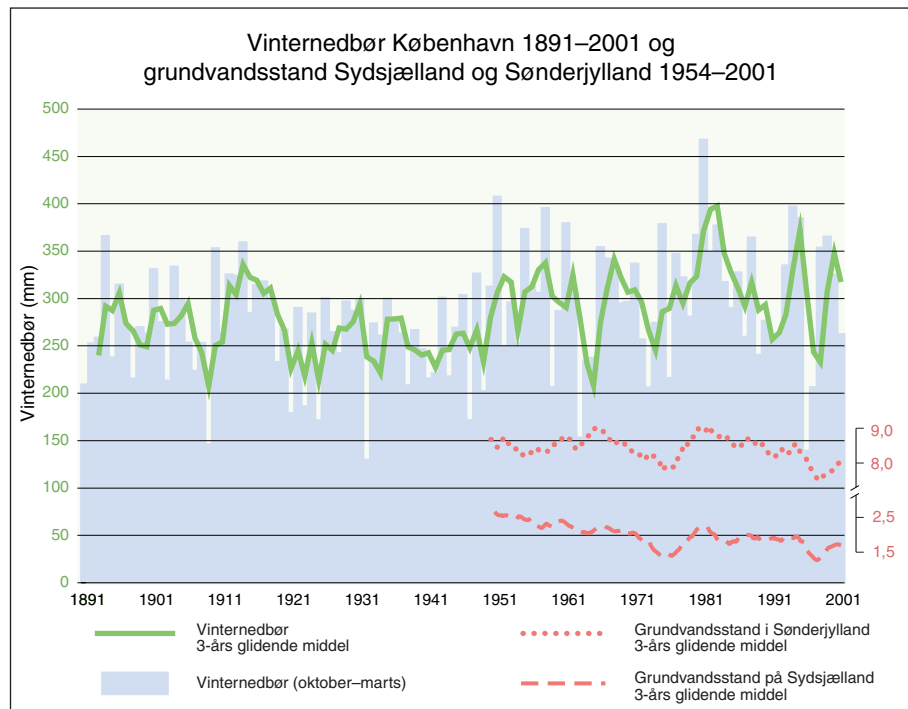
Hvert femte filter i de øverste 0-20 meter af grundvandet er i dag forurenede over grænseværdien med pesticider, og i ca. hver anden boring er der fund over detektionsgrænsen. I 30-40 meters dybde er ca. hvert tiende filter forurenede over grænseværdien. For nitrat gælder det, at ca. en tredjedel af filterne i grundvandet 0-10 meter under terræn i dag er forurenede over grænseværdien på 50 mg/l. I 30-40 meters dybde er 10-15 % af filterne forurenede over grænseværdien, se figuren til højre nederst.

Det betyder, at vi i en årrække må afskrive det øvre grundvand mange steder i landet. I opgørelsen over ressourcen har vi derfor valgt at tage udgangspunkt i grundvandsdannelsen i ca. 30-50 meters dybde.

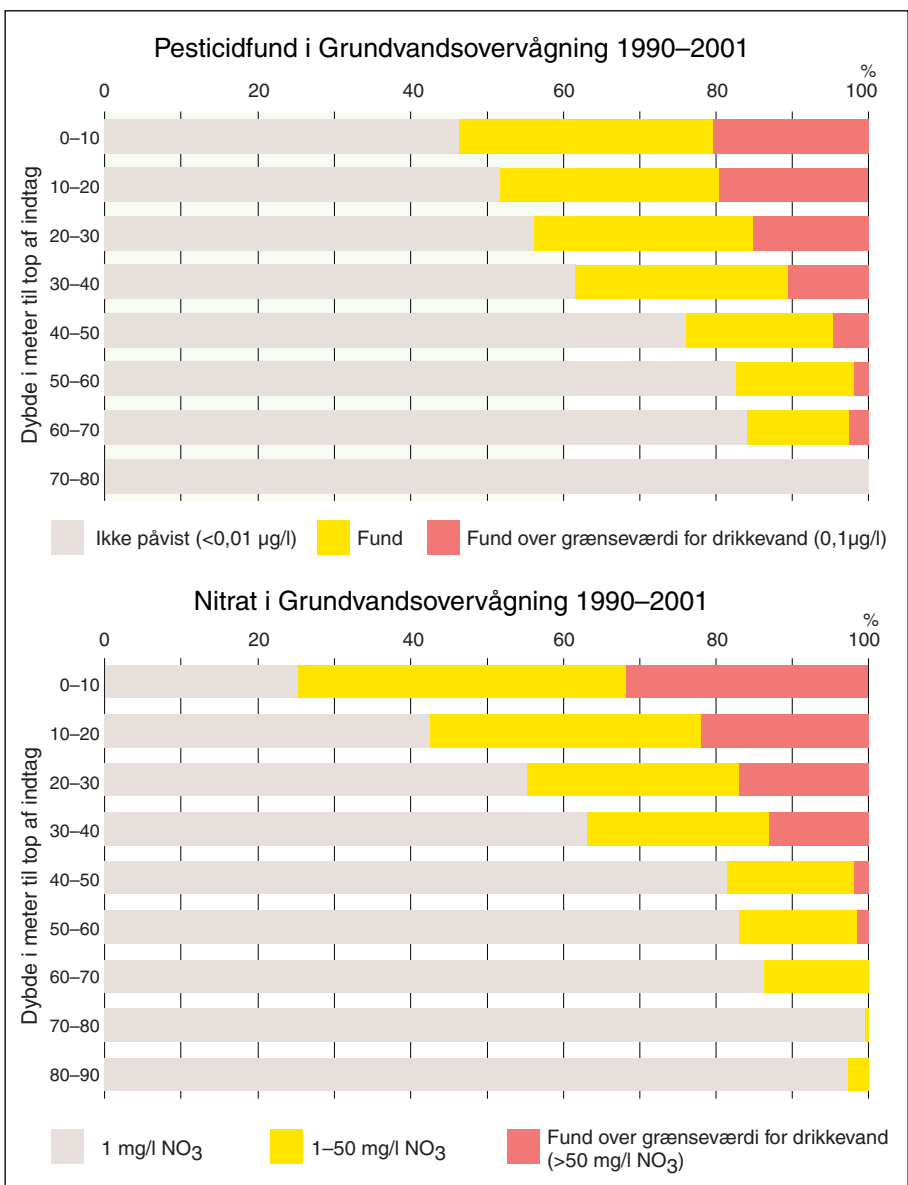
### Sænkning af grundvandsspejlet

I visse områder fx omkring København er grundvandsspejlet afsænket med 5-10 meter som følge af vandindvinding. Herved forøges risikoen for iltning af pyrritholdige jordlag, hvorved der kan frigives nikkel og andre forurenende stoffer til grundvandet; specielt i Køge Bugt-området hvor der pumpes mere end 100 % af den dybe grundvandsdannelse\*. I dette område finder vi et meget stort antal nikkelfund over grænseværdien på > 20 mg/l. Denne grænseværdi sættes måske ned til 10 mg/l, hvilket kan få nikkelproblemet til at eksplodere mange steder. (\*Hermed menes "den dybe grundvandsdannelse i en situation uden vandindvinding, som er den valgte referencsituation". Det er sådan, at grundvandsdannelsen til de dybere magasiner øges i takt med, at vandindvindingen øges. Der sker det, at noget af det vand, der ellers ville afstrømme til dræn, i takt med at grundvandsspejlet sænkes, nu ikke længere afstrømmer overfladenært, men i stedet siver ned gennem jordlagene, og således giver anledning til en forøget dyb grundvandsdannelse).

Andre steder på Sjælland fx i Susåens



Vinternedbør og grundvandsstand. Pilen viser den tørre sommer, 1976. (Grafik: Forfatterne)



Forurening med nitrat og pesticider som funktion af dybden. (Grafik: Forfatterne)

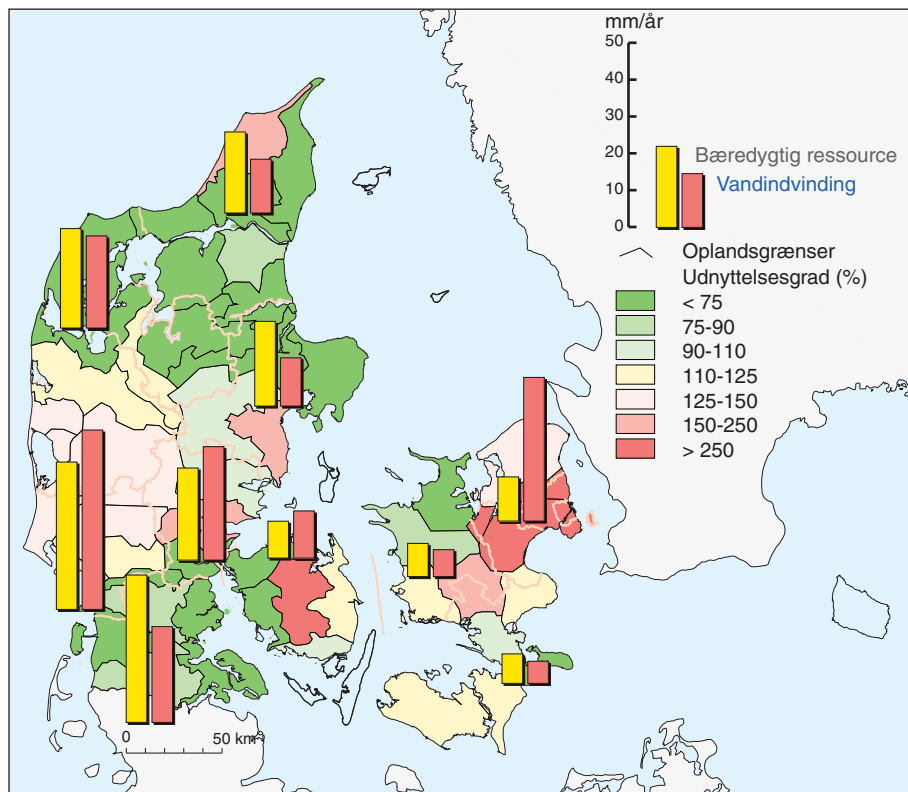
opland på Midsjælland, i Søndersødalen nord for København og i Tude å/Vårby å på Vestsjælland pumpes der ca. 50 % af den naturlige dybe grundvandsdannelse. Også her er der forskellige tegn på påvirkning af grundvandet som følge af intensiv vandindvinding.

Vi har derfor fastsat en grænse for indvinding på ca. en tredjedel af den naturlige dybe grundvandsdannelse (altså uden oppumpning) som en kvalitetsmæssig bæredygtig ressource, da denne udnyttelsesgrad bedømt ud fra tal for Søndersøen, Tude å, Susåen, Køge bugt og de andre oplande på Sjælland indikerer, at en udnyttelsesgrad ikke giver forøgede problemer med hverken frigivelse af stoffer fra undergrunden (nikkel og klorid) eller forøget risiko for forurening fra terræn (pesticider og nitrat). Der er behov for at teste denne antagelse for Fyn og Jylland.

### Hensyn til vandløbspåvirkning

Når vandføringen reduceres, eller strækninger tørlægges som følge af kombinationen et tørt klima og oppumpning, giver det problemer for planter, smådyr og fisk i vandløbene.

Der er her taget udgangspunkt i en vejledning i vandforsyningsplanlægning fra 1979, som anbefaler et sæt maksimale påvirkninger af sommervandføringen, afhængigt af recipientmålsætning for vandløb (hhv. 5, 10, 15, 25 og 50 % påvirkning for A, B1, B2, B3, C-E vandløb, hvor fx B1-



Udnyttelige ressourcer – nærmere forklaring i teksten. (Grafik: Forfatterne)

vandløb er gyde- og opvækstområder for laksefisk).

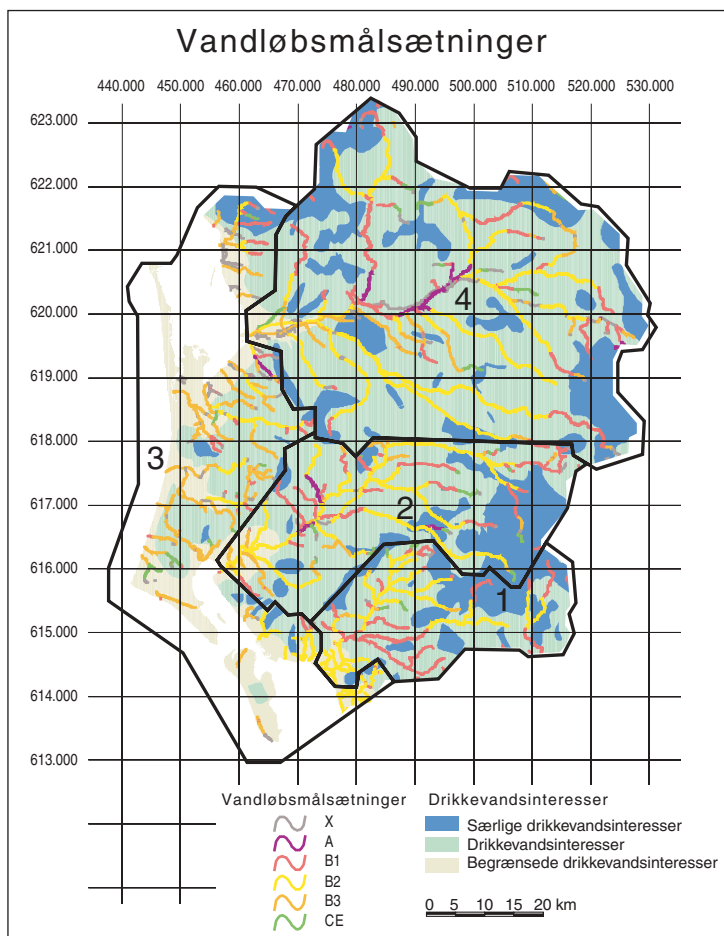
Som en yderligere indikator opereres med en max. påvirkning af middelvandføringen på 10 %.

Disse lidt rigoristiske krav til påvirkning af vandføringen er ikke helt tidssvarende, fordi både fysiske forhold, vandkvalitet og vandføring i realiteten i en slags trefoldig synergi er bestemmende for vandløbskvaliteten. Der er dog nogle særlige problemer med den valgte referencetilstand, som er en situation uden vandindvinding, specielt omkring København, hvor vandløbene har været tørlagte i årtier. Her er det næppe helt rimeligt at benytte metodikken alt for firkantet.

### Udnyttelig ressource

Ressourceopgørelsen er foretaget for i alt 50 underområder og 10 større deloplande, som det ses på figuren til højre. Kigger vi på det samlede resultatet, ser det alvorligt ud for hovedstadsområdet, her indvindes der ca. tre gange så meget vand, som den fastlagte udnyttelige ressource.

Der er god balance for både Vestsjælland og Sydsjælland. Fyn og Sydøstjylland



Recipientmålsætning		
Acceptabel påvirkning af minimumsafstrømning (%)		
A	Naturvidenskabelige interesseområder	5 %
B1	Gyde- og opvækstforhold for laksefisk	10 %
B2	Laksefiskevand	15 %
B3	Karpefiskevand	25 %
C-E	Lempet målsætning	50 %
X	Ikke målsatte strækninger	-

Klassificering af vandløbsmålsætninger for Svendborg og Odense. Ovenfor ses tabelværdierne for vandløbsmålsætningerne. (Grafik: Forfatterne)

balancerer med lidt for stor udnyttelse. Ribe og Ringkøbing amter har lidt problemer i år med maksimalt vandingsbehov til afgrødevanding. De øvrige områder har en rigelig ressource.

Den udnyttelige ressource for hele landet udgør ca. 1 mia. m<sup>3</sup>/år, altså omtrent hvad vi har brug for i år med et stort markvandingsbehov. Balance på landsplan, men med et problem som følge af regionale forskelle.

De nye tal afhænger direkte af vandindvindingsstrategien, men da det er meget dyrt at begynde at flytte på alt for mange vandværker, må vi nok til at finde en alternativ kilde til forsyning med vand i de mest intensivt udnyttede områder. Det kunne fx være ved hjælp af kunstig infiltration af overfladevand som ved Arresø, eller brug af rensset overfladevand til dækning af særlige behov.

### Nye tal i forhold til gamle tal

Vandrådet opgjorde som bekendt i 1992 ressourcen til 1,8 mia. m<sup>3</sup>/år, men så var der heller ikke taget hensyn til hverken klimavariationer, pesticider eller regnet ligeså detaljeret på vandkredsløbet, som fx beregningerne af påvirkningen af sommervandføringen for forskellige vandløbsstrækninger. Eksempelvis kravet om at sommervandføringen for B1-vandløb – målsatte som gyde- og opvækstområder for laksefisk – ikke må påvirkes mere end 10 %. Specielt sidstnævnte forhold er afgørende for nedskrivningen af vandressource jfr. det nye skøn på 1,0 mia. m<sup>3</sup>/år.

Men der findes andre gamle tal, nemlig dem der figurerer i amternes regionplaner, og som er baseret på vurderinger af ressourcen fx i forbindelse med udpegningen af områder med særlige drikkevandsinteresser (OSD).

Det ser ud til, at DK-modellen her giver en udnyttelig ressource, som er en hel del mindre end amternes skøn, i hvert fald ca. 40 % mindre.

Noget kunne derfor tyde på, at administrationen af indvindingstilladelser måske skal skærpes.

Mange amter er i forbindelse med OSD-kortlægning og zoneret kommet et godt stykke vej med modellering af grundvandet, men måske mangler der fortsat et lille stykke vej, når det gælder integreret modellering af både grundvand og overfladevand i en del amter.

Der kommer stensikkert fokus på integreret modellering, når Vandrammedirektivet skal implementeres, og når NOVANA, det nye overvågningsprogram, går i gang, begge dele ved årsskiftet.

### Interkalibreret vandbalance

DK-modellen er et brugbart værktøj som referenceramme for modellering på regional og lokal skala, fordi den kan levere randbetingelser, grundvandsdannelse mv.

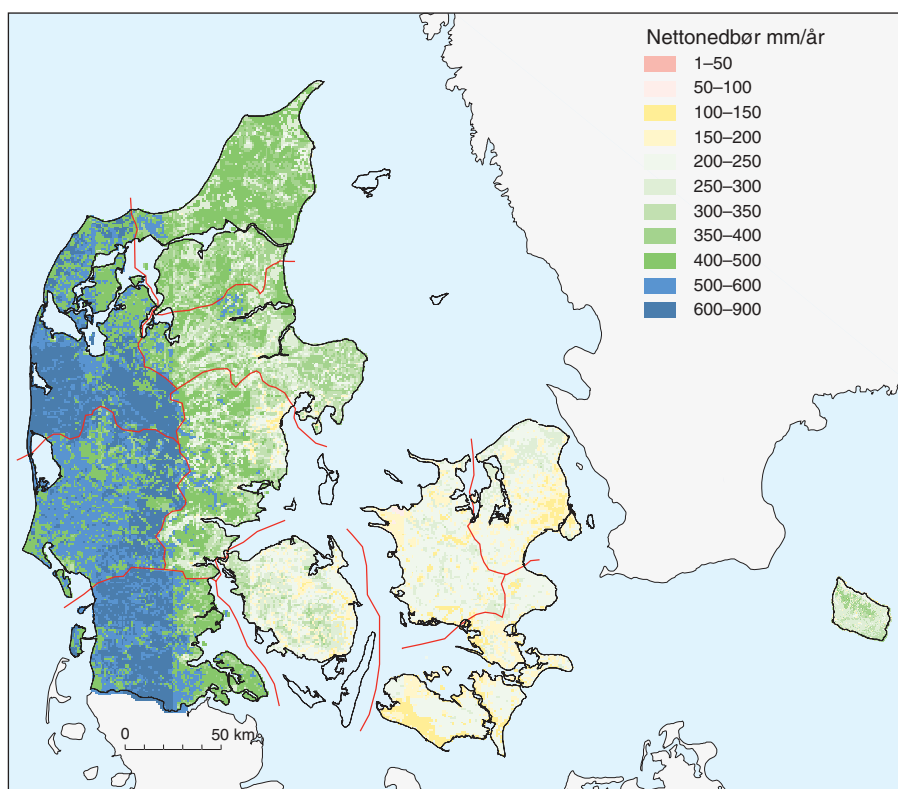
Styrken ved DK-model er i den forbind-



Fiskeopdræt ved Vejle. (Foto: Peter Moors)

delse, at dens nettonedbør og grundvandsdannelse så at sige er interkalibreret gennem det systematiske arbejde med de 10 model-etaper, der er kalibrerede og validerede i forhold til trykniveau og afstrømning ved vandføringsstationer, se figuren nedenfor.

Når vandforekomsterne skal karakteriseres i forbindelse med Vandrammedirektivet i 2004 i basisanalyse, kan DK-model bidrage med at bringe disse isolerede vandforekomster ind i en ferskvandskredsløbs-sammenhæng, samtidig med at menneske-



Simuleret nettonedbør (mm/år). Grafik: Forfatterne)

lige påvirkninger fx følgevirkninger af vandindvindning allerede er beregnede på overordnet niveau og tilmed på ensartet vis for hele landet.

#### Fremtidsperspektiver

Der er behov for en bedre beskyttelse af både grundvand og overfladevand. Vi har været lidt for fokuserede på enten det ene eller det andet i de seneste år. Den fejl må vi ikke gentage, når vi giver os i kast med Vandrammedirektivet allerede til årsskiftet.

Det kan ikke nytte noget, at vi ikke kan mestre vandbalancen og vandkredsløbet. Hvis der er behov for viden, så må vi indsamle den viden, der skal til, så Vand-

rammedirektivet kan få det indhold og den helhed, som var det tiltænkt.

Verden af i går var tæt befolket med analytiske metoder og ufuldstændige vandbalancer. Verden af i morgen kræver kvantitative vurderinger, usikkerheds-vurderinger og en bedre involvering af interessenter og offentligheden.

#### Litteratur:

Henriksen, H.J. og Sonnenborg, A. (2003) *Ferskvandets kredsløb. NOVA 2003 temarapport.. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Danmarks Miljøundersøgelser, Danmarks Jordbrugs-*

*Forskning og Danmarks Meteorologiske Institut. ISBN 87-7871-114-2. GEUS maj. 2003. www.vandmodel.dk*

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. Journal of Hydrology. 280/1-4 pp. 52-71.*

Plauborg, F., Refsgaard, J.C., Henriksen, H.J., Blicher-Mathiasen, G. og Kern-Hansen, C. (2002) *Vandbalance på mark- og oplandsskala. Notat udarbejdet af DJF, GEUS, DMU, DMI. DJF Rapport 70 Markbrug.* ■

## Kort nyt

#### Tilpasning til fremtidens klima

En ny dansk rapport konkluderer, at der er gevinst at hente for det danske samfund ved rettidig indsats mod klimaændringer.

Tænkertanken for Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV) nedsatte i foråret 2003 en arbejdsgruppe, der skulle pege på, hvor og hvordan vi i Danmark med tekniske tiltag kan tilpasse os de klimaændringer, vi under alle omstændigheder må forvente. Hvor bør vi sætte ind og med hvilken tidshorison? Hvor mangler der viden? Hvilke tiltag bør vi iværksætte allerede nu, og hvilke kan vente?

DMI har deltaget i arbejdsgruppens arbejde bidraget med mulige modeller for klimaudviklinger i Danmark.

Der er fokuseret på vand, natur, landbrug, skove, byggeri og anlæg, kyster og havne, fordi tekniske løsninger på disse områder kan gøre en forskel. Her er konsekvenserne af et ændret klima vurderet, og der er peget på, hvor der pga. en lang planlægningshorison eller en lang levetid af anlæg mv. bør gøres en indsats nu, og hvor planlægningshorisonten gør det muligt at vente.

Rapporten konkluderer, at der vil være store gevinster for det danske samfund ved en rettidig indsats. Mange af de tekniske løsninger, vi vælger i dag, skal kunne holde 50 eller 100 år. Rapporten anbefaler, at der løbende udføres regionale beregninger af udviklingen i vejr og klima, da hverken tidshorison eller konkrete effekter af klimaændringerne kan forudsiges med nøjagtighed.

[www.DMI.dk](http://www.DMI.dk) / [PBSJ](http://PBSJ)

#### Tilvækst i årets antarktiske ozonhul

Årets antarktiske ozonhul vokser stadig. Det kunne være en nyhed, der ville få folk til at snakke, men det er bliver rent faktisk formentligt "kun" det næststørste, siden målingerne startede i 1979.

Udbredelsen var i september på godt 25 millioner kvadratkilometer.

Ved "ozonhullet" forstås de områder, hvor ozonlagets tykkelse er mindre end 220 Dobson-enheder (DU), (midt i hullet kommer værdierne ned på omkring 100 Dobson-enheder). Målinger udført af NASA tilbage fra 1960'erne viser, at ozonkoncentrationen burde være ca. 300 Dobson-enheder på

denne tid af året (en "DU" er 0,01 mm, svarende til 2,69 x 10<sup>16</sup> molekyler/cm<sup>2</sup>).

I 2000 registreredes det største antarktiske ozonhul nogensinde. Det dækkede 27,5 mio. kvadratkilometer, svarende til mere end 625 gange Danmarks samlede landareal.

Formen, størrelsen og tidspunktet for den maximale udbredelse af ozonhullet er i høj grad afhængig af de meteorologiske forhold omkring sydpolen, og de varierer meget fra år til år. Det betyder, at ozonhullet nogle år vokser sig meget stort mens det andre år forbliver forholdsvis lille. Det sker til trods for, at potentialet for kemisk nedbrydning af ozon – i form af klor- og bromforbindelser – er stort set uændret.

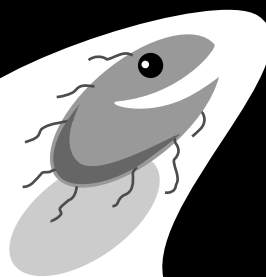
Årets ozonhul er næsten cirkelformet, dækker stort set hele det antarktiske kontinent og når i sit yderområde frem til den sydligste spids af Sydamerika.

Årsagen til ozonhullets fortsatte vækst er meget stabile meteorologiske forhold i den sydpolare stratosfære og meget lave temperaturer. Det er perfekte forudsætninger for udviklingen af et stort og dybt ozonhul.

[www.DMI.dk](http://www.DMI.dk) / [PBSJ](http://PBSJ) ■

# VI HAR JORD I HOVEDET ..!

- og plads til mere



Bioteknisk Jordrens SOILREM er Danmarks landsdækkende jordrensere, når det gælder olie- og kemikaliefurening – med anlæg i Kalundborg, Esbjerg, Aalborg og på Ærø, Samsø og Bornholm.

Kontakt os på tlf. 59 50 46 68.



Bioteknisk Jordrens  
**SOILREM**  
- jordens bedste valg