

GRUNDVANDSOVERVÅGNING 1998–2003

GEUS 2004

**DANMARKS OG GRØNLANDS GEOLOGISKE UNDERSØGELSE
MILJØMINISTERIET**



Særudgivelse

Redaktør: Lisbeth Flindt Jørgensen

Tegning: Forfattere og Kristian Rasmussen

Omslag og foto: Peter Moors

Oplag: 500

Dato: 1. december 2004

Rapporten kan hentes på internettet på www.grundvandsovervaagning.dk

ISBN 87-7871-145-2

© **Miljøministeriet**

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, GEUS

Øster Voldgade 10

DK-1350 København K

Telefon: 38 14 20 00

Telefax: 38 14 20 50

E-post: geus@geus.dk

Internet: www.geus.dk

I kommission hos:

Geografforlaget ApS.

Fruerhøjvej 43, 5464 Brenderup

Telefon: 63 44 16 83

Telefax: 63 44 16 97

E-post: go@geografforlaget.dk

Pris: kr. 160,- inkl. moms

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING	6
ENGLISH SUMMARY	8
INDLEDNING	11
Overvågningsprogrammet	11
<i>Grundvandsovervågning</i>	<i>11</i>
<i>Vandværksboringer</i>	<i>11</i>
<i>Rapportering</i>	<i>11</i>
Revision af NOVA 2003	12
Små vandforsyninger	12
GRUNDVANDETS HOVEDBESTANDDELE	13
Nitrat	13
<i>Grundvandets indhold af nitrat</i>	<i>13</i>
<i>Redoxzoner</i>	<i>13</i>
<i>Nitratudvikling i grundvandsovervågningsområderne</i>	<i>14</i>
<i>Redoxboringerne</i>	<i>15</i>
<i>Nitrat i ungt grundvand</i>	<i>16</i>
<i>Nitrat i vandværkernes indvindingsboringer</i>	<i>17</i>
<i>Nitratdata associeret med CFC-dateringer</i>	<i>18</i>
Fosfor	20
<i>Udviklingen i grundvandets indhold af fosfor</i>	<i>20</i>
UORGANISKE SPORSTOFFER	23
Måleprogrammer	23
<i>Grundvandsovervågning</i>	<i>23</i>
<i>Landovervågningens grundvandsindtag</i>	<i>24</i>
<i>Vandværkernes indvindingsboringer</i>	<i>24</i>
Grundvandets tilstand	25
<i>Overskridelser af grænseværdier for drikkevand</i>	<i>25</i>
Enkelstoffer	25
<i>Arsen</i>	<i>25</i>
<i>Nikkel</i>	<i>26</i>
ORGANISKE MIKROFORURENINGER	29
Måleprogrammer	29
<i>Grundvandsovervågning</i>	<i>29</i>
<i>Landovervågningsoplande</i>	<i>30</i>
<i>Vandværkernes indvindingsboringer</i>	<i>31</i>
PESTICIDER OG NEDBRYDNINGSPRODUKTER	33
Måleprogrammer	33
<i>Grundvandsovervågningen</i>	<i>33</i>
<i>Landovervågningens grundvandsindtag</i>	<i>36</i>
<i>Vandværkernes indvindingsboringer</i>	<i>36</i>

Grundvandspotentiale	41
Vandindvinding	42
Hydrologisk modellering	44
<i>Status for modellering af GRUMO</i>	<i>45</i>
LITTERATUR	46

**BILAG FINDES PÅ
WWW.GRUNDVANDSOVERVAAGNING.DK**

Forord

Nærværende rapport præsenterer resultater og konklusioner om grundvandets tilstand og udvikling, baseret på data indsamlet af amterne og amternes årlige rapporter, der udføres som en del af den nationale grundvandsovervågning. Endvidere bygger nærværende rapport på resultaterne af vandværkernes boringskontrol, der indsamles af kommunerne og videreformidles til amterne, hvor de indgår i amternes rapportering og dataindberetning til fagdatacentret for grundvand ved Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS).

Omfanget af analyseprogrammet og rapporteringerne er fastlagt i rapporten 'Programbeskrivelse for det nationale program for overvågningen af vandmiljøet 1998 - 2003, NOVA 2003 (Miljøstyrelsen, 2000). I dette års nationale overvågningsrapport er der især lagt vægt på at rapportere data fra denne periode.

Rapporten er en faglig rapport og målgrupperne er Regeringen, Folketinget og offentligheden samt DMU, der har ansvaret for den samlede rapportering af NOVA 2003.

De indrapporterede data og amternes rapporter danner som nævnt grundlag for denne rapport, som præsenteres på grundlag af indlæg fra medarbejdere ved GEUS, der har de pågældende fagområder som deres arbejdsområde:

Grundvandets hovedbestanddele	Per Nyegaard
Uorganiske sporstoffer	Carsten Langtofte Larsen
Organiske mikroforureninger	René K. Juhler
Pesticider og nedbrydningsprodukter	Walter Brüsch
Vandindvinding og modellering	Per Rasmussen

Projektgruppen, der står bag databearbejdning og rapportering, består endvidere af Alex Sonnenborg, Birgit Ahlgren Pedersen, Frants von Platen, Kristian Rasmussen, Lisbeth Flindt Jørgensen, Poul Merksén og Uffe Larsen.

Sammenfatning

Det er i årets rapport valgt at lægge hovedvægt på perioden fra **1998 til 2003**, hvor overvågningsprogrammet NOVA 2003 har været gældende. Dette sikrer at sammenligninger kan drages og tidlige udviklinger betragtes på baggrund af et konsistent analyseprogram.

Rapporten bygger som de foregående år på oplysninger fra grundvandsovervågningen, landovervågningen og vandværkernes boringskontrol og giver dermed et omfattende kvalitativt billede af grundvandets kemiske og forureningsmæssige tilstand.

En meget stor andel af det grundvand der overvåges, er ældre end Vandmiljøplanens igangsættelse og det er derfor ikke muligt at konstatere nogen overordnet ændring af grundvandet nitratindehold begrundet i implementeringen af Vandmiljøplanen i 1987 og senere tiltag. Men der ses en tendens til et fald i indholdet af **nitrat** i det yngste grundvand i – et fald, der måske kan tilskrives ændringer i landbrugets dyrkningspraksis siden vedtagelsen af Vandmiljøplanen. Da det gennemsnitlige indhold de fleste år ligger over grænseværdien for drikkevand på 50 mg/l må konkluderes, at det går den rigtige vej med nitratindeholdet, men også at de hidtil iværksatte tiltag ikke nødvendigvis er fyldestgørende til at reducere nitratindeholdet i grundvandet i tilstrækkelig grad. Samtidig viser en undersøgelse af små private vandforsyninger i 4 amter, at det øverste grundvand er nitratbelastet, idet over 20% af de undersøgte borer og brønde indeholdt nitrat over grænseværdien. En andel af disse overskridelser kan dog skyldes uhensigtsmæssig boringskonstruktion eller -placering.

De indberettede data for NOVA perioden viser, at ca. 16% af indtagene i grundvandsovervågningen indeholder nitrat over grænseværdien for drikkevand på 50 mg/l. Kun 1,1% af vandværksboringerne overskrider grænseværdien hvilket skyldes, at borer med et for højt nitratindehold typisk lukkes og erstattes af dybere borer, således at den forurenede del af grundvandet fravælges. Godt 40% af indtagene i grundvandsovervågningen og ca. 75% af vandforsyningsboringerne er nitratfrie (dvs. nitratindehold \leq 1 mg/l).

Der er som forventet ikke konstateret ændringer af betydning i grundvandets indhold af opløst **fosfor** gennem perioden 1998-2003. I dele af landet måles et geologisk betinget fosforindhold, der er over den højst tilladelige værdi for drikkevand på 0,15 mg/l. Dette ses især i de dybere reducerede grundvandsmagasiner, hvor grundvandets sam-

mensætning er præget af interglaciale, lerede marine aflejringer. Høje fosforindhold giver dog ingen problemer i drikkevandsproduktionen, da fosfor normalt fjernes ved almindelig vandbehandling på vandværkerne. Stoffet kan dog være problematisk i enkeltforsyninger uden vandbehandling.

Generelt ses der for **uorganiske sporstoffer** overskridelser af grænseværdierne for drikkevand i alle måleprogrammerne. I grundvandsovervågningen er der således fundet overskridelser af grænseværdierne for et eller flere uorganiske sporstoffer i 32% af indtagene i perioden 1998-2003. Landovervågningen, hvor der overvåges terrænnært grundvand i områder med intensiv landbrugsdrift, skiller sig klart ud med overskridelser for især nikkel, zink, bly og arsen. I grundvandsovervågningen og i vandværkernes boringskontrol er det især arsen, der overskrider grænseværdien. Arsen og andre sporstoffer tilbageholdes dog til en vis grad i vandværkernes sandfiltre og udgør derfor sjældent et problem for drikkevandskvalitet i den almene vandforsyning. For enkeltforsyninger og små fælles vandforsyninger uden vandbehandling kan sporstofferne derimod udgøre et kvalitetsproblem

I perioden 1993-2003 er der i 92% af grundvandsovervågningens indtag fundet én eller flere **organiske mikroforureninger** mindst én gang. De fleste stammer fra anioniske detergenter, men da analysemetoden ikke er specifik kan en del af disse resultater skyldes andre naturligt forekommende stoffer. Ses der bort fra de anioniske detergenter var der mindst én gang i perioden fund i 63% af indtagene.

Der er i landovervågningsoplandene fund i 57% af indtagene (56% hvis der ses bort fra de anioniske detergenter). I lidt over 1/3 af vandværkernes indvindingsboringer er der fundet mindst ét miljøfremmed stof, oftest anioniske detergenter – ses der bort fra disse er det godt hver 5. boring. Fælles for langt de fleste fund er, at de er under det niveau som angives i grænseværdier for drikkevand.

Andelen af indtag med fund af **pesticider og nedbrydningsprodukter** i grundvandsovervågningen har stabiliseret sig på ca. 27% i 2001, 2002 og 2003. Andelen af indtag med fund over grænseværdien på 0,1 μ g/l steg fra 8,5% i de to foregående år til 10% i 2003. I perioden 1998-2003 er der fundet pesticider i mere end 40% af de undersøgte indtag, og andelen af indtag i grundvandsovervågningen, som i samme periode en eller flere gange har væ-

ret påvirket af pesticider over grænseværdien (ca. 15%) er svagt stigende.

Der er hyppigt fundet BAM, triaziner og triazin-nedbrydningsprodukter, hvor særligt deethylisopropylatrazin findes i stadigt stigende omfang. Deethylisopropylatrazin er nu fundet i 9 % af de undersøgte indtag i grundvandsovervågningen. I LOOP er nedbrydningsproduktet fundet i ca. 30% af det undersøgte højtliggende og unge grundvand, som er dannet under marker med landbrugsmæssig anvendelse. I vandværkernes boringskontrol er stoffet fundet i ca. 3% af de analyserede boringer. Der er dog kun analyseret ca. 200 boringer frem til og med 2003 hvorfor andelen forventes at stige.

I vandværkernes boringskontrol er der i perioden 1998 til 2003 fundet pesticider og nedbrydningsprodukter i ca. 26% og godt 6% overskred grænseværdien. Andelen med fund var i 2003 ca. 27%. Fra 1998 til 2003 er den årlige andel af vandværksboringer med fund over grænseværdien faldet fra ca. 10 % til ca. 5%.

Det er stadig BAM, atrazin og triazinnedbrydningsprodukter samt mechlorprop og dichlorprop, som findes hyppigst i indvindingsvandet. I perioden 1998 til 2003 blev der fundet pesticider i ca. 50% af det højtliggende grundvand i intervallet 0-20 meter under terræn, og antallet af fund falder som i grundvandsovervågningen med tiltagende dybde.

BAM forekommer hyppigt sammen med andre pesticider og nedbrydningsprodukter i højtliggende grundvandsmagasiner og stoffet kan derfor anvendes som indikator for andre pesticider i f.eks. små vandforsyningsanlæg, der ofte indvinder grundvand fra disse.

I overvågningsperioden 1998-2003 er der målt store variationer i **grundvandstanden**. I 2000-02 var grundvandstanden høj på grund af nedbørs-mængder over normalen. Grundvandsstanden er ved afslutningen af vinteren 2003/04 tæt på det for årstiden normale niveau.

Den samlede **vandindvinding** i 2003 på vandværkerne var på 403 mio. m³ mod 640 mio. m³ i 1989, et fald på 37%. Sammenlignes indenfor perioden er faldet i mængde fra 1998 til 2003 14%. Indvindingen til markvanding var i 2003 på 141 mio. m³, hvilket er en af de lavest registrerede indvindinger til dette formål i overvågningsperioden.

Grundvandsmodeller og hydrologiske modeller bruges i stigende omfang til at vurdere grundvandsdannelsen og afgrænse indvindingsoplande. Amterne har nu opstillet strømningssmodeller for 84% af grundvandsovervågningsområderne, og dette har for omkring halvdelen givet anledning til revision af områdernes oplandsafgrænsning.

English summary

The current report emphasises the period 1998–2003 in which the monitoring programme, *NOVA 2003*, has been operating. This time span was chosen in order to ensure data comparison and time series evaluation on the basis of a consistent analysis programme.

Grundvandsovervågning 1998–2003 (Groundwater monitoring 1998–2003) presents data from 70 national groundwater monitoring areas (GRUMO), 5 agricultural watershed catchment areas (LOOP) and several thousands water abstraction wells, thereby providing a comprehensive picture of groundwater quality in Denmark.

The Action Plan for the Aquatic Environment was approved in 1987. As the age of groundwater in the majority of well screens predates 1990, recognition of any overall effect of the Action Plan on nitrate content in groundwater is generally not possible. However, **nitrate** content seems to be declining in the youngest groundwater. As average concentrations are still well above Maximum Admissible Concentration (MAC) for drinking water (50 mg/l), it must be concluded that things are moving in the right direction. We do not know, however, if efforts to reduce nitrate concentration in groundwater have been sufficient so far. Furthermore, an investigation of small private water supplies shows that the uppermost groundwater is heavily influenced by nitrate since water in more than 20% of the investigated dug or drilled wells exceeds MAC. However, a part of these high values may be related to unfavourable well construction or location.

Data from 1998–2003 shows that nitrate concentration in about 16% of monitoring screens exceeds MAC for drinking water. Presently, only 1.1% of water abstraction wells contain nitrate concentrations exceeding MAC for drinking water due to abandoning and subsequent replacement of most wells showing high nitrate concentrations, by deeper wells. More than 40% of screens in monitoring areas, and approximately 75% of groundwater abstraction wells do not contain nitrate (less than 1 mg/l).

There are no changes in content of dissolved **phosphorus** in groundwater for the period 1998–2003. Phosphorus of geological origin can be measured in concentrations above MAC (0,15 mg/l) in some regions of Denmark. This occurs more frequently in deeper aquifers with reduced groundwater where groundwater chemistry is influenced by interglacial marine deposits. A high phosphorus

content is generally not a problem in relation to drinking water quality as it usually precipitates in sand filters at the waterworks.

Inorganic trace elements occur naturally in groundwater in Denmark. Where pH is low, some of these elements such as aluminium may occur in high concentrations. In aquifers with no oxygen content, arsenic may be abundant in high concentrations. The presence of inorganic trace elements near MAC for drinking water, however, may also be caused by anthropogenic activities such as contamination, lowering of groundwater level, etc.

In general, the MAC of many inorganic trace elements has been exceeded in all elements of the groundwater monitoring programme. From 1998–2003, the MACs have been exceeded in 32% of screens in the monitoring areas. In agricultural watershed catchment areas, where young and shallow groundwater is surveyed in areas with intensive agriculture, results are conspicuous with many high nickel, zinc, lead and arsenic values. Within groundwater monitoring areas and in water abstraction wells, arsenic in particular was found in high values. In major water works with effective sand filters, inorganic trace elements will partly precipitate and will not necessarily have a negative effect on drinking water quality. However, in smaller water supplies without water treatment facilities, they may form a water quality problem.

Organic micro pollutants have been found in 92% of well screens in groundwater monitoring areas from 1993–2003. By excluding anionic detergents (due to a non-specific method of analysis), organic micro pollutants are detected at least once in 63% of well screens. The percentage for agricultural watershed catchment areas is 56 and approximately 20% for water abstraction wells (also without anionic detergents). However, the concentration of these compounds is below the MAC for drinking water in most groundwater abstraction wells, as well as in most well screens in groundwater monitoring areas.

The percentage of well screens with **pesticides** and/or their **metabolites** in groundwater monitoring areas was approximately 27 in 2001, 2002 and 2003. The percentage of well screens with concentrations above the MAC for drinking water (0,1 µg/l) was about 8.5 in both 2001 and 2002, but increased to about 10% in 2003. Pesticides or their metabolites were detected in more than 40%

of well screens sampled from 1998 until 2003, and the share above MAC was about 15%.

The metabolite 2,6-dichlorbenzamide (BAM), a degradation product of chlorthioamide and dichlobenil, and triazines and their metabolites, notably deethylisopropylatrazine, are the most commonly detected compounds. The detection of deethylisopropylatrazine has increased to 9% of wells sampled. This metabolite was detected in more than 30% of monitoring at shallow depth below agricultural watershed catchment areas. The metabolite was detected in about 3% of analysed water supply wells. Only about 200 water supply wells were analysed for this metabolite, and it is anticipated that detection will increase as analyses are performed on an increasing number of water supply wells.

Groundwater abstraction wells are still severely affected by pesticides or metabolites. During the period from 1998–2003, the percentage of detections was approximately 26; 6% exceeded MAC. During the same period, the annual percentage of wells with concentrations exceeding MAC, declined from 10 to 5%. In 2003, pesticides or their metabolites were detected in about 27% of the wells.

The most commonly detected compounds in water abstraction wells are BAM, atrazine and triazine-metabolites as well as mechlorprop and dichlorprop.

From 1998–2003, pesticides or their metabolites have been detected in more than 50% of sampled shallow (0–20 mbgs) groundwater abstraction wells. Like in groundwater monitoring areas, occurrences decrease with increasing depth.

The metabolite BAM often appears in combination with other pesticides and metabolites in shallow aquifers, and can, accordingly, be used as an indicator for other pesticides, for example in small private dug or drilled wells, as these often abstract shallow groundwater.

The total **groundwater** abstraction for drinking water production was 403 million m³ in 2003. When the monitoring programme started in 1989, the amount was 640 million m³, so abstraction has been reduced by 37%. In 2003, abstraction for irrigation was 141 million m³, and this is one of the lowest recorded figures in the monitoring period.

Groundwater **models** and hydrological models are being used significantly to estimate groundwater recharge and capture zone. Stream models have been developed for 84% of groundwater monitoring areas, and this has resulted in a revision of areas of influence for about one half of these.

Indledning

Overvågningsprogrammet

Den landsdækkende grundvandsovervågning, der er en del af det nationale overvågningsprogram for vandmiljøet, NOVA 2003, blev oprindelig iværksat som en konsekvens af vedtagelsen af Vandmiljøplanen i 1987 med det hovedformål at registrere grundvandets belastning med kvælstof og fosfor samt vurdere virkningerne af ændringer i næringsstofbelastningen, som Vandmiljøplanens tiltag måtte medføre. Endvidere har grundvandsovervågningen til formål generelt at følge udviklingen i grundvandsressourcens kvalitet og størrelse for også i fremtiden at kunne sikre Danmarks befolkning drikkevand af god kvalitet. Endelig er det et formål at beskrive kvaliteten af det vand, der udgør basis-tilstrømningen til de danske ferske vande.

Grundvandsovervågning

Nogenlunde jævnt fordelt over landet er der etableret 70 grundvandsovervågningsområder (GRUMO), hver udbygget med ca. 17 overvågningsindtag. Indtagene er fordelt i hovedgrundvandsmagasinet med en overvejende horisontal strømning (liniemoniterende borer), øvre sekundære grundvandsmagasiner med en nedadgående strømning (punktmoniterende borer) og én indvindingsboring (volumenmoniterende boring), der overvåger det grundvand, der anvendes til drikkevandsproduktion. Det skal bemærkes, at en overvågningsboring kan indeholde flere adskilte indtag i forskellige dybder.

Grundvandsovervågningen, der hvert år udføres i et fast net af indtag, omfattede i NOVA 2003 perioden i alt ca. 1.050 indtag, der var egnede til analyse for grundvandets hovedbestanddele. Heraf er ca. 1000 indtag egnede til analyse for specielle parametre som uorganiske sporstoffer, pesticider og andre organiske mikroforureninger. Hertil kommer 112 indtag til overvågning af grundvandets hovedbestanddele i Rabis Bæk området, og 77 indtag i fire redoxboringer etableret i 1998-1999. Grundvandsovervågningen omfatter endelig ca. 85 indtag i grundvandet i de fem landovervågningsoplande (LOOP), hvor bl.a. kvaliteten af det helt nydannede grundvand overvåges i indtag som ligger 1½-5 meter under terræn.

For placering og opbygning af områderne henvises til sidste års rapport (GEUS 2003) samt Andersen, 1987 og Nygaard, 1991.

Vandværksboringer

I Miljøministeriets bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (Miljøministeriet, 1988; Miljø- og Energiministeriet, 2001) er der siden 1989 stillet krav om overvågning af det grundvand, der indvindes fra vandværkernes borer - boringskontrol (Miljøstyrelsen, 1990, 1997). Analysehyppigheden afhænger af den producerede vandmængde på vandværket. Vandforsyningsanlæg under 3.000 m³ kontrolleres ikke, borer til anlæg mellem 3.000 og 35.000 m³ kontrolleres hvert 5. år, for anlæg mellem 35.000 og 1.500.000 m³ hvert 4. år, og for anlæg der er større, kontrolleres borerne hvert 3. år. Boringskontrol vil over tid blive udført i et skiftende antal borer, idet vandforsyningsboringer af forskellige årsager, så som tekniske problemer, forureninger m.v., udgår af vandindvindingen, som typisk flyttes til andre nyere eller uforurenede borer.

Dette års rapport er som de 2 foregående år gennemført på baggrund af GEUS nye databasesystem Jupiter. Der er med anvendelsen af Jupiter sket en kobling mellem det tidligere vandressourcereger og den tidligere grundvandskemidatabase ved GEUS. Dette skulle udelukke, at analyseresultater, som tilsyneladende ikke stammer fra vandindvindingsboringer, men som er indberettet som "boringskontrol", indgår som vandværksboringer. Herved bliver et antal borer med forskelligt andet formål, f.eks. afværgeboringer, private borer og brønde, pejleboringer eller borer til overvågning af lossepladser, ikke medtaget som vandværksboringer, med deraf følgende krav til kvalitet. Denne gruppe af borer er i de enkelte afsnit behandlet under betegnelsen 'Andre borer'. Således omfatter gruppen vandværksboringer i denne rapport kun borer tilhørende vandværker, hvorfra der i 2003 er indberettet indvindingsmængde. Desuden skal der indenfor de sidste 5 år være foretaget en kemianalyse på boringen.

Rapportering

Hvert år siden 1989 har GEUS udarbejdet en rapport over grundvandsovervågningen. I Aftaleudvalget mellem staten og amterne er det vedtaget, at rapporteringen skal ske efter et standardiseret format, således at rapporteringen bliver overskuelig og ikke for omfattende. Dette års rapport er reduceret i omfang i forhold til foregående år grundet nedskæringer på området. Da det er sidste standardrapportering af NOVA 2003 data er der fokuseret på perioden 1998-2003.

Årets rapport bygger, som de foregående, på de data amterne har indberettet til GEUS's database Jupiter samt på de årlige rapporter fra amterne. Dog er data der måtte være nævnt i amternes rapporter, men som ikke er indberettet til databasen ved GEUS, normalt ikke medtaget i tabeller og grafer i GEUS's rapport.

Revision af NOVA 2003

Siden 2002 er der blevet arbejdet der med at revidere det eksisterende overvågningsprogram NOVA 2003 til NOVANA 2004-2009 (Det Nationale Overvågningsprogram for VAndmiljø og NATur), der træder i kraft pr. 1. januar 2004. Som akronymet antyder, skal der i det nye program udover vandmiljøovervågning også etableres en overvågning af naturen (biodiversitet og terrestrisk natur).

For grundvandsovervågningens vedkommende vil det nye program fortrinsvis betyde en øget fokusering på det øvre grundvand og vandets kredsløb,

herunder grundvandsdannelsen. Det betyder bl.a., at et antal af de eksisterende grundvandsovervågningsområder vil blive yderligere udbygget med nye borer, mens et mindre antal skal overgå til begrænset overvågning (DMU, 2004). I programmet vil der desuden være større fokus på kvantiteten af det danske grundvand, og der skal derfor etableres en hydrologisk modellering af vandbalancen og grundvandsdannelsen på overordnet oplandsniveau og national skala. Denne modellering opdateres årligt med nye klimadata og indvindingsstal. Dette arbejde vil bidrage til at opnå en bedre forståelse for den kvantitative sammenhæng mellem grundvand og overfladevand.

Små vandforsyninger

Sidst i afsnittet om pesticider og deres nedbrydningsprodukter er konklusionerne fra rapporten "Pesticidforurenede vand i små vandforsyninger" (GEUS 2004) opridset.

Grundvandets hovedbestanddele

Nitrat

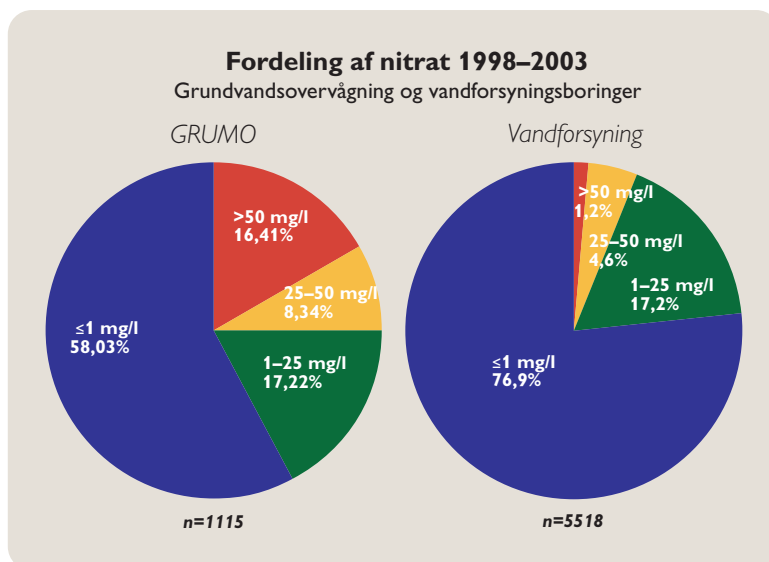
Grundvandets indhold af nitrat

I rapporten er nitratdata fra **alle aktive** indtag i grundvandsovervågningen blevet benyttet til bedømmelse af udviklingen i grundvandets nitratindhold for hele perioden 1998-2003. Denne praksis betyder, at der vil indgå et varierende antal indtag i de årlige beregninger. Hvis kun indtag der var analyseret kontinuert fra 1998 og frem blev anvendt, ville det betyde væsentlige færre data og dermed tab af informationer, samt at nye GRUMO-boringer ikke vil blive inddraget i databehandlingen. For indtagene er der beregnet en medianværdi for prøveårene, hvilket dog har fået mindre og mindre betydning, da de fleste indtag, > 90%, kun analyseres én gang om året. Dette betyder, at indtagenes eventuelle årlige variation i nitratindhold ikke kan beskrives.

Antallet af nitratanalyser i 2003 for GRUMO ligger på 1.693, hvoraf 441 stammer fra redoxboringerne. Der er i alt analyseret på 1.128 indtag, hvoraf de 75 tilhører redoxboringer. For GRUMO er 991 indtag analyseret én gang, 19 indtag 2 gange, 5 indtag 3 gange, 18 indtag 4 gange og 20 indtag 5 gange eller mere. For hele NOVA-perioden 1998-2003 er der, for GRUMO (uden de 4 redoxboringer), i alt indberettet 7338 nitratanalyser fra 1226 indtag. Af disse indtag er 62% (756 indtag) analyseret mindst én gang om året. For boringskontrollen er der i alt 1.682 nitrat analyser i 2003 fordelt på 1.575 boringer. Analysefrekvensen for de i 2003 indberettet boringer, er fortrinsvist én årlig analyse (96% af boringerne). 40 boringer er analyseret 2 gange for nitrat og 25 boringer er analyseret 3 gange eller mere. For LOOP indtagene foreligger der 450 analyser fordelt på 90 indtag for 2003. En stor del (42%) af indtagene er analyseret 6 gange for nitrat, enkelte flere gange, mens hovedparten af de resterende indtag er analyseret mindre, hvilket delvist skyldes, at grundvandsspejlet i perioder står under de øverste indtag. Der er ligeledes indberettet boringer klassificeret som 'Andre boringer'. For denne gruppe er der i 2003 kun indberettet 2 nitratanalyser for 2 boringer.

En oversigt over fordelingen af nitratindholdet GRUMO og vandforsyningsboringerne i 2003 er vist i figur 2.1, og som det fremgår af figuren, har ca. 25% af GRUMO indtagene (linie- og punktmoniterende) et nitratindhold over 25 mg/l (den tidligere vejledende max. værdi for drikkevand jf. Miljøministeriet, 1988), mens det for vandforsyningsboringerne er nede på ca. 6%. Denne fordeling har stort set været uændret siden overvågningsprogrammets start. Den højst tilladelige værdi for nitrat i drikkevand er 50 mg/l nitrat (Miljø- og Energiministeriet, 2001).

For perioden 1998-2003 foreligger der i alt 2.795 nitratanalyser fra LOOP indtag, 9.260 fra GRUMO og redoxboringerne indtag, 11270 fra boringskon-

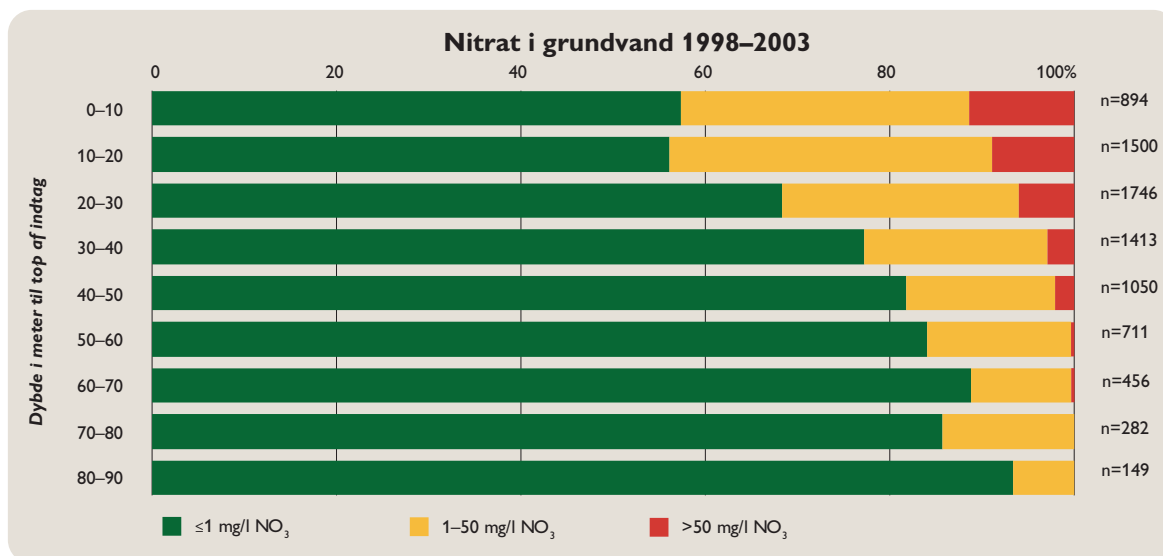


Figur 2.1 Indtag fordelt efter nitratindholdet i mg/l for GRUMO (linie + punkt) samt for boringskontrol. Der er anvendt medianværdier for nitratdata inden for perioden 1998-2003.

trol indtag og 2423 fra 'Andre boringer'. Fordeling af disse nitratdata opdelt i tre grupper - ≤1, 1-50 og >50 mg/l er i figur 2.2 plottet mod toppen af indtaget (m.u.t.). Top af indtag er angiver for i alt 8.201 indtag med totalt 23.692 nitratanalyser. Den største del af analyserne med et større eller mindre indhold af nitrat kommer fra indtag, der ligger ned til 40 meter under terræn, og de højeste nitratindhold findes ikke uventet i de øverste 10 meter af jordsøjlen med nitrat (> 1 mg/l) i over 43% af indtagene og nitrat over 50 mg/l i ca. 11 %.

Redoxzoner

Geokemisk kan grundvandet opdeles i 4 redoxzoner, hvor den øverste - ilt-zonen - har et højt iltind-



Figur 2.2 Indtag fordelt efter nitratindholdet i mg/l og indtagsdybde under terræn for LOOP, GRUMO, boringskontrol (vandværksboringer) og 'Andre boringer'. Alle data for 1998-2003 er medtaget.

hold svarende til iltindholdet i regnvand. Desuden kan nitratindholdet være højt på grund af udvaskning fra rodzonen. Som oxidationsmiddel forbruges ilt før nitrat, og iltindholdet falder derfor ned mod den næste zone - nitrat-zonen, hvor iltindholdet er meget lavt, og hvor det er nitrat, der bliver omsat (anoxisk zone).

Under denne zone findes så jern og sulfat-zonen med jern og sulfat, men uden nitrat og ilt. Endelig findes der dybest den stærkt reducerede sulfidholdige/sulfatreducerende zone - metan-zonen. I den anoxiske zone hvor nitratomsætningen sker med pyrit som reduktionsmiddel, vil der blive dannet sulfat. Ud fra det gennemsnitlige sulfatindhold i den oxiske zone kan man lave et skøn over, hvor højt nitratindholdet oprindeligt har været i de anoxiske prøver, idet der ca. dannes 1 mg/l sulfat pr. 1 mg/l omsat nitrat (Thorling, 2003). I den øverste del af den reducerede zone kan man på samme måde få en indikation af størrelsesordenen af udvasket nitrat på baggrund af sulfatindholdet, men en analyse af N₂ gas ville give et bedre skøn. Organisk stof og jern kan også spille en vis rolle, afhængig af de lokale geologiske forhold.

Denne opdeling i redoxzoner er anvendt i rapporten i den udstrækning, der er foretaget ilt-analyser af prøverne. Der er i rapporten anvendt 1 mg/l ilt som grænse mellem det oxiderede og det anoxiske grundvand. Hvor der ikke foreligger ilt analyser fra feltet anvendes laboratorieanalyserne.

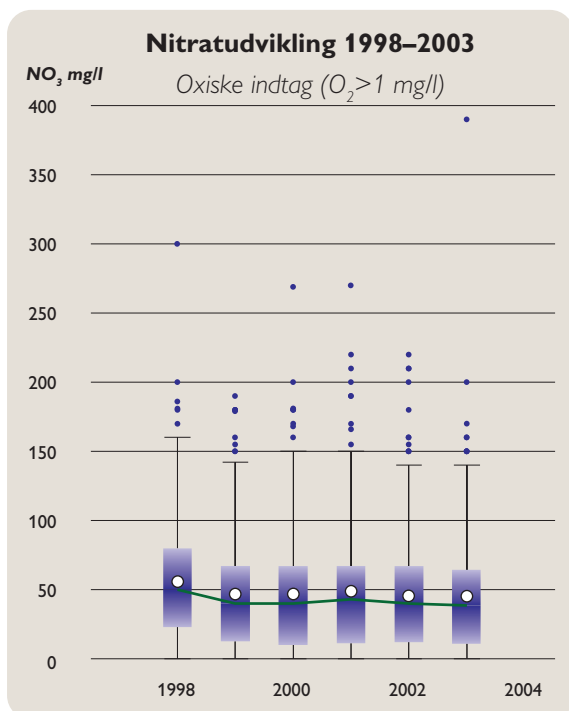
Nitratudvikling i grundvandsovervågningsområderne

Til vurdering af den tidsmæssige udvikling af nitratindholdet i det øverste iltholdige og ofte nitratbelastede grundvand er kun anvendt data fra grundvand med oxiske forhold, dvs. iltholdigt grundvand. Nitrat er omregnet til årlige medianværdier for indtag med mere end én analyse pr. år. Redoxboringerne er ikke medtaget her.

Antallet af indtag anvendt for det oxiske grundvand svinger generelt mellem 300 (1999) og 330 (2002), men er helt nede på 221 i 1998. Udviklingen fra 1998 til 2003 er vist i figur 2.3. Grundvandets nitratindhold kan variere meget for de enkelte år, mens variationen i medianværdien (50% over og 50% under) for perioden 1998 - 2003 kun viser mindre udsving. For det oxiske grundvand ses i 1998 en medianværdi på 50 mg/l nitrat efterfulgt af et fald til omkring 40 mg/l. Dette falder sammen med en stigning i antallet af indtag fra 221 til 300. Over 25 % af indtagene i den oxiske zone har et nitratindhold over 60 mg/l. Den højeste målte værdi i perioden ligger på over 350 mg/l.

Det anoxiske vand - nitrat-zonen - har et lavere nitratindhold end den oxiske zone på grund af omsætning af nitrat, bl.a. ved oxidation af pyrit. Variationen i denne zones nitratindhold følger delvist den i ilt-zonen. Data for denne zone vises ikke i dette års rapport.

Langt den største del af grundvandet i GRUMO-indtagene er dateret til at være dannet før 1990. Derfor kan en effekt af de tiltag, der blev gennemført som en del af Vandmiljøplanen, ikke forventes at kunne



Figur 2.3 Nitratudviklingen i mg/l i perioden 1998-2003 for den oxiske redoxzone (med ilt) med 300-330 indtag. Den enkelte søjle repræsenterer grundvand fra flere indtag med vidt forskellige aldre.

erkendes i grundvandets gennemsnitlige indhold af nitrat. Det iltholdige grundvand er det yngste, men de gennemsnitlige nitratindehold repræsenterer grundvand med forskellige aldre. Figur 2.3 giver derfor kun en **generel status** af grundvandets nitratindehold for de enkelte år, hvor der er analyseret og medtaget i rapporten som dækker NOVA perioden 1998 - 2003. Den generelle udvikling viser en uændret tendens fra 1999 med et gennemsnitlig nitratindehold på mellem 45 og 50 mg/l og en ca. 5 mg/l lavere medianværdi, idet der dog er en ret stor spredning i indtagenes nitratindehold. Undersøges variationen i nitratindeholdet i de enkelte indtag, ses der store variationer uanset om disse viser et faldende, stigende eller har et meget fluktuerende nitratindehold. Disse forhold kan skyldes vandspejlsændringer, ændringer i nedbøren eller landbrugspraksis og dermed i udvaskningen af nitrat fra rodzonen.

Redoxboringerne

Sibirien, Storstrøms Amt (2004)

I år 2000 blev det vist, at amtets redoxboring ikke har et helt ideelt vertikalt flow. Efter ca. 12 m.u.t. stiger både ilt- og nitratindeholdet, og dette kan bekræftes af analyserne fra alle øvrige år. Det ses, at nitratindeholdet ned gennem profilet er meget ensartet i de 3 første prøvetagningsår. Indholdet af ni-

trat i de øverste indtag er dog væsentlig højere i 2003 end i de 3 øvrige år. Af 2003 data kan det ses, at de analyser som er taget senest på året har det højeste indhold af nitrat; dette har ikke været så markant de foregående år.

Generelt set opfører de enkelte redoxparametre sig som i de foregående 3 år boringen har været prøvetaget. Svovlbrinteindholdet er igen i 2003 meget lavt. Nitratindeholdet i indtaget 12,3 m.u.t. viser en generel stigning. Set over hele profilet er nitratindeholdet generelt steget, men der er dog ikke tale om at nitratfronten har bevæget sig, hvilket heller ikke kan forventes på den korte årrække der har været prøvetaget i boringen.

Grindsted, Ribe Amt (2004).

Ilt-zonen går fra terræn til ca. 21 meter under terræn medio juni 2003. Ilt-zonen ligger dog ikke på et fast niveau, men varierer over året. Ilt-zonen har således i løbet af 2003 varieret fra ca. 21 til 22,5 meter under terræn. Ved de seneste 3 prøvetagninger har frontens placering været mere konstant.

Nitrat- og sulfatkoncentrationen falder med flere udsving ned igennem ilt-zonen. Ved hovedparten af prøvetagningerne ses sulfat- og nitratkoncentrationernes kurveforløb oftest at være modsatrettede i flere dybder, som tegn på en evt. pyritoxidation. Dette ses ikke ved prøvetagningen i juni 2003, hvor kurveforløbene i stedet følges ad.

Nitratindeholdet har varieret meget. I slutningen af 2000 og starten af 2001 når koncentrationerne i en periode op over 100 mg/l, mens de i 2003 har ligget omkring 40-50 mg/l. De høje nitratkoncentrationer i 2000 og 2001 kan ligeledes følges i de øvrige indtag i den øverste del af ilt-zonen. De høje nitratkoncentrationer viser, at området er landbrugspåvirket. Årsagen til den markant højere koncentration i 2000 og 2001 kan evt. skyldes ekstra stor gødningstilførsel i en periode. I samme periode er grundvandsspejlet faldet til det laveste niveau, der er set siden 1999. I løbet af 2003 er nitrat-zonen mindsket. I starten af året træffes der nitrat ned til 25,4 meter under terræn, mens der i slutningen af året træffes nitrat ned til 23,3 meter under terræn. Nitratkoncentrationerne i ilt- og nitrat-zonen er igen faldet til ca. samme niveau som i midten af 1999. I løbet af 2003 er vandspejlet faldet, og tilsvarende fald ses for flere af de kemiske parametre.

Under nitratfronten findes jern og sulfat-zonen. Her ses en stigning i jernkoncentrationen til ca. 18 mg/l. Jern og sulfat følges ad (samme udsving) ned gennem jorden. Sulfatkoncentrationen har varieret fra 21 til 40 mg/l, mens jernkoncentrationerne har varieret fra 0,25 til 13 mg/l.

Sulfat, jern og klorid synes endvidere at følge samme variationsmønster over perioden.

Kasted, Århus Amt (2004).

Boringens filtre går gennem 5 forskellige vandkemiske miljøer:

- Et øvre oxisk nitratholdigt lag, let forsuret og med et højt indhold af salt.
- Et oxisk nitratholdigt lag.
- Et anoxisk nitratholdigt lag med højt nitritindhold.
- Et lag med gradvis overgang til nitratfrit forhold, med nulzone/nitratgennembrud.
- Et svagt reduceret nitratfrit lag, hvor alderen og redoxpotentiallet falder ned gennem laget.

Vandkemien i de to øverste filtre er markant anderledes end i de øvrige filtre. Overordnet set er der tale om næsten iltmættet vand. Hydrologisk set er dette lag adskilt fra de underliggende af et ca. 30 cm tykt siltlag/lerlag. Trykniveaue i alle niveauer i boringen er dog det samme. Grundvandet i begge filtre er i 2001 dateret med CFC til 1988 svarende til en strømningstid på 13 år i grundvandsmagasinet. Udvaskning til disse filtre må være sket for knap 20 år siden, da der til de 13 års strømningstid skal lægges den tid, det tager at nå de ca. 10 m ned under terræn til grundvandsspejlet. Nitratindholdet har ligget relativt lavt for iltmættet vand, mellem ca. 20 og 40 mg/l i begge filtre, men er steget til omkring 50 mg/l nitrat. Dette peger på, at grundet den lave grundvanddannelse i 2003 er vand med et andet grundvanddannende opland end normalt passeret gennem filterne.

I den næste zone er der gennem de første tre år blevet stadigt mere oxiske forhold. I 2 filtre er nitratindholdet steget til knap 40 mg/l, mens iltindholdet er steget til knap 3 mg/l. Sulfat er faldet til ca. 60 mg/l i begge filtre, hvilket antyder, at den rene oxiderede vandtype ikke er slået helt igennem i disse to filtre. I det øverste filter er udviklingen mere fuldstændigt gået fra anoxiske forhold ved boringens etablering til nu oxiderede forhold.

De anoxiske lag indeholder alle høje nitritkoncentrationer over ca. 0,1 mg/l, som tegn på en igangværende nitratreduktion. Zonen har en mægtighed af 7 meter, og en så stor anoxisk zone antyder, at nitratreduktionen sker med en meget langsom reaktionshastighed. Der er ingen udvikling i vandkvaliteten i dette lag i 2003. CFC-alderen er for alle filtre i denne zone omkring 50 år.

I denne overgangszone har der i de to øverste filtre været stigende redoxpotentialer og nitratindhold i løbet af 2003. I filter 5 ses nulzone kemi (ingen ni-

trat, lavt jern og mangan) med et stigende redoxpotential målt som eH, samt enkelte indslag af nitrit og nitrat. Herunder er der reducerede forhold uden nitrat. Der er ikke nogen skarp overgang til reduceret vand med høje jernindhold. I stedet stiger jernindholdet langsomt de næste ca. 10 m ned gennem grundvandsmagasinet. Grundvandet i de reducerede filtre har haft en stabil sammensætning i den forløbne periode.

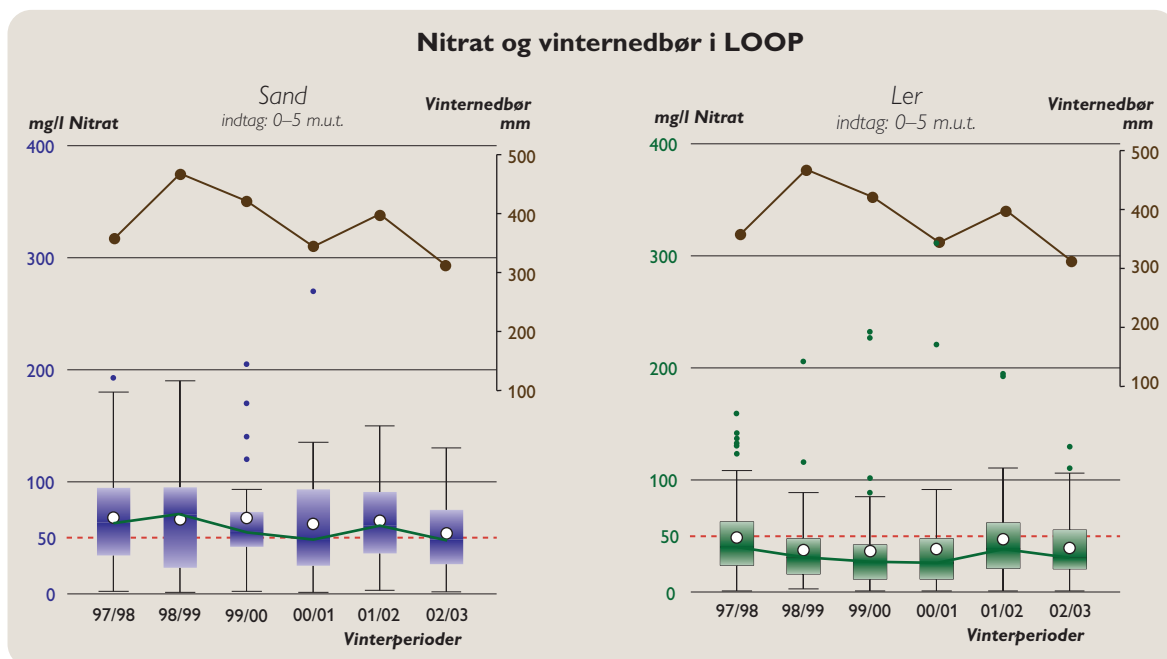
Vandkvaliteten i redoxboringen har også i 2003 udvist et stigende nitratindhold i de lag, der ligger øverst og nederst i det anoxiske miljø. Derimod har vandkvaliteten centralt i dette nitratreducerende lag været stabil.

Albæk, Nordjyllands Amt (2004)

De 15 indtag i redoxmultiboringen viser en sekvens af redoxzoner gående fra et oxisk miljø til et anoxisk miljø. Redoxzonerne har gennem tid bevæget sig mærkbart. I starten af 2000 var iltindholdet i de øverste 5 indtag over 2 mg/l. Frem til april 2004 stiger iltindholdet i de underliggende indtag 10 til 5 også til over 2 mg/l, hvorefter der sker en stabilisering. Indholdet af nitrat er på omkring 100 mg/l i de 5 øverste indtag i april 2000, efterfølgende stiger nitratindholdet også i de 6-7 underliggende indtag frem til medio 2002, hvorefter der indtræder en stabilisering. Nitratfronten har forskubbet sig først opad fra februar 1999 til februar 2000 med godt 1,5 meter, siden nedefter i perioden mellem februar 2000 og februar 2002 med omkring 2,5 meter. Fordelingen af stofkoncentrationerne i de øverste 10-12 indtag i det sidste års tid er karakteristisk for en ilt-zone og en underliggende nitrat-zone. Nedenunder igen kommer så jern og sulfat-zonen. Redoxboringen er nu blevet prøvetaget i godt 5 år. Der er ikke fundet nogen oplagt sammenhæng mellem nitratfrontens beliggenhed og dybden ned til grundvandsspejlet. Bemærkelsesværdigt er det, at det maksimale indhold af nitrat over nitratfronten i redoxindtagene er faldet fra 118 mg/l i juni 1999 til 87 mg/l i december 2002.

Nitrat i ungt grundvand

Grundvandet i landovervågningsoplandene (LOOP) er det yngste vand, som overvåges. Nitratindholdet i dette grundvand, fordelt på sand- og lerområder, er vist som et boxdiagram i figur 2.4 sammen med vinterneedbøren. Da det er den relative variation, som er interessant og ikke mængden af nedbør, er det valgt at benytte et gennemsnit af DMI's 40x40 km nedbørsdata for de grid, hvori de enkelte LOOP ligger. Der er kun medtaget nitratdata fra grundvandsprøver indsamlet i kvartal 4 og 1.



Figur 2.4 Nitrat i landovervågningsoplandene, LOOP, fordelt på sand- og lerområder, sammenlignet med vinternedbøren (øverste kurve). Kun nitratdata fra kvartalerne 4 og 1, nitratanalyser over 1 mg/l og indtag mellem 0 og 6 meter under terræen er medtaget.

Af boxdiagrammerne i figur 2.4 fremgår det, at der er en stor spredning i nitratdata for vinterperioderne, og at der i sandområderne er et noget højere nitratindhold i grundvandet end i lerområderne, i hvilke der er en større reduktionskapacitet. Da der ikke foreligger iltmålinger, kan data ikke adskilles i oxiske og anoxiske prøver. Sammenlignes medianværdien for nitrat med kurven for vinternedbøren, ses et vist sammenfald mellem kurverne for især sandområderne. Hvert år efter høst og evt. nedvisning af markerne er der ved mineralisering af plantedelene ophobet et stort kvælstofoverskud i jorden i den såkaldte nitratpulje. Kommer der herefter et efterår og en vinter med stor nedbør, giver det et højt nitratindhold i det nydannede grundvand. Det reducerer kvælstofindholdet i nitratpuljen, og har det næste efterår/vinter også stor nedbør, vil nitratindholdet i det nydannede grundvand være betydeligt mindre, fordi bidraget fra tidligere års nitratpulje nu er formindsket ved udvaskning og/eller denitrifikation. Det vurderes således, at grundvandet i LOOP har et nitratindhold, som er præget af vinternedbøren. For NOVA perioden 1998-2003 synes der ikke at være nogen betydende ændring i det øverste grundvands nitratindholdet, hverken i sand- eller lerområderne. Det skal bemærkes, at det gennemsnitlige indhold de fleste år ligger over grænseværdien for drikkevand på 50 mg/l (medianværdien på eller over 50 mg/l). For lerområderne svinger det gennemsnitlige nitratindhold for perioden mellem 37 og 49 mg/l (medianværdien mellem 25 og 40 mg/l). I halvdelen af perioden ligger 25%

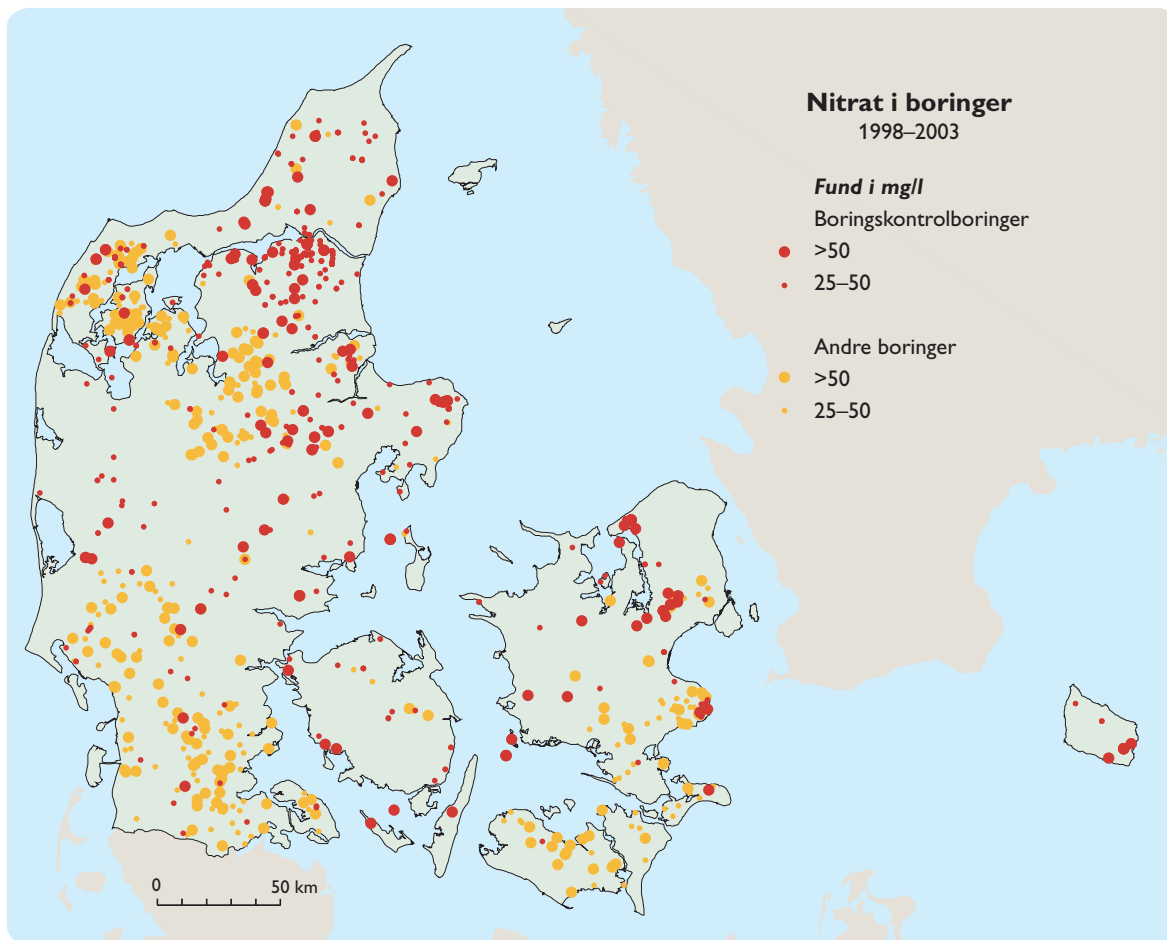
af nitratanalyserne over 50 mg/l for lerområderne, mens mere end 25% af nitratanalyserne i sandområderne ligger over 75 mg/l.

Nitrat i vandværkernes indvindingsboringer

Der er fra 1998 til og med 2003 indberettet i alt 6.518 vandværksboringer/pejleboringer med i alt 11.270 nitratanalyser til GEUS's database. Hovedparten af boringerne, ca. 75%, er nitratfrie - dvs. med et nitratindhold under 1 mg/l nitrat. I basen, registreret som 'Andre boringer' findes i alt indberettet 2.423 nitratanalyser fra 1.432 boringer for perioden 1998-2003, hvoraf næsten 1/2-delen stammer fra brønde eller terrænnære boringer.

Den procentvise andel af nitratbelastede boringer (>25 mg/l nitrat) har ikke ændret sig væsentligt siden Vandmiljøplanens start, mens andelen af nitratfrie boringer er svagt stigende. Dette skyldes sandsynligvis, at boringer med over 50 mg/l nitrat bliver nedlagt, og nye boringer uden eller med lavt nitratindhold bliver taget i anvendelse. Nitratindholdet i det grundvand, som benyttes til drikkevandsproduktionen, har således ikke ændret sig nævneværdigt gennem perioden 1998-2003.

På grund af kombinationen af stor nitratbelastning og geologi (ringe reduktionskapacitet) er det som de tidligere år stadig Nordjylland, Viborg og Århus amter, der har den største andel af indtag med over 25 mg/l nitrat i boringskontrollodata - især det så-



Figur 2.5 Nitratkoncentrationen i vandværksboringer og 'Andre boringer'. Kun data for perioden 1998-2003 og kun boringer med mere end 25 mg/l nitrat er vist.

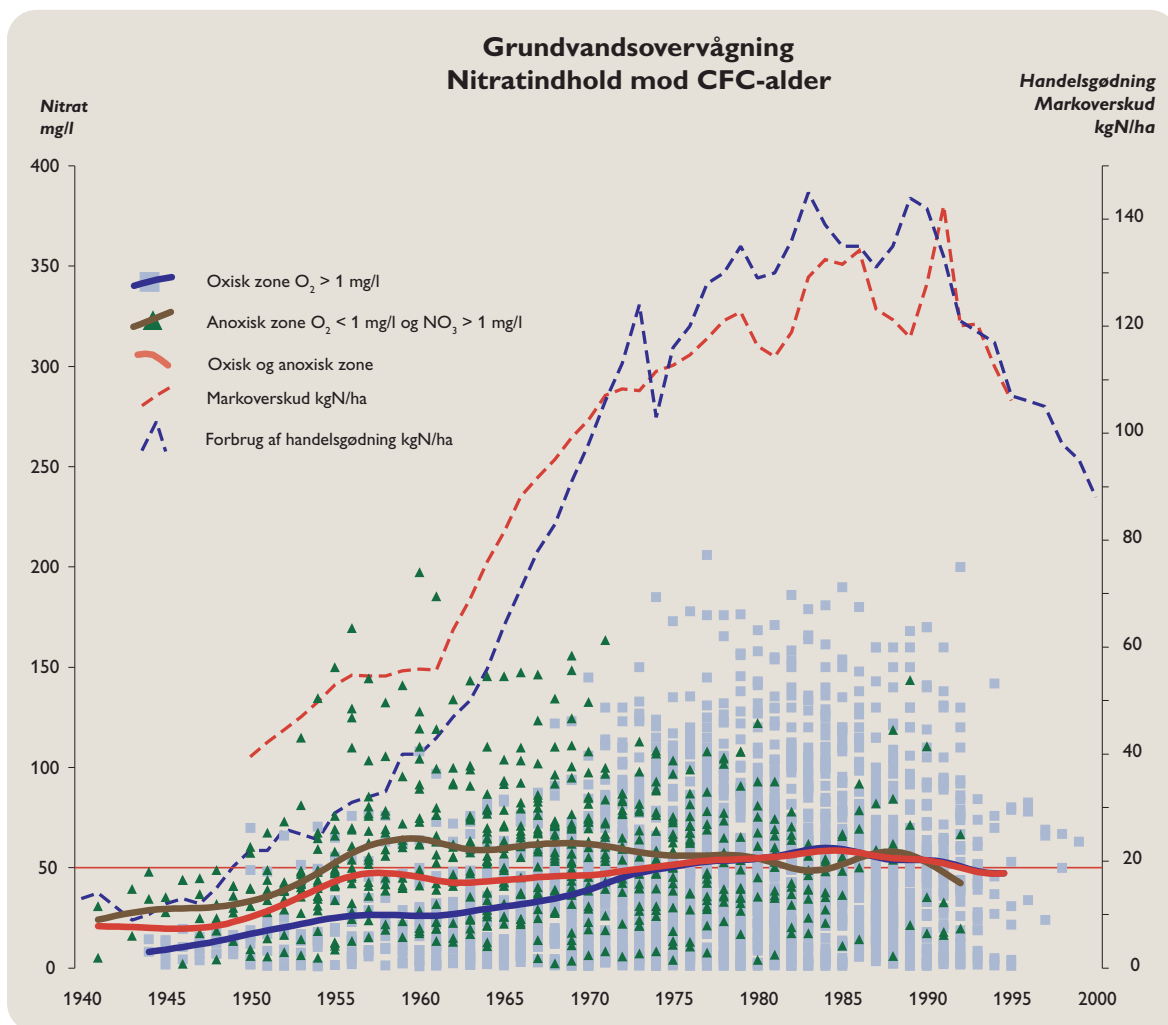
kaldte 'Nitrat-bælte', der strækker sig fra det nordvestlige Århus Amt ind i Viborg Amt (figur 2.5). Grundvand, der indvindes til drikkevand i dårligt beskyttede områder som på Mors, ved Ålborg, på Djursland, omkring Roskilde Fjord og på Bornholm, har også et højt nitratindhold. Det er således stadigvæk i Jylland - med de mest sandede områder - at andelen af boringer med relativt meget nitrat i grundvand, indvundet til drikkevand, er størst

Data fra gruppen 'Andre boringer' er skævt fordelt, idet de fleste oplysninger stammer fra Storstrøms, Sønderjyllands, Ribe, Viborg og Nordjyllands amter. 'Nitratbæltet' ses også i disse data, men desuden ses højt nitratindhold i grundvandet i det sydlige Jylland og i Storstrøms Amt. Der mangler oplysninger om indtag i mange af disse boringerne, som sandsynligvis stammer fra brønde, og derfor repræsenterer højtliggende grundvand, især i Sønderjylland, Viborg og Storstrøms amter.

Nitratdata associeret med CFC-dateringer

CFC-dateringerne kan bruges til at finde en tidsdiferens mellem prøvetagningsåret og CFC-alderen på grundvandet. Nitratdata kan derfor relateres til en CFC-alder, således at nitratanalyser for indtag, hvor der er foretaget en CFC-datering, kan anvendes til at få et indblik i udviklingen af nitrat i det danske grundvand. I alt har 643 GRUMO-indtag en CFC-alder over detektionsgrænsen. Ud over analyseusikkerheden må der yderligere regnes med en usikkerhed ved tilbageskrivningen, idet strømningerne i grundvandet kan variere. Desuden kan indtag med reduceret grundvand ikke benyttes, idet nitrat er omsat.

Nitratdata fra ilt-zonen kan benyttes som de er, men nitratdata fra den anoxiske zone har et reduceret nitratindhold. Det er muligt at få et skøn over, hvor meget nitrat der er omsat ved at se på sulfatindholdet, idet der ved nitratomsætning ved hjælp af pyrit dannes ca. 1 mg/l sulfat pr. 1 mg/l nitrat. Ved at tage sulfatgennemsnittet for et GRUMO (oxiske indtag) kan nitratindholdet i de enkelte indtag opjusteres



Figur 2.6 Grundvandets udvikling i nitratindhold på basis af CFC-dateringer. Data er fra den oxiske zone ($O_2 > 1$ mg/l) og den anoxiske zone med nitrat korrigeret på grundlag af sulfatindholdet. Udviklingen i gennemsnitsværdierne er vist som udglattede kurver. Bemærk at årstal angiver CFC-alder og ikke prøvetagningsår.

med det 'overskydende' sulfatindhold. Indtag med et sulfatindhold under gennemsnittet benyttes ikke. Denne opjustering af nitratindholdet for data fra den anoxiske zone betyder dog, at der tilføjes en ekstra usikkerhed til beregningen.

Data dækker perioden 1945 frem til ca. 1993. Efter 1993 er der relativt få datapunkter. Data fra Københavns/Frederiksberg kommuner og fra et enkelt indtag fra Gladsaxe er ikke medtaget, idet data fra disse to områder er anormalt høje, muligvis pga. gartneribrug eller beliggenheden i bymæssig bebyggelse.

Data er plottet som et 'scatter'-diagram (fig. 2.6), hvor en udglattet linie gennem årsgennemsnit er tegnet. På figuren er også vist forbruget af handelsgødning i kg N pr. hektar (Plantedirektoratet 2004) samt 'Markoverskuddet' (forskellen mellem hvad der er tilført som husdyr- og handelsgødning, og hvad der er ført bort som foder og solgte plante-

produkter samt fiksering og deposition (Knudsen et al., 2000). Som det fremgår af figuren (fig. 2.6), ligger data for den anoxiske zone over den oxiske zone frem til ca. 1980. Slås alle GRUMO data sammen fås en udglattet og jævnt stigende gennemsnitskurve frem til ca. 1985, hvorefter kurven flader ud og begynder at vise en faldende tendens.

Som det fremgår af figuren er der et vist sammenfald mellem forbruget af handelsgødning og markoverskuddet, og at disse kurver har samme forløb som det gennemsnitlige nitratindhold i det danske grundvand for landet som helhed. En tilsvarende sammenfald i udvikling af nitrat i grundvandet og forbruget af handelsgødning er også påvist i Maryland, USA (Böhlke & Denver, 1995). Det skal dog erindres, at der er en del usikkerhed i forbindelse med skønnet på dannelsesåret for grundvandet og den spatiale fordeling af datapunkter, men kurveforløbet for især alle data antyder et begyn-

dende fald i grundvandets nitratindhold – på landsplan. Data kan dog ikke anvendes til en vurdering af udviklingen i nitratbelastede områder, og det er derfor usikkert, hvornår et fald i nitratindholdet i grundvand vil slå igennem i vandindvindingsboringer.

Fosfor

Udviklingen i grundvandets indhold af fosfor

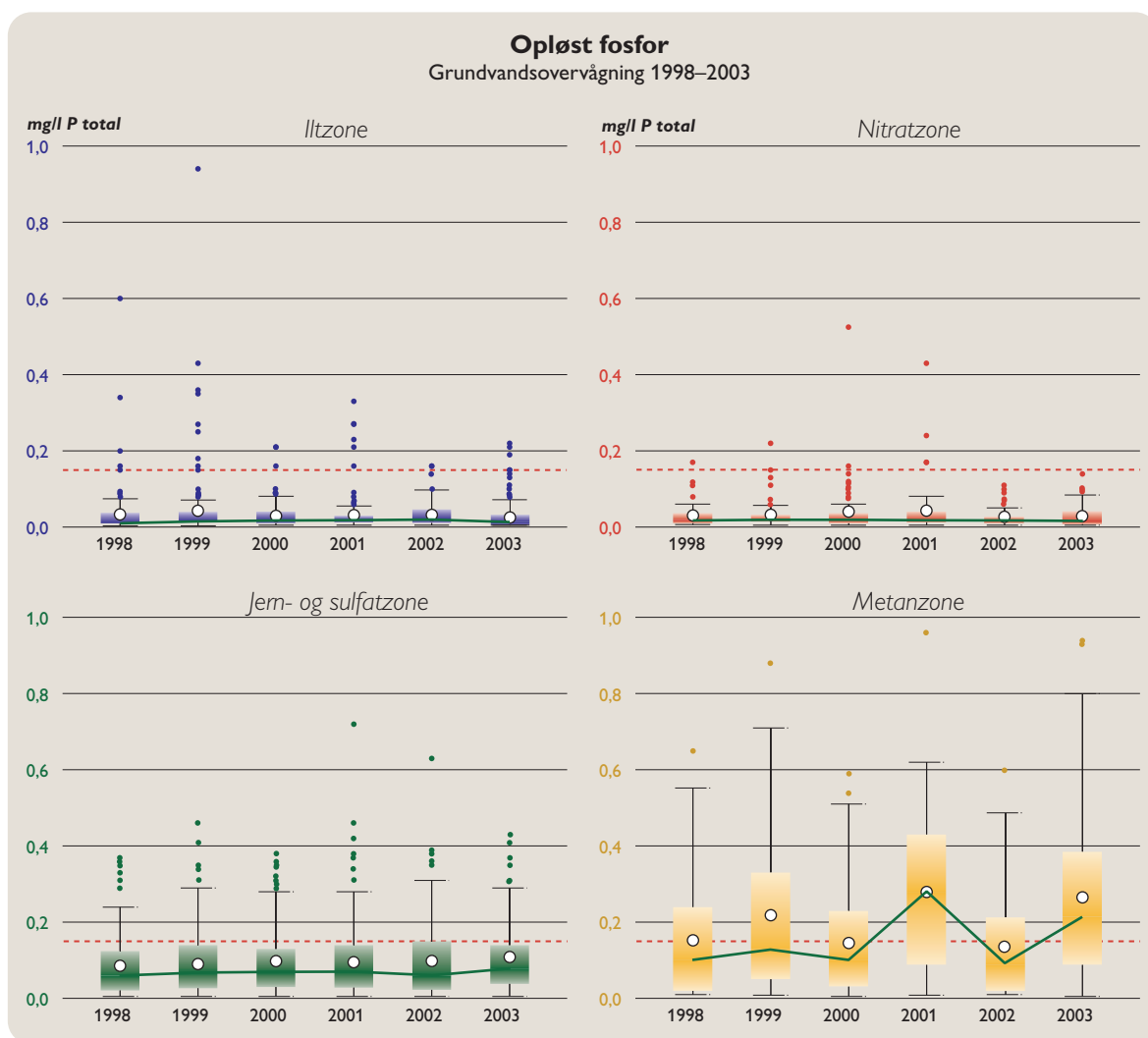
Indholdet af opløst total fosfor i **alle aktive** indtag i grundvandsovervågningsområderne er blevet benyttet til bedømmelse af udviklingen i grundvandets fosforindhold for hele NOVA-perioden 1998-2003. Denne praksis betyder, at der vil indgå et varierende antal indtag i de årlige beregninger. For indtagene er der beregnet en medianværdi for hvert prøveår, hvilket dog har fået mindre og min-

dre betydning, da de fleste indtag, > 90%, kun analyseres én gang om året.

Der er for perioden 1998-2003 indberettet i alt 2.784 total fosfor analyser fra 1.208 indtag tilhørende GRUMO, samt 10.507 analyser fra 6.433 boringer tilhørende vandværkernes boringskontrol.

Udviklingen og fordelingen af total fosfor i 4 redoxzoner for GRUMO-data er vist i fig. 2.7. I både ilt- og nitrat-zonerne ligger indholdet af opløst total fosfor lavt og hovedparten af indtagene har et indhold der ligger under grænseværdien for drikkevand, som er på 0.15 mg/l. Under disse redoxforhold er fosfor bundet til især jernforbindelser. Desuden ses der ingen ændring i indholdet gennem perioden. For jern og sulfat-zone ligger fosforindholdet højere, men mere end 75% af indtagene ligger under grænseværdien for drikkevand. Indtagene der ligger i metan-zonen har ofte et højt indhold af opløst fosfor.

Fosforindholdet i vandværksboringerne er visse steder i landet relativt højt og for ca. 20 % af de

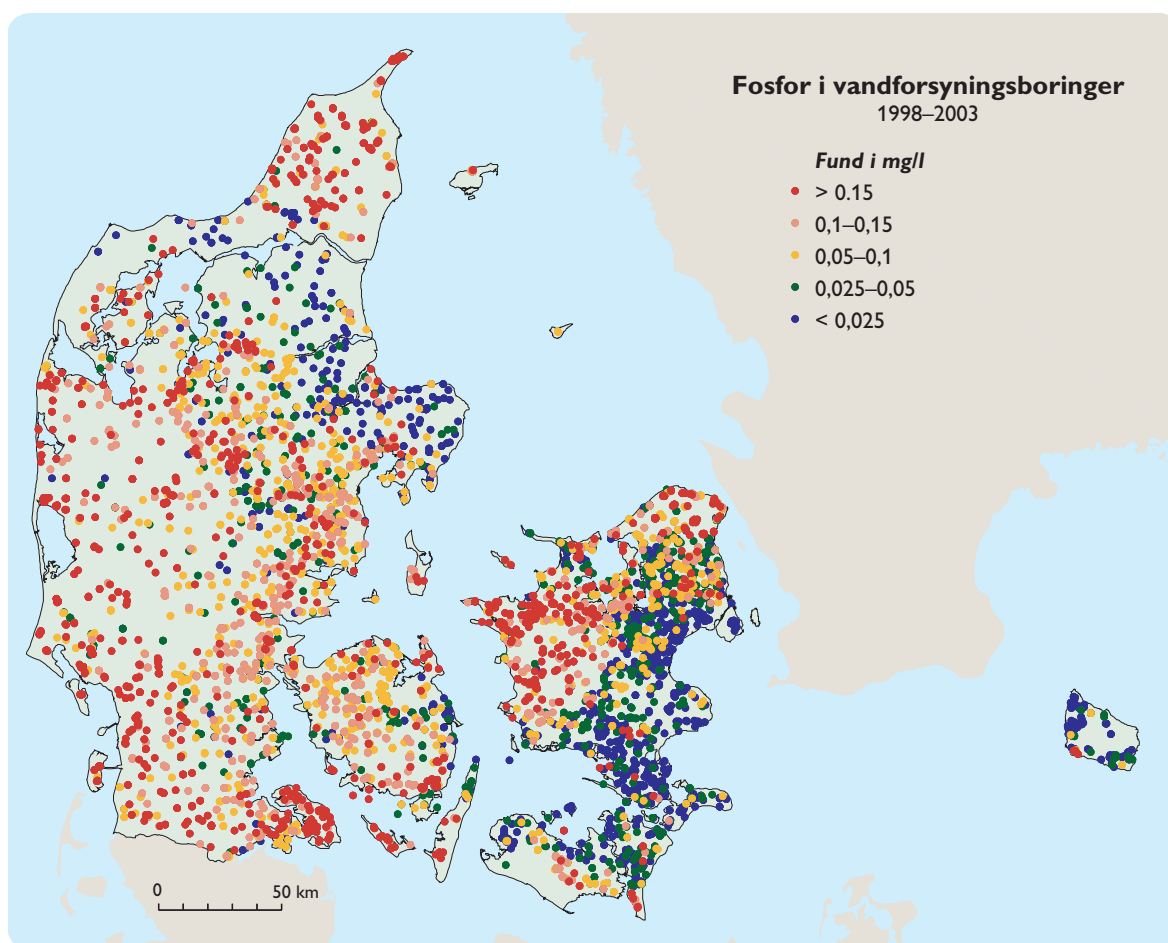


Figur 2.7 Udviklingen i grundvandets indhold af opløst total fosfor i mg/l for perioden 1998-2003 for 4 redoxzoner. Data fra GRUMO overvågningen.

indberettede indtag er indholdet af opløst fosfor mere end 0,15 mg/l fosfor (1.163 borer). De høje fosforindhold kan ofte henføres til borer, hvor vandet har været i kontakt med interglaciale lerede marine aflejringer, som f.eks. i Nordjylland, Sønderjylland, Als, Ærø og Langeland m.m. (fig. 2.8). I områder, hvor der er kalkaflejringer underlejret de kvartære lag og *ingen* interglaciale marine aflejringer, som i store dele af Sjælland samt på Lolland, Falster, Møn, Djursland, Himmerland og Hanherred, findes kun få borer med over 0.15 mg/l fosfor. Hvor der forekommer fosfor i terrænnært grund-

vand er årsagen sandsynligvis forurening fra overfladen.

Da hovedparten af fosfor fjernes ved almindelig vandbehandling udgør fosfor ikke noget problem for den almene drikkevandsforsyning. I private brønde uden vandbehandling (GEUS, 2004) findes der overskridelser af den højst tilladelige værdi for drikkevand i ca. 10 % af de undersøgte vandforsyninger. Dette tyder på en udbredt forurening fra overfladen.



Figur 2.8 Total fosfor i vandværksboringer. Kun data for det reducerede grundvand ($O_2 \leq 1$ mg/l og $NO_3 \leq 1$ mg/l).

Uorganiske sporstoffer

Uorganiske sporstoffer forekommer naturligt i grundvand i relativt små mængder, typisk i størrelsesordenen mikrogram pr. liter. Stofgruppen omfatter grundstoffer af vidt forskellig karakter, bl.a. tungmetaller, men også andre grundstoffer som f.eks. arsen. Inden for gruppen medtages også cyanid, der består af kulstof og kvælstof, som dannes ved forbrænding ved høje temperaturer, typisk i f.eks. traditionelle gasværker. For en lang række sporstoffer må det anses for sandsynligt, at de målte indhold ud over den naturligt forekommende baggrundsværdi også rummer bidrag fra samfundsmæssig aktivitet. En kvantificering af denne fordeling kræver dog et udredningsarbejde, der ligger udenfor rammerne af denne rapport.

I miljømæssig henseende kan de uorganiske sporstoffer opdeles i 3 grupper: 1) de toksiske der har sundheds- og miljømæssigt skadelige effekter (humantoksiske og økotoksiske) selv ved små koncentrationer; 2) de såkaldt essentielle, der omfatter stoffer som er nødvendige for den menneskelige organisme i små mængder, men som er sundhedsskadelige og økotoksiske i større koncentrationer; 3) en tredje gruppe af stoffer, som normalt ikke optræder i så høje koncentrationer, at de udgør et problem, men hvis baggrundskoncentrationer har relevans, og som i rette mængde og form kan have både humantoksikologiske og økotoksikologiske effekter.

Til de toksiske stoffer hører bl.a. antimon, arsen, bly, cadmium, kviksølv samt cyanid. Arsen er yderst giftigt for mennesker, og visse uorganiske arsenforbindelser kan forårsage kræft hos mennesker (Miljøstyrelsen, 1995). Til de essentielle hører bl.a. chrom, kobber, nikkel, zink og selen. For selen er

forskellen mellem nødvendigt indtagelse og giftvirkning relativt lille. Forskellige grænseværdier fremgår af Grundvandsovervågning 2003, GEUS, tabel 3.1.

Selv om grundvandets kemiske sammensætning kan ændres henholdsvis ved vandbehandlingen i vandværket og under transporten og opholdet i vandrørene er det formålstjenligt at relatere grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer til grænseværdierne for drikkevand.

Indhold af uorganiske sporstoffer i grundvandet over grænseværdierne for drikkevand kan medføre, at den del af grundvandsressourcen, der kan anvendes til drikkevand til mennesker, husdyr og til levnedsmiddelfremstilling, reduceres. Grundvand med et indhold af uorganiske sporstoffer over grænseværdien for drikkevand kan ikke umiddelbart anvendes til drikkevand, f.eks. i forbindelse med enkeltforsyning og små vandforsyninger uden vandbehandling.

Måleprogrammer

Grundvandsovervågning

Hovedtal for de uorganiske sporstoffer, som indgik i grundvandsovervågningen i perioden 1998 til 2003 kan findes i bilag 3.1 (se www.grundvandsovervaagning.dk). Der er fundet koncentrationer, der overskrider grænseværdien for drikkevand (Miljø- og Energiministeriet 2001) for ét eller flere uorganiske sporstoffer i 308 indtag, svarende til 32% af overvågningsprogrammets samlede antal egnede indtag.

Landovervågning 1998–2003	Storstrøm µg/l	Vejle µg/l	Fyn µg/l	Sønderjylland µg/l	Nordjylland µg/l
Arsen	0,56	0,27	0,71	0,17	1,1
Bly	0,66	1,8	0,58	1,6	2,5
Cadmium	0,04	0,14	0,02	0,7	0,19
Selen	0,37	0,23	0,66	0,47	0,17
Nikkel	26	31	3,6	32	11
Zink	33	100	18	104	51
Kobber	2,2	7,3	0,99	6,7	5,1
Chrom	0,17	0,13	0,41	0,49	0,92
Aluminium	25	318	128	734	196
Barium	87	43	44	93	45

Tabel 3.1 Uorganiske sporstoffer (gennemsnitsværdier) i landovervågningsens grundvandsboringer 1998-2003. Analyser under detektionsgrænsen er medregnet med dennes værdi.

Landovervågningens grundvandsindtag

Hovedtal for grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer i landovervågningsprogrammets grundvandsdel fremgår af bilag 3.2. I tabel 3.1 er de markante forskelle mellem de forskellige landovervågningsområder fremhævet. Områderne i Storstrøms, Fyns og Vejle amter repræsenterer lerede områder, mens områderne i Sønderjyllands og Nordjyllands amter repræsenterer sandede områder. Analyserne stammer overvejende fra de dybeste indtag i landovervågningsoplandene, dvs. 5 meter under terræn, med undtagelse af analyserne fra Sønderjyllands Amt, der stammer fra indtag i 2,2 meters dybde. Et enkelt indtag fra Sønderjyllands Amt er ekskluderet fra det samlede datasæt på grund af stærkt afvigende stofindhold.

Vandværkernes indvindingsboringer

Udover analyserne i de 84 vandindvindingsboringer, der indgår i grundvandsovervågningen (volumenmoniterende boringer), er der i perioden 1998 til 2003 i alt indkommet analyseresultater for uorganiske sporstoffer fra 6.368 vandværksboringer

underlagt tilsyn jf. bekendtgørelse nr. 871 (Miljø- og Energiministeriet, 2001). Boringskontrol for nikkel, aluminium (ved pH < 6), arsen, barium og bor er obligatorisk.

Der er fundet uorganiske sporstoffer i 3.942 boringer. Procentuelt udgør boringer med fund ca. 62% af de undersøgte boringer. I de øvrige boringer er analyseresultaterne under detektionsgrænsen. Af bilag 3.3 fremgår hovedtal for de uorganiske sporstoffer som er indberettet til GEUS's database Jupiter.

Der er fundet overskridelser af grænseværdien for drikkevand (Miljø- og Energiministeriet, 2001) i 638 boringer. Langt de største antal overskridelser vedrører nikkel og arsen. Procentuelt udgør overskridelserne 10% af de undersøgte boringer.

Uorganiske sporstoffer	GRUMO			LOOP		Boringskontrol	
	Grænseværdi for drikkevand	Mindst en analyse over	Alle analyser over	Mindst en analyse over	Alle analyser over	Mindst en analyse over	Alle analyser over
	µg/l	%	%	%	%	%	%
Aluminium	100	12	3	64	8	6	1
Antimon	2	<1	<1	i.m.	i.m.	< 1	0
Arsen	5	15	5	8	0	17	3
Barium	700	<1	0	i.m.	i.m.	< 1	0
Bly	5	1	<1	39	0	< 1	0
Bor	1000/300 ¹⁾	<1/3 ²⁾	<1/<1 ²⁾	i.m.	i.m.	< 1/5	< 1/< 1
Cadmium	2	<1	1	3	0	0	0
Chrom, total	20	0	0	0	0	< 1	0
Cyanid, total	50	<1	0	i.m.	i.m.	0	0
Kobber	100	<1	0	0	0	0	0
Kviksølv	1/0,1 ¹⁾	0/1 ²⁾	0/0 ²⁾	i.m.	i.m.	< 1/6	0
Molybdæn	-	-	-	i.m.	i.m.	-	-
Nikkel	20	6	1	56	5	4	1
Selen	10	<1	0	0	0	12	0
Sølv	10	0	0	i.m.	i.m.	0	0
Tin	10	0	0	i.m.	i.m.	0	0
Zink	100	6	1	46	8	2	0

1) Drikkevandskvalitetskrav / anbefalet indhold
2) Overskridelse af hhv. drikkevandskvalitetskrav / anbefalet indhold
i.m.: ikke målt

Tabel 3.2 Overskridelse af grænseværdier for drikkevand i forskellige måleprogrammer for perioden 1998-2003. Antal indtag med overskridelse af drikkevandskvalitetskravene i procent af analyserede indtag.

Grundvandets tilstand

Overskridelser af grænseværdier for drikkevand

Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 871 af 21. september 2001 fastsætter to grænseværdier for vand fra vandforsyningsanlæg henholdsvis én værdi ved indgang til ejendom og én værdi ved forbrugers taphane. Den endelige grænseværdi for nikkel ved indgang til ejendom henholdsvis ved forbrugers taphane er endnu ikke fastsat, hvorfor den førhen gældende værdi på 20 µg/l ved fraløb fra pumpe eller vandværk fortsat finder anvendelse både ved afgang fra vandværk og ved forbrugers taphane.

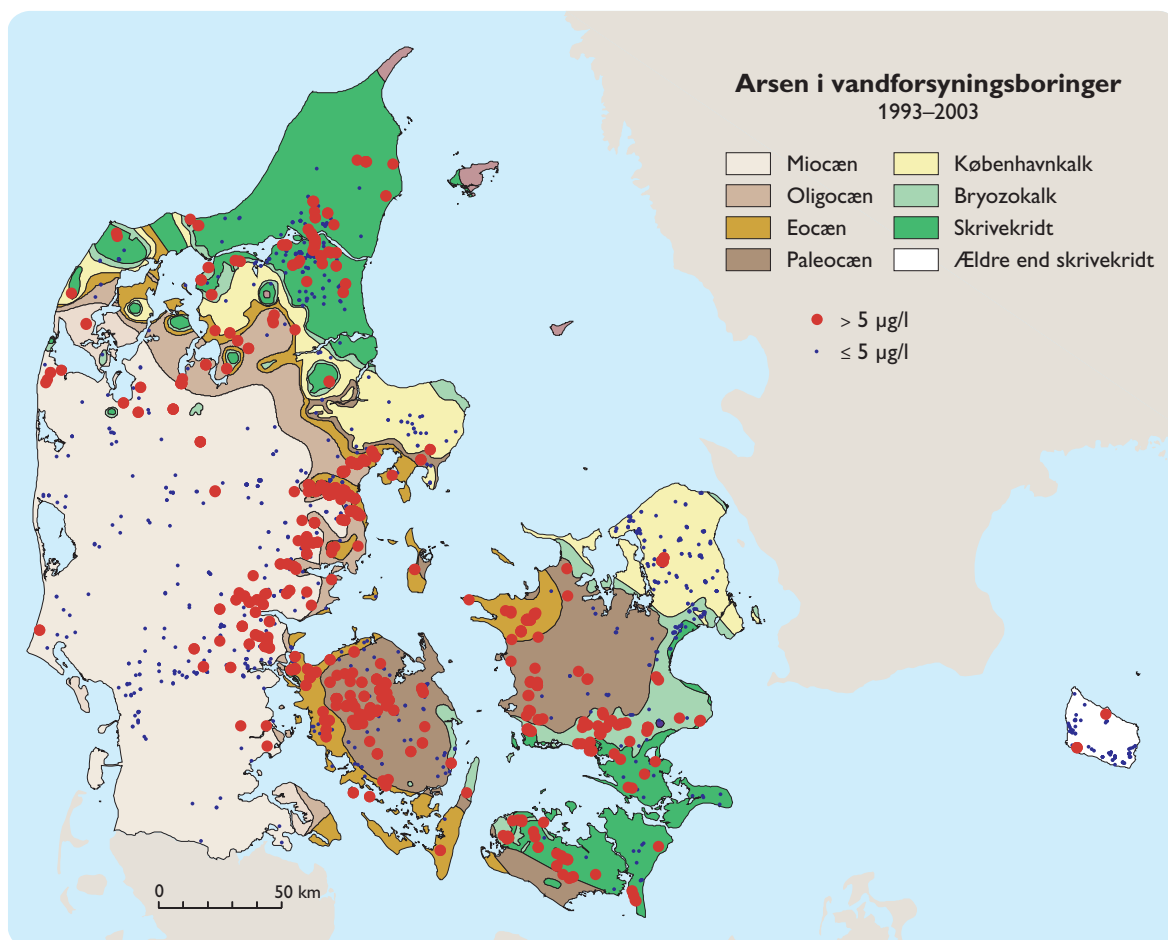
Det kan konstateres (tabel 3.2), at der samlet set forekommer overskridelse af grænseværdierne for drikkevand for alle undersøgte uorganiske sporstoffer med undtagelse af tin og sølv i et eller flere af de eksisterende måleprogrammer. Blandt måleprogrammerne skiller landovervågningens grundvand sig klart ud som det mest belastede. Dette grundvand befinder sig terrænnært i områder med

intensiv landbrugsdrift og der ses procentuelle overskridelser i størrelsesordenen fra 3% for cadmium til 56% for nikkel. Grundvandsovervågningen giver på grund af de permanente målesteder et mere dækkende billede af den generelle tilstand i dansk grundvand. Her ses der overskridelser for de fleste stoffer, dog ikke for tin, sølv og chrom. For de fleste stoffer er de procentuelle overskridelser beskedne, men aluminium, arsen, nikkel og zink skiller sig ud som de mest belastende. I landovervågningen forekommer derudover markant mange overskridelser af grænseværdien for bly. I boringskontrollen ses der betydelige procentuelle overskridelser for aluminium og arsen, mens nikkel, zink og bor kun viser mere beskedne procentuelle overskridelser.

Enkeltstoffer

Arsen

Arsen er giftigt og kræftfremkaldende, og der er international erkendelse af arsens sundhedsskadelige egenskaber. Således er grænseværdien



Figur 3.1 Regional fordeling af arsenindhold i vandværksboringer 1998-2003 vist i forhold til aflejringer ældre end istiderne.

Amt	Analyserede borer	Boringer med mere end 5 µg/l ¹⁾	Gennemsnit af fund	Gennemsnit af overskridelser	Maksimum
	antal	antal	µg/l	µg/l	µg/l
Kbh. og Fr.berg komm.	0	-	-	-	-
København	35	0	1,4	-	3,6
Frederiksborg	186	3	0,6	-	3,2
Roskilde	48	2	3,8	39	69
Vestsjælland	150	46	5,6	14	33
Storstrøm	306	71	5,0	17	42
Bornholm	78	2	0,7	7	9
Fyn	304	116	5,0	10	39
Sønderjylland	84	3	1,5	7	9
Ribe	134	3	0,9	7	8
Vejle	288	39	3,3	12	120
Ringkjøbing	216	8	1,6	8	12
Århus	377	107	4,0	10	42
Viborg	104	16	2,6	9	26
Nordjylland	258	19	2,1	9	41

1) Boringer som er analyseret med en detektionsgrænse højere end grænseværdien er medtaget

Tabel 3.3 Oversigt over antal analyserede borer og indhold af arsen i µg/l i drikkevandsboringer. Opgjort på enkeltanalyser 1998-2003 og fordelt på amter. Aggregering: trin 1: gennemsnit pr. indtag pr. år; trin 2: gennemsnit pr. indtag; trin 3: gennemsnit pr. amt.

for drikkevand sænket fra 50 µg/l til 5 µg/l med den nye drikkevandsbekendtgørelse (Miljø- og Energiministeriet, 2001) og samtidig er stoffet gjort obligatorisk i boringskontrollen.

I tabel 3.3 er angivet en oversigt over fordelingen på amtsbasis. Det fremgår af oversigten over maksimumindhold, at problemerne omkring overskridelse af drikkevandskravet er størst i Storstrøms, Fyns og Århus amter.

Arsenindholdet i grundvandet er overvejende af geologisk oprindelse, primært stammende fra tertiære marine lerbjergarter med høje indhold af arsen. De tertiære bjergarter kan under istidens gletcherfremstød være indarbejdet i istidsaflejringerne, primært i moræner. Dog kan yngre marine aflejringer også udgøre kilder til arsen. Derudover er der bl.a. mulighed for diffus arsenforurening fra handelsgødning (fosfat), arsenholdige pesticider og afbrænding af kul og mere lokalt fra træimpregneringsvirksomheder, spredning af slagter (og flyveaske) som jordforbedringsmiddel og udbringning af slam fra produktion af genbrugspapir. I tilknytning hertil kan det bemærkes, at fortids lokale kulfyrede industrier som f.eks. papirfabrikker, sukkerfabrikker og mange andre kan være en undervurderet kilde til grundvandsforurening.

Indholdet af arsen i grundvandet bestemmes – ud over kildestyrken – blandt andet også af redoxforholdene, idet arsen især forekommer i grundvand under reducerende betingelser (Larsen og Larsen, 2003).

I større vandværker med vandbehandling tilbageholdes en del af uorganiske sporstoffer i nogen grad i okkerslammet i vandværkernes sandfiltre (Miljøstyrelsen, 1999). Således fjernes gennemsnitligt op mod halvdelen af grundvandets arsenindhold. Den nye, lavere grænseværdi for arsen vil antageligvis visse steder sætte en ny nedre grænse for, hvor dybt der kan indvindes grundvand til drikkevand – afhængigt af vandværkernes muligheder for at fjerne stoffet ved okkerudfældningen.

Nikkel

Nikkelbelastningen hidrører primært fra oxidation af sulfidminerale (f.eks. bravoit og pyrit) enten i forbindelse med sænkning af grundvandsspejlet i vandindvindingsoplandene eller ved udskiftning af luften i en eventuel umættede zone under tætte lerlag via åbne borer, den såkaldte barometerånding (Jensen et al., 2002). En eventuel senere re-tablering af grundvandsspejlet kan yderligere øge frigivelsen af nikkel til grundvandet i en periode.

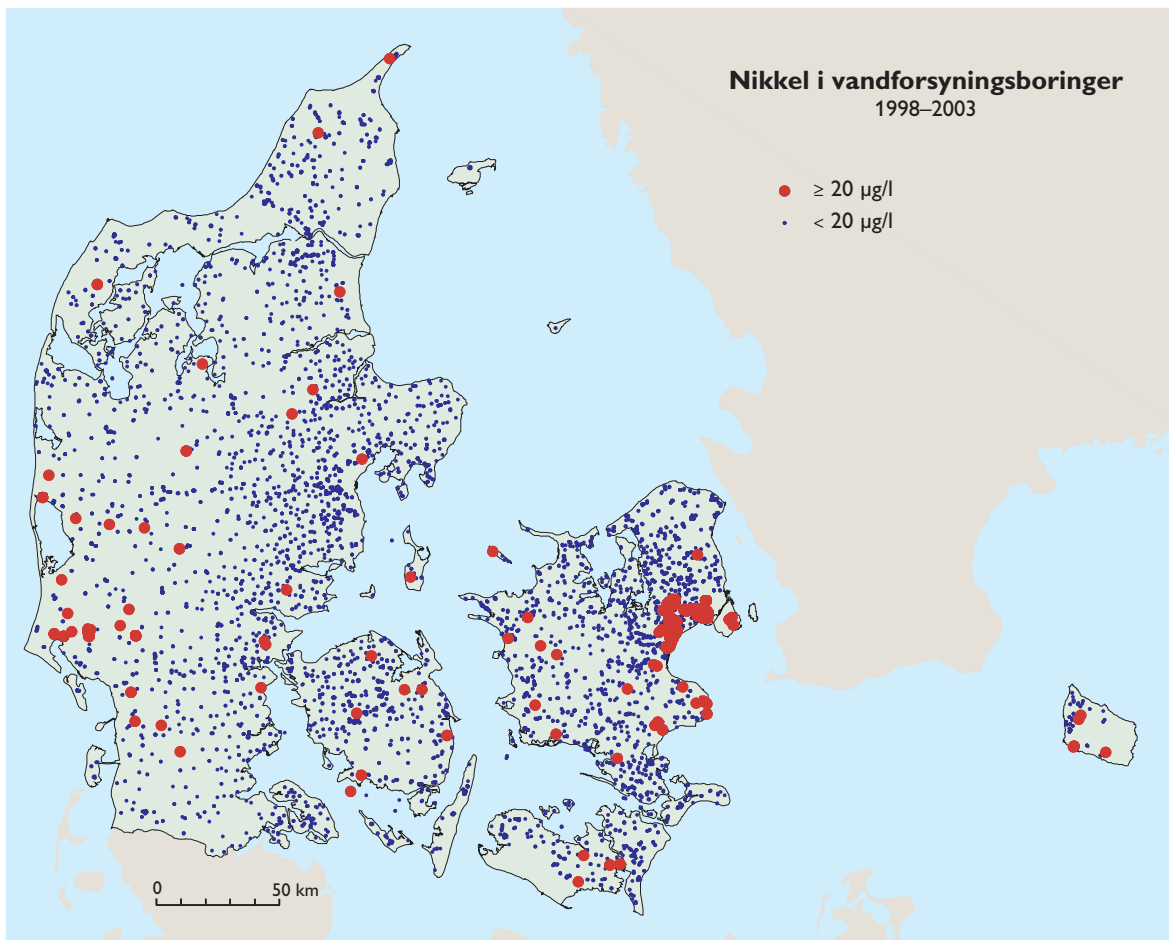
Amt	Analyserede boringer	Boringer med mere end 20 µg/l	Gennemsnit af fund	Gennemsnit af overskridelser	Maksimum
	antal	antal	µg/l	µg/l	µg/l
Kbh. og Fr.berg komm.	1	1	34	34	34
København	257	64	13	40	160
Frederiksborg	413	1	1,9	36	36
Roskilde	368	27	8,7	47	340
Vestsjælland	592	8	3,6	47	103
Storstrøm	657	15	4,1	36	56
Bornholm	108	5	6,3	40	75
Fyn	615	6	3,8	46	93
Sønderjylland	314	2	3,8	27	32
Ribe	274	20	8,6	36	120
Vejle	455	4	1,9	26	37
Ringkjøbing	391	8	2,8	39	81
Århus	874	4	2,8	31	39
Viborg	347	4	3,5	45	160
Nordjylland	563	3	2,1	25	33

Tabel 3.4 Oversigt over antal analyserede boringer og indhold af nikkel i µg/l i drikkevandsboringer. Opgjort på enkeltanalyser fra 1998 til og med 2003 og fordelt på amter. Aggregering: trin 1: gennemsnit pr. indtag pr. år; trin 2: gennemsnit pr. indtag; trin 3: gennemsnit pr. amt

Sulfidoxidation kan også forekomme med nitrat som oxidationsmiddel.

Tabel 3.4 viser en oversigt over fordelingen på amtsbasis af nikkelanalyser. Det fremgår af oversigten, at der findes grundvand som overskrider kravværdien i alle amter. Problemerne er størst i Københavns, Roskilde, Vestsjællands og Ribe amter.

Den regionale fordeling af nikkellindholdet i aktive vandindvindingsboringer er vist i figur 3.2. I de hårdest ramte områder må boringer lukkes, da det bliver stadig mere svært at finde ubelastet grundvand til at fortynde det belastede grundvand med.



Figur 3.2 Nikkel i vandværksboringer 1998-2003.

Organiske mikroforureninger

I dette kapitel behandles de organiske mikroforureninger, der er omfattet af programmet for grundvandsovervågning i NOVA 2003 (Miljøstyrelsen, 2000). De enkelte stoffer er placeret i en af grupperne: Aromatiske kulbrinter, phenoler, halogenerede alifatiske kulbrinter, chlorphenoler, phthalater, detergenter og ethere. Forskellige grænseværdier fremgår af Grundvandsovervågning 2003, GEUS, tabel 4.1. For en nærmere beskrivelse af de kemiske analyser og deres detektionsgrænser henvises til Grundvandsovervågning 2000 (GEUS, 2000).

Af ressourcemæssige årsager, er der i dette kapitel valgt at kigge på hele overvågningsperioden og ikke kun på NOVA 2003 perioden fra 1998-2003.

For en gennemgang af mulige kilder til en grundvandsforurening med de 7 forskellige grupper af stoffer, som indgår i programmet, henvises til Grundvandsovervågning 2003, GEUS.

Måleprogrammer

Grundvandsovervågning

Der er i grundvandsovervågningen i perioden 1993-2003 i alt gennemført analyse for organiske mikroforureninger i 9.529 vandprøver repræsenterende 1.132 forskellige indtag (tabel 4.1 og 4.2). I 1.037 af de 1.132 undersøgte indtag er der i pe-

rioden mindst en gang fundet én eller flere organiske mikroforureninger, svarende til fund i 92% af indtagene (63% hvis der ses bort fra anioniske detergenter - se nedenfor). Det skal bemærkes, at et enkelt fund i perioden ikke nødvendigvis er ensbetydende med en konstant tilstedeværelse af organiske mikroforureninger i vandet ved indtaget. Dette kan indirekte ses af tabel 4.1, hvor det årlige procentvise antal indtag med fund ligger mellem 26% og 67%, mens der set over hele perioden 1993-2003 findes indhold i langt de fleste indtag mindst én gang (92%). Fundene i grundvandet kan sættes i perspektiv ved at sammenligne indholdene med de grænseværdier, der findes for drikkevand. For de stoffer, hvor der findes en grænseværdi for drikkevand, ligger 1% eller mindre af de fundne indhold i overvågningsprogrammet over grænseværdien.

I grupperne aromatiske kulbrinter, halogenerede alifatiske kulbrinter, alkylphenoler og chlorphenolerne er der blevet analyseret stort set lige mange indtag, omkring 1.100. Analyserne for de aromatiske kulbrinter repræsenterer 1.086 indtag og denne stofgruppe er den hyppigst fundne med en hyppighed på 34,4% (der ses bort fra detergentanalyserne, se senere). For benzens vedkommende er der indhold der ligger over grænseværdien for drikkevand (Miljø- og Energiministeriet, 2001) i 0,5% af de undersøgte indtag. For fire af de halogenerede alifatiske kulbrinter (bilag 4.1) er der

Grundvandsovervågning	Prøver analyseret	Indtag med analyse	Indtag med fund		
			antal	%	%
Prøvetagningsår	antal	antal	antal	%	%
1993	543	484	324	67	(41)
1994	706	592	291	49	(15)
1995	842	665	338	51	(19)
1996	981	751	353	47	(16)
1997	923	723	329	46	(11)
1998	893	780	221	28	(19)
1999	1.090	828	310	37	(19)
2000	874	746	245	33	(23)
2001	868	790	202	26	(13)
2002	881	801	310	39	(17)
2003	928	827	315	38	(27)
1993-2003	9.529	1.132	1.037	92	(63)

Tabel 4.1 Analyse for organiske mikroforureninger fordelt på år i grundvandsovervågningen i perioden 1993-2003. Tallene i parentes angiver de fundprocenter, der fremkommer hvis anioniske detergenter udelades af opgørelsen.

Grundvandsovervågning 1993–2003	Indtag med analyse	Indtag med fund		Indtag med indhold over grænseværdi ¹⁾
	antal	antal	%	%
Aromatiske kulbrinter	1.086	373	34	0,5
Halogenerede alifatiske kulbrinter	1.093	188	17	2,7
Phenol	1.100	218	19	1,4
Alkylphenolforbindelser	1.077	46	4	0
Chlorphenoler	1.110	54	5	2,2
Blødgørere	889	54	6	3,5
Detergenter, anioniske	1.072	957	89	0,1
Ethere, MTBE	298	6	2	0,3

1) der relateres her til grænseværdien for drikkevand, hvor en sådan findes, se tabel 4.1

Tabel 4.2 Oversigt over analyseresultaterne for de organiske mikroforureninger i grundvands-
overvågningen fordelt på grupper dækkende perioden 1993-2003.

ligeledes fund med indhold der ligger over grænseværdien for drikkevand.

Data i grundvandsovervågningsområderne har vist, at mange af stofferne i de nævnte grupper kan trænge dybt ned gennem jordlagene, eksempelvis er der fund af chloroform (trichlormethan) i området 40 m under terræn. I GRUMO er der fund af chloroform i 111 af 1.090 undersøgte indtag. En del af disse fund er beliggende i områder, hvor arealanvendelsen er skov og naturareal, og det skal i denne sammenhæng bemærkes at undersøgelser har vist, at chloroform (trichlormethan) kan dannes naturligt under skovjorde (Engvild, 2000). En sådan dannelse antages især at have relevans i kystnære nåleskovsområder, hvor klor fra havluft opfanges på træerne og derefter ved gennedrypning når skovbunden.

I gruppen af chlorphenoler, som er analyseret i 1.110 indtag, forekommer også overskridelser af grænseværdier. Eksempelvis er grænseværdien for pentachlorphenol i drikkevand 0,01 µg/l, og i samtlige 8 indtag med fund er det fundne niveau højere end grænseværdien for drikkevand. Ud over de strukturelt simple phenoler analyseres der også for nonylphenoler og nonylphenol-ethoxylater. Phenol analyseres dog langt hyppigere end nonylphenol og ethoxylaterne.

Hvad angår de anioniske detergenter er analyseresultaterne usikre, idet den anvendte metode kan give anledning til falske positive resultater (metoden er ikke specifik). Desuden har en interkalibrering vist, at nogle laboratorier havde vanskeligt ved at finde de korrekte indhold under 10 µg/l (Miljøstyrelsen 1997). Det er i denne sammenhæng relevant at bemærke, at medianværdien for fundene ligger på 6 µg/l. De eksisterende data fortolkes derfor ikke strengt, men betragtes som en "maksimal niveau" indikator.

Såvel i laboratorierne som i overvågningssammenhæng arbejdes der i disse år på at indføre specifikke analysemetoder, så den reelle belastning med disse stoffer kan vurderes.

På trods af den hyppige indrapportering af fund vurderes det, at der ikke umiddelbart er problemer med indhold af anioniske detergenter. Denne vurdering baseres dels på niveauerne i forhold til grænseværdien på 100 µg/l i drikkevand, dels på muligheden for falsk positive på lavt niveau. Kun i grundvandsovervågningen er der en enkelt boring, hvor der er gjort fund af anioniske detergenter i en koncentration over grænseværdien, og generelt er der kun ganske få fund over 40 µg/l. På baggrund af usikkerheden bag data for anioniske detergenter angives der et supplerende sæt fundprocenter i tabel 4.1, hvor tallene i parentes angiver fundprocenterne uden anioniske detergenter (den samme supplerende oplysning er givet i oversigtstabellerne for LOOP tabel 4.4 og boringskontrollen tabel 4.5).

Der har i de forløbne år været en del omtale af stoffet MTBE, et hjælpestof der tilsættes benzin for at øge oktantal og fremme forbrændingen i motoren. Stoffet er fundet i grundvand i udlandet i høje koncentrationer og blev i 1998 indført i analyseprogrammet for GRUMO og anbefalet i boringskontrollen. I GRUMO er der udført 464 analyser fordelt på 298 indtag. Heraf blev der påvist indhold i 6 prøver, hvoraf 2 lå over den tilsvarende grænseværdi for drikkevand.

Landovervågningsoplande

I landovervågningsoplandene (LOOP) er der i perioden 1995-2003 gennemført analyser for organiske mikroforureninger i 504 vandprøver repræsenterende 61 forskellige indtag (tabel 4.3 og 4.4).

Boringskontrol Prøvetagningsår	Prøver analyseret	Boringer med analyse	Boringer med fund		
	antal	antal	antal	%	%
1993	157	116	34	29	(13)
1994	497	359	95	26	(19)
1995	576	339	119	35	(24)
1996	458	317	72	23	(17)
1997	709	511	132	26	(19)
1998	1.315	958	246	26	(17)
1999	1.769	1.364	465	34	(25)
2000	1.945	1.544	554	36	(21)
2001	2.807	2.331	544	23	(14)
2002	1.390	1.175	371	32	(20)
2003	1.723	1.528	340	22	(12)
1993–2003	13.346	5.628	2.038	36	(22)

Tabel 4.5 Oversigt over analyseresultaterne for organiske mikroforureninger pr. år i vandværksboringer 1993-2003. Tallene i parentes angiver de fundprocenter der fremkommer, hvis anioniske detergenter udelades af opgørelsen.

kevand. Medianen af fundene ligger dog væsentligt lavere på 0,16 µg/l.

Boringskontrol 1993–2003	Boringer med analyse	Boringer med fund	Boringer med indhold over grænseværdien ¹⁾	
	antal	antal	%	%
Aromatiske kulbrinter	2.663	365	13	0,5
Halogenerede alifatiske kulbrinter	2.522	359	14	1,2
Phenol	1.253	111	9	1,4
Alkylphenolforbindelser	730	26	4	0
Chlorphenoler	4.707	43	1	0,2
Blødgørere	16	3	19	0
Detergenter, anioniske	1.894	1.197	63	0
Ethere	1.180	117	8	0,5

1) der relateres her til grænseværdien for drikkevand, hvor en sådan findes, se tabel 4.1 i GEUS 2003

Tabel 4.6 Oversigt over analyseresultaterne for de organiske mikroforureninger i vandværkenes boringskontrol fordelt på grupper dækkende perioden 1993-2003.

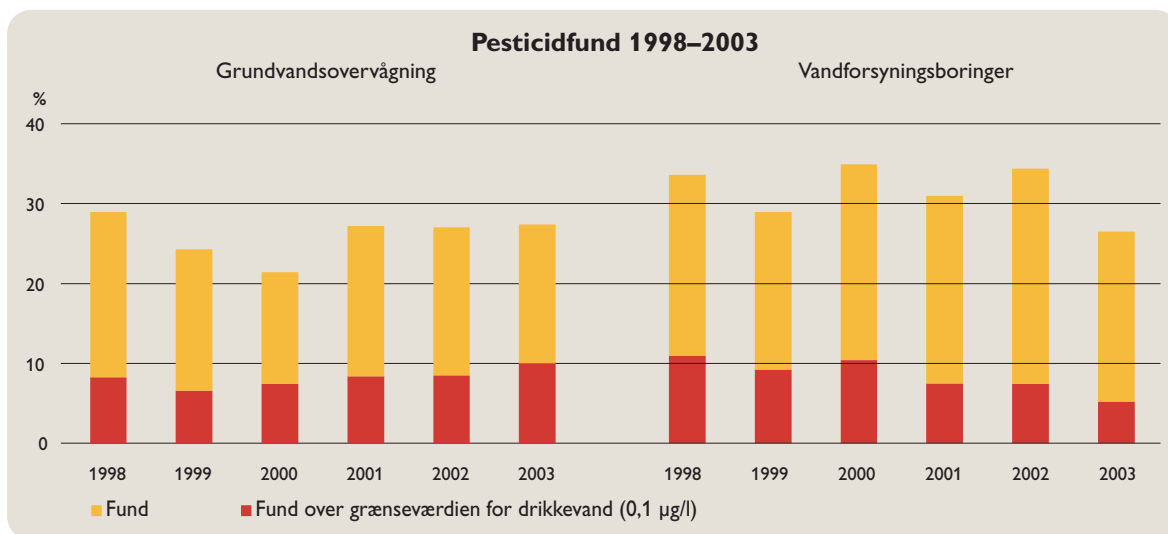
Pesticider og nedbrydningsprodukter

Måleprogrammer

Grundvandsovervågningen

Der er i grundvandsovervågningen i perioden 1990-2003 gennemført 9.396 analyser af grundvandsprøver udtaget fra 1.188 indtag i overvågningsboringer, mens der i perioden 1998-2003 er gennemført 5.043 analyser udtaget fra 1.020 indtag, (tabel 5.1).

undersøgte svarende til ca. 43%. Grænseværdien for indhold af et pesticid i drikkevand på 0,1 µg/l, er overskredet en eller flere gange i ca. 15% af de undersøgte indtag (tabel 5.1). Andelen på 43% af indtag svarer til det antal indtag, som gennem NOVA perioden har været i berøring med pesticidholdigt grundvand. De 43% kan således ses som den andel af indtag, der er placeret i grundvand, som i NOVA perioden har været sårbart overfor nedvaskning af pesticider. Andelen af pesticidpåvirkede indtag var



Figur 5.1 Indtag med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen og ved vandværkernes boringskontrol 1998-2003.

Der er fundet ca. 50 pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen, hvoraf ca. 20 er nedbrydningsprodukter, se evt. bilag 5.1. Derudover er der fundet en række phenolforbindelser, som kan stamme fra nedbrydning af phenoxysyrer, fra andre pesticider eller fra organisk stof. Disse stoffer er ikke beskrevet i kapitel 5, men er medtaget i bilag 4.1, som omfatter organiske mikroforurenende stoffer.

I perioden 1998-2003 er der en eller flere gange fundet et eller flere stoffer i 437 indtag ud af 1.020

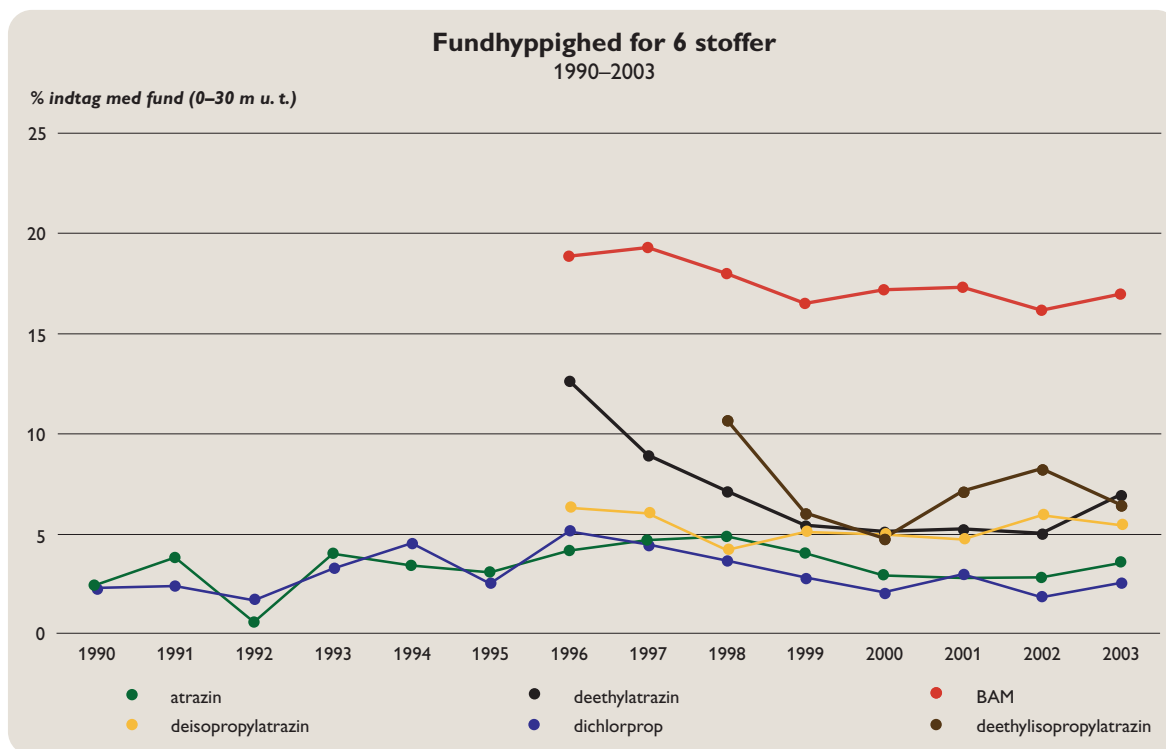
i hele undersøgelsesperioden 1990-2003 af samme størrelsesorden som i NOVA perioden.

Der blev i 2003 fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 27% af de undersøgte indtag, og grænseværdien var overskredet i 10%.

Andelen af indtag med fund pr. år er vist i figur 5.1, hvor andelen af vandværksboringer med pesticidfund også er vist. Af figuren fremgår, at der i grundvandsovervågningen i perioden 1998 til 2003 er sket en stigning i andelen af indtag, der

Grundvandsovervågning	Analyser	Indtag med analyse	Indtag med fund		Indtag med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	
	antal	antal	antal	%	antal	%
Alle pesticider 1990-2003	9.396	1.188	507	42,7	180	15,2
Alle pesticider 1998-2003	5.043	1.020	437	42,8	153	15
Alle pesticider 2003	770	722	198	27,4	72	10

Tabel 5.1 Oversigt over gennemførte analyser for pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen.



Figur 5.2 Forekomst af 6 udvalgte pesticider og nedbrydningsprodukter i perioden 1990-2003: BAM (2,6-dichlorbenzamide), dichlorprop, atrazin og tre triazin nedbrydningsprodukter deisopropylatrazin, deethylatrazin og deethylisopropylatrazin. Der er kun medtaget indtag hvor afstanden til top indtag er fra 0 til 30 meter under terræn.

overskrider grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l, mens andelen af vandværksboringer, der overskrider grænseværdien er faldet i samme periode. Der i denne opgørelse kun er medtaget vandindvindingsanlæg, hvor der er indvundet grundvand til drikkevandsformål i perioden 1999 til 2003. Det faldende antal vandværksboringer der overskrider grænseværdien skyldes formodentlig, at vandværker med for store pesticidkoncentrationer tages ud af drift. Vandværkerne har en større andel boringer med fund, hvilket formodentlig skyldes at særligt mange mindre vandværker ofte har boringer placeret nær arealer, hvor f.eks. BAM's moderstoffer har været anvendt.

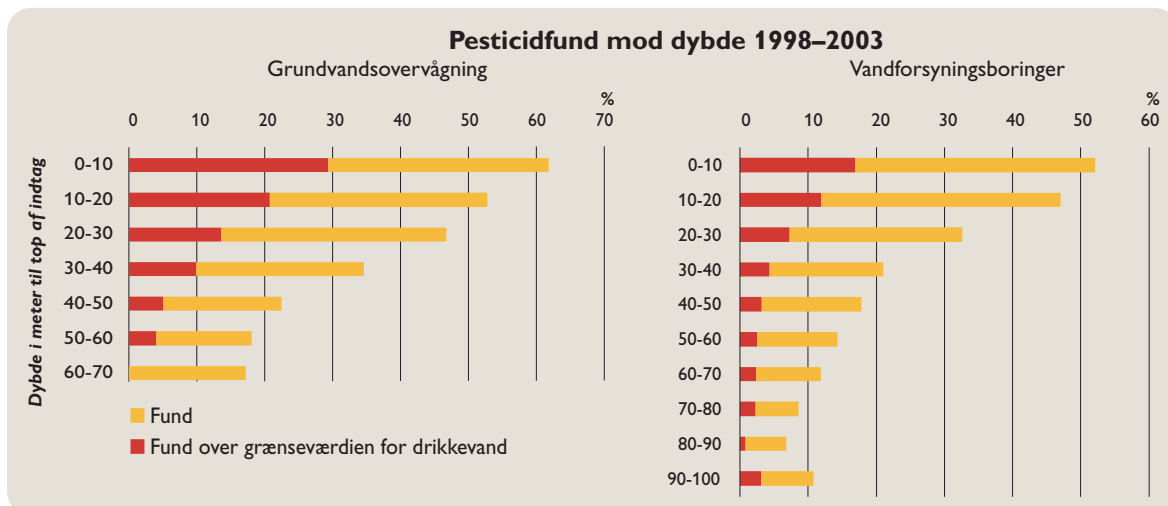
Gennem perioden 1990 til 2003 har andelen af indtag med fund af BAM, atrazin og dichlorprop været stort set konstant, mens andelen af indtag med fund af deethylatrazin og deethylisopropylatrazin har varieret gennem perioden (figur 5.2). Dette kan skyldes at antallet af indtag med analyse har været stigende gennem perioden og at et stigende antal analyserede filtre med tiden giver mere stabile fund andele.

Den dybdemæssige fordeling af pesticidfund for grundvandsovervågningen (figur 5.3) viser, at der i NOVA perioden 1998-2003 er fundet pesticider i ca. 60% af indtagene i dybdeintervallet 0-10 meter under terræn, og at grænseværdien var overskre-

det i ca. 30% af disse indtag. Antallet af fund aftager med dybden til ca. 20% i intervallet 60-70 meter under terræn, men der er også fundet pesticider i større dybder. Disse er dog ikke medtaget, da der kun er undersøgt få indtag dybere end 80 meter. Tilsvarende viser figur 5.3, at der er fundet mange pesticider i de vandværksboringer, som indvinder grundvand tæt ved terræn. Figuren giver et klart indtryk af, at det sårbare grundvand særligt ligger tæt ved terræn, men også at grundvandet er påvirket i mere end 30 meters dybde under terræn. De hyppige fund i det højtliggende grundvand skyldes især forekomsten af BAM og nedbrydningsprodukter fra triaziner og phenoxy-syrer.

Nedbrydningsproduktet BAM er fundet hyppigst i grundvandsovervågningen med 19,7%, heraf 8,1% over grænseværdien (tabel 5.2). BAM er et nedbrydningsprodukt, som stammer fra nedbrydning af herbiciderne dichlobenil og chlorthiamid. Midlerne har været anvendt som granulat ved bekæmpelse af ukrudt på udyrkede arealer, især i bymæssig bebyggelse, på gårdspladser, i plantager og under prydræer og prydbuske. Dichlobenil blev solgt sidste gang i Danmark i 1997, mens salget af chlorthiamid ophørte i 1980.

Ud over BAM er nedbrydningsprodukterne deethyldeisopropyl-, deethyl-, deisopropyl- og hydroxyatrazin fra triaziner fundet hyppigt i grundvandet.



Figur 5.3 Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen og ved vandværkernes boringskontrol fra forskellige dybdeintervaller i NOVA perioden 1998 - 2003. Der forekommer også spredte fund under de viste intervaller.

De mange fund af deethylisopropylatrazin på henholdsvis 9% og heraf 2,6% over grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l er repræsentative, da der nu er analyseret vandprøver fra mere end 950 indtag.

Bentazon er fundet i 4,3% af de undersøgte indtag, hvoraf 1,3% var over grænseværdien for drikkevand.

Der er analyseret for glyphosat i 960 indtag med fund af stoffet i 25 indtag, mens stoffets nedbrydningsprodukt AMPA er fundet i 25 indtag ud af 959 analyserede. Se også bilag 5.1.

Mange af de kendte mobile og grundvandstruende pesticider er blevet forbudt eller reguleret af Miljøstyrelsen i løbet af 1990'erne.

Grundvandsovervågning 1993–2003	Analyser antal	Indtag med analyse antal	Indtag med fund		Indtag med fund ≥ 0,1 µg/l	
			antal	%	antal	%
2,6-Dichlorbenzamid, BAM	5.851	1.058	208	19,7	86	8,1
Atrazin, deethylisopropyl-	3.871	952	86	9,0	25	2,6
Atrazin, deisopropyl-	5.653	1.053	78	7,4	15	1,4
Atrazin, deethyl-	5.678	1.053	72	6,8	15	1,4
4-Nitrophenol	3.794	944	62	6,6	3	0,3
Atrazin	7.975	1.123	59	5,3	14	1,2
Dichlorprop	7.972	1.121	48	4,3	12	1,1
Bentazon	5.681	1.054	45	4,3	14	1,3
Mechlorprop	7.970	1.121	38	3,4	8	0,7
AMPA	4.062	959	25	2,6	7	0,7
Glyphosat	4.072	960	25	2,6	2	0,2
Atrazin, hydroxy-	4.973	1.013	26	2,6	2	0,2
Ethylentiurea	4.178	952	21	2,2	3	0,3
Simazin	7.964	1.121	23	2,1	4	0,4
Metribuzin	4.488	997	19	1,9	6	0,6

Tabel 5.2 De 15 hyppigst fundne stoffer i grundvandsovervågningen fra 1993-2003. Der er kun medtaget stoffer, som er analyseret i mere end 200 indtag. Se også bilag 5.1 for oversigt over alle analyserede stoffer i perioden 1993-2003, hvor også bl.a. mediankoncentrationer er beregnet.

Landovervågningens grundvandsindtag

Der er i perioden 1993-2003 fundet ca. 40 pesticider og nedbrydningsprodukter ud af ca. 90 analyserede stoffer i de fem undersøgte landovervågningsoplande (LOOP). Der er gennemført 1.330 analyser af vandprøver udtaget fra 142 grundvandsindtag, og der er fundet 412 analyser med fund af pesticider, heraf 74 med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$.

I NOVA perioden 1998 til 2003 er der gennemført 808 analyser med fund af pesticider eller nedbrydningsprodukter i 267 analyser, hvoraf 60 overskred $0,1 \mu\text{g/l}$. Vandprøverne er udtaget fra 75 indtag (placeret i højtliggende ungt grundvand under landbrugsmæssigt drevne marker), og der er en eller flere gange påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter i 52 indtag svarende til ca. 69% af de undersøgte indtag. Grænseværdien er overskredet én eller flere gange i 19 indtag svarende til ca. 25%.

I 2003 blev der udtaget 145 vandprøver fra 37 grundvandsindtag. I 24 af disse indtag blev der fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter, svarende til ca. 65%. Grænseværdien var overskredet en eller flere gange i 3 indtag svarende til ca. 8%. Indholdet af pesticider og nedbrydningsprodukter i landovervågningsoplandene varierer meget fra år til år. Da grundvandsprøverne fra landovervågningsoplandene er udtaget fra højtliggen-

de og relativt ungt grundvand, er det den aktuelle brug af pesticider og klimatiske lokale forhold, der præger omsætningen og udvaskning af pesticider og nedbrydningsprodukter.

Det er især fundet triaziner og nedbrydningsprodukter (tabel 5.3 og bilag 5.2). Atrazin blev sidste gang anvendt lovligt i Danmark i 1994, og det skønnes derfor, at der i rodzonen må være opbygget en pulje af stoffet og/eller nedbrydningsprodukterne, som langsomt frigives. Tilsvarende findes der gennem hele overvågningsperioden forskellige andre nedbrydningsprodukter fra triaziner. Denne gruppe viser en svag tendens til stigning i koncentrationer og hyppighed med hensyn til antal analyser med fund gennem perioden. Det skal bemærkes, at visse af nedbrydningsprodukter fra atrazin gruppen kan stamme fra lovlige midler.

Bentazon er fundet hyppigt i LOOP, men kun i ét tilfælde i koncentrationer over grænseværdien for drikkevand. Tilsvarende er glyphosat og AMPA fundet hyppigt.

Vandværkernes indvindingsboringer

Der er fundet ca. 45 pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer. Der er også fundet andre stoffer, bl.a. phenolforbindelser, som kan stamme fra nedbrydning af bl.a. phenoxysyrerne, men som også kan stamme fra nedbrydning af

Landovervågning 1993–2003	Analyser		Indtag med analyse		Indtag med fund		Indtag $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	
	antal		antal		antal	%	antal	%
4-Nitrophenol	501		54		21	38,9	2	3,7
Atrazin, deethylisopropyl-	445		47		14	29,8	5	10,6
Atrazin, deisopropyl-	843		94		22	23,4	8	8,5
AMPA	517		62		14	22,6	6	9,7
Bentazon	912		103		22	21,4	1	1
Glyphosat	520		62		10	16,1	7	11,3
Atrazin, deethyl-	866		100		15	15	2	2
Metamitron	825		95		11	11,6	-	-
Mechlorprop	1.133		118		13	11	-	-
Terbutylazin, desethyl-	537		57		6	10,5	1	1,8
MCPA	1.137		118		11	9,3	-	-
2,6-Dichlorbenzamid, BAM	777		91		8	8,8	1	1,1
Isoproturon	930		103		9	8,7	3	2,9
Metribuzin	616		63		5	7,9	-	-
Atrazin, hydroxy-	709		77		6	7,8	-	-

Tabel 5.3 De 15 hyppigst fundne stoffer i landovervågningen fra 1993-2003. Der er kun medtaget stoffer, som er analyseret i mere end 40 indtag. Se også bilag 5.2 for oversigt over alle analyserede stoffer i perioden 1993-2003. Sorteret efter faldende fundhyppighed.

naturligt organisk materiale eller fra forurenede grunde og lossepladser. Disse er ikke medtaget i pesticidafsnittet, men rapporteres i bilag 4.3 om organiske mikroforurenende stoffer.

I NOVA perioden 1998-2003 er der gennemført analyser for pesticider i 5.515 boringer og der er fundet pesticider i 26,2%, mens grænseværdien var overskredet i 6,4%. I 2003 blev der fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i 26,5% af de analyserede vandværksboringer, og grænseværdien var overskredet i 5,2 % (tabel 5.4). Vandværkerne har i perioden hele undersøgelsesperioden 1989-2003 gennemført 14.959 analyser fra 5.982 boringer.

Andelen af boringer der indvinder grundvand med pesticider er faldet fra sidste år, figur 5.1, og andelen af indvundet grundvand med pesticider over grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l er faldet tilsvarende. Dette skyldes at vandværkerne har lukket boringer med pesticidfund, hvilket også fremgår af gruppen »Andre boringer«, hvor antallet af analyser er steget med ca. 600 sammenholdt med 2002. Vandværkerne har med andre ord været i stand til at formindske antallet af boringer, der indvinder grundvand med pesticidrester ved at lukke anlæg med pesticidrester i råvandet og flytte indvindingen.

Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer er steget gennem perioden 1992-1998 til et niveau på ca. 30%. Stigningen gennem perioden skyldes, at indvindingsboringerne gennem perioden er blevet undersøgt for et stigende antal stoffer, men formodentlig også en stigende forureningsgrad. Vandværkerne har fra 1998 til 2003 været i stand til at halvere andelen af boringer, som overskrider grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l fra ca. 11% til ca. 5,2% (figur 5.1).

Fordelingen af pesticidfund i forhold til dybde (figur 5.3) viser, at ca. 50% af de undersøgte boringer i intervallet 0-20 meter under terræn indeholdt et eller flere pesticider eller nedbrydningsprodukter i perioden 1998-2003. Grænseværdien var overskredet i ca. 15% af boringerne i intervallet 0-20 meter

under terræn. Antallet af fund falder med dybden, men selv i boringer, som indvinder grundvand i intervallet 60-70 meter under terræn, er der fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 10% af de undersøgte boringer.

BAM er det hyppigst fundne stof i vandværksboringer. Det er fundet i 20,5% af de undersøgte boringer og i ca. 5,6% af boringerne med mindst én overskridelse af grænseværdien for drikkevand. I sidste års opgørelse blev der rapporteret analyser for BAM fra 5.548 vandværksboringer fra perioden 1992 til 2002, hvor der blev detekteret BAM i 1.186 svarende til 21,4%. Ud af disse blev der fundet 368 boringer (6,6%) med overskridelse af grænseværdien. De sidste års opgørelser viser, at vandværkerne er ved at nedbringe antallet af vandværksboringer med BAM.

Blandt de 'gamle' pesticider er det især atrazin og deethylatrazin, der forekommer hyppigt (2,6% og 2,6%), mens to af phenoxysyrerne dichlorprop og mechlorprop er fundet omtrent lige hyppigt (1,7 og 1,9%). Overskridelser af grænseværdien ligger for alle stoffer på nær BAM under én procent (tabel 5.5 og bilag 5.3). Der er også fundet nedbrydningsprodukter som 4-nitrophenol og 4 CCP, hvor kun 4 CCP er fundet i enkelte tilfælde over grænseværdien.

Der foreligger analyser for fem nedbrydningsprodukter, som kan stamme fra nedbrydning af triaziner som f.eks. atrazin, terbuthylazin og simazin. Stofferne deethylisopropylatrazin, deethylatrazin, deisopropylatrazin, hydroxyatrazin og hydroxyterbuthylazin forekommer i op til ca. 3% af de undersøgte boringer. Glyphosat og AMPA er analyseret i ca. 300 boringer og fundet i henholdsvis 5 og 3 boringer, heraf AMPA over grænseværdien i én boring.

Den relative forekomst af forskellige pesticider og disses nedbrydningsprodukter viser, at gruppen "BAM og moderstoffer" forekommer hyppigst, mens gruppen "triaziner og nedbrydningsprodukter" og gruppen "phenoxysyrer og nedbrydningsprodukter"

Boringskontrol	Analyser	Boringer med analyse	Boringer med fund		Boringer med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	
	antal		antal	%	antal	%
Alle pesticider 1989–2003	14.959	5.982	1.528	25,5	382	6,4
Alle pesticider 1998–2003	11.293	5.515	1.443	26,2	355	6,4
Alle pesticider 2003	1.896	1.647	436	26,5	86	5,2

Tabel 5.4 Antal analyser, analyserede boringer, boringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter og boringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter over grænseværdien på 0,1 µg/l

Boringskontrol 1992–2003	Analysér	Boringer analyseret	Boringer med fund		Boringer med fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$	
	antal	antal	antal	%	antal	%
2,6-Dichlorbenzamid, BAM	12.019	5.681	1.167	20,5	320	5,6
4-Nitrophenol	290	218	7	3,2	-	-
4CCP	1.550	946	25	2,6	4	0,4
Atrazin	11.695	5.825	152	2,6	13	0,2
Atrazin, deethyl-	9.147	5.500	142	2,6	8	0,1
Bentazon	9.097	5.498	107	1,9	20	0,4
Mechlorprop	11.945	5.869	111	1,9	13	0,2
Atrazin, deisopropyl-	9.012	5.449	103	1,9	3	0,1
Glyphosat	405	292	5	1,7	-	-
Dichlorprop	11.987	5.875	98	1,7	12	0,2
Simazin, hydroxy-	358	250	4	1,6	1	0,4
Hexazinon	9.271	5.504	82	1,5	11	0,2
Simazin	11.782	5.862	76	1,3	3	0,1
AMPA	404	315	3	1	1	0,3
Dichlobenil	6.776	4.365	41	0,9	2	0,05

Tabel 5.5 De 15 hyppigst fundne stoffer i vandværksboringer, 1992-2003. Sorteret efter faldende antal fund. Der er kun medtaget stoffer som er analyseret i mere end 200 boringer. Se også bilag 5.3.

ter” forekommer i omtrent lige store mængder. Vurderes på samme måde fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ ses, at ”BAM og moderstoffer” er den stofgruppe, som udgør langt de fleste fund.

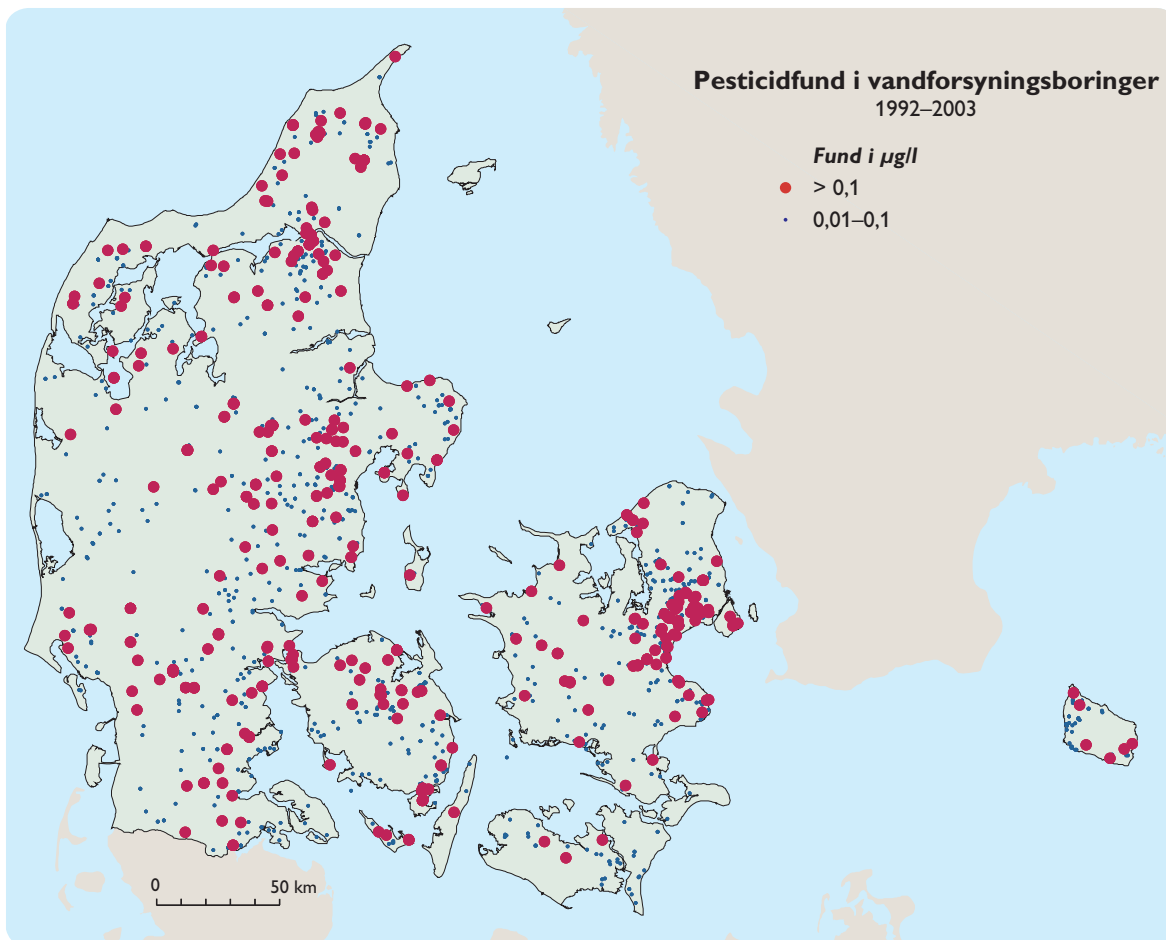
Fordelingen på landsplan af råvandsboringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter fremgår af figur 5.4. Der foreligger dog ikke oplysninger om koordinater for alle boringer med fund. Af figur 5.4 fremgår, at der er fundet mange pesticider og nedbrydningsprodukter ved de større byer (fortrinsvis BAM og moderstoffer), og at der tilsyneladende er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i lerede områder. F.eks. er der kun fundet få pesticider og nedbrydningsprodukter på de sandede jyske hedesletter og på de marine sletter i Nordjylland, hvor vandværkerne generelt indvinder grundvand fra større dybder end i resten af landet pga. nitrat i det øverste grundvand. Andre analyseprogrammer af f.eks. små vandværker viser dog, at det højtliggende grundvand under sandede arealer også er præget af pesticider.

Fordelingen på landsplan stemmer overens med, at en række pesticider og nedbrydningsprodukter tilsyneladende er stabile i iltfattige grundvandsmiljøer, og at pesticider og nedbrydningsprodukter hurtigt kan transporteres til disse grundvandsmiljøer ved præferentiel strømning gennem f.eks. sprækker i moræneler. Desuden viser amternes

analyser af vandløb også, at der netop i de lerede og drænedede oplande findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter. I modsætning hertil findes der oftest kun triazinere og nedbrydningsprodukter heraf samt BAM i vandløbene i sandede oplande (Ringkjøbing Amt, 1997a og b).

Forekomsten af indtag med BAM fund viser, at hovedparten af BAM fundene med høje koncentrationer stammer fra grundvand i intervallet 0-50 meter under terræn, men også at der kan findes BAM i dybtliggende grundvandsmagasiner. En række af de rapporterede fund kan skyldes anvendelse af moderstoffet nær de påvirkede boringer. Da der er tale om indvindingsboringer, vil der også være tale om opblanding af gammelt og yngre grundvand i boringernes indtag. Længden af det indtag, hvorfra drikkevandet indvindes, spiller også en rolle for hvilke BAM koncentrationer, der findes i vandet. Ved længere indtag falder koncentrationerne, hvilket viser, at der sker en opblanding af højtliggende ungt og dybereliggende ældre grundvand.

Sammenholdes alle detekterede BAM koncentrationer i vandprøver med prøvetagningstidspunkt, ses svagt varierende BAM koncentrationer gennem perioden 1995-2003, figur 5.5. Denne tendens kan skyldes, at vandværkerne lukker eller midlertidigt lukker boringer med BAM, hvorefter boringerne ikke prøvetages. Vurderes derimod den gennemsnitlige koncentration pr. år for BAM detektioner større



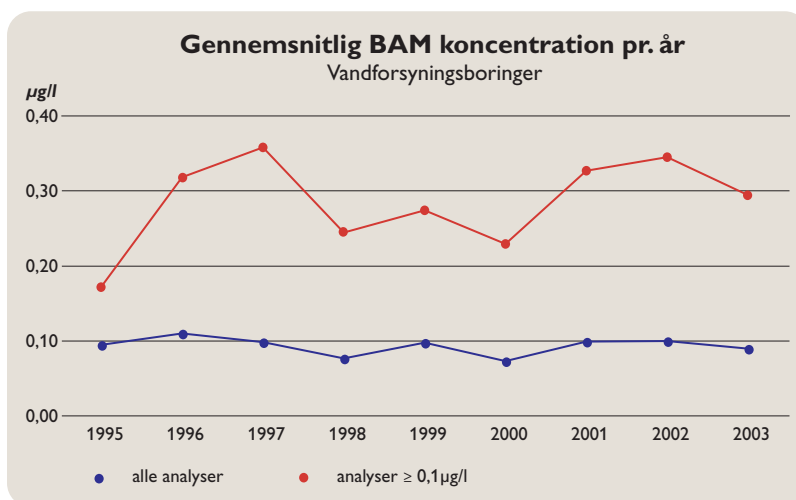
Figur 5.4 Fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer i 1992-2003. Der er kun medtaget koordinatsatte boringer med fund, svarende til knap 90% af boringer med indberettede analyser.

end grænseværdien ses, at koncentrationerne i vandværksboringerne har været stigende gennem de senere år efter et fald i perioden 1998 til 2000, men også at den gennemsnitlige koncentration er faldet i 2003.

I 73,1% af vandværksboringerne blev BAM fundet som eneste stof, mens BAM blev fundet sammen med et eller flere stoffer i 26,9% af råvandsboringerne. Undersøges kun boringer hvor grænseværdien for drikkevand på 0,1 µg/l er overskredet, bliver BAM fundet som eneste stof i 64,1%, mens BAM er fundet sammen med et eller flere stoffer i 35,9%. Særligt de mindre vandforsyninger anvender dog ofte et analyseprogram med færre analyseparametre end det der anvendes i Grundvandsovervågningen

(tabel 5.6).

I grundvandsovervågningen er BAM fundet som eneste stof i 45% af indtagene, mens der i 55%



Figur 5.5 Den gennemsnitlige BAM koncentration pr. år i perioden 1995 til 2003 for alle analyser med fund og for analyser $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$. Gennemsnitskoncentrationen er beregnet på grundlag af analyser mindre end $10 \mu\text{g/l}$ for hele perioden

Antal pesticider eller nedbrydningsprodukter	Andel indtag, boringer, anlæg med fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$ i %		
	Grundvands- overvågning	Borings- kontrol	Små private vandforsyninger
kun fund af BAM	27,9	64,1	20
2 stoffer	27,9	18,8	6,9
3 stoffer	20,9	8,1	13,7
4 stoffer	12,8	4,7	12
5 stoffer	4,7	3,1	14,3
6 stoffer	5,8	0,9	12,6
7 stoffer	-	0,3	8
8 stoffer	-	-	5,1
9 stoffer	-	-	4
10 stoffer	-	-	2,3
11 stoffer	-	-	-
12 stoffer	-	-	0,6
13 stoffer	-	-	0,6
antal indtag/boringer/anlæg	86	320	175

Tabel 5.6 Fund af BAM og antal stoffer (pesticider og nedbrydningsprodukter) i indtag, boringer og små vandforsyningsanlæg. Der er i tabellen kun medtaget vandprøver, hvor BAM overskrider grænseværdien på $0,1\mu\text{g/l}$. Tabellen viser, at BAM er en god indikatorparameter for andre pesticider og nedbrydningsprodukter i højtliggende grundvand.

er fundet et eller flere stoffer sammen med BAM. Undersøges kun indtag hvor grænseværdien for drikkevand på $0,1\mu\text{g/l}$ er overskredet findes, at BAM er fundet alene i 28%, mens der er fundet et eller flere stoffer sammen med BAM i 72% af indtagene. Forekommer BAM i koncentrationer der overskrider grænseværdien, kan BAM derfor anvendes som en indikator for at også andre stoffer vil kunne findes.

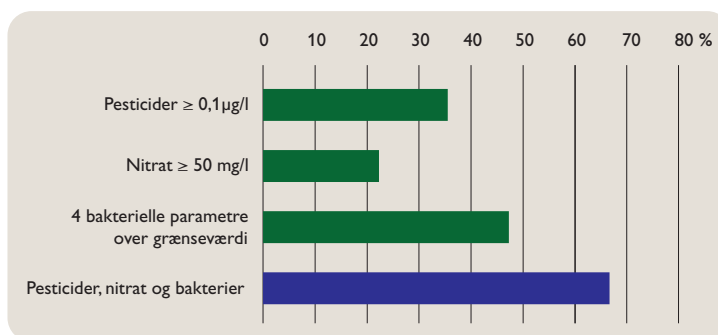
De små private drikkevandsforsyninger indvinder oftest drikkevand fra grundvandsmagasiner tæt ved terræn. En undersøgelse af 628 små private vandforsyningsanlæg (GEUS,2004) viste, at BAM blev fundet som eneste stof i 27% af vandforsyningsanlæggene, mens BAM blev fundet sammen med et eller flere stoffer i 72,8%. Undersøges kun anlæg, hvor BAM er fundet over grænseværdien for drikkevand, er BAM fundet som enkelt stof i 20%, mens BAM er fundet sammen med op til 12 stoffer i 80%. Da der har været anvendt et relativt stort analyseprogram ved undersøgelsen af de små private vandforsyningsanlæg, kan forekomst af BAM i højtliggende grundvandsmagasiner anvendes som en indikator for, at der også forekommer andre pesticider el-

ler nedbrydningsprodukter i drikkevandet fra små private vandforsyningsanlæg.

Undersøgelsen af de små vandforsyningsanlæg viste også, at betydelige dele af drikkevandet i de små vandforsyningsanlæg overskrider grænseværdien for indhold af pesticider, nitrat og bakterier, se figur 5.6. Der blev således fundet overskridelser af grænseværdien for drikkevand på $0,1\mu\text{g/l}$ for pesticider i 35% af de undersøgte anlæg, heraf mere end 10 gange grænseværdien for et enkelt stof i 11% af de undersøgte anlæg. Grænseværdien for nitrat på 50 mg/l var overskredet i 22% af de undersøgte anlæg. Målinger af 4 bakterielle indikatorparametre viste at 48% af de undersøgte anlæg ikke overholdt

en eller flere af de bakterielle grænseværdier og at der forekom colibakterier i 31% af anlæggene. Sammenholdes alle overskridelser af pesticider, nedbrydningsprodukter, nitrat og bakterielle parametre blev der fundet overskridelser af en eller flere grænseværdier i 68 % af de undersøgte anlæg.

BBR-registret viser, at ca. 70.000 danske husstande forsynes med vand fra små private vandforsyningsanlæg, dvs. anlæg (private brønde og boringer) der forsyner mindre end 10 husstande. Det vurderes, at der herfra indvindes ca. 13 mio. m^3 svarende til ca. 3% af den samlede indvinding i 2003.



Figur 5.6 Overskridelser af grænseværdi for drikkevand for pesticider og nedbrydningsprodukter, nitrat og 4 bakterielle parametre, samt det samlede antal overskridelser. Fra GEUS, 2004.

Grundvandsressourcen og hydrologisk modellering

Grundvandspotentiale

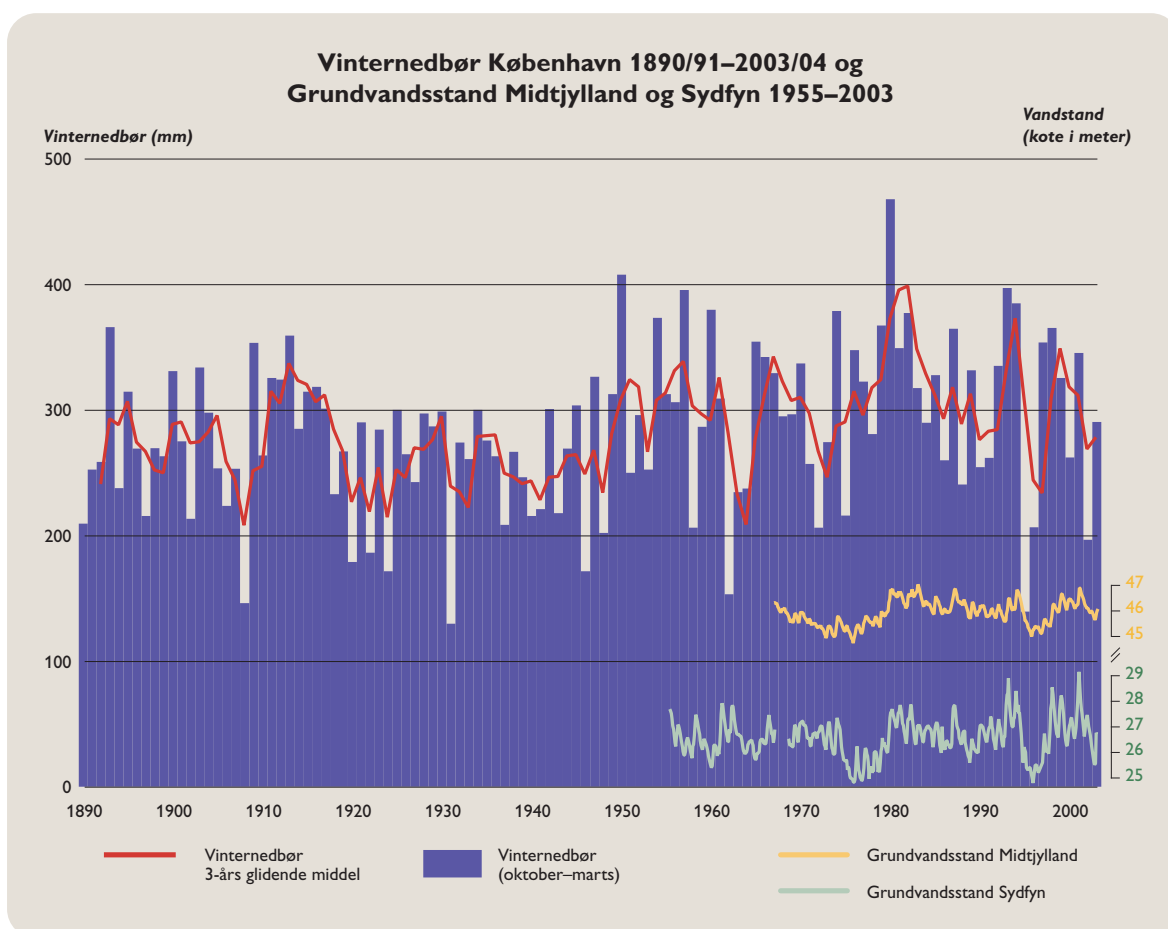
Regelmæssige målinger af grundvandsstanden giver mulighed for at vurdere ændringer i mængden af grundvand. Variationen i nedbør og fordampning hen over året gør, at grundvandsstanden ligeledes varierer naturligt hen over året med maksimum omkring april måned og minimum omkring oktober. På få år kan grundvandsstanden dog ændre sig betydeligt i forhold til den normale årsvariation, enten som følge af ændringer i nedbørmængden eller i grundvandsoppumpningen eller en kombination af ændringer i begge forhold.

Udover at tjene som en metode til overvågning af den kvantitative udvikling i grundvandsressurens

størrelse, udgør tidsserier over variationer i grundvandsstanden i forskellige grundvandsmagasiner et meget vigtigt datainput til grundvandsmodeller.

Figur 6.1 viser vinternedbøren i København for perioden 1890/91 til 2003/04. Vinternedbøren beregnes som den nedbør, der falder fra oktober til og med marts; den periode hvor hovedparten af grundvandsdannelsen finder sted.

I overvågningsperioden 1989-2003 er der målt store variationer i grundvandstanden. I 1994-95 og igen 2000-02 var grundvandstanden høj. De meget store nedbørmængder, som faldt i januar og især i februar 2002, hvor der flere steder i landet faldt mere end tre gange den normale nedbør for februar



Figur 6.1 Grundvandsstanden er nu igen normal efter rigelig nedbør i vintrene 1997/98-2001/02. Baggrundskurven viser vinternedbøren i København i en årrække, og den øverste kurve viser 3-års glidende middel af vinternedbøren, mens de to nederste kurver viser grundvandsstanden fra to borer i henholdsvis Midtjylland og Sydfyn.

måned, har betydet, at grundvandsstanden mange steder ved afslutningen af vinteren 2001/02 var på højde med eller højere end den højest registreret i den forudgående 20-årige periode. Tilsvarende betød de meget nedbørsfattige vintre 1995/96 og 1996/97, at grundvandsstanden faldt til et niveau svarende til det lavest målte i den forudgående 20-årige periode (figur 6.1).

2002 blev et usædvanligt nedbørsrigt år. Nedbøren blev i gennemsnit for hele landet langt over det normale med 862 mm (normal 712 mm), og året blev dermed det 3. nedbørsrigeste, der er registreret i Danmark. Det mest nedbørsrige år var 1999 med 905 mm. Derimod var vinteren 2002/03 ret nedbørsfattig med en vinternedbør på 306 mm i forhold til normalen på 362 mm for landet som helhed. Nedbøren i vinteren 2003/04 var derimod tæt på normalen for 1961 til 1990 (DMI, 2002). Grundvandsstanden er ved afslutningen af vinteren 2003/04 tæt på det for årstiden normale niveau.

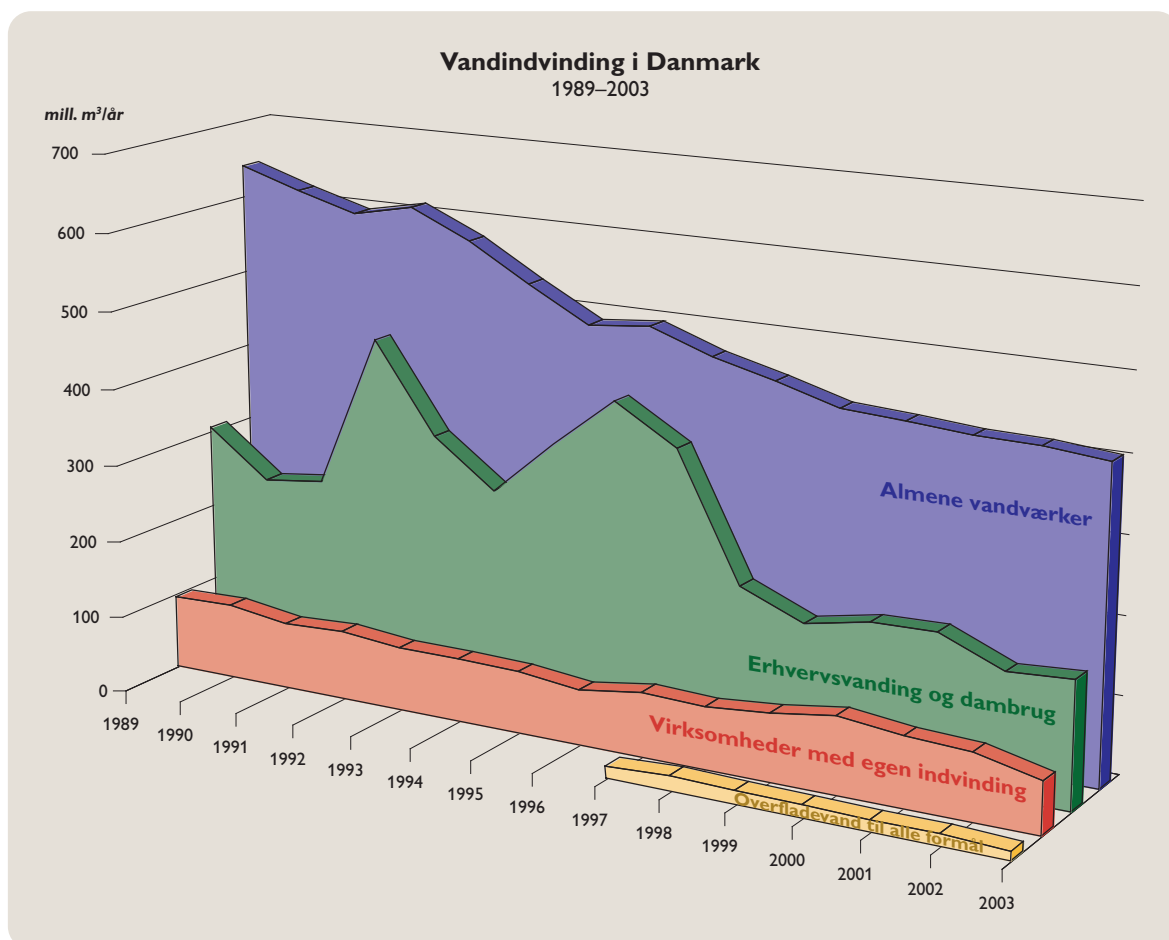
En analyse af de regionale sammenhænge mellem nedbør/fordampning, grundvandsstand og grund-

vandsindvinding præsenteres i hovedparten af årets grundvandsrapporter fra amterne. Nedbøren er baseret på DMI's 10 km grid, og fordampningen på DMI's 20 km grid data.

Nedbørsrige år, med deraf følgende mindre behov for markvanding, har en særlig gunstig effekt på grundvandsressourcens størrelse i det syd- og vestjyske område, hvor oppumpning til markvanding visse steder udgør mere end halvdelen af den samlede grundvandsindvinding (se næste afsnit).

Vandindvinding

Vandindvindingen i Danmark er altovervejende baseret på grundvand, mere end 98% af vandet hentes fra grundvandsmagasiner. Fra Haraldsted Sø nord for Ringsted og på Christiansø anvendes også en beskedent mængde overfladevand i vandforsyningen. Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral struktur med 2.718 almene vandforsyninger, hvoraf 166 er kommunalt ejede (Vandforsyningsstatistik 2002). Derudover



Figur 6.2 Vandindvinding i Danmark (mill. m³/år) fordelt på indvindingskategorier baseret på indberetninger til GEUS og oplysninger fra amternes overvågningsrapporter for perioden 1989-2003. Der er ingen opgørelse af indvinding af overfladevand før 1997.

findes en række lokale vandforsyninger til bl.a. industri, institutioner, markvanding, sportspladser, gartneri og dambrug samt såkaldte enkeltvandforsyninger, som hver forsyner 1-9 til husstande.

På grundlag af indberettede data og amternes grundvandsovervågningsrapporter er der foretaget en opgørelse af vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier:

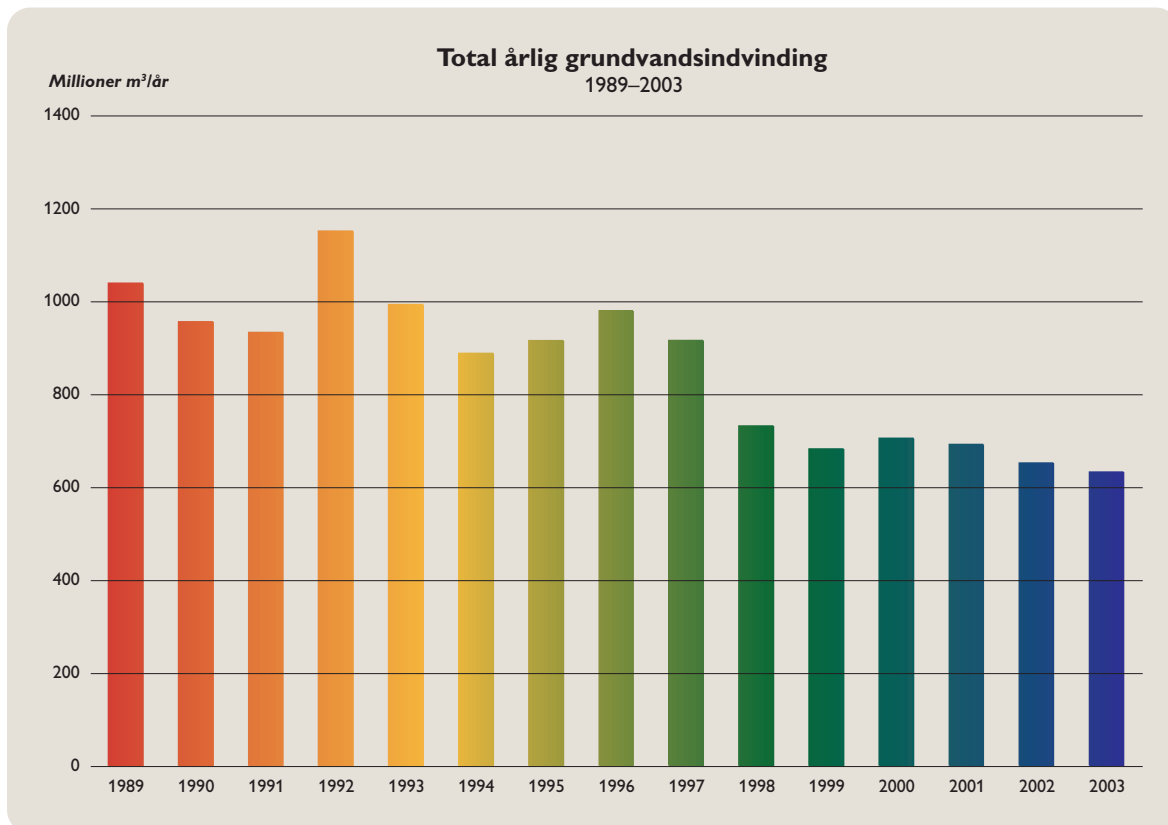
1. Almene vandværker: offentlige og private enkeltanlæg.
2. Erhvervsvanding: markvanding, gartneri og dambrug.
3. Industri mv.: erhverv, industri, institutioner, afværgepumpninger, grundvands-sænkninger, enkeltindvindinger til husholdninger og anden grundvandsindvinding.
4. Overfladevand.

I figur 6.2 er vist vandindvindingen opgjort på de fire hovedkategorier for perioden 1989-2003. Den totale grundvandsindvinding i 2003 var på 629 mill. m³, og indvindingen af overfladevand var 14 mill. m³.

Indvindingen fra vandværker, den almene vandforsyning, udgør 64% af den samlede indvinding. Oppumpning af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug tegner sig for 24% af grundvandsindvindingen i Danmark i 2003.

Særligt i Ringkjøbing og Ribe amter er der en stor grundvandsindvinding til markvanding. Den udgjorde henholdsvis 44% og 42% af den samlede grundvandsindvinding i 2003 i de 2 amter. Vandforbruget til markvanding har været lavt i 2002 og 2003 som følge af relativt nedbørsrige sommermåneder, hvilket har reduceret behovet for markvanding betydeligt. I 2003 blev 27% af den totale grundvandsindvinding i Nordjyllands Amt brugt i dambrugserhvervet.

Vandforbruget til markvanding og gartneri har de seneste 6 år været markant lavere end i den forudgående periode fra 1989 til 1997. Dette skyldes den større og tidsmæssigt gunstige nedbør i vandingssæsonen maj til juni i de senere år. I juni og juli 2002 faldt der på landsplan næsten dobbelt så meget nedbør i juni og juli måneder som normalt (DMI, 2002). Til trods for at nedbørsmængden i 2003 på landsplan var under normalen, var sommermånederne også i 2003 begunstiget af en nedbørsmængde over middel især i Syd, Midt- og



Figur 6.3 Den samlede grundvandsindvinding i Danmark (mill. m³/år) baseret på indberetninger til GEUS og oplysninger fra amternes overvågningsrapporter for perioden 1989-2003.

Vestjylland, hvor markvandingsbehovet er størst (bilag 6.1) (DMI, 2004). I 2003 er opgjort et af de laveste vandforbrug til markvanding for perioden 1989-2003.

Faldet i de almene vandværkers vandindvinding stagnerede i 2000 i forhold til de foregående år. For perioden som helhed fra 1989 til 2003 er der sket et fald på 37% i denne indvindingskategori. Tilsvarende er den samlede grundvandsindvinding faldet 40% i perioden 1989 til 2003 (figur 6.3); faldet fra 1998 til 2003 var 14%.

Hydrologisk modellering

Med henblik på at forbedre forståelsen af vand- og stoftransporten inden for grundvandsovervågningsområderne opbygges hydrogeologiske modeller, som kan anvendes til numerisk strømningssimulering indenfor de enkelte overvågningsområder. Arbejdet med at opbygge modellerne er gennemført i NOVA-2003 overvågningsperioden fra 1998-2003.

På grundlag af den i 2000-2001 gennemførte evaluering af det eksisterende datagrundlag blev det besluttet, at det ikke vil være formålstjenligt at opstille numeriske beregningsmodeller for alle GRUMO. Desuden blev en egentlig stoftransportsimulering af GRUMO stillet i bero, men strømningssimuleringerne

er i stedet for udbygget med partikelbanesimuleringer. Samtidig vil overvågningsaktiviteterne fra starten af den nye overvågningsperiode i 2004 blive droslet ned i visse GRUMO, der derfor ikke forventes modelleret.

Dataevalueringen og de allerede opstillede strømningssimuleringer har vist et behov for at revidere de eksisterende oplandsgrænser, hvorfor dette er indføjret som supplement til modelarbejdet og som erstatning for den egentlige stoftransportmodellering.

I 1997 startede arbejdet med at opstille først hydrogeologiske modeller og siden strømningssimuleringer for grundvandsovervågningsområderne. Ved afslutningen af NOVA-2003 overvågningsperioden er der opstillet strømningssimuleringer for 42 af de 50 GRUMO, der videreføres med fuldt program i NOVANA, svarende til 84% (tabel 6.1). For de resterende områder færdiggøres strømningssimuleringerne i løbet af 2004 eller i takt med kortlægningen af indsatsområderne i 2004/2005. Den igangværende eller kommende og ofte ret omfattende geologiske kortlægning i indsatsområderne vil kunne bidrage betydeligt til en forbedring af datagrundlaget for grundvandsmodelleringen i overvågningsområderne.

Modeller i amter	GRUMO	Konceptuel geologisk model	Digital geologisk model	Strømningssimulering	Partikelbaneberegning	Revision af opland
	antal	antal	antal	antal	antal	antal
Kbh. & Fr.berg komm.	1	1	1	1	1	1
København	2	2	2	2	2	0
Frederiksborg	4	4	4	4	4	4
Roskilde	3	3	3	3	3	0
Vestsjællands	2	2	2	2	2	2
Storstrøms	4	4	4	3	3	3
Bornholms	1	1	0	0	0	0
Fyns	5	5	5	3	3	3
Sønderjyllands	3	3	3	2	2	2
Ribe	3	3	3	3	3	3
Vejle	4	4	4	4	4	4
Ringkjøbing	4	4	4	4	4	4
Århus	5	5	3	3	3	1
Viborg	5	5	5	5	5	2
Nordjylland	4	4	4	3	3	0
I alt	50	50	47	42	42	29

Tabel 6.1 Samlet status over modelarbejdet i GRUMO. Der er kun medregnet de aktive GRUMO, hvor der skal opstilles modeller.

Status for modellering af GRUMO

For omkring halvdelen af GRUMO har modelleringen ført til en revision af den oprindelige afgrænsning af overvågningsområdet, som blev foretaget i forbindelse med etableringen af områderne omkring 1988. En revideret oplandsafgrænsning kan have betydning for vurderingen af udviklingen i vandkvalitet fra henholdsvis punkt-, linie- og volumenmoniterende boringer i forhold til arealanvendelsen. Ved etablering af nye overvågningsboringer placeres disse under hensyntagen til det reviderede overvågningsområdes afgrænsning.

Nøgleparametre, kalibreringskriterier og udvalgte modelresultater for de enkelte GRUMO-modeller er præsenteret i årets og i tidligere års grundvandsovervågningsrapporter fra amterne. For mange af de opstillede modeller er det eksplicit nævnt at modellerne er opstillet, kalibreret og valideret i henhold til retningslinier fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen 2001) og Fagdatacentret (Henriksen et al. 2001).

Litteratur

- Andersen, L.J., 1987:* Grundvandsmoniteringsnet af 1. orden i Danmark. - ATV-komiteen vedrørende grundvandsforurening. Vingstedcentret 5.-6. oktober 1987.
- Bornbolms Regionskommune, 2004:* Vandmiljøovervågning. Grundvand 2003.
- Böblke, J.K. & Denver, J.M. 1995:* Combined use of groundwater dating, chemical, and isotopic analyses to resolve the history and fate of nitrate contamination in two agricultural watersheds, Atlantic coastal plain, Maryland. *Water Resour. Res.*, vol. 31, 2319-2339.
- Dansk Vand- og Spildevandsforening, Miljøstyrelsen & GEUS, 2003:* Vandforsyningsstatistik 2002.
- DMI, 2002:* 2002 vejrmæssigt set.
- DMI, 2004:* Danmarks klima 2003. Technical report 04-02.
- DMU, 2004:* NOVANA programbeskrivelse del 2.
- Engvild, K.C., 2000:* Naturlige halogenforbindelser. I: Kemiske stoffer i miljøet (Red. Helweg, A.).
- Frederiksborg Amt, 2004:* Grundvandsovervågning 2003.
- Fyns Amt, 2004:* Landovervågning 2003. Vandmiljøovervågning.
- Fyns Amt, 2004:* Grundvand 2003. Vandmiljøovervågning.
- GEUS, 2000:* Grundvandsovervågning 2000.
- GEUS, 2003:* Grundvandsovervågning 2003.
- GEUS, 2004:* Forurenede drikkevand i små vandforsyningsanlæg. GEUS rapport 2004/9
- Henriksen, H.J., Refsgaard, J.C., Sonnenborg, T.O., Gravesen, P., Brun, A., Refsgaard, A. og Jensen, K.H. (2001):* STÅBI i grundvandsmodellering. GEUS rapport 2001/56.
- Knudsen, L., Østergaard, H.S. & Schultz, E. 2000:* Kvælstof - et næringsstof og et miljøproblem. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl. p.p. 112.
- Københavns Amt, 2004:* Vandmiljøovervågning. Grundvand 2003.
- Københavns kommune, 2004:* Grundvandsovervågning 2003. Vandmiljøovervågning, NOVA 2003. Københavns- og Frederiksberg kommuner.
- Larsen, C.L. og Larsen, F., 2003:* Arsen i danske sedimenter og grundvand. *Vand og Jord* 10. årgang nr. 4, side 147-151.
- Miljøministeriet 1988:* Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. - Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 515 af 29. august 1988.
- Miljø- og Energiministeriet 2001:* Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. - Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 871 af 21. september 2001.
- Miljøstyrelsen, 1990:* Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.
- Miljøstyrelsen, 1995:* Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og vand - Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen 12/1995. Udarbejdet af Elsa Nielsen m.fl.
- Miljøstyrelsen, 1997:* Boringskontrol på vandværker. - Vejledning fra Miljøstyrelsen 2/1997.
- Miljøstyrelsen, 1999:* Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Vandfonden. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17/1999.
- Miljøstyrelsen, 2000:* Programbeskrivelse for det nationale program for overvågning af vandmiljøet 1998 - 2003 - "NOVA 2003" - Redegørelse fra Miljøstyrelsen 1/2000.

- Miljøstyrelsen 2001*: Retningslinier for opstilling af grundvandsmodeller. Arbejdsrapport Nr. 17, 2001.
- Nordjyllands Amt, 2004*: Landovervågning 2003. Oddebæk.
- Nordjyllands Amt, 2004*: Grundvandsovervågning 2003.
- Nygaard, E. (red.), 1991*: Grundvand. Overvågning og problemer. DGU serie D, nr. 8.
- Plantedirektoratet, 2004*: Forbrug af handelsgødning.
- Ribe Amt, 2004*: Grundvand 2003, Vandmiljøovervågning.
- Ringkjøbing Amt, 1997a*: Undersøgelse for pesticider i vandløb i Ringkjøbing Amt 1996. Notat af 1. april 1997. 12 sider samt bilag.
- Ringkjøbing Amt, 1997b*: Undersøgelse af pesticider i grundvand og vandløb i Ringkjøbing Amt i 1996. Status for undersøgelse af de almene vandværker. Notat af 20. marts 1997.
- Ringkjøbing Amt, 2004*: Grundvandsovervågning 2003. NOVA 2003
- Roskilde Amt, 2004*: Grundvandsovervågning i Roskilde Amt.
- Storstrøms Amt, 2004*: NOVA 2003. Grundvandsovervågning 2003.
- Storstrøms Amt, 2004*: NOVA 2003. Landovervågning 2003.
- Sønderjyllands Amt, 2004*: Vandmiljøovervågning 2003. Grundvand.
- Sønderjyllands Amt, 2004*: Vandmiljøovervågning 2003. Landovervågning.
- Thorling, L. 2003*: Vedr. brug af CFC-dateringer til at tilbageskrive nitratbelastningen af grundvandet. Notat. Århus amt 2003
- Vejle Amt, 2004*: Grundvandsovervågning Vejle Amt 2003
- Vestsjællands Amt, 2004*: Vandmiljø Overvågning. Grundvand 2003.
- Viborg Amt, 2004*: Vandmiljøplanens Overvågningsprogram. Grundvand 2003.
- Århus Amt, 2004*: Statusrapport 2003. Grundvandsovervågning i Århus Amt
- Århus Amt & Vejle Amt, 2004*: Landovervågning 2003. Horndrup Bæk (LOOP 3). Landbrugsdrift, Næringsstofudvaskning, Stoftransport.

Bilag — se

www.grundvandsovervaagning.dk