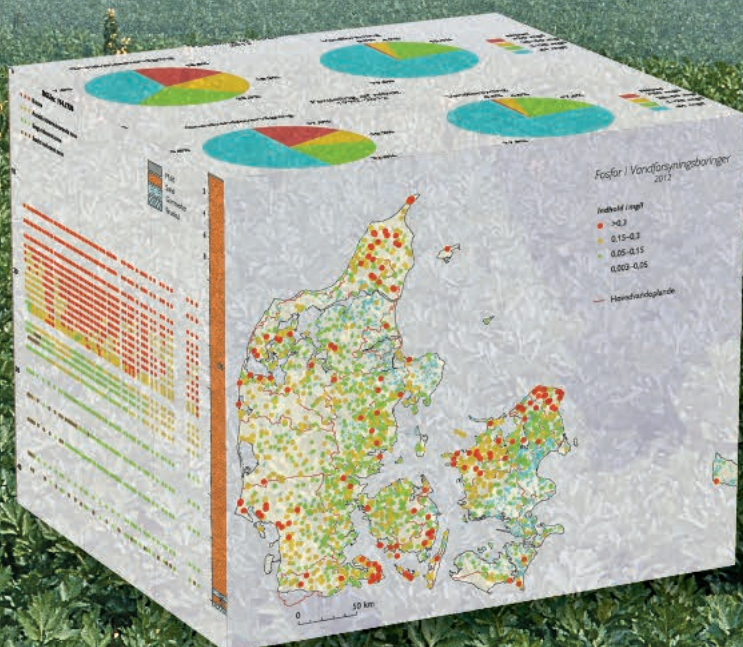


GRUNDVANDSOVERVÅGNING 2013



DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER FOR DANMARK OG GRØNLAND
KLIMA-, ENERGI-, OG BYGNINGSMINISTERIET

Grundvand

Status og udvikling 1989 – 2012

GEUS 2013

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling

Walter Brüsch

Birgitte Hansen

Carsten Langtofte Larsen

Susie Mielby

Lars Troldborg

Brian L. Sørensen

Tegninger: Forfatterne og Kristian A. Rasmussen

Dato November 2013

Rapporten kan hentes på nettet på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets tilstand og udvikling er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsen (før 2007 amterne) i perioden 1989 til 2012, som led i den nationale grundvands- overvågning (GRUMO) og landovervågning (LOOP). Fra de almene vandværker præsenteres data fra egenkontrollen af indvindingsboringeres vandkvalitet. Der er ligeledes i et vist omfang inddraget kemiske analyser af grundvandet fra andre grundvandsundersøgelser, fx i forbindelse med kortlægningen af grundvandet i områder med særlige drikkevandsinteresser. Fra alle indvindere af grundvand, vandværker, industrier, markvandre mv. anvendes de indberettede oplysninger om indvindingens størrelse.

Data er præsenteret i en række enkle indikatorer, der hvert år opdateres i den løbende rapportering. Med udgangspunkt heri præsenteres supplerende resultater og konklusioner. Derudover kan der være en uddybende datapræsentation i varierende omfang, typisk i form af et tema. I år er det uddybende tema indbygget i kapitlet om pesticider, med data fra det reviderede analyseprogram i boringskontrollen og grundvandsovervågningen, og i kapitlet om sporstoffer med de første sporstofanalyser fra redoxboringerne.

Målgrupperne for denne rapportering er Regeringen, Folketinget og offentligheden samt de involverede aktører i overvågningen, herunder Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen, kommuner, vandforsyninger og Århus Universitet (DCE). Rapporten udkommer alene elektronisk på GEUS' hjemmeside www.geus.dk.

Rapporten bygger på en række afsnit fra medarbejdere ved GEUS, der har de pågældende fagområder som deres arbejdsområde:

Grundvandets hovedbestanddele	Birgitte Hansen og Lærke Thorling
Uorganiske sporstoffer	Carsten Langtofte Larsen
Organiske mikroforureninger	Carsten Langtofte Larsen
Pesticider og nedbrydningsprodukter	Walter Brüsich
Vandindvinding	Lars Troldborg og Brian L. Sørensen
Det nationale pejleprogram	Susie Mielby

© Denne rapport er behæftet med copyright. Hvis figurer eller andet materiale anvendes skal den nødvendige kildeangivelse anføres, enten i form af et link til GEUS hjemmeside eller ved en henvisning til denne rapport:

Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Larsen, C.L., Mielby, S., Troldborg, L. og Sørensen, B. L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013.

ISBN 978-87-7871-364-3

Indholdsfortegnelse

Forord.....	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning	4
1 English Summary	10
2 Indledning.....	16
3 Grundvandets alder	25
4 Hovedbestanddele	29
Nitrat i grundvand	30
Nitratindhold – grundvandsovervågning: grundvandets iltzone	34
Nitratindhold i grundvand under landbrugsarealer – landovervågning	36
Nitrat, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer	39
Vandmiljøhandlingsplanernes effekt på grundvandets nitratindhold	41
Tidsmæssige variationer i redoxzonernes dybde og tykkelse	45
Fosfor i grundvand	54
Fosforindhold i grundvandsovervågningen	55
Fosfor, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer.....	59
Fosfor i øvre terrænnært grundvand (LOOP).....	61
5 Uorganiske sporstoffer	65
Grundvandsovervågning.....	68
Sporstoffer, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer	78
6 Organiske mikroforureninger	82
Grundvandsovervågning.....	85
Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer	89
7 Pesticider	96
Grundvandsovervågning.....	97
Vandværkernes kontrol af indvindingsboringer	115
Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet	124
8 Vandindvinding.....	130
9 Det Nationale Pejleprogram	139
10 Referencer.....	155

1 Sammenfatning

Overvågningen af grundvandet og det øvrige vandmiljø har fundet sted i 25 år, med en systematisk dataindsamling og rapportering siden 1989. Dette års rapport præsenterer resultaterne for perioden 1989-2012. Overvågningsprogrammets formål og udvikling præsenteres i denne rapport i kapitel 2.

Overvågning af grundvandet finder sted i følgende delprogrammer:

- Grundvandsovervågningen, GRUMO (1989 ff.)
- Landovervågningen, LOOP (1989 ff.)
- Vandværkernes boringskontrol (1986 ff.)
- Oppumpede vandmængder på vandværker, industri, markvandere mv.

Derudover gennemføres der også i forbindelse med forurenede jord og punktkilder en overvågning af grundvandet. Denne varetages af regionerne og Miljøstyrelsen (MSt, 2012).

Datagrundlag

Rapporteringen af grundvandsovervågningen omfatter kemiske analyser og pejledata for grundvandet samt oplysninger om oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand. Det datamateriale, der ligger til grund for rapporten, er udtrukket fra JUPITER ud fra særlige kriterier, som blandt andet sikrer en veldefineret datakvalitet, og at fortrolige oplysninger mv. håndteres korrekt. Kemidata opdeles i fire datasæt, GRUMO, LOOP, Boringskontrol og "Andre analyser", hvoraf Boringskontrol består af analyser fra aktive vandværker, mens "Andre analyser" består af analyser fra nedlagte vandværker, forureningsundersøgelser, kortlægningsboringer, og andre analyser, der ikke hører til i de tre øvrige datasæt.

Alle relevante data om grundvand og drikkevand skal i henhold til "Dataansvarsaftalen" være tilgængelige i den fællesoffentlige database, JUPITER. Kommunernes opdatering af vandværkernes oppumpede vandmængder er fortsat et indsatsområde mht. opretning af forkerte eller mangelfulde data for perioden 2007-12. Der er dog sket betydelige forbedringer i indberetningerne de seneste år. Der er fortsat ikke noget samlet overblik over antallet af aktive vandværker og indvindingsboringer på landsplan. Dette medfører en række problemer for såvel datahåndteringen som rapporteringen, herunder hvilke svar overvågningen kan give om kvalitet og kvantitet af det grundvand, der anvendes til vandforsyning. En ny bekendtgørelse /MiM, 2012/ foreskriver, at der fremover skal indberettes status for alle forsyningsboringer. Dette forventes fremover at kunne give mere præcise redegørelser for tilstanden på vandværker og opgørelser over indvindingsboringerne status.

Der er i det forløbne år sket en vis forbedring i mængden af pejledata fra overvågningsprogrammet, der er tilgængelige i JUPITER. Der resterer dog fortsat en betydelig opgave med at få gennemført de nødvendige rettelser af data.

Nitrat

Udviklingstendensen i indholdet af nitrat i det yngste, iltede grundvand er en vigtig indikator i vurderingen af effekten af Vandmiljøplanen fra 1987 og de efterfølgende vand- og miljøplaner. Der blev i rapporteringen fra 2009 (Thorling m.fl., 2010b) gennemført en statistisk analyse af

den tidlige udvikling i grundvandets indhold af nitrat fra 152 indtag med iltet grundvand i grundvandsovervågningen.

Resultaterne fra arbejdet med nitrattidsserier i iltet grundvand viser, at der generelt kan dokumenteres en effekt af de gennemførte reguleringer af landbruget. I det yngste grundvand (0-15 år) er der en større andel med signifikant faldende nitratindhold sammenlignet med det ældre grundvand (25-50 år). Denne observation er i overensstemmelse med udviklingen i kvælstofoverskuddet i dansk landbrug og målinger af nitratudvaskningen og nitrattransporten i vandløb i andre dele af det nationale overvågningsprogram. Der observeres dog fortsat flere steder stigende nitratindholdet i grundvandet. Dette er som ventet især tilfældet for det ældre grundvand fra før 1980, hvor effekten af vand- og miljøplanerne endnu ikke er slået igennem pga. alderen af vandet.

De seneste målte nitratindhold i disse 152 indtag er i denne rapportering vurderet i forhold til drikkevandskravet (grænseværdien) på 50 mg/l. I ca. 40 % af indtagene overskrides drikkevandskravet for nitrat. Andelen af indtag med overskridelser af drikkevandskravet for nitrat ligger på omkring 40 % for alle aldersgrupper i det iltede, nitratholdige grundvand.

9 % af det yngste iltede, nitratholdige grundvand har både et nitratindhold på mere end 50 mg/l, og en signifikant stigende tendens. I forhold til en opfyldelse af miljømålene er dette ikke ønskeligt.

På baggrund af dette års GRUMO data kan det konkluderes, at det overordnet set går den rigtige vej med hensyn til at nedbringe nitratindholdet i grundvandet, men at der flere steder fortsat kan konstateres stigninger, herunder også i det helt unge grundvand dannet efter Vandmiljøplanernes ikrafttræden.

Kun få af vandværkernes indvindingsboringer har et nitratindhold over drikkevandskravet. Dette hænger sammen med, at den forurenede del af grundvandet fravælges, idet boringer med et højt nitratindhold lukkes og erstattes af dybere boringer.

Overfladevand og natur er stadig mange steder påvirket af udstrømning af nitrat fra det øvre grundvand, også selv om der de senere år overordnet set er konstateret et fald i nitratkoncentrationerne, i forhold til da belastningen var størst. Der henvises her til overvågningsrapporterne for natur og overfladevand (NOVANA hjemmeside, 2013).

Fosfor

De sidste to år er den traditionelle analyse for fosfor, hvor alene det totale indhold af fosfor måles, suppleret med en specifik analyse for orthofosfat. Orthofosfat er en uorganisk fosforforbindelse i grundvandet. Dette forbedrer mulighederne for at sammenligne grundvand og overfladevand, idet man i overfladevand altid har analyseret for såvel orthofosfat som totalfosfor.

Resultaterne viser overraskende, at orthofosfatindholdet i grundvandet tilsyneladende er uafhængigt af såvel dybde som redoxforholdene i grundvandsmagasinerne. I iltet grundvand består hovedparten af fosfor af orthofosfat. Det højere indhold af totalfosfor, som optræder i reduceret grundvand i forhold til oxideret grundvand, ser derimod ud til at være organisk bun-

det fosfor. Resultaterne fra 2012 viser, at analyseresultaterne fra 2011 er reproducerbare, således at de fundne sammenhænge fremstår mere veldokumenterede.

Der er fundet samme afhængighed for "organisk fosfor" i LOOP data, idet "organisk fosfor" også her udgør en langt mindre andel af totalfosfor under iltede forhold end under reducerede forhold i grundvandet. Samtidig er koncentrationsfordelingen af orthofosfat den samme for oxiderede som reducerede grundvandsprøver.

Der er i forhold til grundvandets påvirkning af overfladevand et stort behov for at undersøge, hvilken kemisk sammensætning det såkaldte "organiske fosfor" bidrag rent faktisk består af, så det er muligt at vurdere, hvorledes denne fraktion bidrager til stoftransport og eutrofieringen.

Grundvandsovervågning i Landovervågningsoplandene (LOOP)

I LOOP overvåges det allerøverste grundvand overvejende fra 1,5 - 6 m u.t. I rapporteringen fra 2009 (Thorling m.fl., 2010a) blev der udført en statistisk analyse af koncentrationsudviklingen for nitrat i det øvre grundvand for perioden 1990-2009. Her blev der påvist et signifikant fald i nitratindholdet for 59 % af filtrene. Der var imidlertid også filtre i den øvre del af grundvandsmagasinerne (ca. 13 %) i LOOP, hvor nitratindholdet var signifikant stigende.

I 2010 blev der gennemført en vurdering af stationsnettet for grundvandsdelen af LOOP. Som opfølgning på konklusionerne af dette arbejde har der været fokus på optimering af feltarbejdet, specielt i forhold til gennemførelse af iltmålinger, sådan at det kan vurderes, hvilke borer der er egnede til overvågning af nitratudvaskning. Trods vanskelige prøvetekniske omstændigheder med små vandmængder gennemføres der nu iltmålinger i felten i alle LOOP områderne. Dette er en meget vigtig forbedring af prøvetagningen i LOOP. Det kan konstateres, at der prøvetages iltet grundvand (vandtype A), som er velegnet til overvågning af nitratudvaskningen i 14 til 85 % af indtagene i de 5 LOOP områder.

Uorganiske sporstoffer

En række uorganiske sporstoffer optræder i dansk grundvand i koncentrationer over drikkevandskravet. En del af indholdet af disse stoffer er naturligt forekommende, mens det i andre tilfælde skyldes påvirkninger fra samfundsmæssige aktiviteter.

Analyseresultaterne fra 2012 af indholdet af uorganiske sporstoffer viser i overensstemmelse med tidligere år, at der fra en del borer oppumpes grundvand, hvor vandkvaliteten ikke overholder drikkevandskravene. Dette gælder især for stofferne: arsen, nikkel, aluminium og bor. Dette stiller ekstra krav til vandværkernes pumpestrategi og vandbehandling, idet almindelig vandbehandling med iltning, eller neutralisering af surt vand, kan fjerne en del af disse stoffer. For arsen er det godt gjort, at visse ældre data ikke er retvisende. Dette har betydning for vurderingen af den tidlige udvikling, herunder om drikkevandskravene overholdes. Der er fundet overskridelse af drikkevandskravet for et eller flere stoffer i 34 % af indtagene i GRUMO og i 14 % i boringskontrollen.

Første analyserunde for uorganiske sporstoffer i redoxboringerne, der er særlige overvågningsboringer med et stort antal tætsiddende grundvandsindtag, viser, at indholdet af sporstoffer generelt er ganske lavt, men at forsurende af grundvandet, iltning af sulfidminerale og karakteren af arealanvendelsen kan forårsage stigninger i koncentrationen, så drikkevandskravene

overskrides. Abrupte spring i grundvandets alder og sporstofindhold med dybden tyder på, at et heterogent strømningsmønster i grundvandet afspejles i variationerne for sporstofferne.

Organiske mikroforureninger

Såvel grundvandsovervågningen som vandværkernes boringskontrol rummer en del fund af organiske mikroforureninger, hvilket er udtryk for, at der i et moderne industrialiseret samfund, med en bred anvendelse af miljøfremmede stoffer, ofte forekommer spild af mindre mængder, som efterfølgende nedsiver til grundvandet.

Samlet set er overvågningsdata præget af lave koncentrationer, få genfund eller genfund over en kortere årrække. Omvendt viser langvarige overskridelser af drikkevandskravene i nogle boringer, at når en massiv forurening først er etableret, er den vedvarende, og forurenende stoffer kan trænge dybt ned grundvandsmagasinerne.

Der er i 2012 foretaget et stort antal analyser af "renseri-stofferne" trikloretylen og tetrakloretylen samt disse stoffers nedbrydningsprodukter på flere vandværker, og det kan påvises, at dette udgøre et problem for vandværkerne i en del kommuner. Der er på vandværkerne foretaget et langt mindre antal analyser af olie og olieprodukter. I 24 % af de analyserede boringer overskrides 75 % af drikkevandskravet.

Pesticider i grundvandsovervågningen

Der findes stadig en betydelig udbredelse af pesticider i grundvandet. I 2012 blev der i grundvandsovervågningen fundet pesticider i 42 % af indtagene, mens drikkevandskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 12 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirket af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det dybtliggende og ældre grundvand er mindre.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: Godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført yderligere begrænsninger på anvendelsen af hensyn til en beskyttelse af grundvandet. I analyseprogrammet indgår i alt 31 stoffer, hvoraf 21 stammer fra forbudte pesticider, mens 5 er fra regulerede og 5 er fra tilladte. I 2012 blev der fundet godkendte stoffer i ca. 1 % af indtagene, mens regulerede stoffer blev fundet i 6 % og forbudte stoffer i 39 %. I alt 7 % af fundene stammer således fra stoffer, der fortsat er i brug. Pesticidanalyserne for de sidste 6 år viser, at ca. 1/5 af fundene skyldes godkendte og regulerede stoffer, mens ca. 4/5 stammer fra forbudte stoffer.

Tidsserier for udvalgte pesticider i grundvandet udviser generelt faldende koncentrationer for forbudte og regulerede stoffer, mens der ikke er tilstrækkelige data til at vurdere udviklingen for tilladte stoffer som Glyphosat og dets nedbrydningsprodukt, AMPA.

Specielt kan nævnes, at fundhyppigheden af Glyphosat og AMPA i 2012 ligger på 0,9 % og 1,0 % (begge på 0,3 % for fund over drikkevandskravet), hvilket er på samme niveau som tidligere i grundvandsovervågningen.

I det øvre grundvand har der været en faldende andel af pesticider over drikkevandskravet de senere år. Samtidig stiger antallet af fund af pesticider over drikkevandskravet i det dybereliggende grundvand. Der ses samtidig en større hyppighed af indtag med pesticider i koncentra-

tioner under drikkevandskravet i dybder ned til 50 m u.t. Dette kan forklares med en reduceret udvaskning fra rodzonen og øvre jordlag. Skønt der kan ses tegn på en mindsket påvirkning i det øverste grundvand, breder en puls af pesticider, udvasket for år tilbage, sig stadigt dybere ned i grundvandsmagasinerne. Resultaterne viser, at en strammere regulering i anvendelsen af pesticider nu kan ses i det øvre og yngste grundvand. Fordelingen peger også på, at det dybtliggende grundvand, hvorfra vandværkerne indvinder drikkevand, fremover kan blive mere påvirket af den puls af pesticider over drikkevandskravet, der bevæger sig ned gennem grundvandsmagasinerne.

Der er i 2011 og 2012 undersøgt for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De 3 dominerende stoffer med relativt mange fund – for to af stoffernes vedkommende også fund over drikkevandskravet - er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner, hvor didealkylhydroxyatrazin er fundet i 7,7 % af de undersøgte indtag i 2011-12, mens drikkevandskravet var overskredet i ca. 1 %. Deisopropyl-hydroxyatrazin blev fundet i 4,5 % af indtagene. Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid, rimsulfuron er påvist i 6 ud af 763 undersøgte indtag, i alle tilfælde dog under drikkevandskravet. Tre stoffer, heraf to godkendte, er fundet en enkelt gang i koncentrationer under drikkevandskravet, mens et stof, hydroxyterbuthylazin, blev fundet i fem indtag under drikkevandskravet på 0,1 µg/l. To stoffer, heraf et godkendt, er ikke påvist.

Pesticider i vandværkernes boringskontrol

Andelen af pesticidpåvirkede aktive indvindingsboringer er de sidste 5-10 år stabiliseret på lidt under 25 %. I 2012 blev der således fundet pesticider i 24 % af de undersøgte indvindingsboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l for enkeltstoffer var overskredet i 4 % af boringerne. Resultatet kan sammenlignes med fundene i årene omkring 2004, hvor der var fund i 26 % af boringerne, heraf 4,5 % over drikkevandskravet. BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 17,7 % af de undersøgte indvindingsboringer i 2012.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af analyseprogrammet for pesticider i vandværkernes boringskontrol med indførelse af analyse for yderligere 18 stoffer, som bl.a. er fundet i grundvandsovervågningen eller i Varslingssystemet for udvaskning af pesticider til grundvandet. Af disse nye stoffer er nedbrydningsprodukt DEIA fra Atrazin fundet i 2,4 % af de analyserede prøver i 2012, mens de øvrige nye stoffer er fundet i ca. 1 % eller mindre af de undersøgte vandprøver. Der er kun få fund over drikkevandskravet. De relativt få fund af de nye stoffer i boringskontrollen kan skyldes, at vandværkerne har lukket nogle af de indvindingsboringer, hvor der tidligere er fundet nedbrydningsprodukter fra triaziner og BAM, som ofte findes sammen med netop disse stoffer.

I tidligere års grundvandsovervågningsrapporter er det dokumenteret, at der findes flest pesticider i aktive vandværksboringer i lerede områder og omkring større byer, hvor især BAM er påvist

Vandindvinding

Den samlede oppumpede mængde grundvand i Danmark (uden markvanding) udviser fra 1989 og frem en faldende tendens, men har siden 2009 ligget på et konstant niveau med en årlig oppumpning på mellem 500 og 550 mio. m³.

Der er ikke længere en faldende tendens i den indberettede oppumpning fra almene vandværker, idet der siden 2007 er indvundet omkring 400 mio. m³/år.

Det fremgår af de indberettede data, at der de senere år har været en stigning i markvandingen, der hænger sammen med særligt tørre forår og forsomre. Markvandingen udgør 20-40 % af den samlede indvinding afhængig af nedbørsvariationerne fra år til år.

Registrering af oppumpede vandmængder er en vigtig parameter for en retvisende opgørelse af den nationale vandbalance, og er således helt uundværlige data som grundlag for risikovurderingen af grundvandsforekomsterne i forbindelse med udarbejdning af vandplaner. For at muliggøre en faglig solid vurdering af udnyttelsen af den tilgængelige ferskvandressource skal kommunerne fortsat sikre, at de oppumpede vandmængder i videst muligt omfang indberettes til den fælles offentlige database JUPITER til den fastsatte tidsfrist. Der sker løbende forbedringer i kommunernes indberetning, men der er fortsat behov for, at nogle kommuner kvalitets-sikrer og følger op på indberetningerne og de anbefalinger, der gives, således at fejlindberetninger undgås.

Det Nationale Pejleprogram

I 2007 blev der etableret et Nationalt Pejleprogram med det formål at overvåge udviklingen af grundvandsstanden i Danmark. De indsamlede data skal på national skala muliggøre en overvågning af ændringer i grundvandsstanden forårsaget af klimaændringer, ændret arealanvendelse eller ændringer i vandindvindingen. Data fra flere af de udpegede pejleboringer har allerede i mange år bidraget med pejlinger til lokale eller regionale pejleprogrammer, og derfor er det muligt at præsentere tidsserier for de sidste 40 år eller mere i såvel terrænnære, regionale som dybe grundvandsforekomster. I disse tidsserier kan effekten af tørre perioder som fx omkring 1996 ses. Der iagttages variationer i grundvandsspejlet på op til flere meter på baggrund af variationer i vejret.

Årets rapportering har koncentreret sig om vurdering af kvaliteten og indholdet af de enkelte pejleserier med henblik på dels en forbedring af datamaterialet og dels en udsortering af repræsentative tidsserier på landsplan.

1 English Summary

In Denmark, groundwater monitoring has now been in place for 25 years. As from 1989, monitoring has included systematic data collection and reporting. This year's report presents results from the 1989-2012 period. The Monitoring Programme's objective and development are presented in Chapter 2 of this report.

Groundwater monitoring is implemented through the following sub-programmes:

- The Groundwater Monitoring Programme, GRUMO (1989 -)
- The Agricultural Catchment Monitoring Programme, LOOP (1989 -)
- The Waterworks' Well Monitoring Programme (1986 -)
- Quantities of water abstracted at waterworks, by industry, for irrigation etc.

Additionally, monitoring of the groundwater is performed in connection with testing of contaminated soil and point source contamination. This monitoring is implemented by the regions and the Danish Environmental Protection Agency (MSt, 2012).

Data basis

The reporting of groundwater monitoring includes chemical analyses, collection of data on the groundwater table and information about the quantity of water abstracted from groundwater and surface water. The data material upon which this report is based was extracted from JUPITER on the basis of specific criteria which, among others, ensure a well-defined quality along with correct handling of confidential information, etc. The chemistry data consist of four datasets; GRUMO, LOOP, the Waterworks' Well Monitoring Programme and "Other analyses". The Waterworks' Well Monitoring Programme comprises analyses from active waterworks. "Other analyses" includes analyses from inactive waterworks, pollution surveys, mapping wells and other analyses which do not form part of the three remaining datasets.

In pursuance of the Danish Data Responsibility Agreement (in Danish: Dataansvarsaftalen), relevant data on groundwater and drinking water shall be made available in the joint public database JUPITER. The municipalities' updating of the quantities of water abstracted by the waterworks remains a focus area with a view to revising and adding incorrect and lacking data for the 2007-12 period. However, considerable improvements have been observed in the reports made in recent years. As in previous years, no single national overview of all active waterworks and abstraction wells exists in Denmark. This causes a range of problems related to data handling and reporting, and it limits the answers monitoring can provide concerning the quality and quantity of the groundwater used for water supply. A new executive order /MiM, 2012/ has made the status of all wells used for water supply notifiable. This is expected to lead to more precise reports on the conditions at waterworks and on the status of abstraction wells.

The past year has brought some increase in the amount of groundwater table data from the Monitoring Programme; the data are available in JUPITER. However, a considerable amount of work still needs to be done to complete the necessary data revision.

Nitrate

The trend for the nitrate content in the youngest oxic groundwater is an important indicator in the assessment of the effect of the 1987 Water Action Plan and the subsequent water and en-

vironment plans. The 2009 report (Thorling et al., 2010b) included a statistical analysis of the development over time in the groundwater's content of nitrate in 152 oxic groundwater monitoring points which form part of the Groundwater Monitoring Programme.

The results from the work on nitrate time series in oxic groundwater demonstrate that, generally, it is possible to document an effect of the agricultural regulation introduced. In the youngest groundwater (0-15 years), there is a greater share with a significantly decreasing nitrate content than in the older groundwater (25-50 years). This observation is in accordance with the development of nitrogen surplus in Danish agriculture and measurements of nitrate leaching and nitrate transport in water courses made in other parts of the Danish Monitoring Programme. However, increasing nitrate content is still observed at a number of locations. As expected, this is particularly frequent for older groundwater from before 1980, which has yet to be affected by the water and environment plans, among others because of the water's age.

In this report, the most recent measurements of nitrate content in these 152 monitoring point were assessed with reference to the 50 mg/l threshold value of the drinking water requirement. In approximately 40% of the monitoring points, nitrate levels exceed the threshold value of the drinking water requirement. The nitrate threshold value of the drinking water requirement is exceeded in about 40% of the monitoring points for all age groups in oxic, nitrous groundwater.

In 9% of the youngest oxic, nitrous groundwater, the nitrate content exceeds 50 mg/l and this development shows a significantly increasing trend. This is not desirable as it hampers fulfilment of the objectives established for the environment.

Based on this year's GRUMO data, we conclude that the overall trend with regard to reducing the groundwater nitrate content is positive, but several locations still record increases including in some of the most recently created groundwater which was formed after the water action plans came into force.

Only a limited number of the waterworks' abstraction wells exceed the nitrate threshold values stipulated in the drinking water requirement. This is owed to the fact that the contaminated part of the groundwater is excluded because wells with excessive nitrate content are closed and replaced by deeper wells.

In many locations, the surface water and nature remain exposed to nitrate outflow from the upper groundwater even though recent years have seen an overall decrease in nitrate concentrations compared with previous peak concentrations. We refer to the monitoring reports on nature and surface water (NOVANA website, 2013) for further information.

Phosphorus

For the past two years, traditional phosphorus analysis focusing exclusively on the total phosphorus content has been supplemented by a specific ortho-phosphate analysis. Ortho-phosphate is an inorganic phosphorus substance found in water. This improves the opportunities to compare groundwater and surface water as surface water has always been analysed for both ortho-phosphate and total phosphorus.

Surprisingly, results show that the ortho-phosphate content of the groundwater is seemingly independent of both depth and of the redox conditions of the aquifers. In oxic groundwater, the majority of the phosphorus is ortho-phosphate. Conversely, the high total phosphorus content seen in reduced groundwater compared with oxidised groundwater seems to be organically bound phosphorus. The results from 2012 show that results from 2011 are reproducible and the associations established now therefore rest on firmer evidence.

The above described association for "organic phosphorus" was also found in LOOP data where "organic phosphorus" also comprises a smaller share of total phosphorus under oxidised conditions than under reduced conditions in the groundwater. Furthermore, the distribution of ortho-phosphate concentrations is the same for oxidised as for reduced groundwater samples.

With regard to the groundwater's effect on surface water, there is a considerable need to investigate the chemical composition of the so-called "organic phosphor" contribution so that we may assess how this fraction contributes to transport of matter and to eutrophication.

Groundwater monitoring in agricultural catchment monitoring areas (LOOP)

In LOOP, the uppermost layer of groundwater is monitored, primarily from 1 to 6 m below the surface. In the 2010 report (Thorling et al., 2010a), a statistical analysis was performed of the development of the nitrate concentration in the upper groundwater during the 1990-2009 period. Results demonstrated a significant decrease in nitrate content for 59% of monitoring points. However, in some filters in the upper part of the aquifers (approx. 13%) of the LOOP, the nitrate content had increased significantly.

In 2010, an assessment was performed of the net of monitoring stations of the groundwater section of the LOOP. To follow up on the conclusions from the assessment, optimisation of field work has been a focus area, particularly with regard to oxygen measurements to ensure that it is possible to assess which wells are suitable for monitoring of nitrate leaching. Despite the difficult technical conditions associated with sampling – including limited water quantities – field oxygen measurements are now performed in all LOOP areas. This constitutes an essential improvement of LOOP sampling. Findings show that oxic groundwater (water type A) suitable for monitoring of nitrate leaching is sampled from 14-85% of the monitoring point of the five LOOP areas.

Inorganic trace elements

A series of inorganic trace elements are present in Danish groundwater in concentrations exceeding the drinking water requirement's threshold values. Some of these concentrations occur naturally while others are caused by human activity.

In line with previous years, the results of the 2012 analysis show that the content of inorganic trace elements in groundwater abstracted from a number of wells exceed the threshold values of the drinking water requirement. This applies, in particular, to: arsenic, nickel, aluminium and boron. This places extra demands on the waterworks' pumping strategy and water treatment as standard water treatment including oxidation or neutralisation of acidic water can remove part of these substances. With regard to arsenic, it has been established that some older data are inaccurate. This influences the assessment of developments over time, including if the drinking water requirements are being fulfilled. Values exceeding those established in the

drinking water requirement for one or more of the relevant substances were found in 34% of the GRUMO monitoring points and in 14% of the monitoring points of the Waterworks' Well Monitoring Programme.

The first set of analyses of inorganic trace elements in the redox wells - special monitoring wells with a large number of closely spaced groundwater monitoring points - show that the content of trace elements is generally very low, but that acidification of the groundwater, oxidation of sulphide minerals and the purposes for which land is used can lead to increases in the concentrations causing the drinking water requirements to be exceeded. Abrupt changes of the groundwater's age and content of trace elements associated with depth changes indicate that a heterogeneous groundwater flow pattern is reflected in trace element variations.

Organic micro-pollution

Both the Groundwater Monitoring Programme and the Waterworks' Well Monitoring Programme have reported a number of organic micro-pollutions reflecting that in a modern industrialised society where a broad range of xenobiotic substances are used, spillage of limited quantities occur frequently which is then followed by seepage into the groundwater.

Monitoring data show an overall trend characterised by low concentrations, few recurrent high measurements and recurrences which span over a limited number of years only. Conversely, prolonged values exceeding the drinking water requirement in some wells show that massive pollution persists once it has occurred, and that pollutants can affect even deep aquifers.

In 2012, a considerable number of analyses were made to test for "dry-cleaning" substances and their metabolites at several waterworks, and it was established that these substances comprise a problem for the waterworks in a number of municipalities.

A far more modest number of analyses were made to test for oil and oil-based products. In 24% of the analysed wells findings of one or more substance exceeded 75% of the drinking water quality requirement..

Pesticides in groundwater monitoring

Pesticides remain highly prevalent in groundwater. In 2012, groundwater monitoring identified pesticides in 42% of monitoring points, and the drinking water requirement of 0.1 µg/l was exceeded in 12% of monitoring points. Particularly the upper aquifers carry pesticides and their metabolites, whereas the pesticide abundance of deeper and older groundwater is lower.

Pesticides may be divided into three groups: approved, regulated and banned. In this context, regulated pesticides comprise approved substances which have been subjected to additional restrictions with a view to protecting the groundwater. The analysis programme comprises a total of 31 substances, including 21 substances associated with banned pesticides, whereas five are from regulated and five from approved pesticides. In 2012, approved substances were found in 1% of the sampled monitoring points, while regulated substances were identified in 6% of monitoring points and banned substances in 39%. A total of 7% of the findings are thus associated with substances which are still being used. Pesticide analyses from the past six years show that approx. 1/5 of pesticide findings are due to approved and regulated substances, while 4/5 are caused by banned substances.

Time series based on select pesticides in the groundwater generally display decreasing concentrations of banned and regulated substances, whereas data are insufficient for assessment of the development of approved substances such as glyphosate and its metabolite, AMPA.

Specifically, the detection frequencies for glyphosate and AMPA in 2012 were 0.9% and 1.0%, respectively (both 0.3% for detection above the drinking water requirement's threshold value), which is in line with values previously observed in the Groundwater Monitoring Programme.

In the remaining groundwater, the share of water in which pesticides exceed the drinking water requirement has followed a decreasing trend in recent years. Simultaneously, the number of findings of pesticides exceeding the drinking water requirement in the deeper groundwater is increasing. Concurrently, an increased frequency of monitoring points with pesticides at concentrations below the drinking water requirement is seen at depths of up to 50 meters below the surface. This may be explained by reduced washout from the root zone and the upper soil layers. Even though there are signs of a reduced impact in the upper groundwater, a pulse of pesticides washed out many years ago is moving ever deeper into the aquifers. Results demonstrate that tighter regulation of the use of pesticides can now be traced in the upper and younger groundwater. The distribution also indicates that the deeper groundwater, from which the waterworks abstract drinking water, may in future become more affected by this pulse of pesticides, which exceeds the drinking water requirement and is moving downwards through the aquifers.

In 2011 and 2012, analyses were performed for ten substances that had not previously formed part of the monitoring. The three primary substances, which were detected rather frequently – two of the substances also at levels exceeding the drinking water requirement – are metabolites of banned triazines; didealkyl hydroxyatrazine was found in 7.7% of the tested monitoring points in 2011-2012, of which the drinking water requirement was exceeded in approx. 1%. Deisopropyl hydroxyatrazine was found in 4.5% of monitoring points. The metabolite PPU from the banned pesticide rimsulfuron was detected in six of the 763 tested monitoring points; in all cases, however, at levels not exceeding the drinking water requirement. Three substances, two of which were approved, were found once at concentrations not exceeding the drinking water requirement, and one substance, hydroxy-terbutylazine, was detected in five monitoring points at levels not exceeding the drinking water requirement's threshold level of 0.1 µg/l. Two substances, including one approved, were not detected.

Pesticides in the Waterworks' Well Monitoring Programme

Over the past 5-10 years, the share of pesticide-affected active abstraction wells has stabilised just below 25%. In 2012, pesticides were detected in 24% of the sampled abstraction wells, while the quality requirement of 0.1 µg/l for individual substances was exceeded in 4.0% of the wells. The results are comparable to the findings observed around 2004, when pesticides were detected in 26% of the abstraction wells, including 4.5% above the threshold values of the drinking water requirement. BAM remains the most frequently detected substance and was found in 17.7% of the tested abstraction wells in 2012.

As from January 2012, the analysis programme of the Waterworks' Well Monitoring Programme for pesticides was changed. This monitoring now includes tests for 18 additional substances which were, among others, found in the GRUMO or detected by the Danish Pesticide Leaching Assessment Programme. One of these new substances is DEIA, an Atrazine metabolite, which was found in 2.4% of the samples analysed in 2012, while the remaining sub-

stances were detected in 1% or fewer of the tested water samples. Only few of the findings exceeded the drinking water requirement. The relatively few findings of the new substances in the Waterworks' Well Monitoring Programme may be owed to the fact that the waterworks have closed abstraction wells where triazine metabolites and BAM had previously been detected, as these substances are often detected in the same wells.

In previous year's groundwater monitoring reports, it has been documented that the largest number of pesticides is found in active water work wells in argillaceous areas and close to large towns, particularly where BAM has previously been detected.

Abstraction of water

In Denmark, the total quantity of abstracted water (not including irrigation) has followed a decreasing trend from 1989 onwards, but since 2009 it has remained constant at an annual water abstraction of 500 to 550 million m³.

The previously observed decreasing trend in the abstraction reported by public waterworks has ceased to exist, as approximately 400 million m³/year has been abstracted since 2007.

Abstraction data show an increase in irrigation over recent years, probably because of very low precipitation rates in the spring and early summer. Irrigation comprises 20-40% of the total abstraction depending on inter-annual variations in precipitation rates.

Registration of the abstracted quantities of water is an important parameter for an accurate reporting of the national water balance, and these data are therefore indispensable as a basis for the risk assessment related to the groundwater resources made as part of the water plans. To facilitate a thorough and professional assessment of the exploitation of the available freshwater resource, it is essential that municipalities continue efforts to ensure that the quantities of abstracted water are reported in due time to the joint public database JUPITER, when at all possible. Reporting from the municipalities improves continually, but it is nevertheless essential that some municipalities implement quality assurance measures and follow up on the reports and on any recommendations given in order to avoid incorrect reporting.

The National Groundwater Level Monitoring Programme

2007 saw the establishment of the National Groundwater Level Monitoring Programme, the objective of which was to monitor the Danish groundwater table. The collected data are to facilitate national monitoring of changes in the groundwater level caused by climate change, changes in land use or water abstraction changes. Several of the selected monitoring stations had already contributed with groundwater table measurement to local or regional water level measurement programmes for many years, and it is therefore possible to present time series covering the past 40 or more years for terrain-near as well as regional and deep groundwater bodies. In these time series, the effect of dry periods, e.g. the period around 1996, are evident. Variations in the groundwater level of up to several meters are observed due to variations in the weather.

This year's report has focused on the assessment of the quality and the content of each individual groundwater level data series and on filtering out nationally representative time series.

2 Indledning

Det nationale overvågningsprogram, NOVANA

Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af det nationale overvågningsprogram af vand og natur: NOVANA. De nationale overvågningsprogrammer blev oprindeligt iværksat som en konsekvens af vedtagelsen af Vandmiljøplan I i 1987, og havde dengang to hovedformål: For det første, at gennemføre effektmålinger af Vandmiljøplanerne og de generelle landbrugsreguleringer i forhold til vandmiljøets belastning med kvælstof og fosfor. Formålet og overvågningsdesignet er i den nuværende programperiode 2011-2015 tilpasset kravene til grundvandsovervågning i EU's Vandrammedirektiv og Grundvandsdirektiv, og der er blandt andet øget fokus på at beskrive kvaliteten af det grundvand, der strømmer til de danske ferske vande og vådområder (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011).

Vandrammedirektivet, der trådte i kraft i 2000, har blandt andet til formål at sikre progressiv reduktion af forureningen af grundvand og forhindre yderligere forurening heraf (EU, 2000). Bestræbelserne på at nå direktivets miljømål er beskrevet i Vandplanerne. Planerne skal blandt andet indeholde

- en beskrivelse af vanddistriktet, herunder en vurdering af grundvandets sårbarhed
- en oversigt over den menneskelige påvirkning af vandområderne
- en vurdering af menneskelige aktiviteter indflydelse på vandmiljøet
- en redegørelse for vandmiljøovervågningen og resultaterne af denne
- en sammenfatning af de indsatsprogrammer, der skal sikre opfyldelse af miljømålene.

Det forrige NOVANA program løb i perioden 2004-2009, med yderligere et års forlængelse i 2010, som en slags overgangsår. En mindre midtvejsjustering blev gennemført med effekt fra 2007. Denne justering indebærer et formaliseret program for overvågning af grundvandets kvantitative tilstand i form af det Nationale Pejleprogram. Et kort over pejlenettet er vist på figur 54 i kapitel 9.

En lang række love, bekendtgørelser, direktiver o. lign. fra Danmark og EU ligger til grund for overvågningen og vandforvaltningen. Et relevant udvalg af disse kan findes i litteraturlisten under dette kapitel. Her henvises også til en række relevante hjemmesider, hvor yderligere oplysninger kan findes.

Grundvandsovervågning, GRUMO

Grundvandsovervågningen var oprindeligt udformet med det formål at give et generelt billede af grundvandets tilstand i en række udvalgte oplande, for dermed at opnå et landsdækkende repræsentativt overblik. Fokus var dengang, hovedsageligt at følge udviklingen i grundvandsressourcens kvalitet og størrelse, for også i fremtiden at kunne sikre Danmarks befolkning drikkevand af god kvalitet.

I dag er formålet tillige at give "et sammenhængende og omfattende overblik over grundvandet kemiske tilstand i hvert vandløbsopland" med hovedvægten på at beskrive forureningstilstanden jf. EU's Vandrammedirektiv. Bl.a. af den grund er prøvetagningsstrategien ændret siden 2004 for at fokusere på de borer, hvor tidligere målinger viser, der er størst sandsynlighed for at finde en samfundsmæssig påvirkning, herunder forurening med pesticider og deres nedbrydningsprodukter. Vandrammedirektivets krav til prøvetagningsfrekvens i overvågnings-

programmerne afhænger af grundvandsforekomsternes tilstandsvurdering (risikoanalysen) og er forskellig for grundvandsforekomster i god tilstand og grundvandsforekomster med ringe tilstand. Overvågningsprogrammet har derudover til opgave at tilvejebringe data, som kan belyse tilstandsvurderingens pålidelighed (EU, 2000, annek 5).

Indtag i boringer med lille påvirkning overvåges med en lavere prøvetagningsfrekvens, den såkaldte "kontrolovervågning". Denne finder sted i grundvandsforekomster med god tilstand, hvor det er godtgjort, at der ikke er mulighed for påvirkninger, som kan medføre en stigende koncentration af forurenende stoffer og skal – som navnet siger – kontrollere, at den gode tilstand fortsat er tilstede. Kontrolovervågning skal udføres 1 gang for hver planperiode, dvs. en gang hvert 6. år. Ændringerne af overvågningsstrategien, og de deraf følgende ændringer i stationsnettet, medfører, at det i dag kun er muligt at følge den tidsmæssige udvikling over længere perioder på indtagsniveau, eller i den enkelte programperiode. Overvågningen af den generelle udvikling og tilstand på landsplan bliver samtidig behæftet med en større usikkerhed.

Grundvandsovervågning, stationsnet for vandkvalitet

Grundvandsovervågningen bestod oprindeligt af 73 grundvandsovervågningsområder som i årene op til strukturreformen i 2007 blev udbygget til at omfatte ca. 1400 almindelige overvågningsindtag. Derudover var der fra programmets start 112 ganske korte indtag i en række multifilterboringer til overvågning af grundvandets hovedbestanddele i Rabis Bæk området. Sidst i 1990'erne oprettedes yderligere 89 meget korte indtag i fem multifilterboringer kaldet "redoxboringer". Endelig blev stationsnettet i 2002-2004 og igen 2007-2009 suppleret med en række terrænnære indtag, for at forbedre overvågningen af det yngste grundvand.

Et stabilt overvågningsnetværk er forudsætningen for at gennemføre en overvågning, hvor der etableres tidsserier af høj kvalitet, der beskriver såvel den aktuelle miljøtilstand og som effekterne af de samfundsmæssige påvirkninger, herunder indsatsplaner mv. Dette hensyn er tilgodeset gennem opretholdelsen af en kerne af faste boringer i programmet. Derudover bliver det samlede stationsnet løbende justeret af hensyn til skiftende overvågningsbehov, som beskrevet nedenfor.

Det samlede stationsnet 1989-2012 er vist på figur 1, opdelt på grundvandsovervågningsområder, landovervågningsområder og enkeltstående boringer.

Siden 2007 har overvågningen fundet sted i 65 overvågningsområder med i alt ca. 1.250 indtag, medregnet 112 i Rabis Bæk området og 89 indtag i redoxboringerne. En række overvågningsområder har været hvilende siden 2007, men bevares i beredskab. De tidligere overvågede indtag sløjfes ikke, bortset fra de tilfælde hvor boringens fysiske tilstand udgør en risiko for forurening af grundvandet. Eksempelvis er redoxboringen i Udby hvilende, da der er sket en forbigående forurening under etableringen.

Kvaliteten af det helt nydannede grundvand under landbrugsarealer overvåges som en del af grundvandsovervågningen i fem landovervågningsoplande, LOOP, i ca. 100 indtag, som ligger 1½-6 m u.t., se figur 1. Overvågningen fokuserer på næringsstofferne, nitrat og fosfat, men omfattede før 2005 også uorganiske sporstoffer og pesticider.

Der har samlet været godt 2000 indtag involveret i overvågningsprogrammets overvågning af grundvandets kvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2012.



Figur 1. Stationsnet for Grundvandsovervågningen i Danmark i hele perioden 1989-2012. Det omfatter vandanalyser fra 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO) og 5 landovervågningsoplande (LOOP) vist med stednavne. En række af disse GRUMO har ikke været aktive siden 2007. Endelig er siden 2007 der indsamlet vandprøver fra 122 enkeltstående boringer uden for overvågningsområderne.

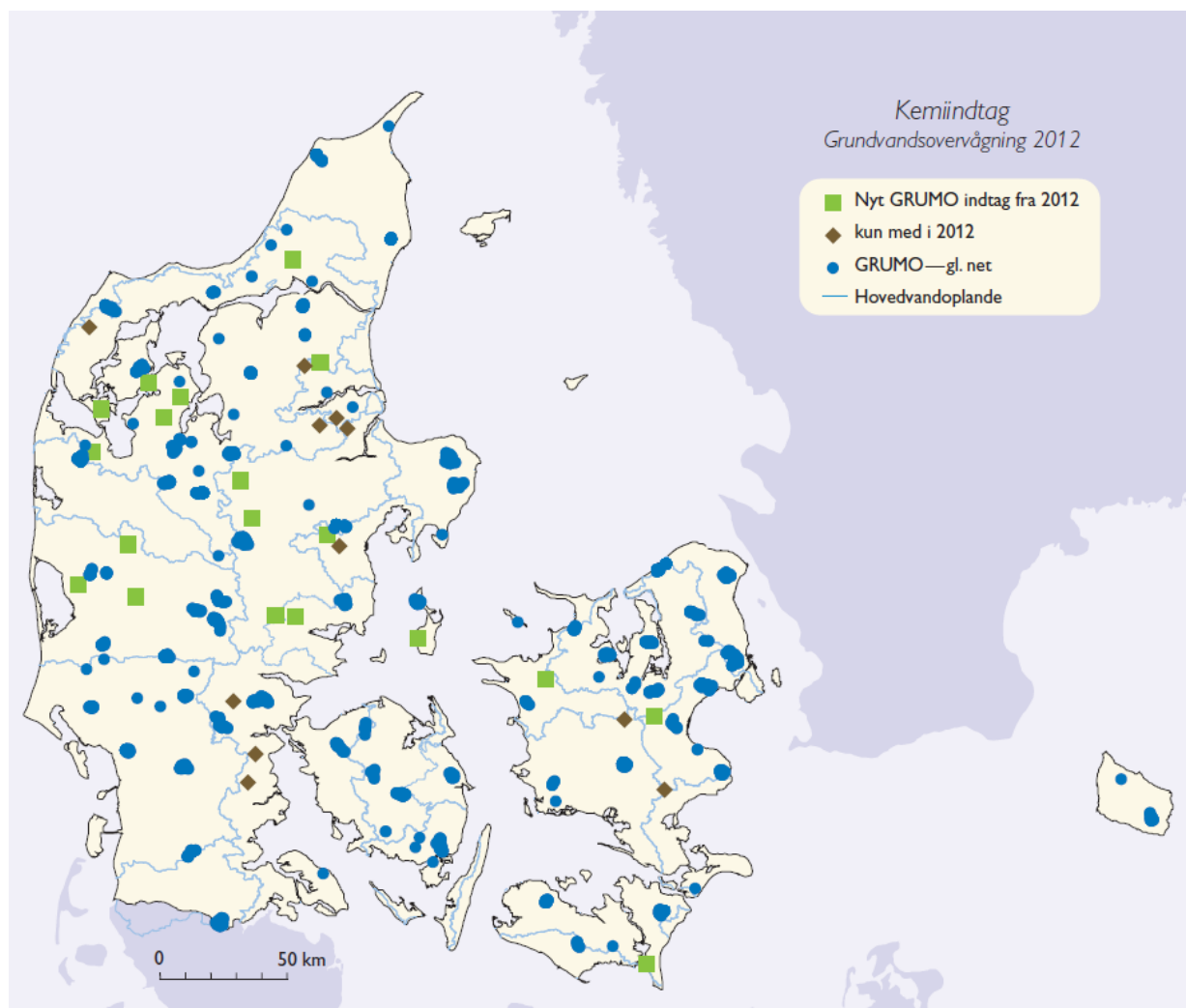
Udbygning af stationsnet, vandkvalitet 2011-2015

I 2011-15 udbygges det faste stationsnet med en række enkeltstående boringer med indtag i grundvandsforekomster i risiko (jf. vandplanerne) og i grundvandsforekomster hvor der tidligere har været ingen eller utilstrækkelig/ikke repræsentativ overvågning. I den forbindelse er der i første omgang udvalgt relevante indtag fra kortlægningsboringer fra den Nationale Grundvandskortlægning. (Se grundvandskortlægningens hjemmeside).

I forlængelse heraf blev 261 indtag, der var aktive indtil 2010 hvilende, dvs. der udtages ikke prøver fra indtagene i programperioden 2011-15. Der er tale om indtag i dybere grundvandsforekomster med lille eller ingen påvirkning af nitrat, pesticider eller andre miljøfremmede stoffer. Samtidig er det også indtag, hvor vandkvaliteten kun langsomt ændres, og over den hidtidige overvågningsperiode har været stabil for nitrat, klorid, sulfat og pH. Viden om vandkvaliteten i disse indtag har betydning for at kunne danne et mere repræsentativt billede af grundvandets samlede kvalitet, og resultaterne herfra kan anvendes til etablering af konceptuelle modeller

for grundvandets sårbarhed i vandplanerne, selv når der kun udtages prøver hvert 10. år eller sjældnere.

Figur 2 viser stationsnettet for overvågningen af grundvandets kemiske tilstand i 2012. Nye permanente enkeltstående overvågningsboringer er fremhævet med grønt, mens nye indtag, der overvåges i 2012, men ikke indgår fremover er vist med brunt. Der blev udtaget vandprøver fra i alt 903 indtag til grundvandsovervågning, heraf 822 indtag fordelt på 65 GRUMO områder og 81 indtag fra det nye distribuerede stationsnet fra 2011-12, hvoraf 11 dog har vist sig uegnet til fortsat overvågning. Endvidere er der analyser fra i 91 indtag i LOOP.



Figur 2. Det anvendte stationsnettet i 2012 for vandanalyser til grundvandsovervågningen. Overvågning af grundvandets kvalitet, fandt sted dels i indtag fra det gamle stationsnet (blå), og i en række boringer, der for første gang er inddraget i 2012. De grønne skal fremover indgå permanent i overvågningsprogrammet, mens de brune er fundet uegnede og udgår.

Figur 3a viser lokaliseringen af boringsindtag, der siden starten af denne programperiode i 2011, er blevet prøvetaget med henblik på inddragelse i stationsnettet. Der har i 2011-12 været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra grundvandskortlægningen. De kommende år vil der i højere grad blive etableret helt nye boringer for at dække de resterende overvågningsbehov i grundvandsforekomsterne.

I forbindelse med etablering af det nye stationsnet er det imidlertid ikke alle boringer, der søges inddraget, der efterfølgende viser sig egnede til overvågningsformål. Nogle boringer finder ikke den påvirkning som iflg. risikovurderingen i vandplanerne skulle optræde i området. Andre boringer kan af tekniske grunde vise sig uegnede til videre overvågning, fx ved at have lav ydelse eller for lange indtag. Figur 3b viser lokaliseringen af samtlige boringer, der har været prøvetaget i forbindelse med udbygningen af stationsnettet i 2012. Med grønt er vist de boringer, der fortsat skal indgå i overvågningen, mens der med rødt er vist boringer, der efterfølgende er opgivet.



Figur 3a. Samtlige overvågningsindtag, undersøgt i 2011-2012 som led i udbygningen af et mere distribueret stationsnet for GRUMO. Indtagene har ikke alle vist sig egnede til fortsat prøvetagning og deraf taget af stationsnettet igen.



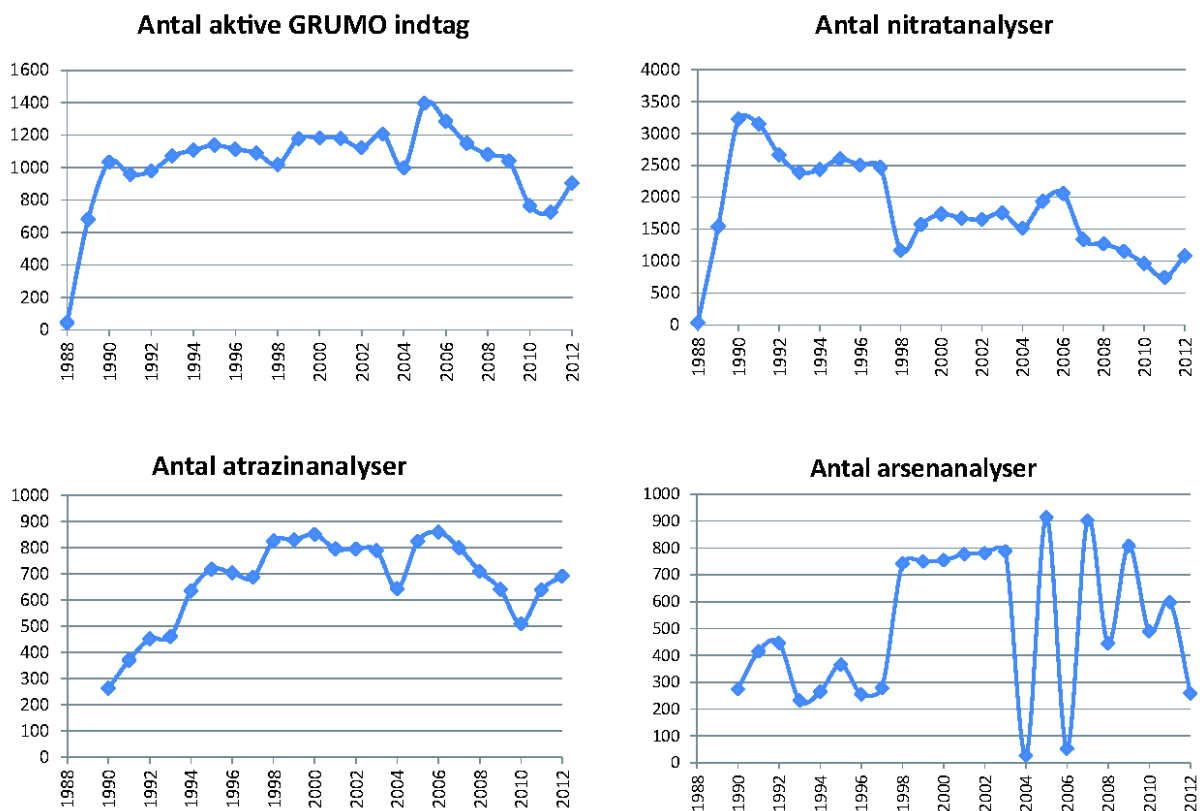
Figur 3b. Overvågningsindtag, etableret i 2012 som led i udbygningen af et mere distribueret stationsnet for GRUMO, hvorfra der er udtaget vandprøver. Grønne indtag er egnede til fortsat overvågning, mens røde indtag er opgivet.

Analyseindsats og grundvandskvalitet

Gennem hele overvågningen har grundvandskvaliteten været overvåget med fokus på 4 stofgrupper: hovedbestanddele, uorganiske sporstoffer, pesticider og organiske mikroforureninger. Figur 4 viser hvor stort et datamateriale, der er til rådighed for rapporteringen med udgangspunkt i antallet af aktive GRUMO indtag samt antal analyser for nitrat, atrazin og arsen.

De tre udvalgte stoffer har gennem hele programperioden indgået i analysepakkerne for hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, og viser således analyseomfanget for disse stofgrupper. Det fremgår af figur 4, at mens der har været et fald i omfanget af analyser for nitrat og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider og sporstoffer ligget mere konstant i hele overvågningsperioden. Faldet i antallet af nitratanalyser pr. år er især begrundet i, at analysefrekvensen for hovedbestanddele er faldet gennem tiden, mens analysefrekvensen for pesticider til sammenligning ikke har varieret så meget. Bemærk, hvorledes der atter udtages flere prøver for nitrat og atrazin i 2012, som udtryk for at etableringen af det nye distribuerede stationsnet begynder at tage form.

Omlægningen af stationsnettet, som beskrevet ovenfor, fremgår også af antallet af aktive GRUMO indtag, idet der er en stigning omkring 2004 og derefter et faldende antal indtag efter 2006. Denne udvikling vendte i 2011, og i løbet af programperioden (2011-2015) vil der etableres 2-300 nye indtag i områder med grundvandsforekomster med udækkede overvågningsbehov.



Figur 4. Analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2012. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

Det Nationale Pejleprogram

Det Nationale Pejleprogram gennemføres pr. 1. jan 2013 for i alt 211 indtag, se kapitel 9 og figur 54. Her overvåges grundvandets potentialeforhold med faste dataloggere, der giver daglige målinger af grundvandsstanden. Pejleprogrammet bliver i denne programperiode (2011-15) tilpasset de overvågningsbehov, der er identificeret i Vandplanerne, således at stationsnettet udbygges med nye indtag i grundvandsforekomster med ringe kvantitativ tilstand. Der har i 2012 dog primært været fokus på udbygning med stationer til overvågning af vandkvalitet, se figur 3. I 2012 er 71 nye pejlestationer etableret.

Vandværkernes indvindingsboringer

I Miljøministeriets bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (MiM, 2011) har der siden 1989 været stillet krav om overvågning af kvaliteten af det grundvand, vandværkerne indvinder. Boringskontrollen (MST, 1990, 1997 og MiM, 2011) som den kaldes, gennemføres og finansieres af vandværkerne. Hyppigheden af boringskontrollanalyser i aktive indvindingsboringer afhænger af det pågældende vandværks drikkevandsproduktion med prø-

vetagninger hhv. hvert 5. år til hvert 3. år. Boringskontrollen udføres over tid for en skiftende mængde boringer, idet nye indvindingsboringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager som fx tekniske problemer eller at råvandet indeholder nitrat, pesticider mv. over drikkevandskravene. Dermed sikres løbende den bedst mulige drikkevandskvalitet for forbrugerne, men uden at det er udtryk for en tilsvarende løbende forbedret grundvandskvalitet. I 2005 fandtes ca. 2.600 almene vandforsyninger (DANVA, 2006) med omkring 10.000 tilknyttede boringer. Heraf bliver data indberettet til JUPITER fra ca. 8.000 boringer. Der har de seneste mange årtier været en udvikling mod færre vandværker i Danmark, se kapitel 8.

For at beskrive kvaliteten af det vand, der på et givet tidspunkt anvendes til drikkevandsformål, er det nødvendigt at vide hvilke indvindingsboringer, der til enhver tid er i drift. Der er endnu ikke i Danmark et samlet overblik over, hvor mange og hvilke vandværker, der er aktive. Derfor er der ingen oplysninger i JUPITER om hvilke af vandværkernes boringer, der er i drift hvornår.

De aktive indvindingsboringer identificeres til nærværende rapportering på grundlag af blandt andet en kode for prøveformål, som laboratorierne angiver for hver analyseret vandprøve, der indberettes til databasen. Det er derfor af stor betydning, at samtlige disse data er indberettet rettidigt og korrekt, for at de kan indgå i den årlige rapportering.

Et forbedret overblik over hvilke vandværksboringer, der er aktive, forventes etableret i de kommende år, som følge af en ny Bekendtgørelse, der kræver indberetning af boringernes anvendelse, (MiM, 2012).

Kommunerne vedligeholder de administrative oplysninger om vandværkerne i den fællesoffentlige database, JUPITER. Det formodes, at boringernes status er ajourført i et rimeligt omfang. Når der i denne rapport derfor gives status for vandkvaliteten på aktive vandværker, forventes det, at datamaterialet kun i begrænset omfang inddrager analyser fra vandværker, der ikke længere er aktive. På samme måde forventes datamaterialet kun i begrænset grad at repræsentere oplysninger fra boringer, der er tilknyttet vandværker, hvorfra der ikke indvindes grundvand til drikkevandsproduktion. Det kan fx være vandværkets overvågningsboringer eller pejleboringer, hvor der har været et behov for at kende vandkvaliteten.

Andre analyser

Analyser fra boringer, som ikke stammer fra aktive vandværker eller aktive overvågningsboringer fra NOVANA-programmet, er i rapporteringerne fra overvågningen kategoriseret som "andre analyser", og denne kategori vil typisk indeholde data fra undersøgelsesboringer, pejleboringer, private boringer og brønde, afværgeboringer, lukkede indvindingsboringer mv. I takt med at grundvandsanalyser fra regionernes forureningsundersøgelser lægges i JUPITER kan der forventes flere og flere data herfra i dette datasæt.

Oppumpede vandmængder

Data for indvinding af grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. Indberetning af data for oppumpede vandmængder fra vandværker, virksomheder og landbrugets markvanding mv. er fundamental for vurderingen af grundvandsressourcens bæredygtighed. Risikovurderingerne for grundvandets kvantitative tilstand kan kun gennemføres, i det omfang man kender de faktiske påvirkninger fra vandindvindingen. Manglende viden kan bl.a. medføre, at den korrekte årsag til manglende målopfyldelse ikke identificeres, hvorved der heller ikke kan udarbejdes hensigtsmæssige handleplaner.

Alle indvindere skal indberette oppumpede vandmængder til kommunen, der efterfølgende indlæser data i JUPITER. Kvaliteten af disse data er afhængig af, at de enkelte boringsejere indberetter korrekt og rettidigt til kommunen. I de første år efter kommunalreformen var der en betydelig forringelse af datakvaliteten for oppumpede vandmængder i en del kommuner, se kap. 8. Dette gælder ikke alene, hvad angår omfanget af markvanding, hvor der i nogle områder er en formodning om, at der ikke er en tilfredsstillende indberetning af den faktiske indvinding, men også for de almene vandforsyninger, hvor uregelmæssig indberetning fra flere kommuner gør det vanskeligt at vurdere udviklingen i vandforbruget på såvel national som regional og lokal skala. De sidste par år er der indtrådt en gradvis forbedring af datagrundlaget, herunder også efterindberetning og opretning af tidligere utilstrækkelige data i mange kommuner.

Anden overvågning af grundvandet

Kendte punktkilder som forurenede grunde og lossepladser overvåges i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteres årligt af Miljøstyrelsen (MST, 2012a). Denne overvågning knyttes såvel til oprydninger som kortlægning af jordforureninger. Dertil kommer overvågning af forurenende virksomheder som lossepladser mv. Mere information kan fås på Videnscenter for jordforurening (Hjemmesiden for jordforurening). Data herfra bliver kun i mindre omfang indberettet til JUPITER i dag, det gælder såvel vandanalyser som boringsoplysninger.

Data, der indsamles som led i overvågning og undersøgelser af kendte større punktkilder, og som efterfølgende er indlæst i JUPITER, er så vidt muligt søgt adskilt fra de data, der indgår i denne rapportering, en del af data indgår dog i datasættet "Andre Analyser".

Rapportering

Hvert år siden 1989 har GEUS udarbejdet en landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen (se grundvandsovervågningens hjemmeside). Siden 2005, der var det første rapporteringsår for NOVANA programmet, har der været tale om en indikatorbaseret rapportering, hvor en række indikatorer opdateres hvert år. Dette vil typisk være en række faste figurer eller tabeller. Med udgangspunkt heri suppleres der med relevante figurer og diskussioner. Nogle emner, som fx grundvandets indhold af fosfor eller sporstoffer, medtages kun i udvalgte år. Endelig kan forskellige temaer være uddybet enkelte år, enten som et selvstændigt fokuspunkt eller som en grundigere bearbejdning af de faste emner. Denne rapport bygger på data indsamlet til og med 2012. Rapporten udkommer udelukkende elektronisk.

Datagrundlag

Årets rapportering bygger på de data, Naturstyrelsen (indtil udgangen af 2006 amterne) har indsamlet, samt data fra vandværkernes boringskontrol og kommunernes indberetning af oppumpede vandmængder. Indberetningen af vandanalyser fra såvel grundvandsovervågningen som Boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af de udførende analyselaboratorier direkte til JUPITER databasen (JUPITER hjemmesiden). Efterfølgende godkender kommunerne eller Naturstyrelsen data, før de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen. Det er GEUS' vurdering, at denne godkendelse i nogle kommuner sjældent indebærer en egentlig faglig kvalitetskontrol.

Det vurderes, at datagrundlaget for de kemiske analyser i dette års rapportering er stort set komplet.

Med hensyn til oppumpede vandmængder fra de almene vandforsyninger har otte kommuner ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2012 rettidigt. Samlet set vurderes der på den baggrund alene at mangle indberetning af omkring 16 mio. m³ for 2012. Det bemærkes også, at 5 kommuner fortsat mangler at indberette indvindingsdata for vandværkerne for 2006.

Referencer, indledning

Dansk lovgivning mv.

By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010

Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009 af Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)

Miljøministeriet, 2010: LBK nr. 635 af 07/06/2010 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)

Miljøministeriet, 2011a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900, 17. august 2011. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2012: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1277 af 12. december 2012. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøstyrelsen, 1990: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.

Miljøstyrelsen, 1997: Boringskontrol på vandværker. - Vejledning fra Miljøstyrelsen 2/1997.

Miljøstyrelsen, 2005: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 2005.

Miljøstyrelsen, 2012a: Redegørelse om jordforurening 2010. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 1, 2012.

EU direktiver.

Nitratdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF

Drikkevandsdirektivet: Europaparlamentets og Rådets direktiv nr. 98/83/EF

Vandrammedirektivet: Europa-Parlamentets og rådets direktiv 2000/60/EF

Grundvandsdirektivet: Europa-Parlamentets og rådets direktiv 2006/118/EF

Analysekvalitetsdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2009/90/EF

Andre henvisninger:

DANVA 2006: Vandstatistik. Drikkevand og spildevand 2005.

DMU, 2007: NOVANA – det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/865F26DE-5C14-4439-9943-339A647FAEC4/121155/NOVANA_2del.pdf (5-11-13)

Qevauviller, P., 2005: Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs. J. environmental monitoring, 2005, vol 7 pp89-102.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Relevante hjemmesider og links

Grundvandskortlægningens hjemmeside: www.Grundvandskortlaegning.dk (19.10.2013)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.10.2013)

Jordforurening, hjemmeside, www.jordforurening.info (19.10.2013)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.10.2013)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

NOVANA modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (19.10.2013)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10..2013)

3 Grundvandets alder

Relevans af datering

Tolkning af udviklingstendenser i vandkvaliteten er vanskelig, for ikke at sige umulig uden kendskab til grundvandets alder i de enkelte indtag. Grundvandets alder er et udtryk for grundvandets opholdstid eller strømningstid. Datering af grundvandet i de enkelte overvågningsindtag er derfor et meget nyttigt redskab, når effekter af ændret landbrugspraksis på nitratudvaskningen skal dokumenteres. Samtidig kan datering af grundvandet bruges til at demonstrere, at det er lykkedes at udbygge overvågningen med flere indtag i relativt ungt grundvand i de seneste år. (Thorling mfl., 2009, Hansen et al, 2011). Det samme gælder effektmålinger på pesticidreguleringen de sidste 15 år, hvilket dog er en vanskeligere opgave, idet pesticiderne i højere grad vekselvirker med sedimenterne, gennem nedbrydning og sorption i et langt mere komplekst mønster end nitrat.

I forbindelse med udbygning af det distribuerede stationsnet, se kapitel 2, er der et fornyet behov for datering af de enkelte indtag. Ligeledes er der behov for en gentagen datering i specielt de iltede indtag, se kapitel 4. De nye dateringer foretages med tritium/helium metoden, da CFC-metoden ikke længere er anvendelig til datering af ungt grundvand, idet CFC indholdet i atmosfæren nu falder, som følge af Montreal Protokollen i 1987, om beskyttelse af ozonlaget gennem reduktion af CFC-udslip. De første 45 prøver til tritium/helium datering blev udtaget i 2012. Resultaterne foreligger ikke i skrivende stund, da metoden har analysetider på ca. ½ år.

Tritiumdatering

Grundvandets alder har altid været en meget vigtig parameter for tolkningen af de data, der indsamles i forbindelse med grundvandsovervågningen. I overvågningens første år (1990-95) blev der indsamlet data for tritium: ^3H . Store mængder tritium blev frigivet til atmosfæren i forbindelse med brintbombespængninger i 1950'erne og 1960'erne. Dette tritium blev sammen med naturligt dannet tritium indbygget i nedbørens vandmolekyler, og en grov datering af grundvandet var mulig.

Det vigtigste resultat af tritiumdateringen af grundvandet i overvågningsområderne var, at grundvandet i overvågningsindtagene blev opdelt i ungt og gammelt grundvand. Det gamle grundvand er defineret som alt grundvand dannet før ca. 1950, det unge grundvand som dannet efter ca. 1955, hvilket i 1995, hvor disse data var indsamlet, svarede til en alder på ca. 40 år. Dette er en rimelig opdeling set ud fra en geologisk betragtning, da opholdstiden i mange grundvandsmagasiner kan være flere hundrede år (Hinsby, 2008). Opdelingen er også rimelig ud fra en vandkvalitetsmæssig synsvinkel, da der siden 1950'erne har været en stor påvirkning af grundvandets kvalitet med nitrat og pesticider fra landbruget, og med miljøfremmede stoffer og pesticider i byområder.

Denne opdeling i ungt og gammelt grundvand ift. Ca. 1955 er imidlertid ikke særlig hensigtsmæssig, når effekten af vandmiljøplanerne fra 1980'erne og frem skal vurderes, og sprogbruken omkring ungt grundvand kan da også virke forvirrende på de, der overvejende har fokus på den del af vandkredsløbet, som finder sted i det ferske overfladevand.

Tritium/helium datering

Tritium/helium datering tager udgangspunkt i nedbørens naturlige indhold af tritium og henfaldet til helium i grundvandet. Ved at måle forholdet mellem de to isotoper ^4He og ^3He samt indholdet af ^3H (tritium), er det muligt at beregne, hvornår nedbøren faldt. Analysen af isotoperne er tidskrævende og tager op imod $\frac{1}{2}$ år, mens prøvetagningen i modsætning til CFC (se nedenfor) er relativ enkel. Der kræves dog boringsindtag med en vis minimumsydelse, før der er tilstrækkelig god prøvetagningskvalitet. I takt med at CFC metoden ikke længere er anvendelig til datering af det yngste grundvand, vil grundvandet i overvågningsprogrammet blive dateret med Tritium/Helium metoden, og de første 45 prøver er udtaget i efteråret 2012.

CFC-datering

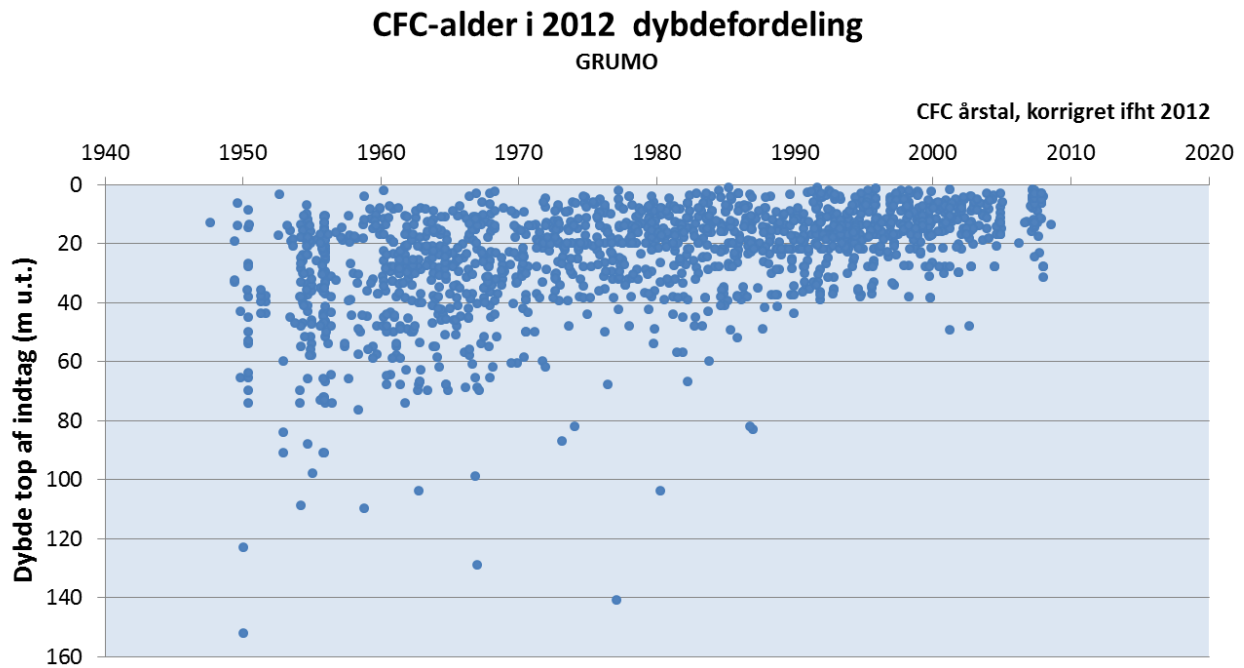
CFC-forbindelserne, også kaldet freoner, er kemisk meget stabile, og derfor er indholdet i atmosfæren steget markant, siden produktionen af disse stoffer begyndte i 1930'erne. CFC opløses i regnvandet således, at nedbørens indhold af CFC hele tiden er i ligevægt med atmosfærens stigende CFC-indhold. CFC-forbindelserne ender i grundvandet via nedbøren, hvor CFC-indholdet i det nydannede grundvand hvert år er steget siden 1930'erne og indtil ca. 2000, hvor stofferne blev udfaset. I dag er indholdet svagt stigende eller faldende for de forskellige freonforbindelser, og CFC metoden er derfor ikke egnet til datering af grundvand dattet efter ca. 2000. Da CFC forbindelserne kun i begrænset omfang nedbrydes i grundvandet, har det CFC-påvirkede grundvand bredt sig langs strømlinjerne i grundvandet, og prøver udtaget i dag kan derfor sige noget om, hvornår dette grundvand sidst var i kontakt med atmosfæren, dvs. hvornår faldt nedbøren, der infiltrerede og blev til grundvand (Laier og Thorling, 2005).

CFC-datering i overvågningsboringerne er udført fra 1996 og frem til ca. 2005. De fleste indtag er blot analyseret for CFC-forbindelser én gang, men for en række indtag er der udført gentagne analyser og produceret egentlige tidsserier, der for de fleste indtag viser, at alderen, dvs. strømningstiden fra grundvandsspejl til indtag, er konstant i det overvågede grundvand. I enkelte indtag ses store udsving i alderen, og her er alderen formentlig påvirket af varierende strømningforhold, der opstår når grundvandsspejlet varierer mellem tørre og våde perioder (Laier og Thorling, 2005).

CFC dateringen muliggør opdeling af grundvandet i relevante aldersklasser, og til denne rapportering anvendes aldersgrupperne 0 -15 år, 15 – 25 år og 25 – 50 år.

Tilstand og udvikling

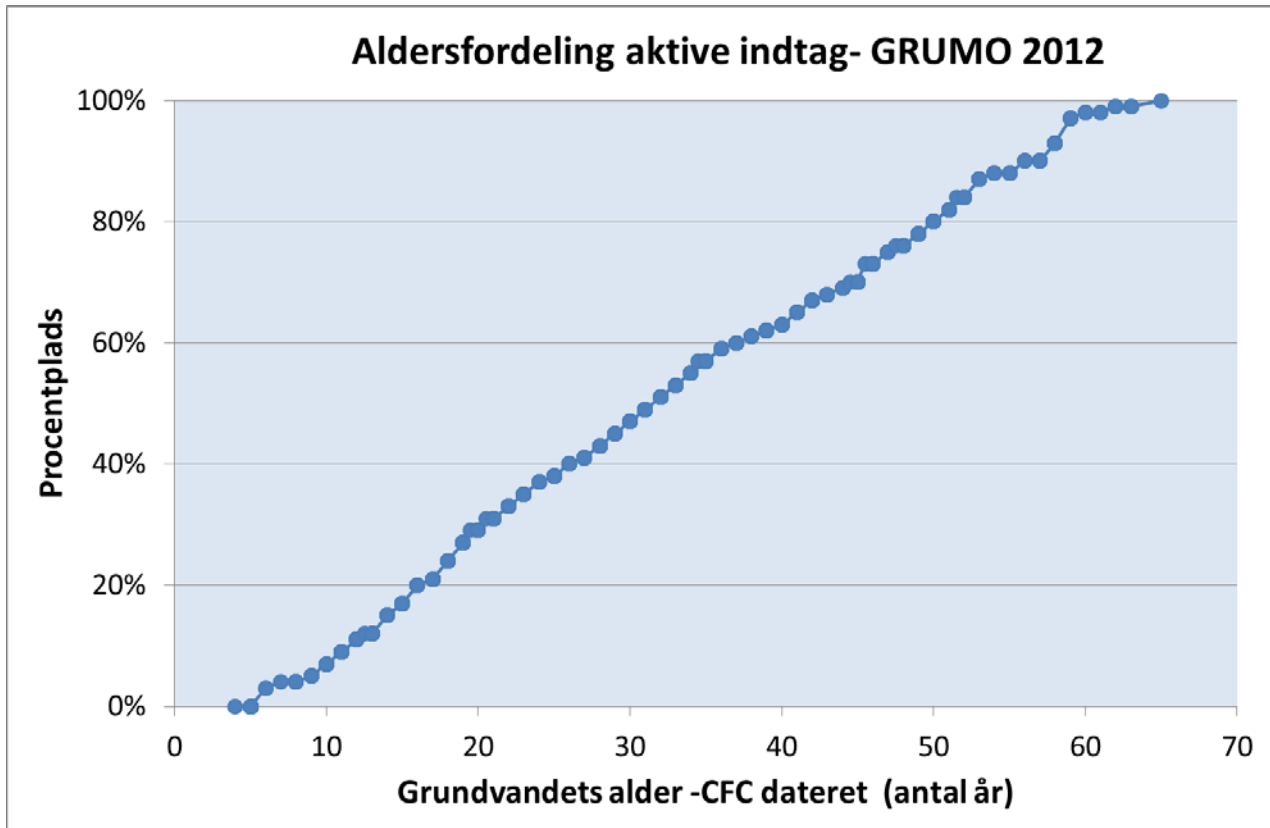
Figur 5 viser CFC-årstal for hvert indtag i grundvandsovervågningsprogrammet som funktion af dybden. Det fremgår af figuren, at der i de øverste 40 m optræder grundvand med meget forskelligt dannelsesstidspunkt og dermed alder, og at der selv i de øverste 20 m ikke er nogen sammenhæng mellem dybde og alder, når alle indtag sammenlignes fra både iltede, anoxiske og reducerede zoner. Årsagen hertil er forskelle i grundvandsdannelse, hydrauliske barrierer og andre hydrologiske forskelle. I udstrømningsområder med opadrettet gradient, kan der træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terræn. Det skal dog bemærkes at gennemsnitsalderen falder med dybden, da der er en mindre og mindre andel af ungt vand jo dybere man kommer.



Figur 5. Aldersfordelingen i 2012 for grundvandets dannelsesår, udtrykt ved CFC-årstal for overvågningsindtag som funktion af dybden til indtagstop (m u.t.). Beregnet ud fra målt CFC årstal korrigeret for forskel mellem prøvetagningsår og 2012.

Detektionsgrænsen for CFC-årstal er 1940, men når der korrigeres for den tid, der er gået siden prøven blev udtaget til 2012, vil detektionsgrænsen for dette datasæt ligge omkring 1950, da der er gået ca. 10 år siden prøverne blev udtaget.

I 2012 er det 25 år siden, vandmiljøplanerne blev iværksat. Figur 6 viser, at omkring 40 % af de daterede aktive indtag i 2012, har en alder på under 25 år, og dermed indeholder grundvand, der i dag direkte kan vise mulige eventuelle effekter af vandmiljøplanerne på grundvandets kvalitet. I kapitel 4 er disse data anvendt til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på grundvandets indhold af nitrat.



Figur 6. Aldersfordelingen for grundvandets dannelsesår, udtrykt ved CFC-alderen for de daterede overvågningsindtag, der var aktive i 2012.

Referencer, datering

- Hinsby, K., Purtschert, R., Edmunds, W.M., 2008: Groundwater age and quality. In P. Quevauviller (ed.), Groundwater Science and Policy - an International Overview. RSC Publishing, The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 217-39.
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L. 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (5-11-13)
- Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

4 Hovedbestanddele

I overvågningsprogrammet for grundvand og i vandværkernes boringskontrol af grundvandskvaliteten i indvindingsboringerne analyseres der for en lang række uorganiske stoffer, som typisk er til stede i koncentrationer, der kan måles i mg/l. Disse kaldes grundvandets hovedbestanddele. Tabel 1 viser de parametre, der indgår i overvågningen af grundvandet i NOVANA-programmet for GRUMO-boringer (herunder redoxboringerne), LOOP samt vandværkernes boringskontrol.

Grundvandets hovedbestanddele	GRUMO	LOOP	Redox-boringer	Boringskontrol
Aggressiv kuldioxid	-	-	-	X
Ammonium	X	X	-	X
Calcium	X	*	-	X
Fluorid	-	-	-	X
Hydrogenkarbonat	X	*	-	X
Jern	X	*	*	X
Kalium	X	*	*	X
Klorid	X	X	*	X
Magnesium	X	*	-	X
Mangan	X	*	*	X
Natrium	X	*	-	X
Nitrat	X	X	*	X
Nitrit	X	X	*	X
NVOC	X	*	-	X
orthofosfat (PO4-P)	X	X	-	-
Sulfat	X	X	*	X
Total fosfor	X	X	-	X
Feltmålinger:	X	a)		X
pH	X	X	*	X
eh (redoxpotentiale)	X	X	*	-
Ledningsevne	X	X	*	X
Ilt	X	X	*	X
Temperatur	X	X	*	X

a) Feltmålinger i LOOP udføres i den udstrækning det er praktisk muligt.
 * Udtages kun hvert 3. år
 - Parameteren analyseres ikke i det pågældende program

Tabel 1. Analyseprogrammer for NOVANA overvågningsprogrammer for grundvand, samt vandværkernes boringskontrol.

Overvågning af hovedbestanddele i GRUMO og LOOP omfatter i nuværende programperiode (2011-2015) følgende stoffer: nitrat, nitrit, ammonium, calcium, magnesium, natrium, kalium, hydrogenkarbonat, klorid, sulfat, jern, mangan, NVOC, total fosfor og orthofosfat-P. I den forrige programperiode (2007-2010) blev der tillige analyseret for aggressiv kuldioxid, mens orthofosfat-P er en ny parameter, der ikke tidligere har indgået i overvågningsprogrammet. I LOOP analyseres for de samme stoffer samt for totalt kvælstof, og analyseprogrammet er uændret i ft. tidligere programperioder. Overvågning af redoxboringerne sker ikke længere hvert år. Da de blev prøvetaget i 2012, rapporteres de i år.

I vandværkernes indvindingsboringer analyseres hovedbestanddele med en analysepakke kaldet "Boringskontrol" (MiM, 2011). Analyseprogrammet for gruppen "andre boringer" varierer afhængigt af formålet med boringen og vandprøven, se kapitel 2.

Ved udtagning af grundvandsprøver i overvågningen udføres der online feltmålinger for pH, ledningsevne, redoxpotentiale, ilt og temperatur, med det formål at sikre en god analysekvalitet og en repræsentativ grundvandsprøve. Disse analyser udføres for alle GRUMO-prøver og for LOOP-prøver i det omfang, det er teknisk er muligt.

Analysefrekvensen i GRUMO varierer mellem de forskellige typer af boringer og koncentrationsniveauet af nitrat, fra en gang i programperioden til én gang årligt. I LOOP analyseres der mere intensivt med op til 6 prøvetagninger om året. Analysehyppigheden af boringskontrollen i indvindingsboringerne afhænger af indvindingsmængden på vandværket og varierer mellem hvert 3. år ($\geq 1,5$ mio. m^3 pr. år) og hvert 5. år (3.000 - 35.000 m^3 pr. år) (MiM, 2011). Analysefrekvensen for gruppen "andre boringer" afhænger af formålet med den enkelte boring.

I dette kapitel om grundvandets hovedbestanddele ligger fokus på analyse af udbredelsen og udviklingen i nitratindholdet i grundvandet. Dette skyldes det overordnede formål, som er at vurdere, i hvilket omfang indsatsen for at nedbringe udvaskningen af kvælstof fra landbruget har en målbar effekt på nitratkoncentrationerne i grundvandet. Derudover rapporteres der om tilstand og udvikling for fosfor. I år rapporteres for anden gang data for orthofosfat.

Vurderingen af grundvandets tilstand med hensyn til nitrat og fosfor kræver også viden om grundvandets øvrige hovedbestanddele som: ilt, nitrit, mangan, jern og sulfat, der kan give information om de processer, der finder sted i grundvandet. Disse parametre er inddraget efter behov i databehandlingen.

Nitrat i grundvand

Relevans af nitrat

Grundvandets nitratindhold stammer langt overvejende fra kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer. I grundvandsmagasinerne findes nitrat typisk i de øvre dele, og den største dybdemæssige udbredelse af nitrat kaldes nitratfronten. Der sker en naturlig nitratfjernelse over nitratfronten, idet nitrat bliver reduceret til frit kvælstof (N_2) eller lattergas (N_2O) af nitratreducerende faste stoffer som fx pyrit, organisk stof eller Fe(II), der er indlejret i sedimenterne. Dette sker i den anoxiske, nitratreducerende zone. Nitrat i grundvand kan ved udstrømning til overfladevandsforekomster bidrage til eutrofiering af vandmiljøet også ved koncentrationer under 50 mg/l. Grundvandets nitratpåvirkning af vandmiljøet afhænger af de lokale geokemiske og hydrogeologiske forhold samt nitratudvaskningen fra landbruget. I Danmark beskyttes drikkevandsressourcerne i forbindelse med indsatsplaner i de særlige drikkevandsområder. Udpegning af områder med særligt beskyttelsesbehov finder sted i forbindelse med den Nationale Grundvandskortlægning, hvor omkring 15 % af det danske areal er udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder (se Grundvandskortlægningens hjemmeside).

Nitrat i drikkevandet er uønsket, da det kan være sundhedsskadeligt på grund af omsætning til nitrit. Nitrat kan også reagere i kroppen med aminosyrer og danne kræftfremkaldende nitrosaminer.

Målsætning for nitrat

Indholdet af nitrat i drikkevand må ikke overstige 50 mg/l (MiM, 2011). Kvalitetskravet for grundvand er ifølge Grundvandsdirektivet ligeledes 50 mg/l (EU, 2006). I de danske vandplaner (se Vandplanernes hjemmeside) bruges Grundvandsdirektivets kvalitetskrav på 50 mg nitrat/l som grundvandets tærskelværdi. I følge Grundvandsdirektivet er det muligt at fastsætte en tærskelværdi for nitrat på mindre end 50 mg/l, hvis et overfladevandsområde eller grundvandsafhængigt terrestrisk økosystem vurderes at være i risiko for ikke at kunne opnå de fastsatte miljømål som følge af påvirkning med nitrat fra grundvandet (EU, 2006). Ifølge vandplanerne er der ikke vidensgrundlag for at gøre dette i Danmark.

Datagrundlag

Beskrivelsen af udviklingen i grundvandets nitratinhold bygger på data for perioden 1990-2012 fra alle analyserede indtag fra GRUMO, LOOP, boringskontrollen fra vandforsyningsboringer og fra gruppen "andre boringer", som er en restgruppe af bl.a. forskellige typer af undersøgelsesboringer og lukkede vandværksboringer. Der indgår et varierende antal indtag i de årlige rapporteringer, hvilket skyldes, at ikke alle indtag er analyseret kontinuert siden 1990, fx er overvågningsprogrammets stationsnet og prøvetagningsfrekvenser flere gange justeret, se kapitel 2, og vandværkernes indvindingsboringer udskiftes løbende.

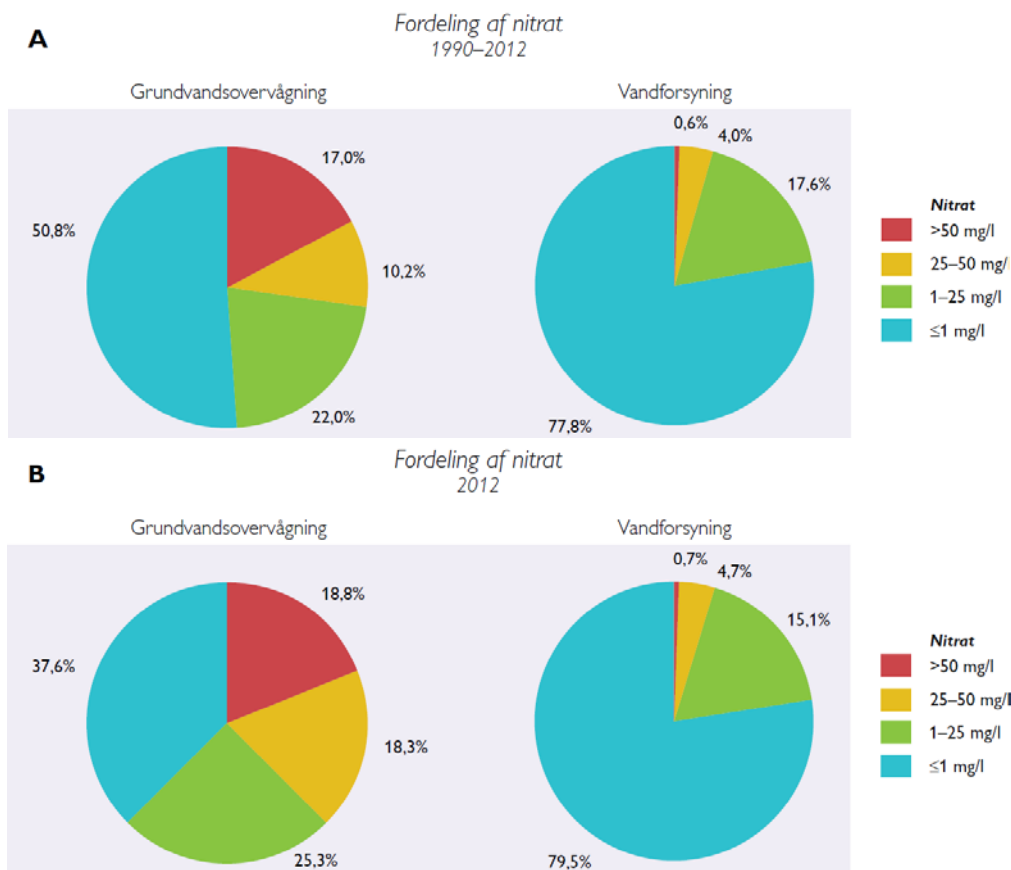
Tabel 2 viser antallet af nitratanalyser i GRUMO, LOOP, vandværkernes boringskontrol og "andre boringer". Det fremgår, at antallet af nitratanalyser i 2012 ligger højere i GRUMO og LOOP end i de to forgående år. Dette skyldes, at redoxboringerne er prøvetaget i 2010 og 2012, samt at prøvetagningen specielt i LOOP 6 er optimeret. Antal analyser for nitrat i "Boringskontrol" og "Andre boringer" ligger derimod lavere i 2012 end i 2010 og 2011.

Periode	GRUMO	LOOP	Boringskontrol	"Andre boringer"	I alt
2010	959	413	1686	1034	4092
2011	744	434	1804	1142	4124
2012	1087	514	1591	849	4041
1990-2012	42.840	16.630	33.833	40.979	134.282

Tabel 2. Antal nitratanalyser i grundvandsovervågning (GRUMO), Landovervågning (LOOP), vandværkernes boringskontrol i indvindingsboringer og fra "andre boringer". (Se også figur 4).

Fordeling af nitratinholdet i grundvandsovervågningen og i vandforsyningen

Figur 7 viser en oversigt over fordelingen af det gennemsnitlige nitratinhold pr. indtag i perioden 1990-2012 (A) og for 2012 (B) i grundvandsovervågningen og i vandværkernes indvindingsboringer. Samtlige indtag i grundvandsovervågningen er anvendt i figur 7A, også de der ikke længere er aktive. Det fremgår, at ca. 17-19 % af indtagene i grundvandsovervågningen har et gennemsnitligt nitratinhold over 50 mg/l, mens det for vandforsyningsboringerne blot er knap 1 %, både når data fra hele perioden og kun 2012 betragtes. Grundvandet betragtes som nitratholdigt, når nitratinholdet er > 1 mg/l.



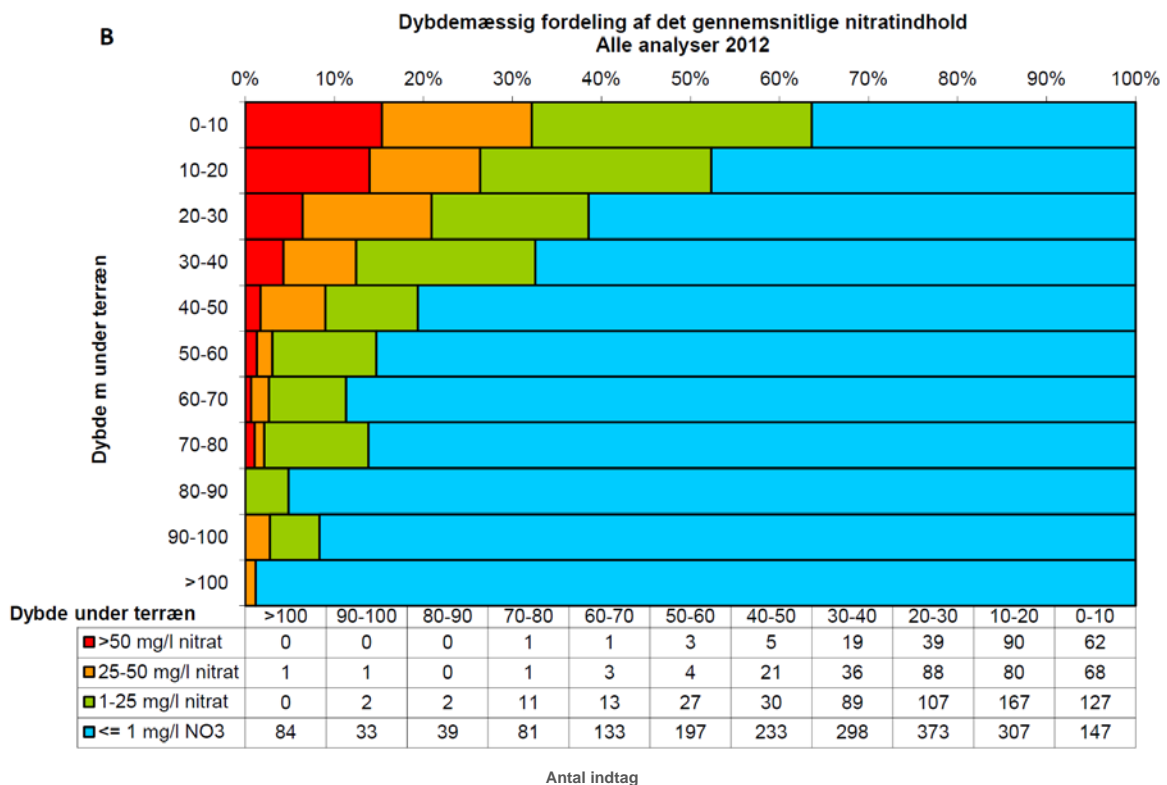
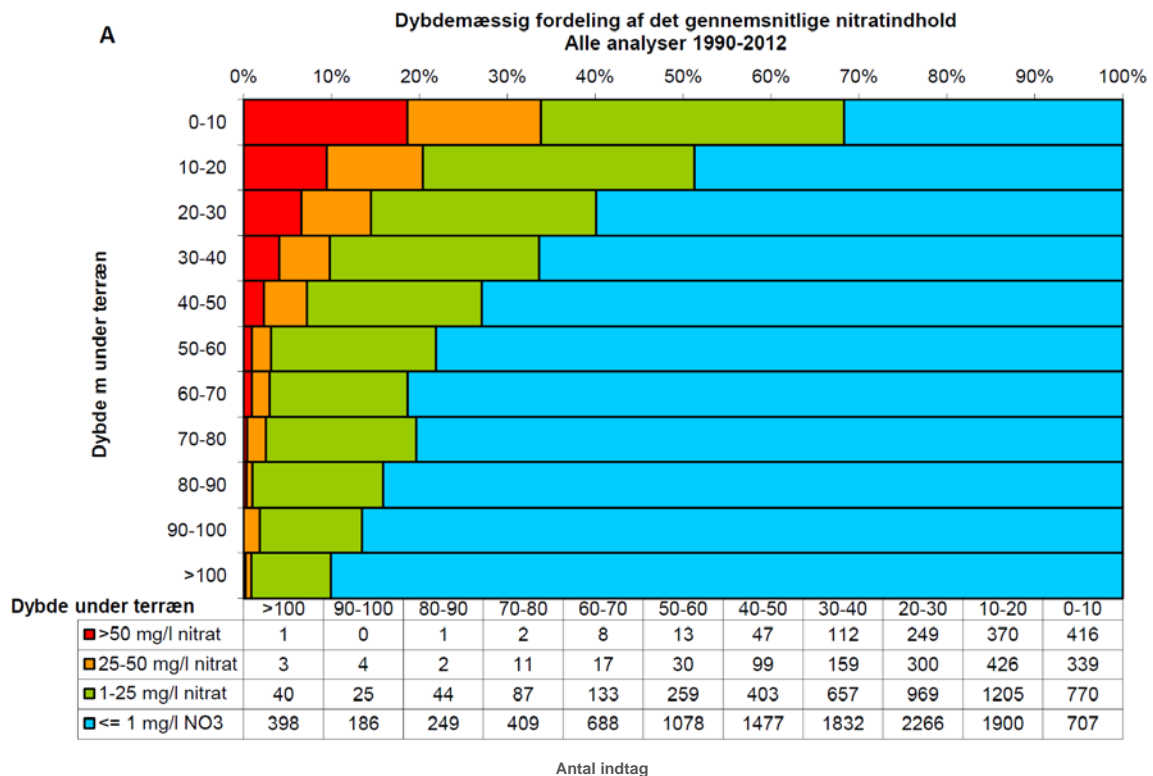
Figur 7. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag fra grundvands- overvågningen og i boringskontrollen i vandværkernes indvindingsboringer. Der er anvendt gennemsnitsværdier for nitrat pr. indtag for perioden 1990-2012 (A) og 2012 (B).

Den løbende justering af grundvandsovervågningen gennem overvågningsperioden med mere og mere fokus på ungt grundvand er årsag til, at der i denne programperiode 2011-15 monitoreres på flere nitratholdige indtag (ca. 62 % i 2012) end i gennemsnit for hele overvågningsperi- oden (ca. 49 % i 1990-2012). Andelen af indvindingsboringer med nitratholdigt grundvand er steget en smule fra 2011 til 2012, fra ca. 17 % til 21 %, angivet som det gennemsnitlige nitratin- dehold i hver boring.

Dybdemæssig fordeling af nitratindehold i alle typer boringer

Figur 8 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold, hvor der samti- dig er kendskab til indtagsdybden, for perioden 1990-2012 (A) og for 2012 (B). Fordelingen af nitratkoncentrationerne er opdelt i fire grupper (≤1, 1-25, 25-50 og >50 mg/l).

Der ses et gradvis fald med dybden i andelen af indtag med et nitratindehold over 25 mg/l. Grundvand med et indhold af nitrat over 25 mg/l findes hovedsageligt i de øverste 50 m af jordlagene. Den største hyppighed af høje nitratindehold findes, tættest på kilden, i de øverste 10 m af jordlagene, hvor nitratindeholdet er større end 1 mg/l i 68 % og over 50 mg/l i 19 % af indtagene, når hele perioden betragtes (Figur 8A). Figuren viser også, at der lokalt optræder nitrat i mere end 100 m u.t., ligesom der optræder nitratfrit grundvand i de øverste 10 m.



Figur 8. Dybdemæssig fordeling til top af indtag i m u.t. af det gennemsnitlige nitratindehold i A: 18.391 indtag analyseret i perioden 1990-2012 og B: 3023 indtag analyseret i 2012, for GRUMO, LOOP, boringskontrollen i vandværkernes indvindingsboringer og i 'Andre boringer'. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført i tabellen under figurerne.

Andelen af indtag med nitrat over 50 mg/l er højere i de øverste 0-10 m u.t. når data fra hele overvågningsperioden (figur 8A) sammenlignet med data fra 2012 (figur 8B). Derimod er den samlede andel af nitratpåvirkede indtag nogenlunde den samme. Der er imidlertid også tale om et langt mindre antal indtag i det enkelte år, hvorfor variationer fra det samlede billede er forventelige.

Nitrat i forskellige redoxzoner

Nitratindholdet i grundvandet er påvirket af en række faktorer, hvoraf de vigtigste for danske forhold er

- kvælstofudvaskningen fra arealanvendelsen (hovedsagelig ved dyrkning)
- nedbørsoverskuddet (nedbør minus fordampning)
- nitratomsætningen i grundvandsmagasinet (redoxforholdene)
- hydrogeologiske forhold (strømningsforhold).

Nitratindholdet i grundvandet skal altid vurderes i forhold til redoxforholdene, som styrer omsætningen af nitrat i grundvandet. Der er tradition for, at grundvandet inddeles i 4 redoxzoner, der normalt optræder i tiltagende dybde fra jordoverfladen, se tabel 3 (Hansen m.fl. 2009 & MST, 2000). Afhængig af datakvaliteten kan en række andre redoxfølsomme parametre understøtte afgrænsningen af vandtyperne, især jern, mangan, ammonium, metan og sulfid. Der er derfor igennem denne rapport brugt forskellige støtteparametre til at udsortere analyserne på de fire vandtyper afhængig af hvilke datasæt, der er anvendt.

Iltzonen er specielt karakteriseret ved, at den, ud over ilt, indeholder nitrat i koncentrationer, der svarer til udvaskningen fra rodzonen. Dybere nede i grundvandet findes den anoxiske nitratreducerende zone. I denne zone er nitrat under omsætning, og nitratkoncentrationerne er derfor lavere end den oprindelige udvaskning fra rodzonen. Det dybeste reducerede grundvand opdeles i den svagt og stærkt reducerede zone, hvor både ilt og nitrat er omsat, og grundvandskvaliteten i stadigt større grad er påvirket af lokale geokemiske og hydrogeologiske forhold.

Beskrivelse af grundvandet	Vandtype	Zone i magasinet	Kemiske karaktertræk i grundvandet
Iltholdigt/iltet	A	Iltzone	O ₂ >1mg/l
Anoxisk nitratholdig	B	Anoxisk nitratreducerende zone	NO ₃ >1 mg/l og O ₂ ≤1 mg/l
Svagt reduceret	C	Jern/Sulfat reducerende zone	NO ₃ ≤1 mg/l, O ₂ ≤1 mg/l og SO ₄ >20 mg/l
Stærkt reduceret	D	Metan zone	NO ₃ ≤1 mg/l, O ₂ ≤1 mg/l og SO ₄ ≤20 mg/l

Tabel 3. Vandtyper opdelt efter redoxforholdene i grundvandet (Hansen m.fl., 2009).

Nitratindhold – grundvandsovervågning: grundvandets iltzone

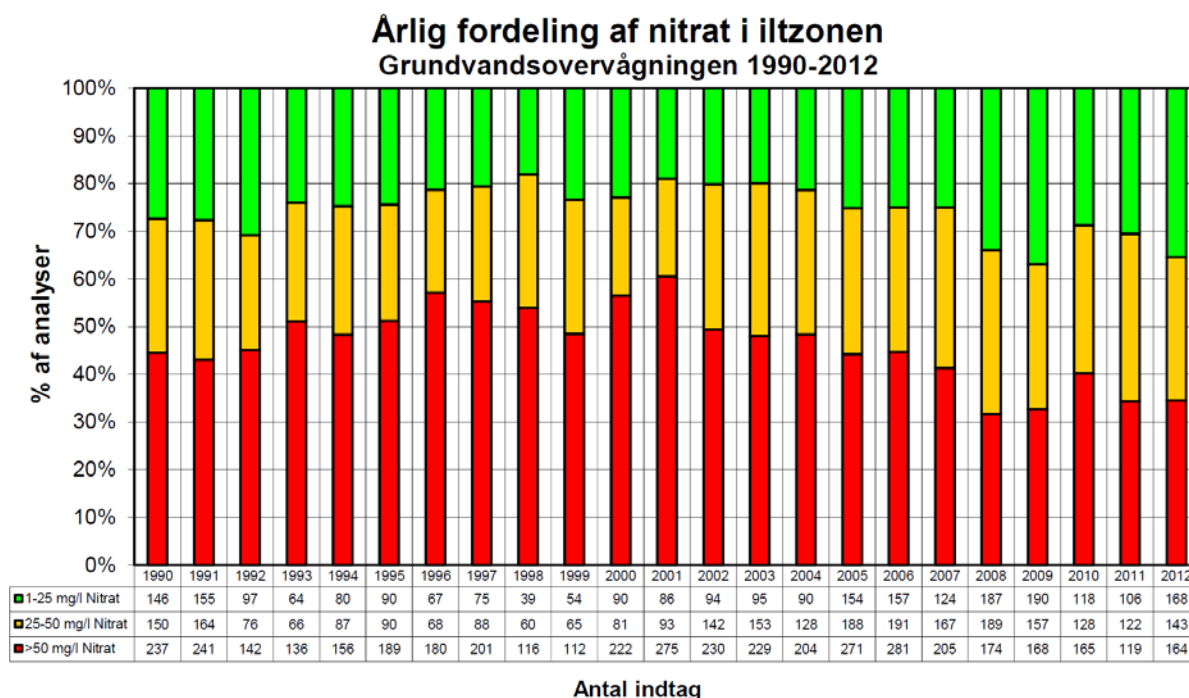
Datagrundlag

Til vurdering af udviklingen i nitratindholdet i det iltede grundvand er der anvendt data fra alle indtag i grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2012 med et ilt- og nitratindhold > 1 mg/l.

Der er i alt 9.739 nitratanalyser (gennemsnitværdier pr. indtag pr. år) fra iltet grundvand fra 1990-2012 med et nitratindhold >1 mg/l. Der er prøvetaget et større antal indtag (475) i iltet grundvand i 2012, end i de forgående 2 år (2011: 411 og 2010:347), jf. kapitel 2 om udbygning af stationsnettet.

Tilstand, udvikling og årsag

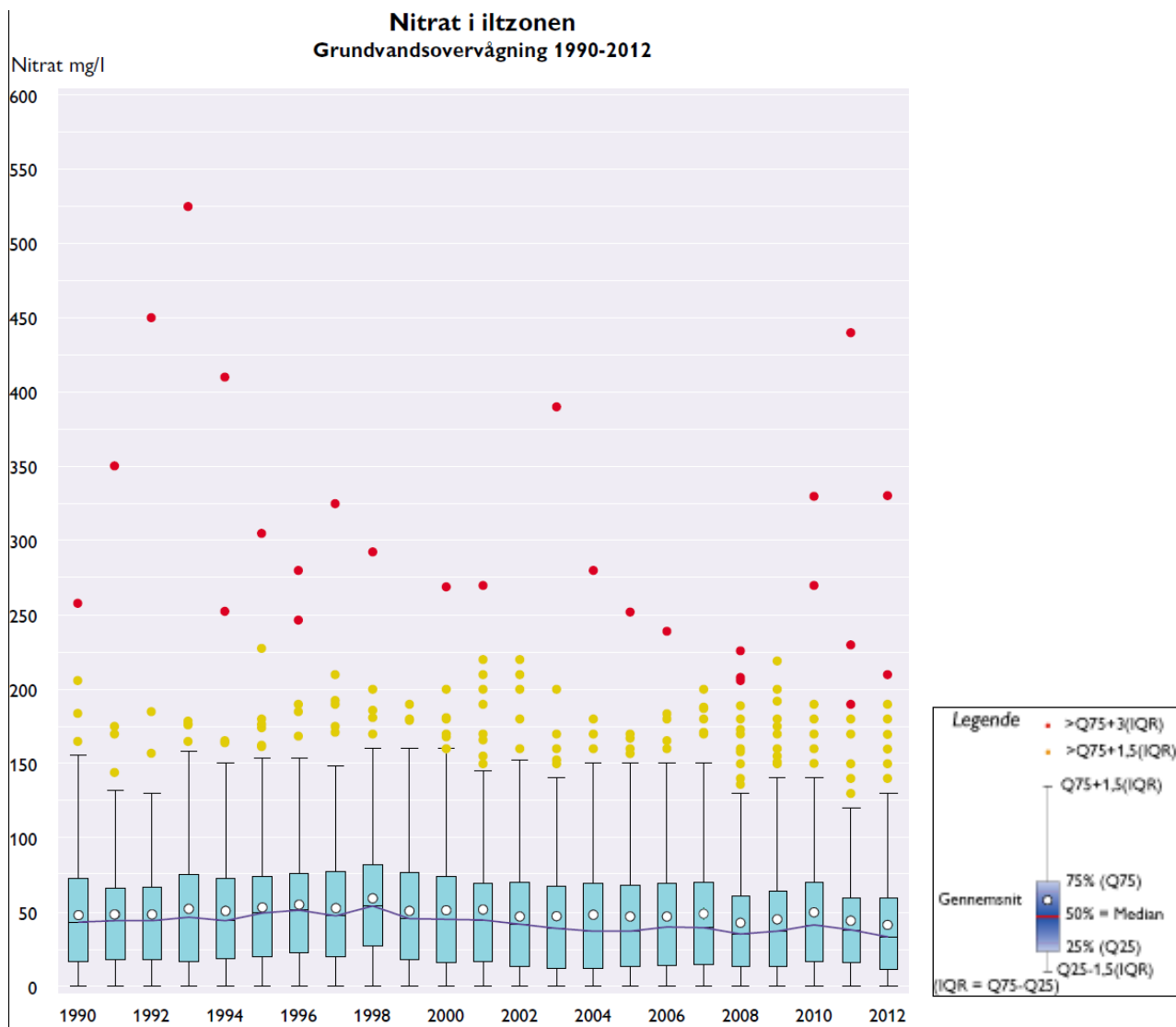
Figur 9 viser fordelingen af alle nitratanalyser fra det iltede grundvand i grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2012 fordelt på 3 klasser med nitrat (1-25, 25-50 og >50 mg/l).



Figur 9. Den procentvise fordeling af alle nitratanalyser (gennemsnit pr. indtag pr. år) fra iltet grundvand (med ilt >1 mg/l og nitrat >1 mg/l) fra perioden 1990-2012 i grundvandsovervågningen fordelt på 3 klasser (1-25, 25-50 og >50 mg/l nitrat). Antal analyser fra hvert år og klasse er anført i tabellen under figuren.

Der er en tydelig tendens til, at andelen af indtag fra det iltede grundvand fra grundvandsovervågningen med koncentrationer over 50 mg/l er aftagende, sådan at omkring 30-40 % af indtagene i de seneste år har et indhold over 50 mg/l, mod 50-60 % frem til 2001.

Figur 10 viser udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold, beskrevet ud fra alle analyser udført i perioden fra 1990 til 2012 som boksdiagrammer. Det iltede grundvands nitratindhold udviser alle år en stor spredning. Medianværdien for perioden 1990-2012 stiger jævnt frem til den højeste værdi i 1998 på ca. 54 mg/l nitrat, hvorpå den falder til et niveau på omkring 34-40 mg/l nitrat i 2005-2012. Gennemsnitsværdierne for nitrat falder fra ca. 60 mg/l i 1998 til ca. 41 mg/l i 2012. Nitratindholdet i det iltede grundvand i 2012 ligger for 25 % af indtagene over ca. 59 mg/l nitrat. Det højest målte nitratindhold i iltet grundvand varierer meget fra år til år i perioden 1990-2012. Den højeste målte værdi er på over 500 mg/l nitrat målt i 1993. Medianværdierne er generelt kun en smule mindre end gennemsnitsværdierne, hvilket skyldes, at der er fundet få meget høje koncentrationer af nitrat i iltet grundvand.



Figur 10. Udviklingen i iltet (ilt >1 mg/l) grundvands nitratindhold, GRUMO 1990 - 2012.

Nitratindhold i grundvand under landbrugsarealer – landovervågning

Datagrundlag

I landovervågningsområderne (LOOP) overvåges det allerøverste terrænnære grundvand under landbrugsarealer. Der udføres ca. 6 analyser pr. år i hvert af de ca. 20 aktive indtag i de 5 LOOP områder. Antallet af analyser i 2012 ligger på 514 analyser, hvilket er tilfredsstillende (se tabel 2), da nogle indtag ikke kan prøvetages hele året.

Tilstand, udvikling og årsager

Figur 11 viser årsnedbøren og det årlige gennemsnitlige nitratindhold i det øvre grundvand (1,5-6 m u.t) på sand- og lerområder i LOOP for perioden 1990-2012. Nedbøren er beregnet som et gennemsnit af DMI's 10x10 km nedbørsdata for de områder, hvori de enkelte LOOP ligger.

Tre LOOP områder er placeret i lerområder:

- LOOP 1, Højvads Rende Lolland
- LOOP 3, Horndrup Bæk Østjylland
- LOOP 4, Lille Bæk Fyn.

To LOOP områder er placeret i sandområder:

- LOOP 2, Oddebæk Nordjylland
- LOOP 6, Bolbro Bæk Sønderjylland.

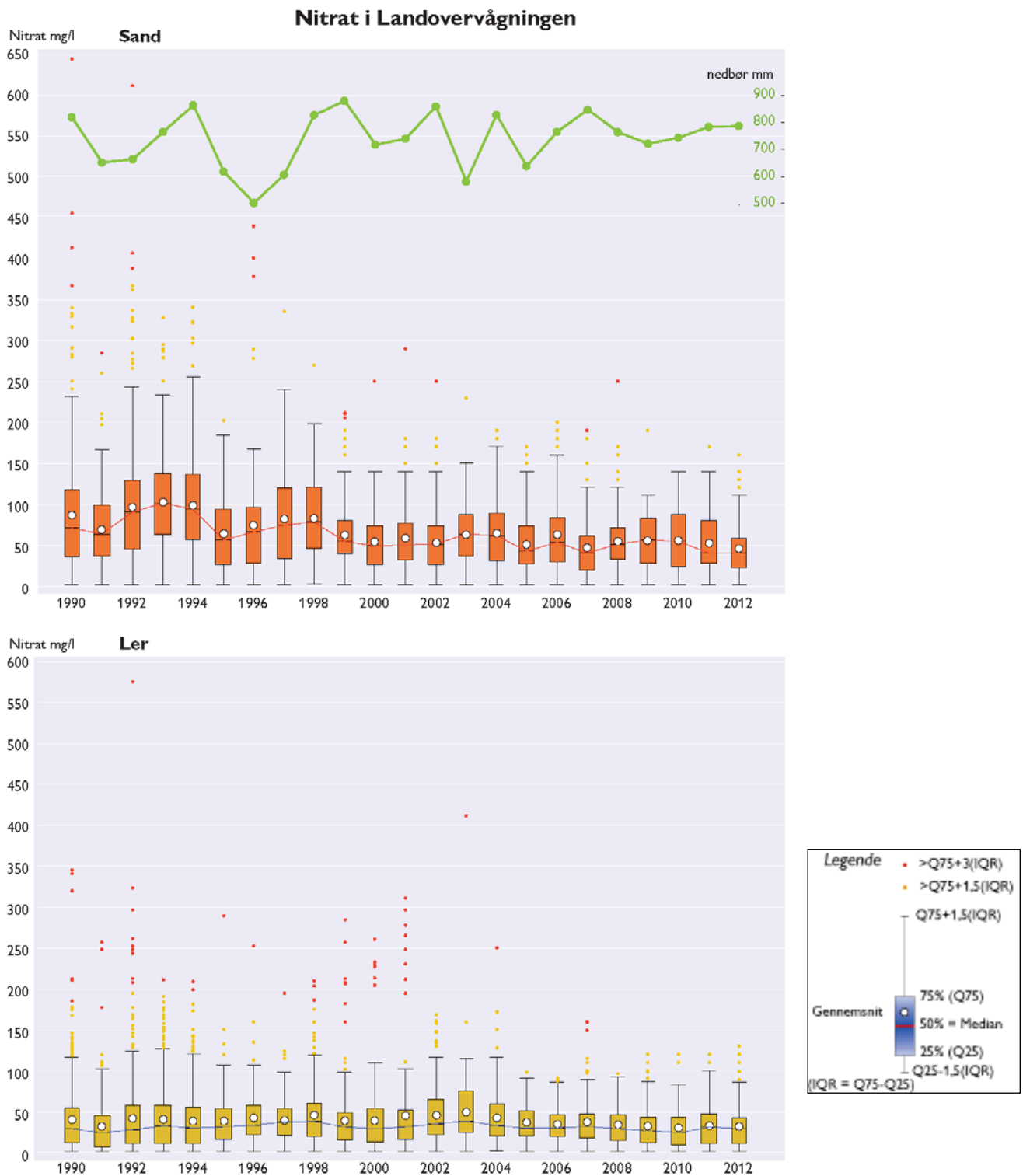
Under iltede forhold opfører nitrat opfører sig under rodzonen som et kemisk inert (ikke reaktivt) stof. Derfor er iltholdigt grundvand (vandtype A) særdeles velegnet til overvågning af nitratudvaskningen fra landbruget. Iltfrit grundvand med vandtypen B vil have et nitratindhold, som er lavere end nitratudvaskningen fra rodzonen på grund af omsætningen af nitrat. De reducerede grundvandstyper C og D er derimod nitratfrie, se tabel 3.

Egnetheden af grundvandsboringerne i LOOP til overvågning af nitratudvaskningen fra areal-anvendelsen afhænger dermed af redoxforholdene i grundvandsmagasinerne. Dette forhold er undersøgt nærmere i rapporten "Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP) 2010" (Hansen m.fl., 2010). I rapporten blev det konkluderet, at der var brug for en optimering af feltarbejdet i LOOP særligt i forhold til gennemførelse af iltmålinger, så grundvandet kan redoxkarakteriseres, og vandtypen bestemmes. Gennemgangen af data ved dette års rapportering viser, at der nu er udført iltmålinger i felten i alle LOOP områderne. Dog ligger detektionsgrænsen på målingerne højere end målinger i almindelige grundvandsboringer. Det skyldes, at der ved prøvetagningen normalt er utilstrækkeligt vand til at måle ilt i en flowcelle, jf. Teknisk Anvisning (Thorling, 2012b). Det vurderes dog, at iltmålinger ved prøvetagningen i felten i LOOP er meget vigtige at udføre i forhold til tolkning af fundene af nitrat. Resultaterne viser, at der i LOOP overvåges grundvand af vandtype A i 14 til 85 % af indtagene på lerjord (LOOP 1: 14 %, LOOP 3: 85 % og LOOP 4: 45 %) og i ca. 65 % af indtagene på sandjord (LOOP 2: 63 % og LOOP 6: 65 %).

Figur 11 viser, at der er stor spredning i de målte nitratkoncentrationer i både sand- og lerområderne. Generelt er der et højere nitratindhold i grundvandet i sandområderne end i lerområderne. Gennemsnitsværdierne for nitratindholdet i det øvre grundvand i sand- og lerjordsoplandene ligger lidt højere end medianværdierne, men har ellers et nogenlunde synkront forløb.

For perioden 1990-2012 er der i sandområderne et fald (fra ca. 100 til ca. 45 mg/l) i det øverste grundvands gennemsnitlige nitratindhold, når der alene ses på indtag med >1 mg/l nitrat. Faldet er størst frem til 2000, hvorpå ændringerne bliver små. Den højeste målte enkeltværdi i perioden er på 740 mg/l nitrat fra 1996.

For lerområderne ligger det gennemsnitlige nitratindhold for hele perioden 1990-2012 omkring 30-50 mg/l, og der er ikke et tilsvarende tydeligt fald i koncentrationsniveauet som i sandområderne, i indtag med >1 mg/l nitrat. Den højeste enkeltværdi i perioden er på 575 mg/l nitrat fra 1992. Gennemgangen af boringerne i Hansen m.fl. (2010) viste, at ca. 21 % af monitoringsboringerne i lerområderne efter reparationer i 2001, har skiftet fra nitratindholdige, vandtype A/B, til reducerede, vandtype C/D, idet tidligere forurening ved lækage og nedsivning langs installationer er ophørt. Eksklusion af disse data fra datasættet har ingen signifikant betydning for udviklingen i det gennemsnitlige nitratindhold for lerjordsoplandene i LOOP vist i figur 11.



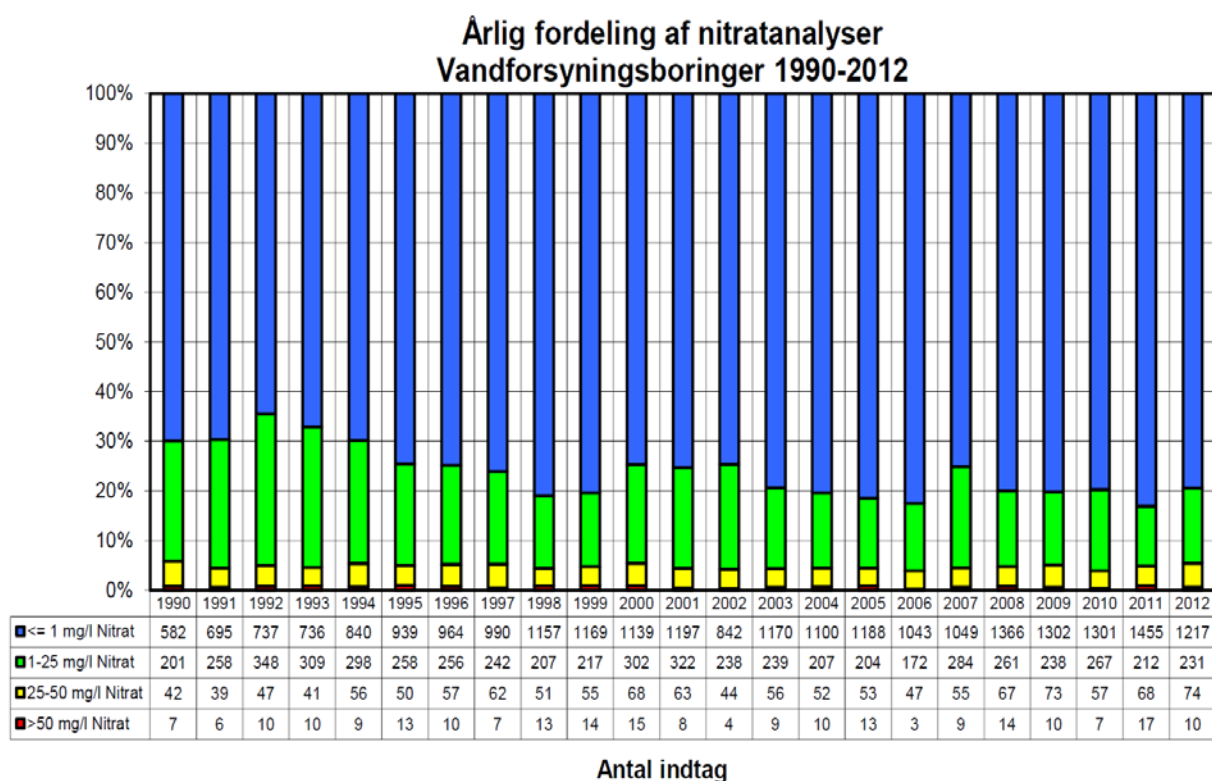
Figur 11. Nitratindholdet i det øvre grundvand i sand- og lerområderne i LOOP (1990-2012), sammenholdt med årsnedbøren (grønne kurve). Kun nitratanalyser >1 mg/l og indtag <6 m u.t er medtaget.

Den årlige gennemsnitlige nitratkoncentration på sand- og lerjordsoplandene, som er vist i figur 11 (indtag <6 m u.t. og nitrat >1 mg/l), vurderes at ligge lavere end niveauet for nitratudvaskningen i områderne, da de årlige værdier repræsenterer et gennemsnit af nitratkoncentrationen i både iltet og anoxisk nitratholdigt grundvand (vandtype A og B).

Nitrat, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer

Datagrundlag

Grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer analyseres ikke hvert år, men i en turnus på 3 - 5 år afhængig af indvindingsmængderne. Det er således ikke det samme sæt af boringer, der indgår år for år. Analyserne udføres med det formål at beskrive indholdet af nitrat i det grundvand, der indvindes til drikkevandsformål.



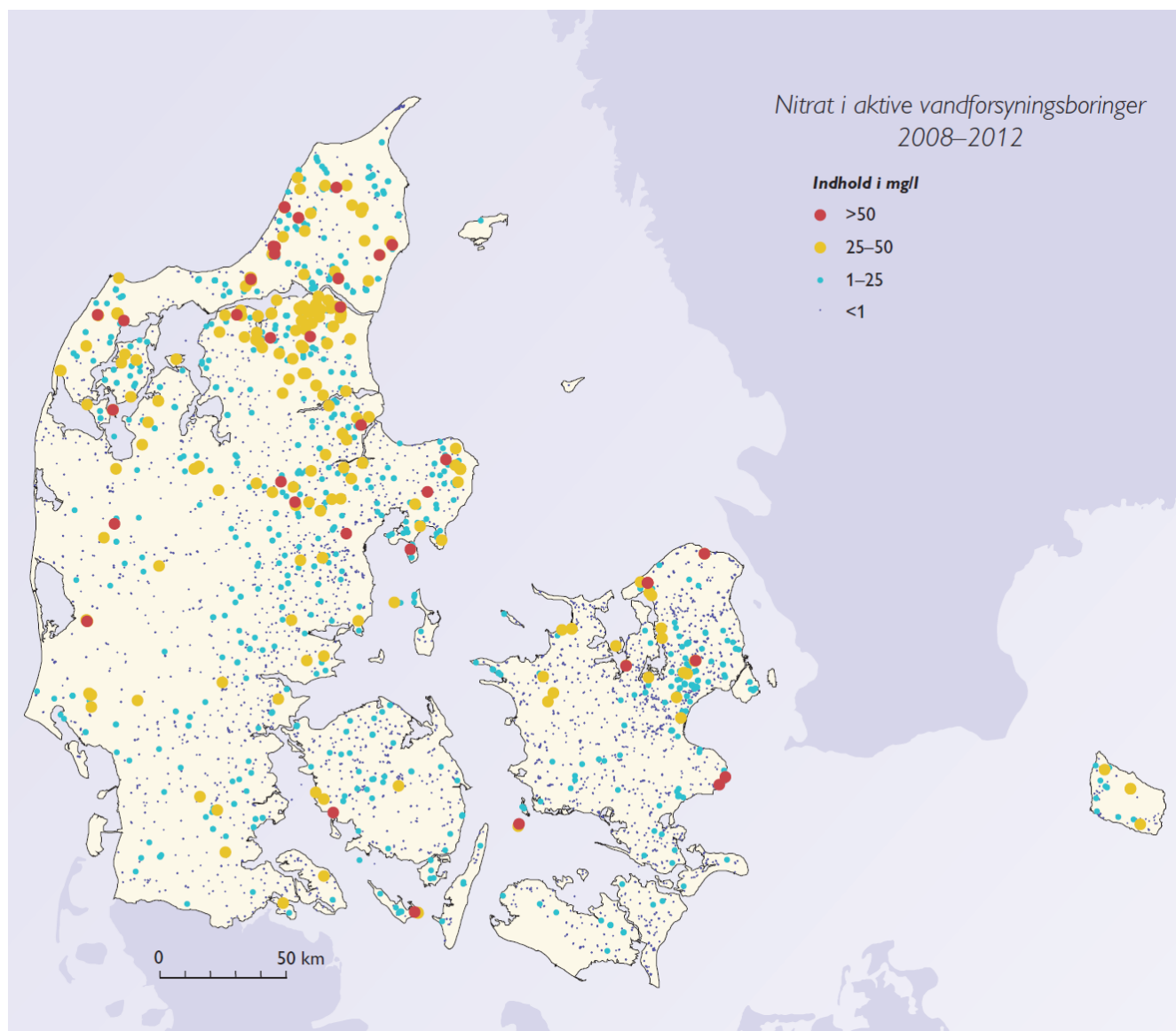
Figur 12. Den procentvise fordeling af nitratanalyser (gennemsnit pr. indtag pr. år) fra indvindingsboringer (Boringskontrollen) fra perioden 1990-2012 opdelt på 4 klasser (≤ 1 , 1-25, 25-50 og >50 mg/l nitrat). Antal analyser fra hvert år og klasse er anført i tabellen under figuren.

Tilstand, udvikling og årsager

Figur 12 viser, at hovedparten (ca. 80 %) af analyserne fra vandværkernes boringskontrol er nitratfrie (nitrat ≤ 1 mg/l). Det vil sige, at der hovedsagelig indvindes grundvand til drikkevandsformål fra det reducerede, nitratfrie grundvand, vandtype C og D. Der ses en tendens til, at andelen af analyser fra nitratholdigt grundvand er faldet igennem måleperioden fra 25-35 % i begyndelsen af 1990'erne til omkring 20 % i 2003-2012. Dette skyldes sandsynligvis, at nitratholdige indvindingsboringer sløjfes, og der ved nyetablering sættes på nitratfrie indvindingsboringer.

Regional fordeling

Figur 13 viser den geografiske fordeling i Danmark af nitratindholdet i vandværkernes indvindingsboringer gennem de seneste 5 år (2008-2012). På figuren er kun vist data fra aktive vandværker. Drikkevandskravet blev i perioden overskredet i kortere eller længere tid i i alt 55 boringer. Den højst målte værdi i perioden var 120 mg/l. Der kan muligvis være enkelte data fra vandværker/boringer, som er sat ud af drift inden for de seneste 5 år, men som vandværkerne stadig overvåger.



Figur 13. Nitratindholdet i grundvandet i vandforsyningsboringer (gennemsnit per indtag) opdelt på 4 koncentrationsklasser. Data er fra perioden 2008-2012, fra aktive vandværker, hvorfra der dog kan foreligge data fra indvindingsboringer, som ikke anvendes til drikkevandsforsyning. Grundvandet i indvindingsboringerne analyseres i en turnus på 3 til 5 år med boringskontrollen.

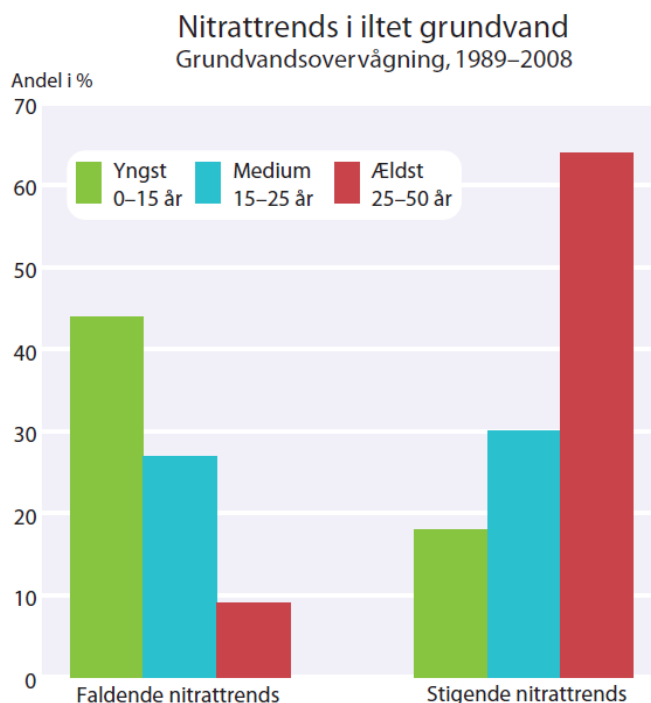
Vandmiljøhandlingsplanernes effekt på grundvandets nitratindhold

Eventuelle effekter af vandmiljøplanerne vil kunne erkendes i det iltede grundvand (vandtype A), hvor nitrat ikke omsættes ved nitratreducerende processer. Datering af grundvandet giver mulighed for at sammenligne udviklingen i nitratkoncentrationer i iltet grundvand med udviklingen i kvælstofpåvirkningen fra landbruget.

Statistiske trendanalyser

På basis af data fra grundvandsovervågningen er der gennemført analyser af udviklingen i nitratindholdet i grundvandet. I rapporteringen for perioden 1989-2008 (Thorling m.fl., 2010a) var der fokus på udviklingen i nitratindholdet i iltet grundvand på indtagsniveau. En yderligere databearbejdning er publiceret i Hansen m.fl., (2011) og Hansen m.fl., (2012). En statistisk data-analyse af ca. 20 års overvågningsdata fra hele landet viste, at nitratindholdet og tilførslen af nitrat til iltet grundvand generelt har været faldende siden ca. 1980. Den generelle tendens med et faldende nitratindhold i iltet grundvand stemmer overens med den overordnede tendens for udviklingen i kvælstofoverskuddet i dansk landbrug.

De publicerede resultater fra 152 indtag med iltet, CFC dateret grundvand, viste også, at det yngste iltede grundvand (<15 år) har flere overvågningsindtag med et signifikant faldende nitratindhold (44 %) end det ældste (25-50 år) iltede grundvand (9 %). Dog findes der stadig indtag, hvor nitratindholdet er stigende, men hvor kun ca. 18 % af det yngste iltede grundvand har et signifikant stigende nitratindhold, har 64 % af det ældste, iltede grundvand et signifikant stigende nitratindhold (se figur 14).



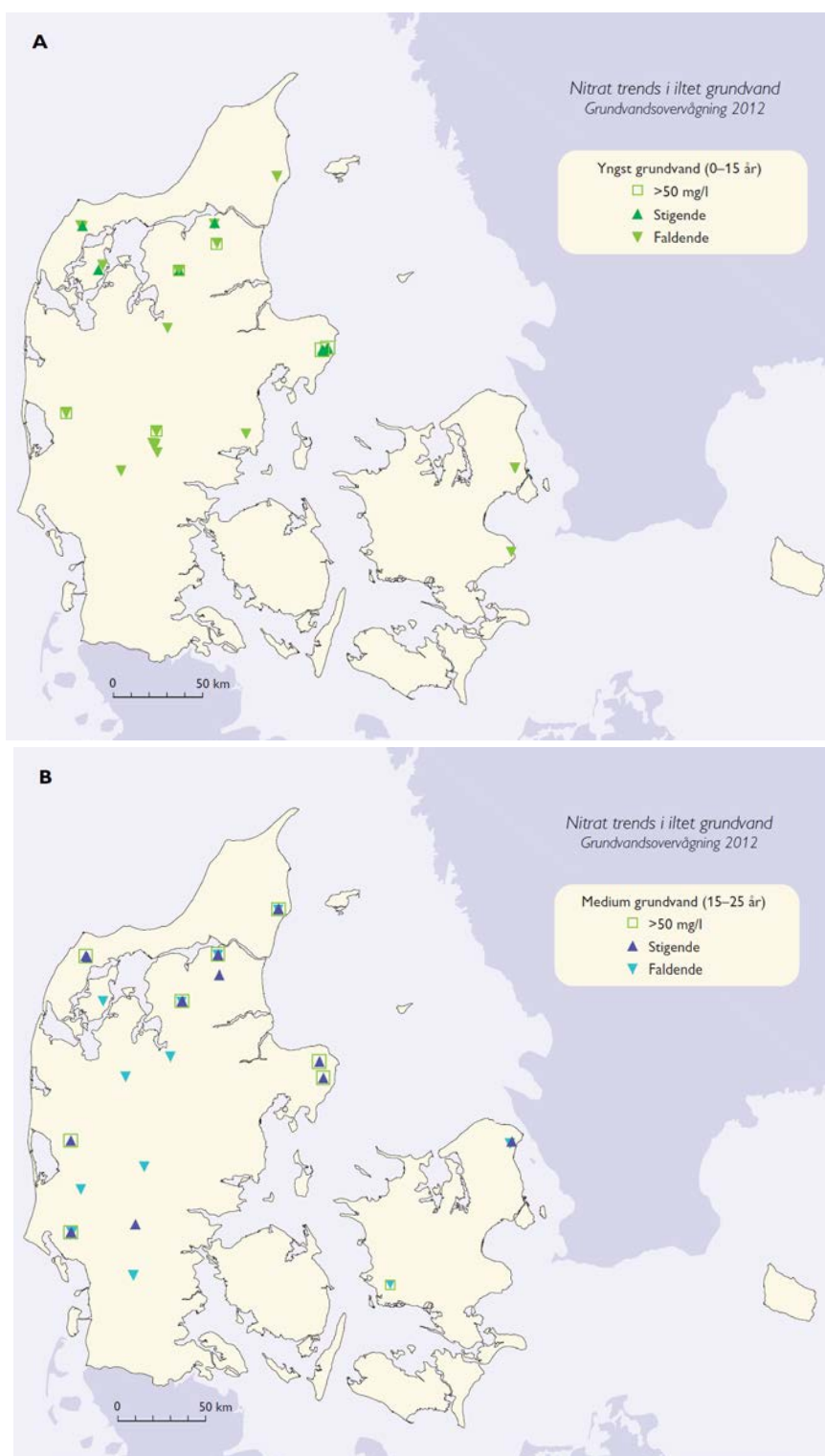
Figur 14. Andel af statistisk signifikante (95 % konfidens) stigende og faldende nitrattrends i grundvandet, inddelt i 3 aldersgrupper (modificeret efter Hansen m.fl., 2011).

Det er relevant at gentage de statistiske trendanalyser med passende mellemrum fx hvert 3 – 5 år i forhold til at kunne spore ændringer i udviklingstendenserne på nationalt plan i iltet grundvand. En ny datering af det iltede grundvand er under udførelse i denne programperiode (2011-2015) ved både gamle og nye overvågningspunkter. Nye nitrat trendanalyser vil blive gennemført, når nye dateringsresultater foreligger.

Nitrattrends i forhold til drikkevandskravet

I dette års rapportering er det, ligesom sidste år, valgt at undersøge udviklingen i nitratkoncentrationen i forhold til drikkevandskravet på 50 mg/l for de 152 indtag, hvor der er foretaget individuelle nitrat trendanalyser (Hansen m.fl., 2011 og Hansen m.fl., 2012). Figur 15 viser, hvor i landet der ved seneste analyse er fundet mere end 50 mg/l nitrat i iltet grundvand. I ca. 73 % af de 152 indtag er seneste nitrat analyse fra 2012, mens seneste analyse for resten af data er foretaget 2002-2011.

Figur 15 viser, at drikkevandskravet på 50 mg/l nitrat hovedsagelig overskrides i det vestlige og nordvestlige Jylland. Samtidig ses det, at der er flest overskridelser af drikkevandskravet, hvor der er stigende nitrattrends. I alt er der overskridelser af drikkevandskravet på 50 mg/l nitrat ved seneste analyse i ca. 40 % af de 152 indtag, hvor der er foretaget trendanalyser, hvilket er ca. 4 % højere end ved statusrapporteringen i 2012. Flest overskridelser af drikkevandskravet ses i indtagene med stigende nitrattrends (46 %) og der er omtrent lige mange overskridelser af kravene i alle 3 aldersgrupper (38-42 %). I det yngste grundvand findes overskridelser af drikkevandskravet langt overvejende i indtagene med stigende nitrattrends.



Figur 15. Geografisk fordeling og gruppering af 152 indtag i iltet dateret grundvand, hvor der er udført statistiske nitratrend analyser: A: Signifikante nitratrends i yngst grundvand, B: Signifikante nitratrends i medium alder grundvand, C: Signifikante nitratrends i ældst grundvand og D: ikke signifikante nitratrends (modificeret efter Hansen m.fl., 2012). *Figuren fortsætter næste side.*



Figur 15. Geografisk fordeling og gruppering af statistiske nitratrend analyser i 152 indtag i iltet dateret grundvand: A: Signifikante nitratrends i yngst grundvand, B Signifikante nitratrends i medium grundvand, C: Signifikante nitratrends i ældst grundvand og D: ikke signifikante nitratrends (modificeret efter Hansen m.fl., 2012). *Figurens første to dele se forrige side.*

Tidsmæssige variationer i redoxzonernes dybde og tykkelse

Målsætning

Formålet med denne del af overvågningen er at forbedre beskrivelsen og forståelsen af variationer over tid af redoxzonernes vertikale udbredelse, og dermed af især nitrats udbredelse i grundvandsmagasinerne.

Relevans

Ændringer i indtrængningsdybden for nitrat og ilt har stor betydning for miljøtilstanden i tilknyttede overfladevandssystemer, idet jo større mægtighed de nitratholdige zoner har, desto større risiko er der for, at de tilknyttede overfladevandssystemer modtager grundvand med et højt nitratinhold. Samtidig har det en væsentlig betydning for, hvor stor en del af drikkevandsressourcen, der er påvirket af nitrat.

Den nitratreducerende zones evne til at reducere nitrat afhænger af de geologiske lags sammensætning. Hvis den nitratreducerende zone (hvor vandtype B optræder) har en stor mægtighed, er det en indikation på, at nitratreduktionsprocesserne er langsomme i det pågældende magasin. Magasinernes reduktionskapacitet, og ikke mindst omsætningshastigheden af nitrat, er af stor betydning for drikkevandsforsyningen. I områder med lav reaktionshastighed og/eller lav reduktionskapacitet, er der stor risiko for nitratgennembrud eller stigende nitratinhold i vandforsyningsboringer.

En bedre forståelse af de tidsmæssige variationer i redoxzonernes rumlige udbredelse, kan understøtte fortolkningen af de tidsserier for især nitrat, sulfat og andre redoxfølsomme parametre, der indsamles i overvågningsprogrammet, og dermed understøtte overvågningens primære formål, nemlig at vurdere effekterne af de nationale miljøtiltag i forhold til de opstillede målsætninger.

Datagrundlag

Fra en række multifilterboringer, de såkaldte redoxboringer, er der i perioden 1999-2012 indsamlet analysedata for "redoxpakken" (nitrat, nitrit, klorid, sulfat, kalium, jern, mangan, ilt, pH, ledningsevne og redoxpotentiale). Boringerne pejles i flere dybder. På figurerne er de geologiske lagserier vist sammen med overvågningsdata fra alle indtag i boringerne. I programperioden 2011-15 analyseres boringerne ikke hvert år. Til gengæld er der analyser for sporstoffer, hvor data fra 2012 er behandlet i kapitel 5.

Databehandling:

Følgende grænser for zonerne er benyttet i figurerne:

- Iltholdigt grundvand: $O_2 > 1$ mg/l og $Fe \leq 0,1$ mg/l og $Mn \leq 0,1$ mg/l (vandtype A)
- Anoxisk nitratreducerende zone: $NO_3 > 1$ mg/l og $O_2 \leq 1$ mg/l, (vandtype B)
- Reduceret grundvand: $NO_3 \leq 1$ mg/l, $O_2 \leq 1$ mg/l og $SO_4 > 20$ mg/l, (vandtype C)
- Stærkt reduceret grundvand: $NO_3 \leq 1$ mg/l, $O_2 \leq 1$ mg/l og $SO_4 \leq 20$ mg/l. (vandtype D)

For prøver, hvor fx iltanalyser mangler, er der foretaget en manuel fortolkning af redoxforholdene ud fra prøvens samlede kemiske sammensætning med særlig vægt på indhold af nitrit, mangan, jern, sulfat og nitrat. (Hansen B., m.fl., 2009 & MST, 2000). Se også tabel 3.

Tilstand, udvikling og årsager, Albæk ved Sæby - DGU nr. 18.310

Figur 16 viser, at der er nitratholdigt grundvand i hele det overvågede interval fra 34 m u.t. til 41 m u.t. i redoxboringen ved Albæk. Herunder findes et lille lerlag, hvorefter boringen er standset. I den nederste meter er indholdet af nitrat meget lavt, typisk under 5 mg/l, og der er af og til nitratfrie forhold. Grundvandsspejlet ligger ca. 15,5 m u.t. Grundvandsspejlet har varieret ca. 1 m de sidste 10 år, og stod højest omkring 2002. På basis af farvebeskrivelser fra det geologiske profil og de vandkemiske målinger kan det konkluderes, at grundvandet indeholder nitrat indtil ca. 25 m under grundvandsspejlet. Der er således tale om, at en ganske betydelig del af grundvandsmagasinet indeholder nitrat i dette område. I rapporteringen fra 2011 (Thorling mfl., 2011) findes en nærmere redegørelse for tilstand og udvikling i grundvandskvaliteten i denne boring.

Det viste sig, at udviklingen i nitratinholdet i denne boring har to årsager: For det første en ændret nitratudvaskning som følge af de generelle landbrugsreguleringer og arealanvendelsen helt lokalt. Der er et markant fald fra over 100 mg/l til omkring blot 20-25 mg/l, hvilket er mere, end der typisk kan forventes alene som følge af den generelle landbrugsregulering.

For det andet skyldes udviklingen i nitratinholdet i en række indtag fluktuationer i den rumlige udbredelse af ilt og nitratfronten. Dette er iagttaget i de dybere lag af redoxboringen i Albæk, fx filter 5, hvor nitrat kommer og går, og nitrattidsserierne derfra kan ikke anvendes til evaluering af vandmiljøplanerne.

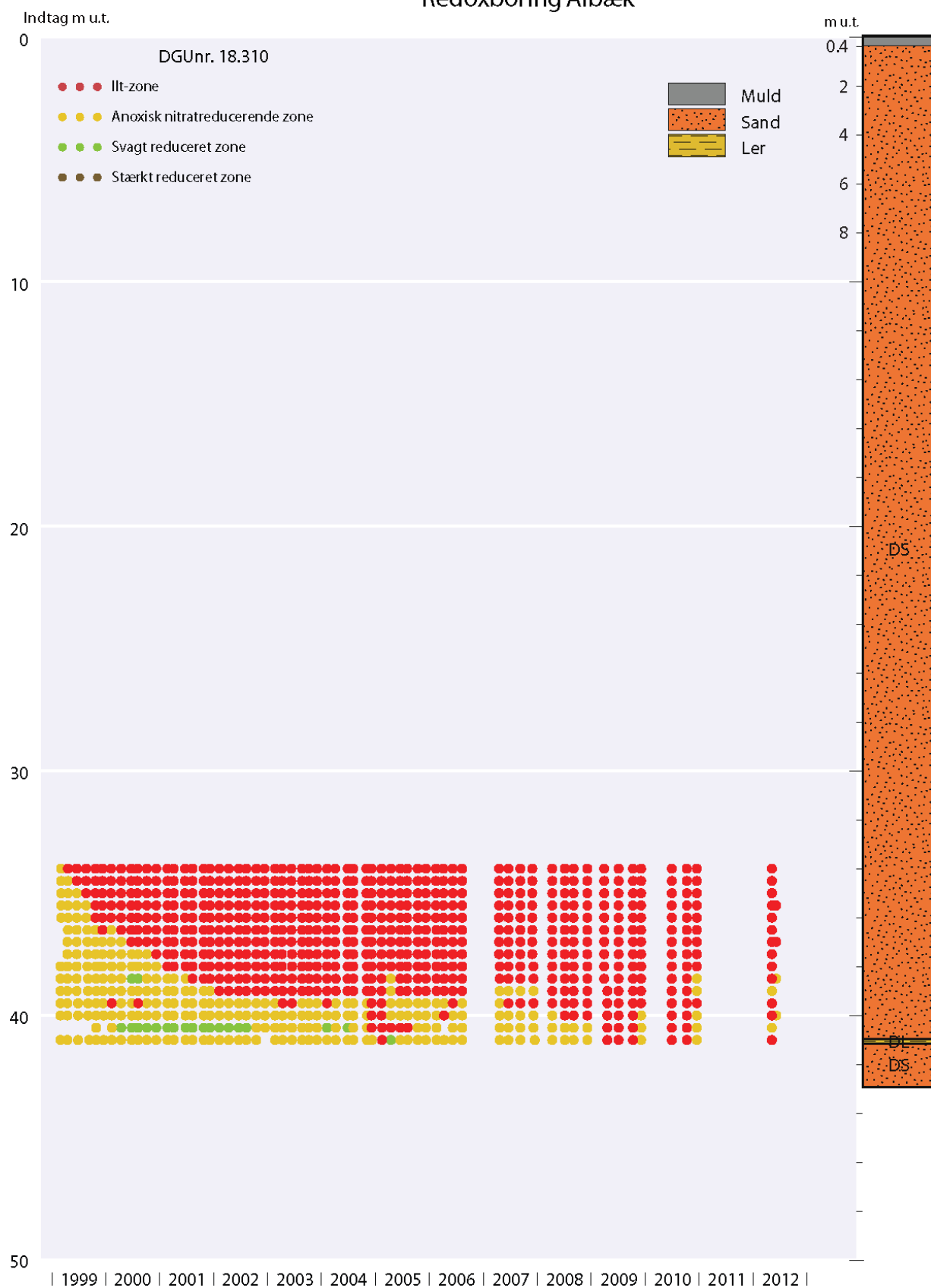
Tilstand, udvikling og årsager, Kasted ved Århus - DGU nr. 78.796

Figur 17 viser data fra redoxboringen ved Kasted, hvor redoxzonerne har ligget relativt stabilt siden år 2000 og svinger omkring 1 m op og ned. I samme periode har grundvandsspejlet også svinget 1 m op og ned. Der er nitratholdigt grundvand ned til ca. 33 m u.t. svarende til ca. 25 m under grundvandsspejlet. Det er således også her, at en betydelig del af grundvandsmagasinet der er nitratholdigt.

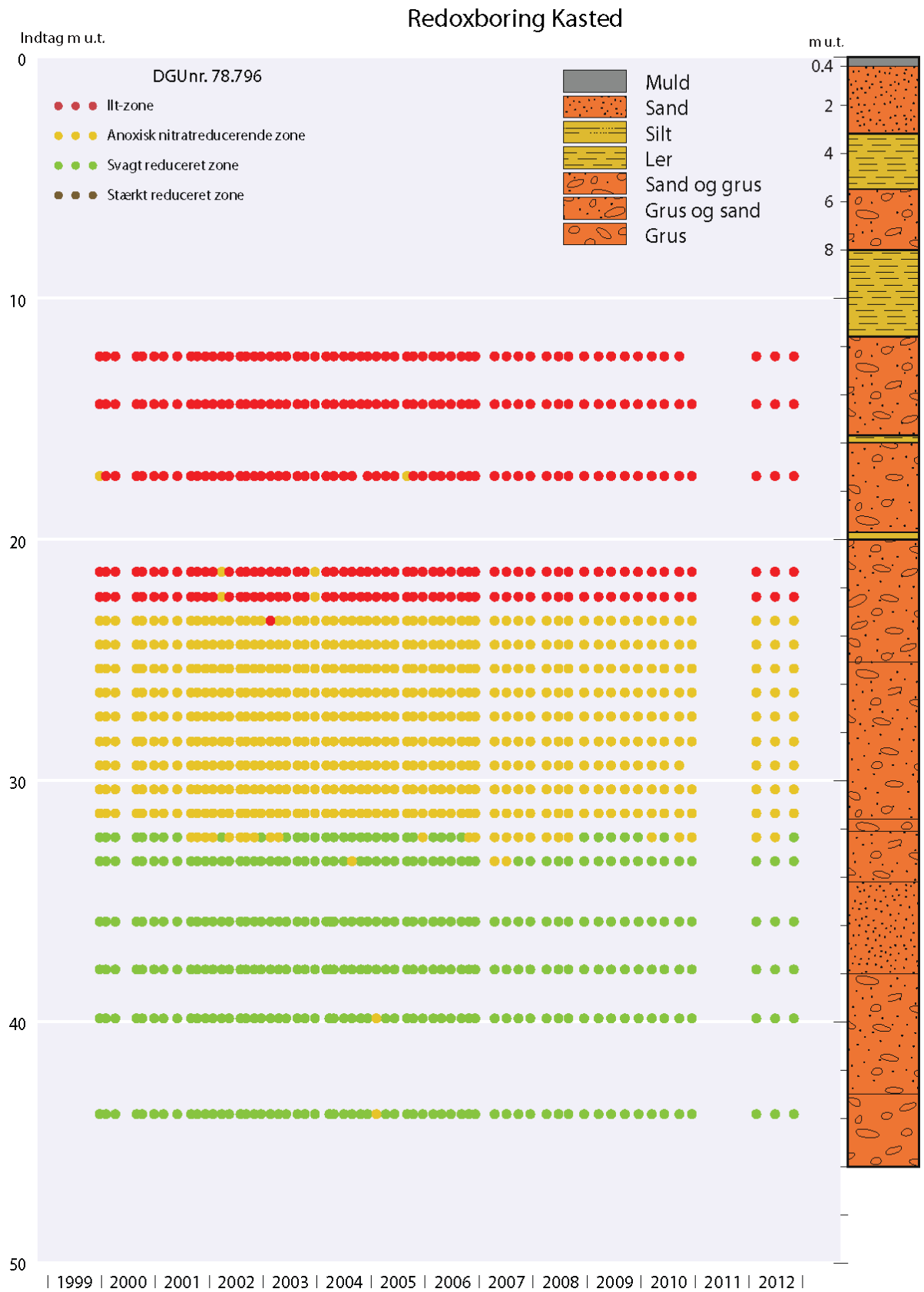
Den anoxiske nitratreducerende zone har en bemærkelsesværdig stor mægtighed på knap 10 m. Vandkvaliteten i de to øverste indtag adskiller sig markant fra resten af redoxboringen, idet der er svagt surt vand, med forhøjet indhold af klorid, der muligvis skyldes boringens beliggenhed i et skovbryn. Tørdepositionen af partikler og gasser er generelt væsentlig større i et skovbryn end i de centrale dele af skove og på marker, idet vindbårne salte i atmosfæren bliver afsat på træer og buske i skovbrynet, hvilket sandsynligvis er årsagen til de høje koncentrationer af fx klorid i det allerøverste grundvand. I 2005 blev skovbrynet fældet, og fra 2007 er indholdet af klorid og sulfat faldet i det øvre grundvand til et niveau, der svarer til, hvad der ellers er i det iltede grundvand i boringen.

Det er tidligere vist, at der muligvis er en sammenhæng mellem vandkemien og magasinets trykforhold. Grænsen mellem det reducerede og det anoxiske nitratholdige grundvand svinger en smule gennem tiden, men der er kun tale om gennembrud af meget små koncentrationer af nitrat til de reducerede lag. Århus Kommunale Værker har etableret en ny kildeplads ca. 500 m nedstrøms denne boring og igangsat en indvinding på 1,5 mio. m³/år i januar 2006. Dette forventes at få indflydelse på den fremtidige udvikling i vandkvaliteten.

Redoxboring Albæk



Figur 16. Redoxzoner 33-43 m u.t. for redoxboring DGU nr. 18.310, Albæk, v. Sæby 1999-2012. Grundvandsspejl i ca. 15,5 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.



Figur 17. Redoxzoner 13 - 44 m u.t. i redoxboring DGU nr. 78.796, Kasted 1999-2012. Grundvandsspejl i ca. 9 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.

Tilstand, udvikling og årsager, Grindsted - DGU nr. 114.1736

Figur 18 viser, at den rumlige udbredelse af redoxzonerne i denne boring ved Grindsted har varieret ganske betragteligt i hele overvågningsperioden. Grundvandsspejlet er ca. 6 m u.t., og der er fundet nitrat ned til 27 m u.t., hvor der i et nitratgennembrud i 2009-2010 blev fundet op til 27 mg/l nitrat. Sammenlagt er der nitrat i de øverste omkring 20 m af grundvandet. Grundvandsspejlet svinger med op til 2 m hvert år i dette frie magasin, afhængig af de klimatiske forhold. Variationen i trykforholdene mellem filtrene er inden for måleusikkerheden på nogle få centimeter.

Indvinding fra Grindsted Vandværks boringer, som ligger mindre end 500 m nedstrøms for redoxboringen, kan muligvis forårsage ændringer af zonens beliggenhed og især i afgrænsningen af zonerne. Boringerne indvinder dog fra væsentlig større dybde end redoxboringen (ca. 95-110 m u.t.). Indvindingen er derimod formentlig årsagen til det stærkt svingende sulfatindhold i det nederste indtag (3,5 - 50 mg/l), der giver anledning til, at redoxtilstanden veksler mellem det svagt og det stærkt reducerede. Vandværket indvinder ca. 600.000 m³/år i området.

Tilstand, udvikling og årsager, Sibirien på Falster - DGU nr. 238.900

Figur 19 viser, at der er nitrat ned til ca. 25 m u.t. i redoxboringen ved Sibirien på Falster. Også her er der således tale om, at der er nitrat i de øverste 20 m af grundvandet. Grundvandsspejlet svinger med op til 2,5 m om året, afhængig af de klimatiske forhold. Variationen i trykforholdene mellem filtrene er ikke dækkende overvåget. Det iltholdige vand er ikke truffet dybere end 18 m u.t., og generelt har grundvandet et meget lavt iltindhold på 1-2 mg/l. Derfor vil redoxtilstanden hyppigt svinge mellem iltholdigt eller iltfrit, som det også ses af figur 19, da grænsen mellem de to tilstande ligger ved 1 mg/l.

Der er tale om et grundvandsmagasin, hvor hele den nitratholdige del i overvejende grad kan betragtes som anoxisk, nitratreducerende. Nitrit og mangan optræder således sammen med nitrat i alle dybder. I et magasin med en så stor mægtighed af den anoxiske nitratreducerende zone må det forventes, at der sker en meget langsom omsætning af nitrat sammenlignet med strømningshastigheden. I dette miljø kan nitrat derfor med tiden trænge dybere ned i magasinets reducerede lag, idet den anoxiske nitratreducerende zone netop er udtryk for, at nitrat kan trænge ind i reducerede lag uden at omsættes. Med andre ord er der tale om en kemisk ustabil situation.

Antageligt er der to grundvandsmagasinerne, der er hydraulisk adskilt af det markante lag af smeltevandssler i ca. 20 m's dybde. Nitratindholdet i den nederste del af profilet må skyldes et heterogent strømningsmønster, idet lerlaget er reduceret i 20 m u.t., se også kapitel 5.



Figur 18. Redoxzoner 23- 40 m u.t. for redoxboring DGU nr. 114.1736, Grindsted 2000-2012. Grundvandsspejl i ca. 6 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.

Redoxboring Sibirien



Figur 19. Redoxzoner 10 - 46 m.u.t. for redoxboring DGU nr. 238.900, Sibirien på Falster, 2000-2012. Grundvandspejl i ca. 8-9 m u.t. Den geologiske lagserie er vist længst til højre.

Tilstand, udvikling og årsager, Vejby på Nordsjælland - DGU nr. 186.854 og 186.855

Redoxboringen i Vejby på Nordsjælland er etableret i 2005 og blev taget i drift i 2006. Boringen består teknisk set af to boringer placeret umiddelbart ved siden af hinanden. Figur 20 viser, at nitrat er fundet ned til ca. 16 m u.t. Det øverste indtag i 11 m u.t. indeholder ilt og omkring 20 mg/l nitrat. I de øvrige indtag svinger vandtypen mellem iltet og iltfrit, da grænsen mellem de to tilstande ligger på 1 mg/l, og der er tale om nitratholdigt vand med lave iltindhold. Grundvandsspejlet ligger ca. 10 m u.t. og har en nedadrettet gradient i magasinet. Der er observeret variationer i grundvandsspejlet på ca. 1,25 m, men data er ikke detaljerede nok til at redegøre for evt. årstidsvariationer.

Den anoxiske nitratreducerende zone har en mægtighed på 4-5 m. Der var i de første prøvetagningsrunder et meget højt indhold af ammonium i alle indtag i DGU nr. 186.854, mens dette ikke var tilfældet i DGU nr. 186.855, der har et enkelt højtliggende indtag. Der er ikke længere ammonium i de øverste indtag. Det er bemærkelsesværdigt, at der er påvist sulfid i enkelte tilfælde i de øvre nitratholdige indtag, og at der i alle dybere nitratfrie indtag er fundet metan. Ligeledes antyder jernkoncentrationer på 5-20 mg/l i det nederste indtag 30 m u.t., at der er et højt indhold af organisk stof, der kan kompleksbinde jern, idet ligevægtskoncentrationen for opløst Fe(II) er mindst en faktor 10 lavere ved de hydrogenkarbonatkoncentrationer, som optræder her. Endelig er der i flere indtag fundet meget høje kloridindhold over 250 mg/l. Dette stammer formentlig fra vejsalt, idet boringen er beliggende ved en landevej, samt at der forventes lodret infiltration i oplandet omkring boringen (Mette Moser, pers. kommunikation).

Sammenfatning for de fem redoxboringer

Der er i måleperioden observeret variationer i såvel dybden til ilt/nitratfronten som af nitratindholdet i grundvandet i de enkelte indtag. I de første 2-3 år er der variationer, der sandsynligvis kan opfattes som etableringseffekter i forbindelse med borearbejdet. En lignende effekt er tidligere set i forbindelse med etablering af overvågningsboringer. Men nu peger resultaterne på at den forventede stabilisering ikke indtræder, og at forholdene omkring redoxgrænsen er mere komplicerede end forventet. Især ses det, at nitrat i perioder på op til flere år kan trænge dybere ned for atter at forsvinde. Svingninger på omkring 5 m af såvel ilt- som nitratfronten observeres. På den korte tidsskala (nogle år) kan der forventes udsving som følge af variationer i vinternedbøren og oppumpning fra nærliggende indvindingsboringer mm. Redoxboringerne kan således også karakterisere korttidsvariationer over nogle år i tid og rum.

Fosfor i grundvand

Datagrundlag

Dette år rapporteres for anden gang i grundvandsovervågningens historie data for orthofosfat (P_{ortho}) i grundvand i overvågningsboringer. P_{ortho} er et nyt stof i overvågningsprogrammet for programperioden 2011-15. Tidligere blev alene det totale opløste indhold af fosfor i grundvand (P_{tot}) rapporteret. Målingerne af P_{ortho} forbedrer mulighederne for at sammenligne grundvand og overfladevand, idet man i overfladevand altid har analyseret for såvel orthofosfat-P som total fosfor.

I 2012 er der i GRUMO analyseret for såvel P_{tot} som P_{ortho} i 721 indtag, hvoraf de 626 indtag også blev undersøgt i 2011. P_{ortho} har siden overvågningens start i 1989 været analyseret i det øvre grundvand i LOOP i ca. 100 terrænnære indtag.

Definitioner:

I en grundvandsvandprøve er der såvel opløst som suspenderet stof, men kun den opløste del er relevant i overvågningssammenhæng:

Samlet fosforindhold i en prøve: opløst-P + partikulært bundet P(>0,45 μ m)

Opløst fosfor kan opdeles efter kemiske egenskaber:

$$\text{Total P} = P_{tot} = \text{uorganisk-P} + \text{organisk bundet-P} = P_{ortho} + P_{org}$$

$$P_{ortho} = \text{fosfat} = \text{PO}_4$$

Relevans

Fosfor i grundvandet kan give anledning til eutrofiering i forbindelse med udstrømning til ferskt overfladevand og transport til havet. Det er væsentligt at overvåge og kortlægge, i hvilket omfang fosfortransporten er betinget af menneskelige aktiviteter og i hvilket omfang, der er tale om naturlige processer. Fosforindholdet i drikkevand overskrides i mange indvindingsboringer, hvor kilden hovedsageligt vurderes at være geologisk indlejret fosfor, der ikke er påvirket af samfundsmæssige aktiviteter.

I ovenstående tekstboks er vist definitioner på forskellige bidrag til fosfor i grundvandet. Man kan opdele efter fase. I praksis er den opløste fraktion det fosfor, der kan passere et 0,45 μ m filter. Dette opdeles igen efter kemiske egenskaber i opløst ortho-P (P_{ortho}) og opløst organisk bundet P (P_{org}), idet det antages, at der kun er forsvindende lidt af andre uorganiske P forbindelser.

Når det drejer sig om udvaskning af stof gennem jord, er der især fokus på den opløste pulje, idet partikulært stof i vid udstrækning tilbageholdes i jordmatrix, når der ses bort fra makropor-retransport. Da de forskellige bidrag af fosfor har forskellige kemiske egenskaber, kan det også forventes, at forskellige fosforbidrag vil transporteres og bindes forskelligt. Da det er P_{ortho} og P_{tot} , der analyseres, bliver P_{org} beregnet som forskellen på de to.

For at finde mængden af opløst fosfor i grundvand skal vandprøverne filtreres jf. teknisk anvisning (Thorling, 2012b). Hvis vandprøverne fra grundvand ikke er filtrerede, vil en vis mængde

de suspenderet stof med fosfor, der er bundet til bl.a. jernoxider komme med i prøverne. Dette vil blive målt med i resultatet for total fosfor (P_{tot}), og indholdet vil i "ikke filtrerede" grundvandsprøver afhænge af, hvor meget suspenderet stof, der rives med som følge af prøvetagningsteknikken. Hvis prøverne ikke filtreres omhyggeligt, vil det give for højt indhold af P_{org} . I grundvand giver det ikke mening at måle fosfor i "ikke filtrerede" prøver i modsætning til overfladevand, hvor den suspenderede del af fosfor i vandløbene, kan have stor betydning for stoftransporten.

Det er i overfladevand påvist, at der kan være en risiko for udfældning af P_{ortho} , i ufiltrerede prøver, når prøven henstår. Da grundvandsprøver er filtrerede, bør denne risiko være lille. Der er dog en mulighed for, at P_{ortho} kan udfældes, hvis en reduceret prøve med stort jernindhold iltes, og der udfældes jernoxider, der adsorberer P_{ortho} . Dette medfører, at det målte indhold bliver mindre end i prøven. Denne effekt vil give et for højt indhold af P_{org} i forhold til den sande værdi.

Målsætning

Der er med Vandplanerne (Vandplanernes hjemmeside) fastsat politiske mål for reduktion af udledningen af fosfor til vandmiljøet. I forbindelse med Vandplanerne og vandmiljøforvaltningen har man hidtil ikke vurderet betydningen af fosforbidraget fra grundvand på overfladevandskvaliteten. Dette betragtes i forbindelse med Vandplanerne (Vandplanernes hjemmeside), som et område med manglende viden. Der er således behov for vidensopbygning på dette område, før egentlige målsætninger kan fastlægges. Drikkevandskravet for fosfor i drikkevand ligger på 0,15 mg/l, og er begrundet i, at et højt fosforindhold i drikkevand kan være en indikator på spildevandspåvirkning (MiM, 2011). Fosfor er ikke sundhedsskadeligt i de koncentrationer, der ses i drikkevandsboringerne.

Fosforindhold i grundvandsovervågningen

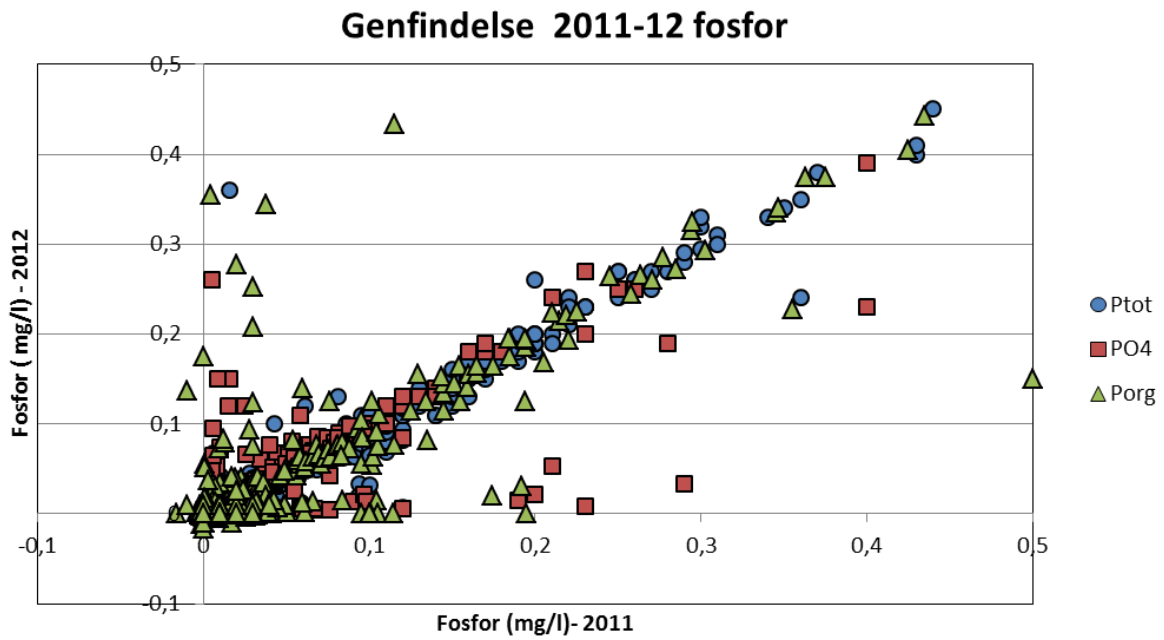
Genfindelse

Figur 21 viser koncentrationen for de to fosfor fraktioner og det totale indhold fosfor fra indtag analyseret både i 2011 og 2012. Det fremgår, at der generelt er en god genfindelse af de forskellige fraktioner af fosfor.

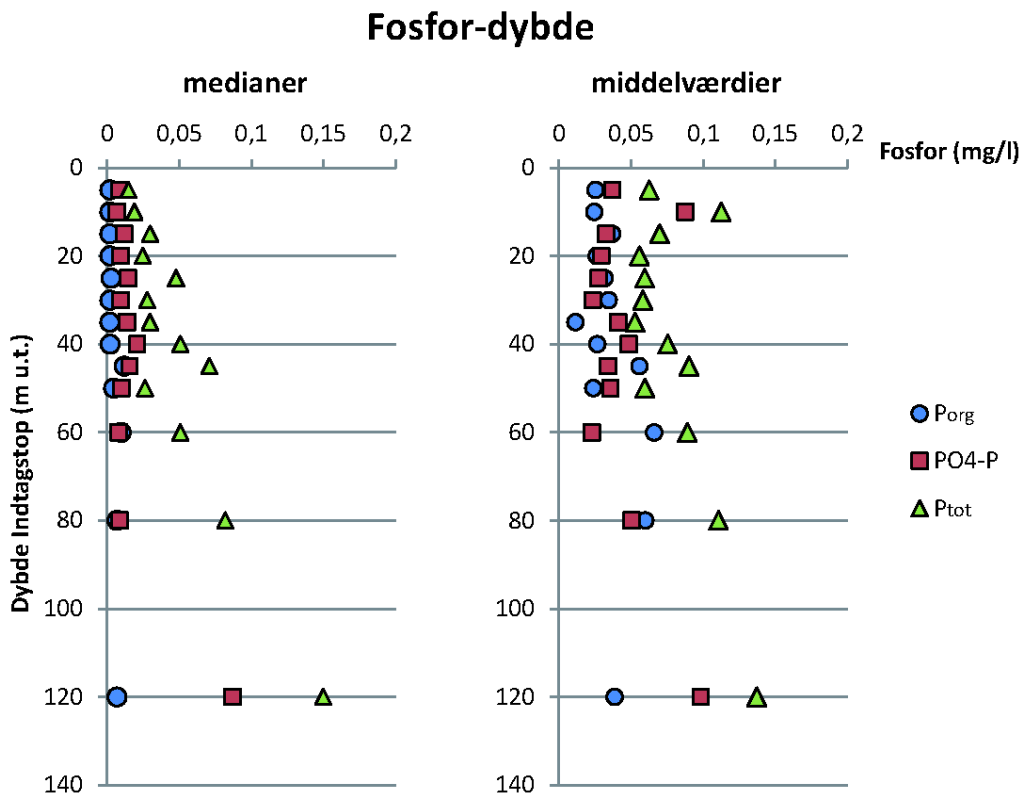
Dybdeforhold og fosfor

I LOOP er det tidligere påvist, at indholdet af P_{org} falder med dybden (Thorling m.fl., 2010a). For at vurdere, om dette er tilfældet i GRUMO, er der lavet et dybdeplot for fosforpuljerne, se figur 22, i 5 m klasser for de øverste 50 m. Opgørelsen viser middelværdi og median.

Det fremgår af figur 22, at der er en svagt stigende tendens mod dybden, når der ses på middelværdier, men at medianværdierne generelt er lave og også kun svagt stigende med dybden. Dette peger på, at der er andre kilder til P_{org} end udvaskning fra terræn, og at frigivelse af indlejret organisk bundet fosfor også spiller en rolle for det samlede forforindhold. Dette er samtidig i overensstemmelse med, at indholdet af P_{tot} og P_{org} stiger med faldende redoxpotentiale, dog således at der selv under de mest reducerede forhold er en ikke uvæsentlig andel af analyserne med lave indhold under 0,05 mg/l, se nedenfor figur 23 og 24.



Figur 21. Samhørende værdier af totalfosfor (P_{tot}) orthofosfat (P_{ortho}) samt organisk bundet P (P_{org}) i GRUMO prøver fra 2011 og 2012. Værdier over 0,5 mg/l er ikke vist, og optræder kun i ganske få prøver.



Figur 22. Dybdefordeling for fosfor, middelværdi og median, grupperet i 5 m intervaller indtil 50 m u.t. Lavere datatæthed herunder giver få spredte klasser.

Redoxforhold og fosfor

På figur 23 og 24 er fosforindholdet opdelt efter redoxstype jf. Geovejledning i kemisk kortlægning (Hansen mfl., 2009) for P_{ortho} og P_{org} . Det oxiderede grundvand (Vandtype A og B), der indeholder nitrat og ilt og repræsenterer lag, hvor jern hovedsageligt optræder som Fe (III), og dermed især optræder i fast form som fx jernoxider. Det reducerede grundvand (C og D), der er ilt- og nitratfrit og stammer fra lag, hvor jern reduceres til Fe(II). Jern er kendt som en vigtig faktor for reguleringen af fosforindholdet i fx søer, idet fosfor adsorberer kraftigt til jernoxider.

Det fremgår som forventet, at der generelt er et større indhold af fosfor under reducerede forhold. Det fremgår imidlertid også, at fordelingen af indholdet af orthofosfat er det samme i vandtype A, B og C! Kun under stærkt reducerede forhold optræder der i en vis andel af prøverne højere indhold af P_{ortho} .

Det fremgår også meget tydeligt, at under oxiderede forhold er der kun en meget lille andel af P_{org} med indhold over 0,05 mg/l. Dette er uddybet i tabel 4. Faktisk har kun 1 % af målingerne i de 335 indtag af vandtype A et indhold over 0,05 mg/l. Dette står i skarp modsætning til at 39 % af de 266 indtag med vandtype C indeholder mere end 0,05 mg/l P_{org} .

Tabellen viser også, at mens der er en stor andel af indtagene med vandtype A, der har et negativt indhold af P_{org} , gælder det kun for få % af de reducerede indtag. Negativt indhold kan forekomme ved beregning, hvis der er målt et højere indhold af P_{ortho} end P_{tot} , og vil optræde i et omfang, der afhænger af størrelsen af analyseusikkerheden i forhold til det faktiske indhold.

Figur 23 og 24 viser også, at hovedparten af fosfor i nitratholdigt vand optræder som P_{ortho} , mens det er omvendt i nitratfrit vand.

Vandtype	A	B	C	D
Antal indtag	335	99	266	58
<0 mg/l	20 %	13 %	3 %	5 %
>0,05 mg/l	1 %	2 %	39 %	28 %
>0,1 mg/l	0,5 %	1 %	26 %	18 %

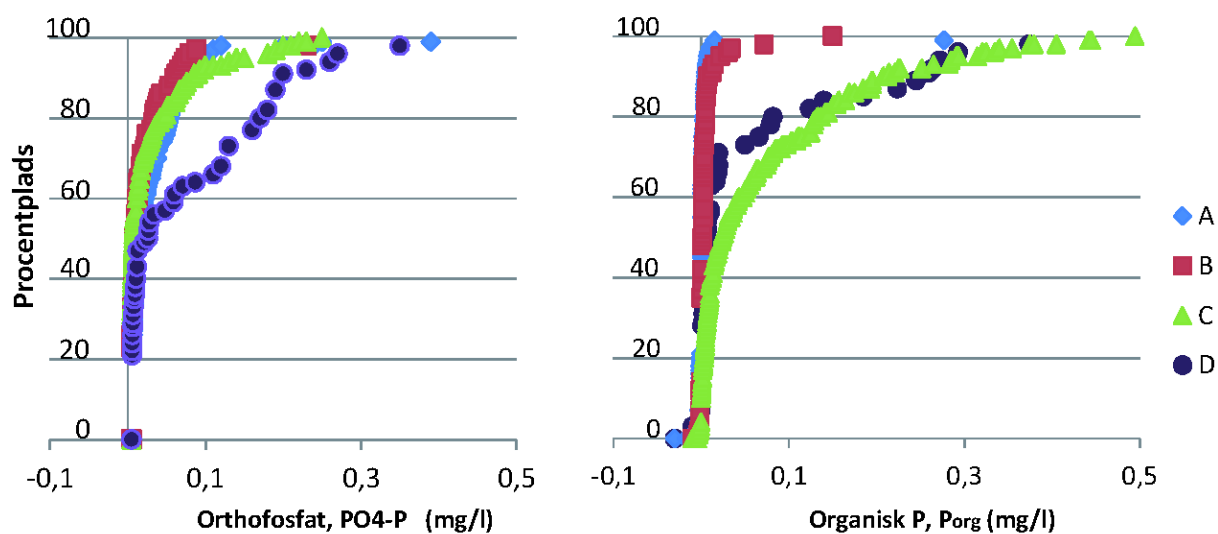
Tabel 4. Andel af indtag fra 2011-2012 i % med organisk P i de forskellige koncentration-niveauer, opdelt på vandtyper. Bemærk, <0 mg/l er beregnet indhold med negativt fortegn. Tallene stammer fra fordelingskurverne vist på figur 23.

Det fremgår med markant tydelighed, at det organiske bundne fosfor i høj grad kan forklare de forskellige fordelinger for fosforindhold, der optræder i oxideret og reduceret grundvand.

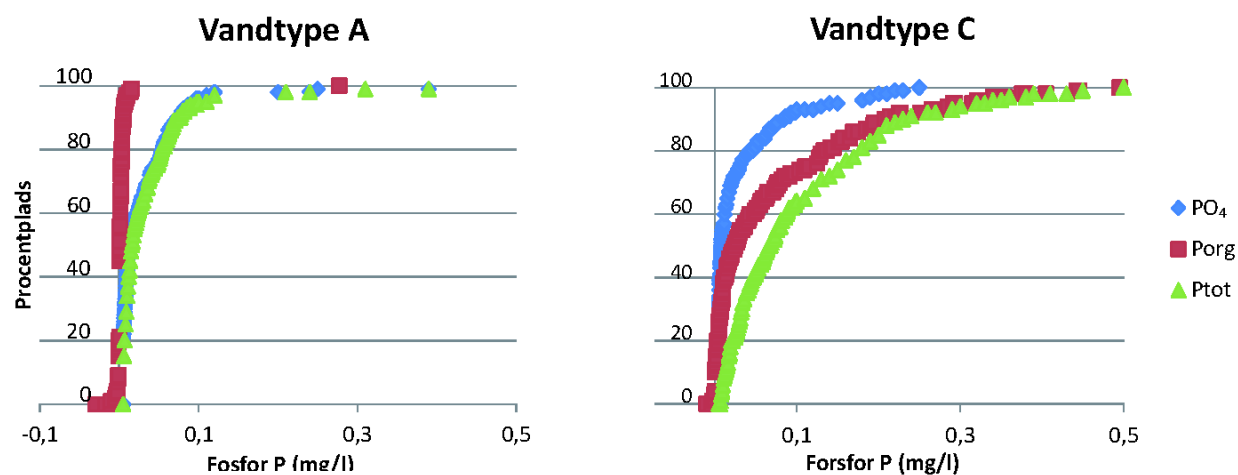
Dette antyder, at indlejret organisk fosfor spiller en betydelig rolle for frigivelsen af fosfor til grundvandet i reduceret grundvand, samt forklarer dybdefordelingen, som vist i figur 24.

Det er uvist, hvilken betydning det har for transport og omsætning af fosfor fra grundvand til overfladevand, at fosfor optræder i puljer med forskellige kemiske egenskaber.

Vandtyper



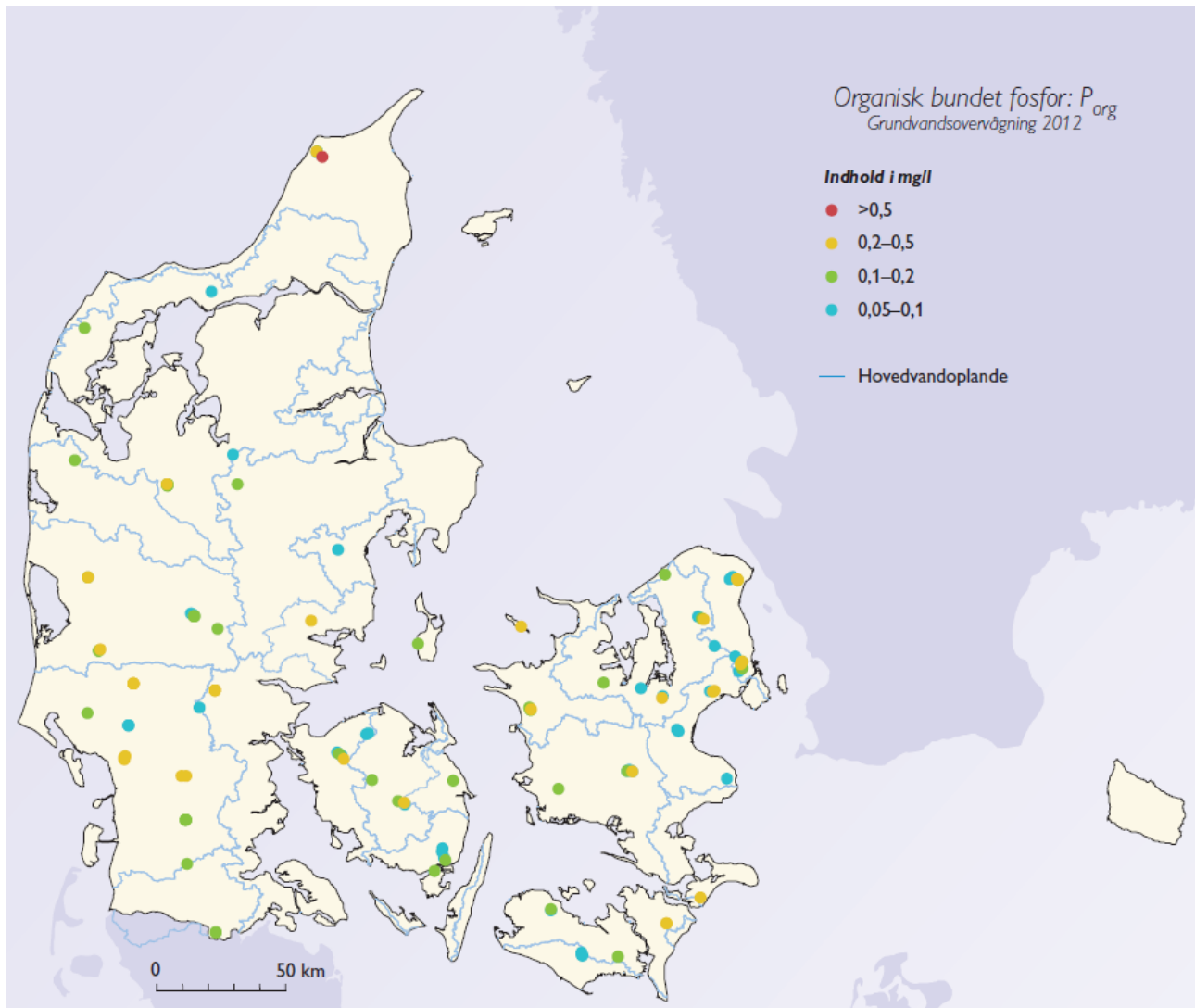
Figur 23. Indholdet af Orthofosfat-P ($\text{PO}_4\text{-P}$) og Organisk bundet fosfor (P_{org}) opdelt efter vandtype, jf. tabel 3 og side 40. Vandtype A og B indeholder nitrat, mens vandtype C og D er reducerede.



Figur 24. Indholdet af fosfor i forskellige puljer for henholdsvis oxideret vand, her vandtype A, ($\text{O}_2 > 1 \text{ mg/l}$ og $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$), og reduceret vand, her vandtype C ($\text{NO}_3 \leq 1 \text{ mg/l}$ og $\text{SO}_4 > 20 \text{ mg/l}$).

Geografisk fordeling

Den geografiske fordeling af fosforpuljerne blev præsenteret i sidste års rapport (Thorling m.fl. 2012). Det fremgik, at fosfor forekommer som både P_{ortho} og P_{org} overalt i landet, i såvel høje som lave koncentrationer, hvor koncentrationerne i områder med højtliggende kalk i Østjylland fra Djursland mod Aalborg dog overvejende er ret lave. For at illustrere, at høje indhold af organisk bundet fosfor P_{org} forekommer i det meste af landet, er der på figur 25 vist, hvor der optræder P_{org} indhold over $0,05 \text{ } \mu\text{g/l}$. Denne koncentration svarer til den koncentration, hvor der er et knæk på fordelingskurverne ved sammenligning af nitratholdigt og reduceret grundvand, se figur 23.



Figur 25. Geografisk fordeling af fund af organisk P over 0,05 mg/l. Det skal bemærkes, at denne fraktion ikke optræder i højtliggende kalk overlejret af sand i Østjylland og omkring Ålborg.

Fosfor, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer

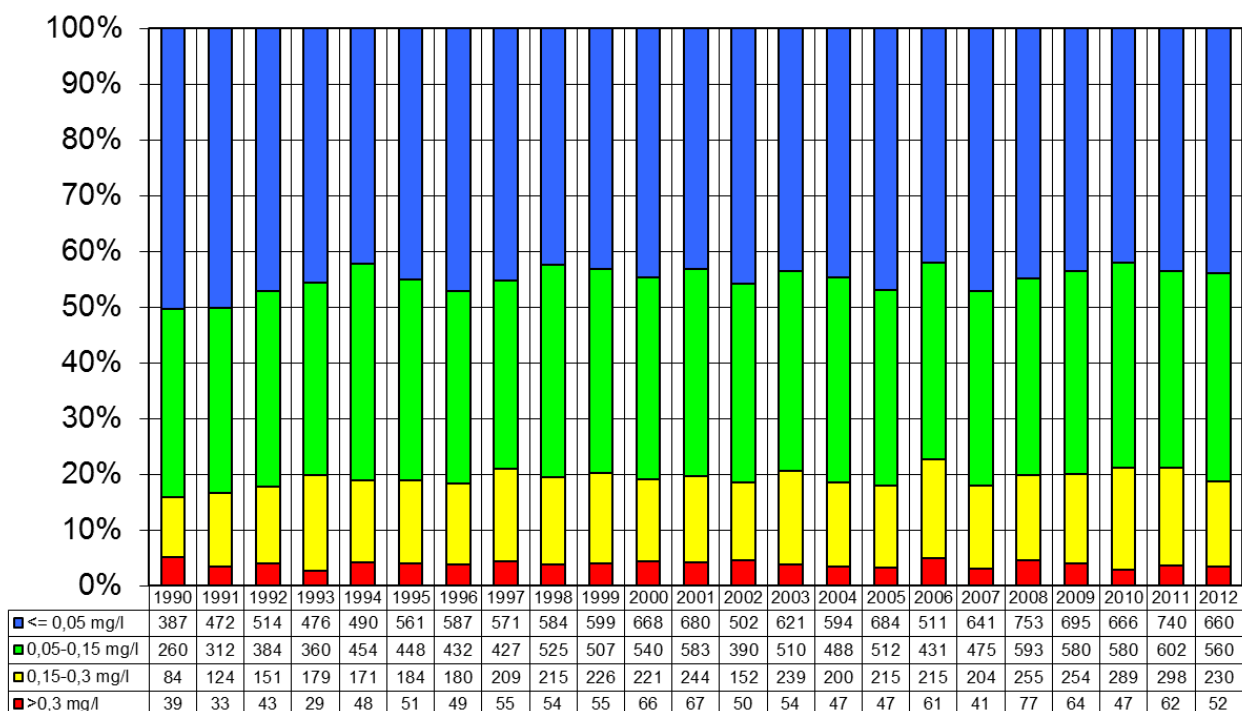
Datagrundlag

Datagrundlaget er analyser af det totale indhold af opløst fosfor fra boringskontrollen af vandværkernes indvindingsboringer fra perioden fra 1990 til 2012.

Tilstand, udvikling og årsager

Knap halvdelen af analyserne fra vandværkernes boringskontrol, 40-50 %, har et meget lavt indhold af fosfor, idet indholdet af opløst fosfor ligger under 0,05 mg/l, se figur 26. Ca. hver 5. indvindingsboring har et fosforindhold over drikkevandskravet for drikkevand (0,15 mg/l). Denne andel har ikke ændret sig væsentligt siden Vandmiljøplanernes start. Variationer i fordelingen fra år til år skyldes især, at ikke alle indvindingsboringer analyseres hvert år.

Årlig fordeling af fosfor i Vandforsyningsboringer 1990-2012

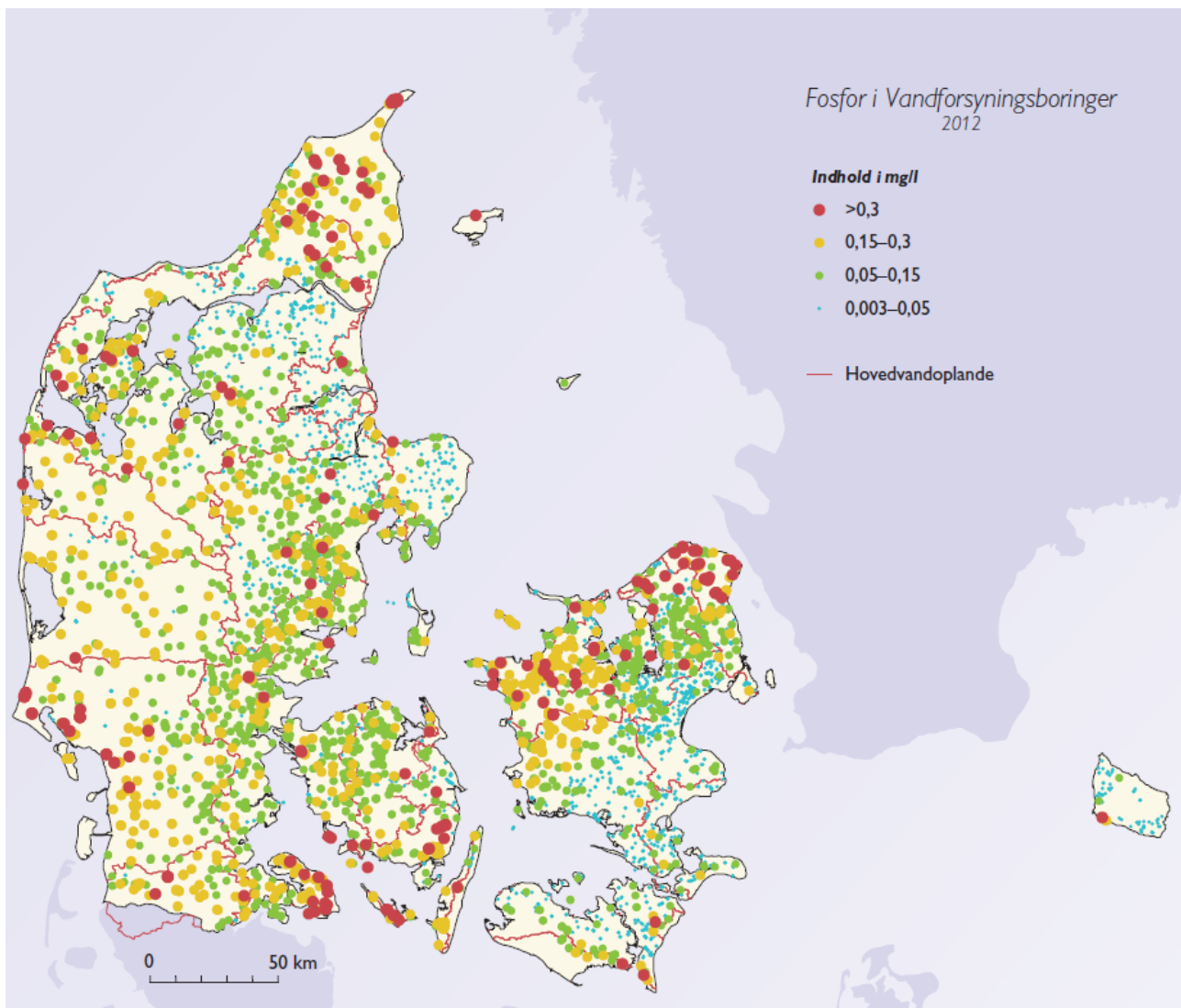


Antal indtag

Figur 26. Antal indtag og fordelingen af fosfor (målt som total fosfor) i vandværkernes indvindingsboringer fordelt på 4 koncentrationsniveauer for perioden 1990-2012. Drikkevandskravet er 0,15 mg/l. Almindelig vandbehandling vil normalt sikre, at drikkevandskravet kan overholdes i drikkevandet.

Regional fordeling

Fosforindholdet i vandværksboringerne er visse steder i landet relativt højt, og for ca. 20 % (ca. 1.300 boringer) af de aktive indtag (2005-2012) er indholdet af opløst fosfor $\geq 0,15$ mg/l. De højeste fosforindhold ($>0,3$ mg/l) kan i mange tilfælde henføres til boringer, hvor vandet har været i kontakt med interglaciale, lerede marine aflejringer, som fx i Nordjylland, Sønderjylland, Als, Ærø og Langeland, se figur 27. Omvendt findes der kun få boringer med over 0,15 mg/l fosfor i områder, hvor kalkaflejringer underlejrer de kvartære lag, som i store dele af Sjælland samt på Lolland, Falster, Møn, Djursland, Himmerland og Hanherred. Endelig kan opløst fosfor i kalkmagasiner reagere med calcium og udfælde som tungtopløseligt apatit. Hvor der forekommer fosfor i terrænnært grundvand kan årsagen være en forurening fra overfladen, eller at der er opadrettet grundvandsstrømning med reducerede vandtyper mod søer og vandløb, der derved opnår et naturligt højt fosforindhold.



Figur 27. Fosfor i vandværksboringer (mg/l). Seneste analyse pr. 1.1.2013.

Fosfor i øvre terrænnært grundvand (LOOP)

Datagrundlag

Det øvre grundvand overvåges i landovervågningsområderne (LOOP), hvor der er målt for P_{tot} og P_{ortho} i perioden 1998–2012. Det øvre grundvand er udtaget i boringer filtersat mellem 1,5 og 6 m u.t. Det øvre grundvand er i alle disse områder således højtliggende, hvilket ikke er repræsentativt for forholdene overalt i Danmark, idet der mange steder i landet ikke træffes grundvand så tæt på terræn.

Fosfor i det øvre grundvand – tilstand

I rapportering for 1989-2008 (Thorling m.fl., 2010) blev der grundigt redegjort for forekomsten af forskellige fosforbidrag i det øvre grundvand. Da grundvandets indhold af fosfor kun langsomt ændres, vil dette års rapport alene udgøre en statusopgørelse, samt en sammenligning med de nye data for P_{org} og P_{ortho} i GRUMO i 2011-12.

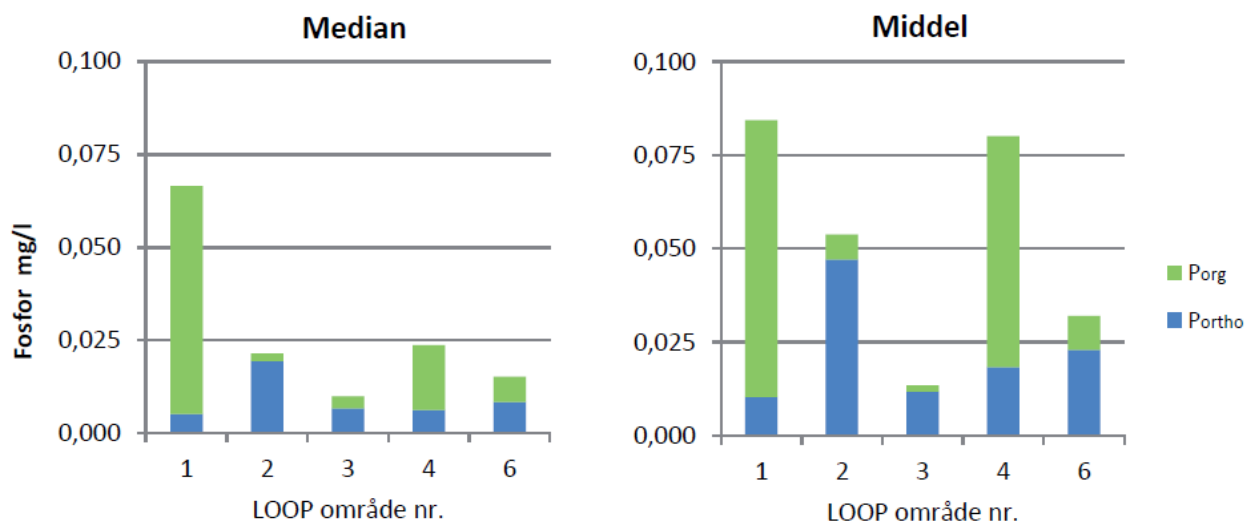
I figur 28 er vist median- og middelværdierne for koncentrationen af P_{tot} opdelt på P_{ortho} og P_{org} i det øvre grundvand for 2012 for de 5 landovervågningsoplande. Medianværdien for P_{ortho} i det øvre grundvand er af samme størrelsesorden i lerjords- og sandjordsområderne. Indholdet af total opløst fosfor, P_{tot} , for såvel ler- som sandjordsoplande kan ikke alene forklares ud fra indholdet af P_{ortho} .

Medianværdien for fosforindholdet i det øvre grundvand er generelt under 0,01 mg/l P for P_{ortho} og under 0,1 mg/l P for P_{tot} . Disse fosforniveauer ligger under drikkevandskravet for drikkevand på 0,15 mg/l P. Ved udsivning af grundvand til overfladevand kan høje koncentrationer, typisk højere end ca. 0,1 mg/l P imidlertid give anledning til eutrofiering i bl.a. søer.

I alle områderne ligger medianværdien for P_{tot} væsentligt lavere end middelværdien for P_{tot} . Dette skyldes, at der i 20-30 % af prøverne er et højt indhold af P_{tot} typisk over 0,1 mg/l, hvilket kalder på en nærmere analyse af stoftransporten for fosfor gennem de øvre jordlag, idet hovedparten af stoftransporten ser ud til at ske i omkring 10-20 % af vandet. (Thorling m.fl. 2010).

Der er en markant forskel på andelen af organisk fosfor i det øvre grundvand LOOP-områderne. I LOOP 3, et lerjordsområde i Østjylland, er andelen af P_{org} ift. P_{tot} i såvel 2012 som i hele overvågningsperioden blot omkring 20 %, mens det i lerjordsoplandene LOOP 1 (Lolland) og 4 (Fyn) gennem hele perioden har været mere end halvdelen af fosforindholdet, der ikke består af orthofosfat, og derfor må tilskrives bidrag fra organisk bundet fosfor, se figur 28.

Fosfor i øvre grundvand 2012

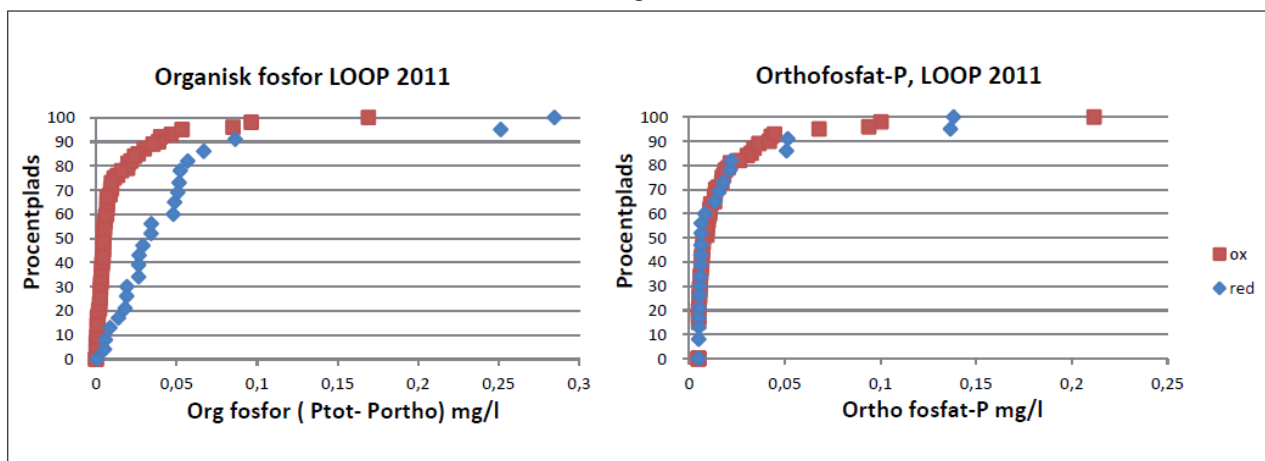


Figur 28. Indholdet af fosfor (mg/l) i det øvre grundvand opdelt på P_{ortho} og P_{org} for de enkelte LOOP-områder i 2012.

Redox og fosfor i LOOP

Her vises resultaterne fra sidste år, 2011, idet der i mange år er analyseret for såvel P_{ortho} som P_{tot} i LOOP områderne. Som i GRUMO er analyserne fra 2011 opdelt efter om der er nitrat til-

stede eller, at nitrat ikke er tilstede. Dette blev gjort for gennemsnitsværdierne for hvert enkelt indtag i 2011, således at indtag med gennemsnitligt mere end 1 mg/l nitrat kaldes oxiderede, mens indtag med ≤ 1 mg/l nitrat kaldes reducerede. Figur 29 viser fordelingen af P_{ortho} og P_{org} i LOOP for oxiderede og reducerede indtag. Det fremgår at indholdet af P_{ortho} ikke afhænger af redox tilstanden, mens der er større indhold af P_{org} i reducerede indtag, hvor 30 % indeholder mere end 0,05 mg/l P_{org} mod 5 % i oxiderede indtag. Dette er i fuld overensstemmelse med, hvad der blev fundet i GRUMO i 2011-12, se figur 23.



Figur 29. Fordelingen af organisk fosfor og orthofosfat-P i LOOP. Data fra 2011, opdelt efter redoxstatus i de enkelte indtag. Oxideret grundvand (ox) hvor $NO_3 > 1$ mg/l, samt reduceret grundvand (red) hvor $NO_3 \leq 1$ mg/l. Der er anvendt gennemsnitskoncentrationer på indtagsniveau.

Sammenfattende om fosfor

Der blev i 2011 for første gang i grundvandsovervågningsprogrammets historie analyseret systematisk for orthofosfat-P samtidig med den traditionelle total fosfor analyse. Målingerne blev gentaget i 2012, og viser, at fundene er reproducerbare. Resultaterne viser overraskende, at orthofosfatindholdet i grundvandet tilsyneladende er uafhængigt af såvel dybde som redoxforhold. Resten af totalfosfor (formentlig organisk bundet fosfor) kan forklare de mønstre, som man kender for fosfors udbredelse i grundvandet, idet der er et langt højere indhold af organisk fosfor i reduceret grundvand end i oxideret grundvand.

Der er ikke nogen markant geografisk variation i, hvor der er særligt høje eller lave andele af orthofosfat/totalfosfat, men dette kan til dels tilskrives den relativt lave datatæthed, som GRUMO data har på landsplan. I modsætning til mange andre stoffer er der ikke data til rådighed fra vandværkerne til at give et landsdækkende geografisk repræsentativt billede. Der er fundet samme redoxafhængighed for organisk fosfor i LOOP data som i GRUMO data. Koncentrationsfordelingen af orthofosfat er den samme for oxiderede og reducerede grundvandsprøver. Det højere totalfosfor indhold under reducerede forhold kan i begge datasæt forklares ved et større indhold af organisk fosfor end under iltede forhold.

Der er i forhold til grundvandets påvirkning af overfladevand et stort behov for at undersøge hvilken kemisk sammensætning det såkaldte organiske fosforbidrag i grundvandet, rent faktisk har, så det er muligt at vurdere, hvorledes denne fraktion bidrager til stoftransport og eutrofieringen.

Referencer, hovedbestanddele

Lovgivning mv. Danmark og EU:

Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøstyrelsen, 2000: Zonering. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)

EU, 1991: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, de stammer fra landbruget. (Nitratdirektivet)

EU, 2006: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse.(Grundvandsdirektivet)

Andre referencer:

Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsén V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særudgivelse. <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20091217.pdf> (5-11-13)

Hansen, B., Rasmussen, B.B., Sivertsen, J., Sørensen, E., Kristoffersen, V. & Christensen, K.S., 2010. Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP). Særudgivelse fra GEUS.

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

Hansen, B., Dalgaard, T., Thorling, L., Sørensen, B. & Erlandsen, M., 2012. Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. Biogeosciences Vol 9, 5321-5346, 2012.

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (5-11-13)

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B. og Magid, J., 2010: Opløst organisk fosfor i grundvand? Vand og Jord pp. 20-23, vol. 17, feb. 2010.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Links:

Grundvandskortlægningens hjemmeside: www.Grundvandskortlaegning.dk (19.10.2013)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.10.2013)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.10.2013)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10..2013)

5 Uorganiske sporstoffer

Uorganiske sporstoffer forekommer naturligt i relativt små mængder i grundvandet, typisk i størrelsesordenen µg/l. De uorganiske sporstoffer har meget forskellige kemiske egenskaber, anvendelser og geologisk forekomst. Deres toksiske og økotoksikologiske egenskaber er vidt forskellige, hvorfor de også har meget forskellige vandkvalitetskrav (se tabel 6)

Datagrundlag

Data fra grundvandsovervågningen og vandværkernes vandforsyningsboringer indgår i dette afsnit. Tabel 5 viser hvilke analyseparametre, der indgår i overvågningsprogrammet for grundvand (GRUMO for programperioden 2011-2015 samt i vandværkernes obligatoriske boringskontrol (MiM 2011). I 2012 er der for første gang analyseret for sporstoffer i 4 redoxboringer, hvilket muliggør overvågning af variationer ned gennem et grundvandsmagasin i både rum og tid, til brug for generalisering af enkeltstående iagttagelser i det landsdækkende stationsnet.

Uorganiske sporstoffer	GRUMO	Vandværkernes boringskontrol
Aluminium (Al)	X	X
Arsen (As)	X	X
Barium (Ba)	X	X
Beryllim (Be)	X	
Bly (Pb)	X	
Bor (B)	X	X
Bromid (Br)	X	
Cadmium (Cd)	X	
Iod (I)	X	
Kobber (Cu)	X	
Kobolt (Co)		X
Kviksølv (Hg)	X	
Nikkel (Ni)	X	X
Strontium (Sr)		
Zink (Zn)	X	

Tabel 5. Analyseparametre for uorganiske sporstoffer i grundvandsovervågningen og vandværkernes boringskontrol, 2012.

Målsætning

Drikkevandskravene (grænseværdierne) er opdelt i en kravværdi ved indgang til ejendom og en anden (højere) værdi ved forbrugers taphane, på baggrund i risikoen for afsmitning af metaller fra installationer og rør, (MiM, 2011).

En række sporstoffer, herunder arsen og nikkel kan fjernes delvist ved vandbehandlingen, under forudsætning af at vandværkets råvand indeholder de fornødne mængder af jern og mangan. Under iltning af råvandet på vandværket udfældes jern og mangan, sammen med mange sporstoffer som okkerslam (MST, 1999). Koncentrationer af disse sporstoffer i drikkevandet,

der leveres til forbrugerne, kan derfor forventes at være lavere, og er ofte lave nok til at overholde drikkevandskravene sammenlignet med råvandet i indvindingsboringerne. Dette gælder dog ikke nødvendigvis de forbrugere, der forsynes med vand fra egen brønd eller boring.

Af hensyn til reetablering og opretholdelse af god tilstand i vandløb, søer, vådområder, terrestriske økosystemer og marine områder skal grundvandets påvirkning af disse vurderes. Det er derfor relevant at kunne sammenligne grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer med kvalitetskravene for overfladevand som i tabel 6. Terrænnært strømmende grundvand kan være præget af uorganiske sporstoffer, som stammer fra den lokale arealanvendelse, mens dybere strømmende grundvand hovedsageligt er præget af sporstofindholdet i de geologiske aflejringer, som vandet passerer. Indholdet af sporstoffer i grundvandet er som nævnt afhængig af den lokale geologi og geokemi, både hvad angår mulighederne for tilbageholdelse af tilførte forurenende stoffer og evt. antropogent accelereret frigivelse fra naturligt forekommende mineraler fx gennem forsurelse eller ændring af redoxforholdene.

Eksempelvis anføres høje koncentrationer af opløst aluminium i sure nåleskovsvandløb, henholdsvis Rye Nørskov og Silkeborg Vesterskov, som medvirkende årsag til forarmede smådyrssamfund (Friberg, 1998). Miljøkvalitetskrav for overfladevand er fastsat i "bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer og havet", (MiM, 2010). Drikkevandskravene er helt generelt meget forskellige fra de fastsatte miljøkvalitetskrav for overfladevand, se tabel 6.

Endelig er der i forbindelse med oprydning på forurenede lokaliteter fastsat grundvandskvalitetskriterier (se tabel 6) for en række uorganiske sporstoffer (MSt, 1998, 2010). Kvalitetskriterierne er fastsat således, at drikkevandskravene kan forventes at være opfyldt, efter en simpel vandbehandling i form af beluftning og filtrering gennem sandfilter. Der er ikke fastsat drikkevandskvalitetskriterier for bromid, jod og vanadium.

Relevans

Stofgruppen uorganiske sporstoffer omfatter grundstoffer af vidt forskellig karakter, bl.a. tungmetaller, men også letmetaller som aluminium og ikke-metaller som fx arsen og bor. Også den simple kemiske forbindelse cyanid (CN), som blandt andet kendes fra gamle gasværksgrunde, indgår i gruppen af uorganiske sporstoffer. For en lang række sporstoffer må det anses for sandsynligt, at de målte indhold ud over det naturligt forekommende baggrundsindhold også rummer bidrag fra samfundsmæssig aktivitet.

I forhold til menneskers helbred kan de uorganiske sporstoffer groft opdeles i 3 grupper:

- de toksiske, der har sundheds- og miljømæssigt skadelige effekter (humantoksiske og økotoksiske) selv ved små koncentrationer
- de essentielle, der omfatter stoffer, som er nødvendige for den menneskelige organisme i små mængder, men som er sundhedsskadelige og økotoksiske i større koncentrationer
- de stoffer, som normalt ikke optræder i problematiske koncentrationer, men hvor stoffet kan have relevans, fordi det stedvis kan optræde i så høje koncentrationer, at det kan være enten sundhedsskadeligt eller have økotoksikologiske effekter fx aluminium og sølv, hvor de frie ioner er giftige.

Uorganiske sporstoffer	Grundvands kvalitets-kriterier (MST 1998, 2010)	Drikkevands-krav ^a (MiM 2011)	Kvalitetskrav for overfladevand (MiM 2010a og MiM 2013)			
			µg/l	µg/l	Fersk	Fersk/ kort tid
Aluminium	-	100	2,02	8,42	-	-
Antimon	-	2	113	177	11,3	177
Arsen	8	5	4,3	43	0,11 ^d	1,1 ^d
Barium	-	700	9,3 ^d	145 ^d	5,8 ^d	145
Beryllium	-	10	-	-	-	-
Bly	1	5	0,34 ^d	2,8 ^d	0,34 ^d	2,8 ^d
Bor	300	1.000 / 300 ^b	94 ^d	2080 ^d	94 ^d	2080 ^d
Cadmium (for blødt vand ^c)	0,5	2	0,08	0,45	0,2 ^d	0,45
Cadmium (for hårdt vand ^c)	0,5	2	0,25	1,5	0,2 ^d	1,5
Kobolt	-	5	0,28 ^d	18	0,28 ^d	34
Jod	-	-	10 ^d	10 ^d	10 ^d	10 ^d
Krom, total	25	20	-	-	-	-
Krom, VI	1	-	3,4	17	3,4	17
Krom III	-	-	4,9	124	3,4	124
Cyanid, total	50	50	5	-	5	-
Cyanid, syreopl.	-	20 ^c	-	-	-	-
Kobber	100	100	1 ^d dog max 12	2,0 ^d	1 ^d dog max 2,9	2,0 ^d
Kviksølv	0,1	1 / 0,1 ^b	0,05 ^d	0,07 ^d	0,05 ^d	0,07 ^d
Litium	-	1000				
Molybdæn	20	20	67	587	6,7 ^d	587
Nikkel	10	20	2,3 ^d dog max 3	6,8	0,23 ^d dog max 3	6,8
Selen	-	10	0,1 ^d	-	0,08 ^d	-
Strontium	-	10.000	210 ^d	553 ^d	210 ^d	553 ^d
Sølv	-	10	0,017 ^d	0,36 ^d	0,2 ^d	1,2 ^d
Tallium	-	1	0,48 ^d	1,2 ^d	0,048 ^d	1,2 ^d
Tin	-	10	2,0	20	0,2	20
Vanadium	-	-	4,1 ^d	57,8	4,1 ^d	57,8
Zink	100	100	7,8 ^d / 3,1 ^f	8,4 ^d	7,8 ^d	8,4 ^d
Zink Blødt vand ^f	100	100	3,1 ^f	-	-	-

a) Ved indgang til ejendom; b) Krav / Anbefaling; c) Miljøstyrelsen, 1995;
d) Den resulterende koncentration i et vandområde skal være lavere end den naturlige baggrundskoncentration i det pågældende vandområde plus den anførte værdi for at miljøkvalitetskravet er opfyldt; e) Cadmium: Blødt vand: (<40 mg CaCO₃/l, Hårdt vand: >200 mg CaCO₃/l);
f) Zink: Blødt vand: <24 mg CaCO₃/l.

Tabel 6. Kvalitetskriterier for uorganiske sporstoffer.

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. krom, kobber, zink og selen. For selen er forskellen mellem nødvendig indtagelse og giftvirkning relativt lille.

Til restgruppen hører blandt andet aluminium, barium, bromid, bor, jod, litium, molybdæn, strontium og sølv. For nogle stoffer, fx. beryllium, er der kun sparsom viden om deres effekter i de små koncentrationer, som normalt forekommer opløst i grundvand.

Et stof som bor er normalt ikke tilstede i problematiske koncentrationer i almindeligt fersk grundvand og betragtes heller ikke som essentielt (Adriano, 2001). Bor anvendes bl.a. til tryk-impregnering af træ og i visse insekticider. Derudover er bor en indikator for saltvandsindtrængning. Grundvandsforekomster, som er påvirket af indtrængende saltvand kan ikke klassificeres som havende god tilstand (EU, 2000).

I august 2008 fare-klassificerede EU Kommissionen bor under Biocid Direktivet (under revision) i farekategorien "Reproduktive". Category 2 - R60 (May impair fertility) og R61 (May cause harm to the unborn child)", (EU, 2009). Dette betyder, at der er risiko for nedsat forplantningsevne for mænd og for fosterskader hos gravide kvinder, forudsat at bor indtages i større mængder over en længere periode, (Arbejdstilsynet, 2000).

Hvorvidt nikkel stadig bør regnes med til de essentielle sporstoffer for mennesker, hersker der usikkerhed om. I dyreforsøg bl.a. med rotter er der fundet effekter som hæmmet vækst, forringet reproduktion og nedsat dannelse af blodceller, specielt i knoglemarven (Committee on Toxicity, 2003) ved lavt nikkelindtag. Nikkel antages at kunne påvirke følsomheden over for smitte (Hyung-Sik et al 2004).

Grundvandsovervågning

I løbet af perioden 1993 – 2012 er i alt 25 uorganiske sporstoffer overvåget i kortere eller længere tid. Der er fastsat drikkevandskrav for 22 af disse, og der er i 2012 konstateret overskridelse af det fastsatte drikkevandskrav ved indgangen til forbrugers ejendom for 8 af de målte stoffer, nemlig aluminium, arsen, bly, bor, cadmium, kobber, nikkel, og zink. Det generelle omfang af overskridelser for de vigtigste stoffer samt den tidlige udvikling fremgår af (Thorling m.fl., 2010b, bilag 1).

I 2012 er 250 GRUMOindtag analyseret for stofferne aluminium, arsen, bly, bor, cadmium, jod, kobber, nikkel og zink. 74 af disse indtag stammer fra de såkaldte redoxboringer.

Antallet af indtag med overskridelse af drikkevandskravet fremgår af tabel 7. Overskridelserne er fordelt på 85 indtag, svarende til 34 % af de undersøgte indtag. I 31 indtag overskrides drikkevandskravet for mere end ét stof.

Stof	Indtag med overskridelse		heraf antal i redoxboringer			
	Antal	% af analyserede				
			Vejby	Sibirien	Grindsted	Kasted
Aluminium	51	20			13	
Arsen	9	3,6				
Bly	8	3,2				
Bor	1	<1				
Cadmium	3	1,2				
Kobber	7	2,8	1	1		
Nikkel	31	12	2	2		
Zink	23	9,2	2	2	2	

Tabel 7. Overskridelse af drikkevandskravene for uorganiske sporstoffer i overvågningsboringer i 2012.

Redoxboringer

De såkaldte redoxboringer er multifilterboringer med et stort antal (15-23) korte indtag (10 cm) til prøveudtagning, som sidder med relativt korte mellemrum, 1-2 m, ned gennem boringen. Redoxboringerne er primært etableret for at kunne følge den tidlige udvikling i nitrat i forhold til dybde, se kapitel 4.

Med analyserne af de uorganiske sporstoffer i 2012 er der for første gang etableret vertikale profiler for disse stoffer ned gennem grundvandssøjlen, og mulighed for at overvåge udviklingen heraf. Tabel 8 viser aldersprofiler for de fire redoxboringer, hvorfra der findes analyseresultater for uorganiske sporstoffer. De geologiske profiler ses på figur 16 - 20 kapitel 4.

Lokalitet	Vejby	Sibirien	Grindsted	Kasted
DGU nr.	186.854 + 186.855	238.900	114.1736	78.796
Indtagsnr.	Alder i år	Alder i år	Alder i år	Alder i år
23			6	
22			8	
21			10	
20			8	20
19			5	20
18			10	27
17		34	14	36
16	<5	33	22	36
15		24	21	44
14		28	19	45
13	13	31	19	51
12		25	25	48
11	17	23	27	50
10	40	11	28	50
9	56	36	29	40
8	55	39	31	40
7		37	31	40
6	55	44	35	49
5	57	45	33	52
4		45	40	60
3	50	44	38	61
2	57	47	33	61
1	36	48	55	61

Tabel 8. Aldersprofiler for 4 multifilterboringer bestemt ved CFC-metoden. Alderen angiver, hvor mange år det er siden grundvandet infiltrerede. Markante tidsspring er angivet med en fed streg. Indtag som skiller sig ud med høje indhold af uorganiske sporstoffer er markeret med fed skrift. Bemærk at alle boringerne indeholder tidsmæssige spring eller tidsinversioner, med yngre vand under ældre vand.

Grindsted repræsenterer et homogent sandmagasin med frit vandspejl. De øvrige har en geologisk opbygning med vekslende ler- og sandlag med spændte grundvandsspejl. I Sibirien og måske i Vejby er det lodrette grundvandsprofil opdelt i to hydraulisk adskilte trykregimer.

Kasted

Redoxboringen i Kasted overvågede i 2012 grundvand dannet mellem 1950 og 1992. Den har to morænelerslag i de øverste 11 m. Herunder følger en filtersat smeltevandssandlag med to ganske tynde lerlag i intervallet fra 11 til 20 m under terræn, se også figur 17.

Den filtersatte del af boringen modtager vand, som er infiltreret gennem landbrugsarealer opstrøms. Der er almindelig landbrugsdrift i oplandet med et vist husdyrhold (kvæg og svin), der gennem de sidste 60 år må formodes at have varieret med den generelle strukturudvikling i

landbruget. Nitratindholdet i de øverste 5 iltholdige indtag afspejler dette. De to øverste indtag er også påvirket af det skovbryn boringen står i.

Indholdet af uorganiske sporstoffer (tabel 9) er ganske lavt og relativt homogent fordelt ned gennem smeltevandssandet, dog med et noget højere indhold af kobber, nikkel og zink øverst, specielt de to øverste indtag, hvor der er et lavere pH end i de øvrige indtag.

Kasted															
Indtag nr.	Bjergart	Dybde m u. te	Farve	Grundvand dannet	pH	Al	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	O ₂	NO ₃	Fe	SO ₄
Ler															
20	ds	12,42	rbu	1992	7,17	3,1	0,09	0,095	2,3	10	54	9	55	<0,01	28
19	ds	14,42	rbu	1992	7,16	2,5	0,07	0,034	1,9	3,3	35	9,2	57	<0,01	27
Silt															
18	ds	17,40	rbu	1985	7,50	9	0,08	0,018	0,39	2,2	15	7,5	64	<0,01	53
Ler, - reduceret															
17	ds	21,38	rbu	1976	7,50	4	0,06	0,038	0,27	3,4	14	4,5	33	<0,01	83
16	ds	22,39	rbu	1976	7,50	1,9	0,07	0,013	0,17	2,4	10	4,2	36	<0,01	83
15	ds	23,38	rbu	1968	7,50	13	0,07	0,023	0,21	1,9	14	0,4	32	<0,01	100
14	ds	24,38	rbu	1967	7,52	1,7	0,06	0,021	0,23	1,7	10	0,2	30	<0,01	100
13	ds	25,38	rbu	1961	7,51	1,9	0,06	0,011	0,09	2,3	13	0,2	30	<0,01	100
12	ds	26,38	rbu	1964	7,52	2,5	0,07	0,024	0,78	2,6	17	0,1	26	<0,01	99
11	ds	27,37	rbu	1962	7,51	1,2	0,06	0,056	0,27	1,7	10	0,1	18	<0,01	91
10	ds	28,37	rbu	1962	7,50	7,2	0,07	0,10	0,24	2,1	12	0,1	14	<0,01	98
9	ds	29,37	rbu	1972	7,50	2,4	0,2	0,07	1	2,9	15	0,3	19	<0,01	103
8	ds	30,37	rbu	1972	7,49	2,2	0,08	0,06	0,36	4,2	9	0,3	30	<0,01	100
7	ds	31,37	rbu	1972	7,44	4,4	0,06	0,053	0,27	3,1	15	0,7	44	<0,01	96
6	ds	32,37	grå	1963	7,47	1,6	0,08	0,034	0,31	2,3	15	0,2	1,2	0,02	83
5	ds	33,36	grå	1960	7,47	0,6	0,06	0,006	<0,04	2,5	12	0,3	<0,5	0,1	110
4	ds	35,86	grå	1951	7,51	1,6	0,06	<0,04	<0,04	1,2	9	0,2	<0,5	0,3	100
3	ds	37,85	grå	1950	7,51	1,7	0,06	<0,04	<0,04	0,6	8	0,3	<0,5	0,4	96
2	ds	39,84	grå	1950	7,52	1,7	0,06	0,05	<0,04	2,3	9	0,2	<0,5	0,4	76
1	ds	43,82	grå	1950	7,57	3,2	0,06	<0,04	<0,04	3,3	11	0,2	<0,5	0,5	72

Tabel 9. Indholdet af uorganiske sporstoffer i µg/l i redoxboringen i Kasted, DGUnr. 78.796, juni 2012. Hovedbestanddele (ilt, nitrat, jern og sulfat) er i mg/l og repræsenterer gennemsnit af 3 målinger i 2012. Bjergart: "ds" = diluvialsand (smeltevandssand). Farver: "rbu" = rødbrune nuancer, "grå" = grå nuancer.

Grindsted

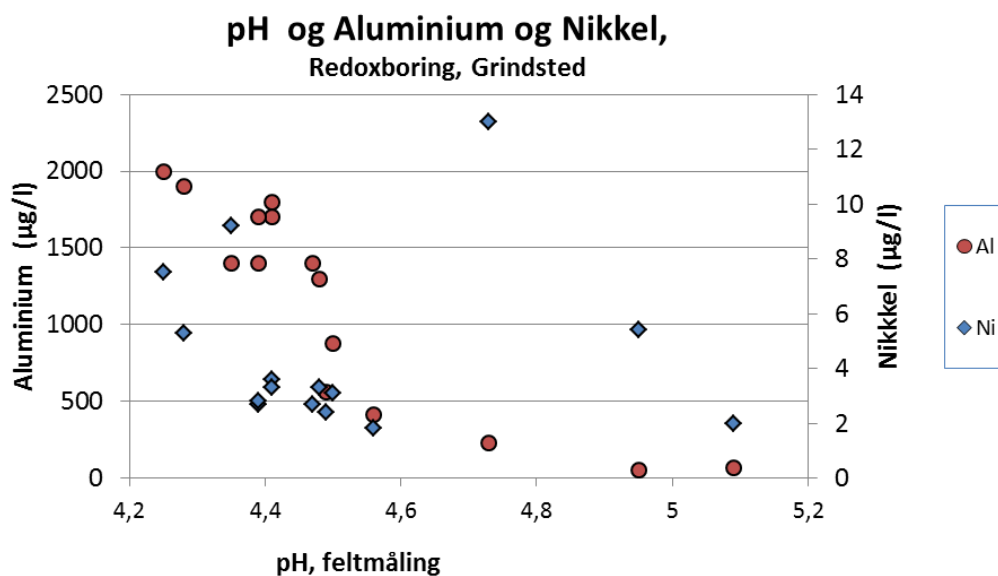
Redoxboringen i Grindsted overvågede i 2012 grundvand dannet mellem 1957 og 2006.

Grundvandets alder stiger nogenlunde jævnt ned gennem boringen, dog med en lille afvigelse i toppen.

Den er filtersat fra 13 til 40 m u.t. i to hydraulisk sammenhængende sandlag, henholdsvis 20 m smeltevandssand øverst og 20 m kvartssand af miocæn alder derunder, se også figur 18. Grundvandsdannelsen, der er blandt de højeste i Danmark, er 350-400 mm pr. år. Grundvandspejlet, der er frit, ligger ca. 1 m u.t. Boringen modtager vand som er infiltreret gennem landbrugsarealer opstrøms. Grundvandets pH er lavt, hvilket påvirker indholdet af uorganiske sporstoffer (tabel 10) gennem opløsning af aluminiumsilikater. Figur 30 viser sammenhængen mellem pH, aluminium og nikkel.

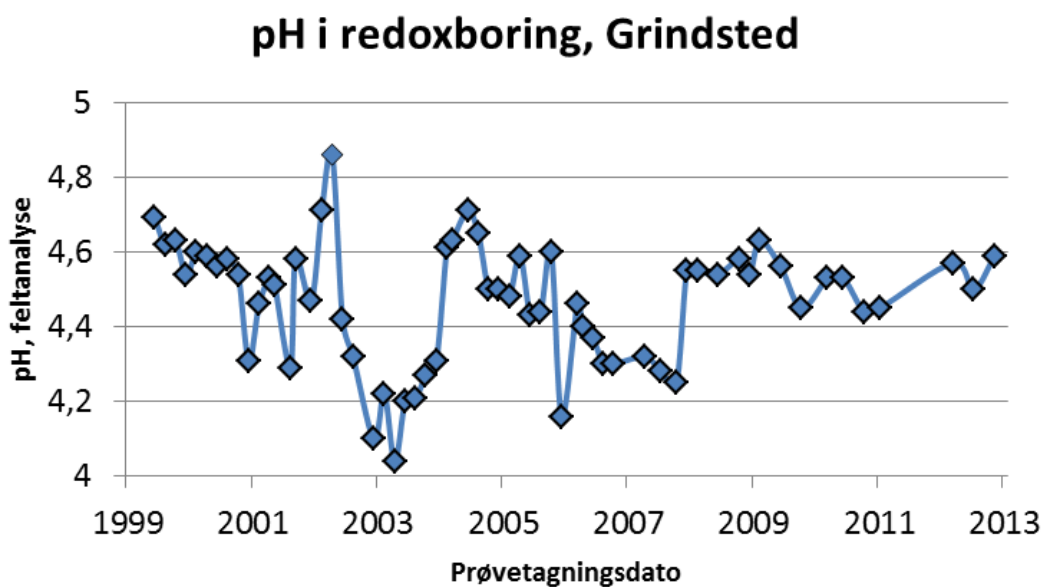
Grindsted															
Indtag	Bjergart	Dybde m u.t	Farve	Grundvand dannet	pH	Al	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	O ₂	NO ₃	Fe	SO ₄
23	ds	12,95	gbu	2006	4,50	880	0,40	0,17	1,4	3,1	23	7,9	37	<0,1	30
22	ds	14,45	gbu	2004	4,47	1400	0,44	0,16	0,37	2,7	10	7,9	46	<0,1	22
21	ds	15,95	gbu	2002	4,39	1400	0,62	0,17	0,31	2,8	15	7,1	64	<0,1	19
20	ds	16,95	gbu	2004	4,39	1700	0,45	0,19	0,92	2,7	19	4,5	74	<0,1	19
19	ds	17,65	gbu	2007	4,41	1800	0,41	0,21	0,60	3,3	18	6,7	72	<0,1	21
18	ds	18,35	gbu	2002	4,41	1700	0,17	0,24	0,51	3,6	22	4,2	55	<0,1	26
17	ds	19,05	gbu	1998	4,48	1300	0,13	0,23	0,45	3,3	17	1,2	41	<0,1	31
16	ds	19,75	gbu	1990	4,56	410	0,10	0,13	0,10	1,8	15	1,1	27	<0,1	38
15	ks	20,45	gbu	1991	4,49	560	0,11	0,14	0,11	2,4	17	1,3	29	<0,1	38
14	ks	21,15	gug	1993	4,28	1900	0,16	0,28	0,58	5,3	39	2,8	59	<0,1	32
13	ks	21,85	gug	1993	4,25	2000	0,20	0,33	0,55	7,5	45	4,0	68	<0,1	33
12	ks	22,55	gug	1987	4,35	1400	0,20	0,41	0,48	9,2	44	1,9	62	<0,1	38
11	ks	23,25	gug	1985	4,73	230	0,14	0,57	0,44	13	50	0,4	49	<0,1	41
10	ks	22,95	gug	1984	4,95	49	0,29	0,16	3	5,4	280	<0,1	38	<0,1	41
9	ks	24,65	gbu	1983	5,10	30	0,14	0,02	0,25	0,7	8,6	<0,1	37	<0,1	41
8	ks	25,35	gbu	1981	5,00	91	0,12	0,02	0,22	0,6	7,0	<0,1	35	0,1	38
7	ks	26,05	gbu	1981	5,11	48	0,11	0,01	0,26	1,1	3,4	<0,1	11	0,1	42
6	ks	27,05	gbu	1977	5,09	66	0,11	0,05	0,23	2,0	160	<0,1	2	0,1	44
5	ks	29,45	gbu	1979	5,53	69	0,05	<0,1	0,05	1,0	2,9	<0,1	<0,5	12	40
4	ks	31,95	gbu	1972	4,39	32	0,05	<0,1	0,12	4,1	3,7	<0,1	<0,5	24	37
3	ks	34,45	gbu	1974	5,50	18	0,04	<0,1	<0,1	2,6	10	<0,1	<0,5	19	34
2	ks	37,95	gbu	1979	5,30	18	0,04	<0,1	<0,1	2,8	35	<0,1	<0,5	13	36
1	ks	39,45	gbu	1957	5,44	38	0,03	<0,1	<0,1	0,1	3,2	<0,1	<0,5	14	35

Tabel 10. Indholdet af uorganiske sporstoffer i µg/l i multifilterboringen ved Grindsted, DGUnr. 114.1736 juli 2012. Hovedbestanddele (ilt, nitrat, jern og sulfat) er i mg/l og repræsenterer gennemsnit af 3 målinger i 2012. Bjergart: ”ds” = diluvialsand (smeltevandssand), ”ks” = kvartssand. Farver: ”gbu” = gråbrune og brungrå nuancer, ”gug” = lys gulgrå”.



Figur 30. Sammenhængen mellem pH, aluminium og nikkel i multifilterboringen i Grindsted DGUnr. 114.1736, juli 2012. Bemærk, at aluminiumindholdet i grundvandet forøges med en faktor 100, når pH falder fra 4,8 til 4,4.

Figur 31 viser den generelle tidslige udvikling i pH i det øverste indtag i 12,9 m u.t. Bemærk, at pH i perioder er tæt på 4, hvor bl.a. lerminerale opløses, under frigivelse af aluminium mv.



Figur 31. Den tidslige udvikling i pH i det øverste indtag (nr. 23) i redoxboringen i Grindsted DGUnr. 114.1736, fra 1999-2012.

Sibirien

Redoxboringen i Sibirien på Falster overvågede i 2012 grundvand dannet mellem 1965 og 2002. Boringen er beliggende på østsiden af et NV-SØ forløbende grundvandsskel på en højderyg i terrænet. Arealanvendelsen i området er landbrug. Boringen er karakteriseret af en heterogen geologisk opbygning og komplicerede hydrologiske trykforhold.

Geologisk opbygning

Den geologiske opbygning er udover den almindelige boreprøvebeskrivelse baseret på 4 gammalogs (måling af jordlagenes naturlige radioaktivitet), hvor lerede aflejringer har en relativ høj gammastråling og sand og grus en relativ lav gammastråling (Storstrøms Amt, 2000).

Der kan udskilles 6 geologiske enheder, hvoraf de to sandede sekvenser (enhed 3 og 5) rummer flere underinddelinger, se også figur 19.

Hydrologiske forhold.

En tidligere hydrologisk modellering (Storstrøms Amt, 2003) viste, at det ikke er muligt at beskrive trykniveauerne i sandlagene tilfredsstillende. Strømningsforholdene er derfor her tolket ud fra grundvandsdateringerne (tabel 11). I den øvre sandsekvens (enhed 5, indtag 11 til 17) viser vandets dannelses-tidspunkt tilnærmelse et omvendt aldersforløb med det ældste vand øverst og det yngste nederst. Dannelses-tidspunktet (1979 til 1990) viser, at vandet i den øvre sandsekvens strømmer langsomt, og det omvendte aldersforløb viser, at grundvandet ikke er infiltreret fra terræn omkring boringen.

Grundvandsdateringerne viser endvidere, at der forekommer et lag af markant yngre vand i toppen af den nedre sandsekvens (enhed 3, indtag 10). DGU's jordartskort 1:200.000 (DGU, 1989) viser, at der forekommer sandede aflejringer i terrænniveau ca. 1000 m NV for boringen og grundvandskortlægningen viser, at der her er kontakt mellem den øvre sandsekvens og den nedre sandsekvens (Geologisk Profil, NS-3, Naturstyrelsen, 2009). Det kan antages, at grundvandsdannelsen i området sker i dette sandvindue, og at det dannede grundvand herfra strømmer i toppen af den nedre sandsekvens (enhed 3) mod SØ ind under de yngre glacielle enheder (enhed 4, 5 og 6), og at vandet fra enhed 3, der her er kommet under tryk – på grund af det relative overtryk, bevæger sig opad ind i de yngre (overliggende) geologiske enheder (enhed 4, 5 og 6) med lav hastighed.

Geokemiske forhold.

I den øvre sandsekvens (enhed 5) forekommer der høje værdier af kobber, nikkel, zink samt bly og cadmium (tabel 11) i indtag 16, hvor smeltevandssandet har et vist indhold af silt. Generelt er sedimenters indhold af tungmetaller omvendt proportionalt med kornstørrelsen – jo mindre kornstørrelse jo mere tungmetal (Larsen, 1994). De forhøjede kobberværdier omkring morænelerslagene (indtag 10 til 13) antages ligeledes at skyldes mobilisering af kobber fra moræneleret, der typisk indeholder 14 ppm kobber i forhold til 1- 3 ppm i smeltevandssand. Endelig forekommer der forhøjede indhold af tungmetaller i toppen af den nedre sandsekvens (enhed 3, indtag 8). De meget høje indhold af sulfat i dette interval viser, at reduktion af nitrat med pyrit (Knudsen, 1999) som reduktionsmiddel, og at tungmetaller heri frigives, når sulfidet går i opløsning. At nitratinholdet er betydeligt højere, og sulfatinholdet lavere i den øvre sekvens (indtag 11 til 17) end i de underliggende enheder må skyldes, at reduktionskapaciteten i de øvre enheder er opbrugt, således som sedimentfarven (lys gulbrun) viser. Sedimentfarven i den nedre sekvens er beskrevet som gråbrun, men der findes ingen målinger af sedimenternes re-

duktionskapacitet, som kunne beskrive redoxprocesserne mere præcist. De forhøjede indhold af især nikkel i enhed 3 (indtag 8) kan hidrøre fra de omsatte sulfidminerale.

Sibirien															
Indtag	Bjergart	Dybde	Farve	Grundvand dannet	pH	Al	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	O ₂	NO ₃	Fe	SO ₄
	ml														
17	ds/di	10,2	gub	1979	7,17	1	0,04	0,02	3,4	0,5	9,4	4,6	31	<0,1	23
16	ds/di	12,2	gug	1980	7,29	1	0,62	0,2	220	5,9	490	0,9	40	<0,1	31
15	g	13,2	gug	1989	7,27	2	<0,1	0,01	1,1	1,0	2	0,4	58	<0,1	25
14	g	14,2	gug	1985	7,27	1	0,04	0,03	4,2	1,0	41	0,6	68	<0,1	25
13	mi/ms	15,2	gub	1982	7,25	3	0,13	0,03	26	1,0	17	0,9	69	<0,1	32
12	ml	16,2	gub	1988	7,25	2	0,15	0,03	23	1	7,5	0,9	69	<0,1	34
11	ml	17,2	gub	1990	7,23	2	0,29	0,04	13	1,1	12	0,5	70	<0,1	38
	dl		ol												
10	ds	21,2	gbu	2002	7,02	1	0,39	0,04	14	2,9	21	0,08	36	<0,1	144
8	ds	25,2	gbu	1974	7,20	4	0,17	0,1	8,4	27	460	0,07	17	<0,1	100
9	ds	23,2	gbu	1977	7,07	1	0,03	<0,1	<0,1	4,5	2,1	0,02	<0,5	4,1	140
7	ds	27,2	gbu	1976	6,99	1	0,03	<0,1	<0,1	2,7	4,5	0,02	<0,5	3,2	127
6	ds	29,2	gbu	1969	6,97	1	<0,1	<0,1	<0,1	2,9	2,3	0,01	<0,5	15	150
5	ds	31,2	gbu	1968	6,96	2	<0,1	<0,1	0,1	0,1	7,7	0,01	<0,5	3,5	133
4	ds	33,2	gbu	1968	6,91	1	0,05	0,02	1,2	0,1	8,1	0,01	<0,5	3,2	137
3	ds	34,2	gbu	1969	7,01	1	<0,1	0,01	<0,1	3,6	11	0,01	<0,5	2,3	133
2	ds	35,2	gbu	1966	7,09	1	<0,1	0,01	<0,1	1,1	1,7	0,01	<0,5	2,8	133
	Ler		ol												
1	sk	45,7	hi	1965	7,31	43	0,60	0,01	2,8	37	89	0,05	<0,5	1,5	21

Tabel 11. Indholdet af uorganiske sporstoffer i µg/l i redoxboringen DGUnr. 238.900. Sibirien, Falster, aug. 2012. Hovedbestanddele (ilt, nitrat, jern og sulfat) er i mg/l og repræsenterer gennemsnit af 3 målinger i 2012. Bjergart: ”dl” = diluivaller (smeltevandssler), ”di” = diluivallsilt (smeltevandssilt), ”ds” = diluivallsand (smeltevandssand), ”g” = grus”, ”ml” = moræneler, ”ms” = morænesand, ”sk” = skrivekridt. Farver: ”gbu = gråbrune nuancer, ”hi” = hvid, ”ol” = oliven, ”gub” = lys gulbrun”, ”gug” = lys gulgrå”. Bemærk, at indtag 8 og 9 på baggrund af de kemiske analyser er byttet om i forhold filternummereringen i borerapporten.

Vejby

Redoxboringen i Vejby i Nordsjælland overvåger grundvand som er dannet fra 1955 og frem til nu, dvs. inden for de sidste 5 år. Den er karakteriseret af 4 m diluivaller (smeltevandssler) i toppen og en smeltevandssandsekvens på ca. 25 m’s tykkelse med et tyndt lag diluivaller i ca. 11 m’s dybde. Leret er mørkt gråt og altså ikke oxideret i modsætning til sandet både over og under. Boringen har 10 indtag i diluivallsandet under lerlaget i 11 m’s dybde og et enkelt indtag i en selvstændig boring (DGUnr. 186. 855) over lerlaget, se også figur 20. Denne boring er aldrig blevet pejlet.

Boringerne er beliggende nær grundvandsskellet i Isefjord Hovedvandopland ind mod Øresund Hovedvandopland. Den regionale strømningsmønster i området forventes at gå mod SV mod Arresø, men der er ingen data, som viser det helt lokale strømningsmønster. Arealanvendelsen i området er landbrug. Det antages, at infiltrationen sker i et sandvindue mod NØ.

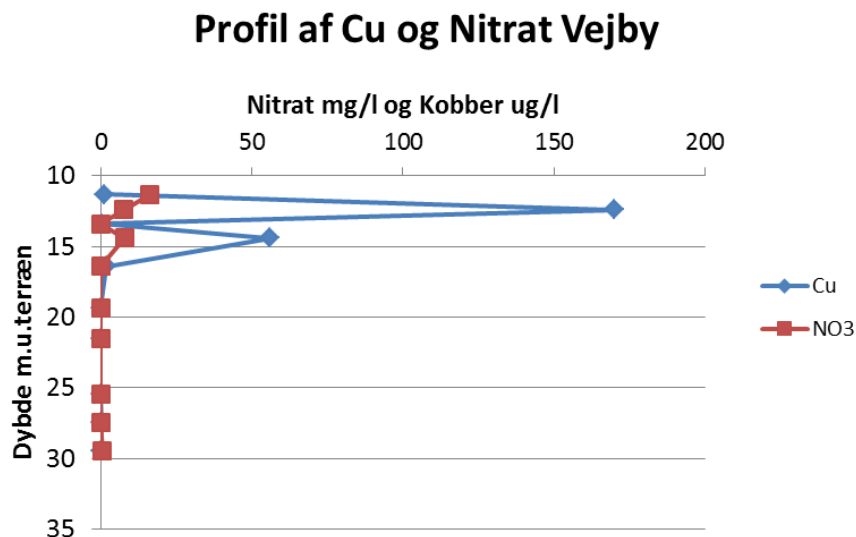
Dateringerne viser 3 distinkt forskellige grundvandslag. Der forekommer meget ungt grundvand – mindre end 5 år gammel - mellem det terrænnære smeltevandsler og det tynde smeltevandsler i 11 m u.t. Under det tynde lerlag følger ca. 5 m grundvand, som er 13-18 år gammelt og herunder - med et markant aldersspring - grundvand, som er mellem 37 og 58 år gammelt. Der er ingen geologiske forskelle, der kan forklare det abrupte tidsspring, så de to grundvandslag må tilhøre to strømningsystemer i grundvandet.

De tre lag har hver deres kemiske karakteristika. Det ældste – og dybeste - lag har ingen nitrat, men relativt meget sulfat. Indholdet af uorganiske sporstoffer (tabel 12) i dette lag er generelt lavt. I det mellemste lag findes der to zoner (øverst og nederst) med nitrat og en mellemliggende zone uden. I den øverste del af den mellemste zone findes et iltindhold på 2,6 mg/l og et nitratinhold på 6,3mg/l. I dette lag forekommer der forhøjede tungmetalværdier, som varierer koncentrationsmæssigt efter samme mønster som nitratinholdet. Variationerne er vist for kobber i figur 32.

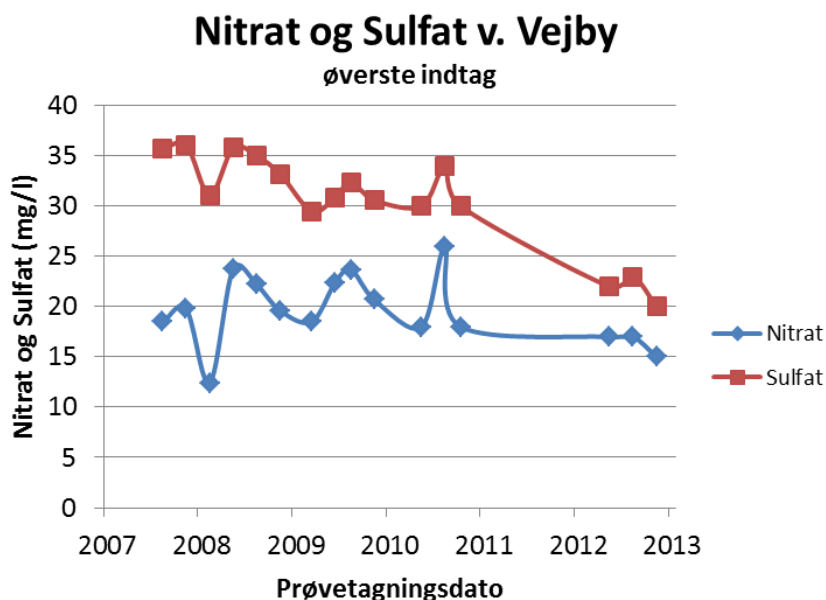
Vejby														
Indtag	Bjergart	Dybde	Farve	Grundvand dannet	Al	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn	O ₂	NO ₃	Fe	SO ₄
Diluvialler														
16	ds	11,3		efter 2007	1,5	<0,02	0,05	1,2	9,3	6	7,5	16,3	0,01	22
Diluvialler														
13	ds	12,4	lgb	2000	2,6	0,6	0,13	170	19	810	2,6	6,3	<0,01	22
12	ds	13,4	lgb	d.u.		0,03	0,05	0,4	9,2	81	0,07	<0,5	0,5	22
11	ds	14,4	bgå	1995	<0,5	0,8	0,28	56	43	1600	0,5	7,4	0,03	31
Hydraulisk grænse														
9	ds	16,4	grå	1956	0,9	0,03	0,05	1,8	11	7	0,08	<0,5	0,3	76
8	ds	17,4	grå	1957	3,4	<0,2	0,02	0,8	9	10	0,08	<0,5	8,4	86
6	ds	19,4	grå	1957	12	<0,2	0,03	0,03	8	3	0,09	<0,5	5,9	97
5	ds	21,5	grå	1955	26	<0,2	0,03	0,03	6	6	0,11	<0,5	6,1	113
3	ds	25,5	grå	1962	7,2	<0,2	0,03		26	15	0,08	<0,5	5,8	103
2	ds	27,5	grå	1955	3,1	<0,2	0,03	0,1	7	1	0,09	<0,5	3,1	45
1	ds	29,5	grå	1976	1,9	<0,2	0,03	0,03	13	2	0,05	<0,5	3,4	20

Tabel 12. Indholdet af uorganiske sporstoffer i µg/l i redoxboringen ved Vejby i Nordsjælland DGUnr. 186.854+186.855, august 2012. Hovedbestanddele (ilt, nitrat, jern og sulfat) er i mg/l og repræsenterer gennemsnit af 3 målinger i 2012. Bjergart: ”dl” = diluvialler (smeltevandsler), ”ds” = diluvialsand (smeltevandssand). Farve: ”bgå” = brungrå, ”lgb” = lys gulbrun. Grundvand dannet: ”d.u.” = datering usikker. Bemærk at indtag 4, 7 og 10 er ude af drift.

I det øverste sandlag med det yngste grundvand, som har et iltindhold på 7,5 mg/l forekommer der forhøjede værdier af kobber (1,2 µg/l) og nikkel (9,3 µg/l). Figur 33 viser den tidslige udvikling i nitrat- og sulfatindhold i det øverste indtag. De lave indhold af sulfat indikerer, at sulfider ikke er indgået som reduktionsmiddel for nitrat. De høje kobberindhold optræder kun, hvor der er nitrat tilstede, hvilket tyder på en direkte påvirkning fra arealanvendelsen.



Figur 32. Nitrat og kobber i redoxboringen i Vejby, DGUnr. 186.855, målt 2012.



Figur 33. Den tidslige udvikling i nitrat- og sulfatindholdet i øverste indtag i redoxboringen Vejby, DGUnr. 186.855. Bemærk årstidsvariationen med lavt nitrat og sulfat indhold i vinterperioden og højt nitratindhold i sommerperioden.

Sporstoffer, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer

For 2012 er der indberettet i alt 1647 analyser af uorganiske sporstoffer. Disse er fordelt på 1542 boringer med i alt 1546 indtag. Hovedparten af indtagene er analyseret for arsen, bari-um, bor kobolt og nikkel. Ud af de 1694 indtag er der fundet overskridelse af drikkevandskravet for et eller flere stoffer i 217 indtag, svarende til 14 %.

I 2012 er drikkevandskravet for aluminium (100 µg/l) overskredet i to boringer på Fyn, henholdsvis Tommerup, hvor aluminiumsindholdet er steget fra 20 i 1990 til 210 i 2012 og Nyborg, hvor der er målt 170 µg/l. Dette indtag har ikke været analyseret tidligere.

I 2012 er drikkevandskravet for bor (1000 µg/l) overskredet i 3 boringer, henholdsvis i det østlige Sjælland (Glostrup) samt på Bornholm. Alle tre indtag har haft et højt borindhold i analyser tilbage fra 2005. Det vejledende drikkevandskrav for bor på 300 µg/l er i 2012 overskredet i 78 boringer fordelt over hele landet.

Kobolt er fra 2010 inddraget i vandværkernes boringskontrol. I 2012 er der fundet mindre overskridelser af drikkevandskravet på 5 µg/l i 7 boringer. Der er ingen tidligere data at sammenligne med, og der er ingen fællestræk ved fundomstændighederne. Fundene er fordelt jævnt i Jylland og i Hovedstadsområdet i såvel sand- som kalkmagasiner, i såvel nye som gamle boringer med såvel lavt som højt indhold af andre metaller (især nikkel).

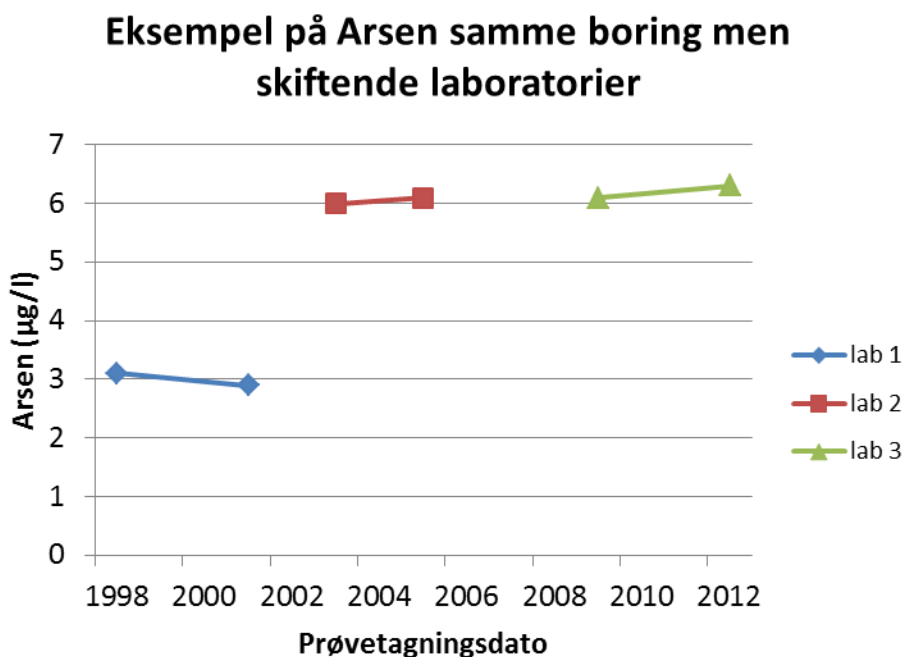
I 2012 er drikkevandskravet for nikkel (20 µg/l) overskredet i 26 boringer. 21 af disse ligger i kommuner umiddelbart syd og vest for København. Den tidlige udvikling i nikkellindholdet viser en række karakteristiske mønstre: 1 boring har et konstant indhold, 2 er kontinuert svagt faldende og 2 er kontinuert svagt stigende, 4 viser først stigende og så faldende koncentration, 5 viser først faldende og så stigende koncentration, 6 viser abrupte spring, heraf 3 fra høje til lave koncentrationer og 3 fra lave til høje koncentrationer. De gradvise koncentrationsudviklinger afspejler antageligt kemiske processer, som foregår mere eller mindre lokalt, mens de abrupte ændringer antages at afspejle hurtige forandringer i grundvandets strømningsmønstre, så det relativt pludseligt er grundvand med en helt anden oprindelse fx fra et andet opland eller grundvandsmagasin og en anden geokemisk identitet, som strømmer igennem det aktuelle indtag.

I 2012 er drikkevandskravet for arsen (5 µg/l) overskredet i 177 boringer fordelt over hele landet. Forekomsten af arsen i dansk grundvand er helt overvejende naturlig og indholdet forventes derfor generelt at være stabilt i det enkelte indtag. Kun i tilfælde, hvor et indtag er relativt terrænnært, og koncentrationen er stigende over tid, kan der være god grund til at undersøge de eventuelle årsager til denne stigning. Til dette er den tidlige udvikling i 49 indtag, som har vist overskridelse af drikkevandskravet i 2012 udvalgt. Undersøgelsen viser, at den mest iøjnefaldende og mest konsistente anledning til ændringer i den målte koncentration af arsen i et givent indtag er et skift af analyselaboratorium. Dette er anskueliggjort i tabel 13 og figur 34.

Data er umiddelbart forholdsvis konsistente inden for det enkelte laboratorium, men det generelle niveau varierer en del fra laboratorium til laboratorium. Dette har som umiddelbar konsekvens, at vurderinger af den tidlige udvikling i indholdet af arsen ikke kan baseres på data fra forskellige laboratorier uden en kritisk kontrol. Som det fremgår, er det især et laboratorium, som skiller sig ud med relativt lave koncentrationer.

Dato	Laboratorium	Metode	As ($\mu\text{g/l}$)
14. okt. 1998	A	AAS, Hydrid	3,1
27. nov. 2001	A	AAS, Grafitovn	2,9
14. maj. 2003	B	ICP-MS	6,0
14. apr. 2005	B	ICP-MS	6,1
3. sep. 2009	C	ICP-MS	6,1
26.apr. 2012	C	DS/ISO 17294-2	6,3

Tabel 13. Arsenmålinger over tid i et bestemt indtag (DGUnr. 125. 202, indtag 1), men udført af forskellige laboratorier og med forskellige metoder (se figur 34).

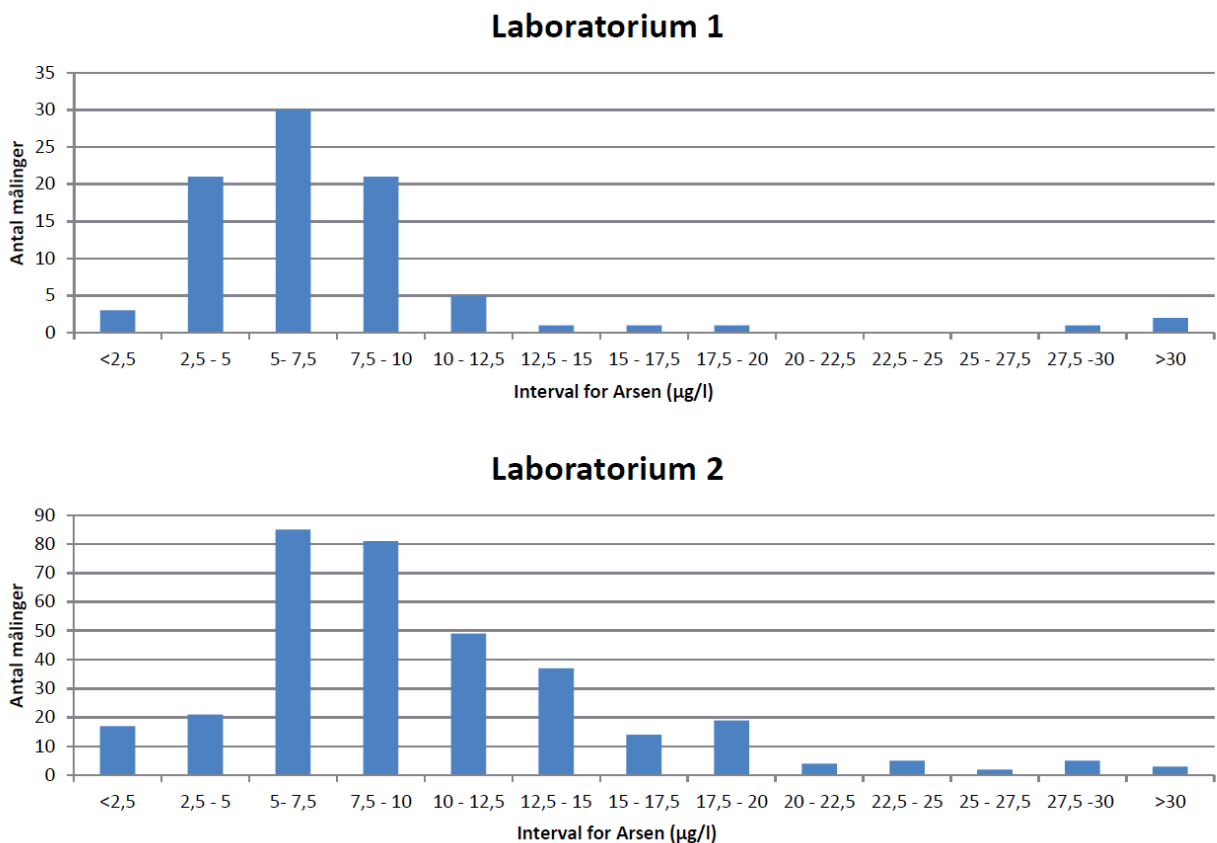


Figur 34. Arsenmålinger i et bestemt, her anonymt, indtag, men udført af forskellige laboratorier over tid. (Data, se tabel 13).

Der er ingen ændringer i indholdet af hovedbestanddele igennem perioden bortset fra en svag stigning i iltindholdet, som alt andet lige skulle give en sænkning i indholdet af arsen.

Hvis der tages udgangspunkt i en fast population af målestationer, (boringer på Fyn som er analyseret i perioden 2002 til 2012) er gennemsnittet for arsenmålinger fra det laboratorium, som visuelt bedømt har det laveste generelle niveau, på $7,8 \mu\text{g/l}$ (i alt 86 målinger), mens gennemsnittet for de øvrige tre laboratorier med flest analyser er hhv. $10,31 \mu\text{g/l}$, $10,34 \mu\text{g/l}$ og $10,81 \mu\text{g/l}$.

I figur 35 ses den af laboratorium A målte frekvensfordeling for arsen i fynske boringer i perioden 2002 til 2012 og umiddelbart under den tilsvarende frekvensfordeling for laboratorium C. Det ses, at andelen af indtag med koncentrationer under eller på drikkevandskravet på $5 \mu\text{g/l}$ er større hos det første laboratorium end hos det andet.



Figur 35. Frekvensfordelingen af koncentrationen af arsen målt i samme population af indtag af forskellige analyselaboratorier.

Sammenfatning uorganiske sporstoffer

Analyseresultaterne fra 2012 af indholdet af uorganiske sporstoffer i dansk grundvand viser i overensstemmelse med tidligere års overvågning, at der er mange boringer, hvor grundvandskvaliteten ikke kan overholde drikkevandskravene for især arsen og nikkel, men også for aluminium og bor. Dette stiller ekstra krav til vandværkernes pumpestrategi og vandbehandling, idet alm. vandbehandling med iltning, eller neutralisering af surt vand, kan fjerne en del af disse stoffer.

Der er fundet overskridelse af drikkevandskravet for et eller flere stoffer i 34 % af indtagene i GRUMO og i 14 % i boringskontrollen.

Første analyserunde for uorganiske sporstoffer i 4 såkaldte redoxboringer, se kapitel 4, med et stort antal tæt siddende grundvandsindtag viser, at indholdet af de metalliske sporstoffer generelt er ganske lavt, men at forurening af grundvandet, iltning af sulfidminerale og karakteren af arealanvendelsen kan forårsage stigninger i koncentrationen, der kan overskride drikkevandskravene. Abrupte ændringer i grundvandets alder og sporstofindhold i redoxboringerne tyder på, at der af og til lokalt sker væsentlige ændringer i grundvandets strømningsmønster.

Referencer, Sporstoffer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Arbejdstilsynet, 2000: AT-vejledning C1.1. juli 2000. Vejledning om stoffer og materialer, Kemiske agenser.

Miljøministeriet, 2010a: Bekendtgørelse nr. 1022 af 25. august 2010 om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet.

Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 31. oktober 2011 (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2013: Database - Kvalitetskrav for overfladevand Naturstyrelsen database for kvalitetskrav for overfladevand. www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Havet/Havmiljoet/Kvalitetskrav+for+overfladevand/Database/ (5-11-13)

Miljøstyrelsen, 1995: Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og vand - Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen 12/1995.

Miljøstyrelsen, 1998: Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6, 1998.

Miljøstyrelsen, 1999: Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Vandfonden. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17/1999.

Miljøstyrelsen, 2010: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". Opdateret juni og juli 2010.

EU- direktiver mv.

EU, 2000: Vandrammedirektivet. Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet. Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser.

EU, 2009: Scientific Committee on Consumers Safety. Updated revised request for a scientific opinion following the new classification of some boron compounds as mutagenic and/or toxic to reproduction according to the Commission Regulation 790/2009

Andre referencer og litteratur i øvrigt

Adriano, D. C., 2001: Trace elements in terrestrial environments (2. edition). Springer Verlag.

Committee on Toxicity, 2003: www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/evm_nickel.pdf.

DGU, 1989: Jordartskort over Danmark 1:200.000. Sjælland, øerne og Bornholm.

Friberg, N., 1998: Skov og skovvandløb. Tema rapport nr. 21 fra DMU. 1998.

Hyung-Sik et al 2004: www.snupharm.ac.kr/lbj/erp/erpmenu/professor_thesis/upLoadFiles/29.pdf (5-11-13)

Knudsen, C., 1999: Nikkel i grundvand. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Rapport 1999/57.

Larsen, C.L., 1994: Danske aflejrings sporelement indhold. En status. DGU Datadokumentation nr. 7. DGU 1994.

Larsen, C.L. og Larsen, F., 2003: Arsen i danske sedimenter og grundvand. Vand og Jord 10. årgang nr. 4, side 147-151.

Naturstyrelsen, Miljøcenter Nykøbing Falster, 2009: Grundvandskortlægning Nord- og Midtfalster. Trin 1.

http://www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vand-i-hverdagen/Grundvand/Grundvandskortlaegning/regional_status/Naturstyrelsen_Storstrom/Nord_midtfalster.htm

Storstrøms Amt, 2000: Redoxboring Sibirien. Teknik- og Miljøforvaltningen, Jord og Grundvand.

Storstrøms Amt, 2003: NOVA 2003 – Grundvandsovervågning 2002. Teknik- og Miljøforvaltningen, Jord og Grundvand.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010.

Links:

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.10.2013)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10.2013)

GEUS, 1998 : www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html . (5-11-13)Viden om grundvand. Vandets kredsløb.

6 Organiske mikroforureninger

Overvågningen af organiske mikroforureninger i grundvandet omfatter et stort antal miljøfremmede stoffer, der anvendes bredt i det moderne samfund. Overvågningsprogrammet for grundvand (GRUMO) omfatter for hver programperiode et antal udvalgte stoffer. For perioden 2011-2015 omfatter programmet 19 stoffer, se tabel 15. Derudover sker der gennem vandværkernes boringskontrol en overvågning af organiske mikroforureninger inden for vandværkernes indvindingsoplande, dels i henhold til bekendtgørelsen herom (MiM 2011, 2012) samt eventuelt et udvidet stofvalg baseret på formodede eller kendte risici for forurening af grundvandet gennem anvendelse af givne stoffer inden for det enkelte vandværks indvindingsopland. I 2012 er i alt 108 forskellige stoffer omfattet af boringskontrollen.

Den meget brede anvendelse af stofferne i de forskellige grupper af organiske mikroforureninger betyder, at såvel boringsudførelse og –udbygning som prøvetagning, prøveopbevaring og laboratoriehåndtering af vandprøverne skal gennemføres med grundig omtanke og yderste forsigtighed, da der er mange muligheder for at prøverne kontamineres. Der er således grund til at være ekstra opmærksom på om de fundne indhold, især ved lave koncentrationer, er retvisende i forhold til den faktiske kvalitet af det grundvand, der er taget prøver af (Thorling, 2012b).

Ud over den samfundsmæssige påvirkning er der nogle klorerede eller bromerede forbindelser, der kan dannes i naturen i lave, men målelige koncentrationer (Albers, 2010).

Det ligger ikke inden for rammerne af nærværende rapportering at udrede, hvorvidt den andel af grundvandsressourcen, som er påvirket af organiske mikroforureninger er stigende eller faldende. Dette kræver kendskab til de grundvandsdannende oplandes beliggenhed og arealmæssige udbredelse samt anvendelse af matematiske strømningsmodeller som ikke for nærværende er tilstrækkeligt udbyggede. Generelt set forekommer de organiske mikroforureninger i grundvandet som et resultat af punktildeforurening, mens egentlig fladeforurening må anses for at være sjælden for de fleste stoffer.

Målsætning

Der er fastsat sundhedsmæssigt baserede drikkevandskrav for kroniske effekter (MiM, 2011) for en række udvalgte stoffer. I henhold til EU's Vandrammedirektiv (EU, 2000) må grundvandets indhold af forurenende stoffer ikke øges, og de udpegede grundvandsforekomster skal beskyttes, og indholdet af forurenende stoffer nedbringes blandt andet med henblik på at reducere omfanget af den rensning, der kræves til fremstilling af drikkevand.

Grundvandet må heller ikke påvirke overfladevand og terrestriske økosystemer med miljøfremmede organiske stoffer i en sådan grad, at målsætningerne for disse ikke kan opfyldes.

Relevans

Organiske mikroforureninger er med få undtagelser miljøfremmede stoffer med skadelige effekter for mennesker og økosystemer. Da følsomheden over for disse stoffer kan variere overordentligt meget mellem fx planter, mikroflora og - fauna, fisk og mennesker, optræder der kvalitetskrav og tålegrænser på meget forskellige koncentrationsniveauer fra stof til stof og fra problemstilling til problemstilling, og der er derfor forskel på kvalitetskravene for grundvand, drikkevand og overfladevand. I forbindelse med Vandplaner og anden miljøforvaltning er der et

betydeligt udækket vidensbehov på dette område. Forurening af grundvandet med miljøfremmede stoffer fra punktkilder og forurenede grunde administreres via Jordforureningsloven (MiM, 2009a) og afrapporteres af Miljøstyrelsen (MST, 2012a).

Mulige kilder til de organiske mikroforureninger

I det følgende gennemgås nogle af de mulige kilder til grundvandsforurening med forskellige grupper af stoffer, som blandt andet indgår i NOVANA-programmet. For en mere grundig redegørelse, se (Brüsch & Villholt, 2011).

Aromatiske kulbrinter

Aromatiske kulbrinter er en gruppe organiske opløsningsmidler, hvortil blandt andet hører:

- toluen - også kaldet toluol eller methylbenzen
- xylen - også kaldet xylol eller dimethylbenzen
- benzen - også kaldet benzol, stenkulsnafta eller cyklohexatrien
- styren - også kaldet styrol, fenylethylen, vinylbenzen eller monostyren

Kilderne til de aromatiske kulbrinter kan være fyld- og lossepladser, olie- og benzinanlæg, asfalt og tjærevirksomheder samt gasværker. Benzen er kræftfremkaldende for mennesker (Videnscenter for arbejdsmiljø, 2013). Derudover er det mistænkt for at kunne medføre foster-skader, (Arbejdsmiljøsekretariatet, 1984).

Halogenerede alifatiske kulbrinter:

De halogenerede alifatiske kulbrinter omfatter en gruppe af stoffer, som primært har været anvendt som opløsnings- og affedtningsmidler bl.a. til kemisk tøjrensning, i metal- og elektronikindustrien og som opløsningsmidler i maling og lakker. Ofte bruges betegnelsen klorerede opløsningsmidler i daglig tale, da den største gruppe af disse stoffer indeholder halogenet klorid. De hyppigst fundne er

- tetrakloretylen
- trikloretylen
- diklorethylener og – ethaner
- klorethylen (vinylklorid)

Kilderne til de halogenerede alifatiske kulbrinter kan fx være fyld- og lossepladser og forurenede grunde i tilknytning til farve- og lakindustri, galvanisering, benzinanlæg og anlæg til kemisk tøjrensning. Deres anvendelse i små erhvervsvirksomheder har medført et arealmæssigt mangefold af forekomster i jord og grundvand.

Stoffet vinylklorid er et nedbrydningsprodukt fra de klorerede kulbrinter. Vinylklorid kan mineraliseres direkte eller nedbrydes til ethan via ethen (Albrechtsen & Bjerg, 2000). Da omsætningshastigheden af vinylklorid i grundvandsmagasinerne formodentligt er mindre end for de øvrige klorerede kulbrinter, må det antages, at der på længere sigt kan ske en opkoncentrering af vinylklorid i de grundvandsmagasiner, der i dag er forurenede med klorerede kulbrinter. Vinylklorid er et kræftfremkaldende stof (Beredskabsstyrelsen, 2013). Visse af de enkleste halogenerede kulbrinter, f. eks. triklormetan (kloroform) kan optræde naturligt i grundvand i lave koncentrationer (Jacobsen m.fl., 2007).

Fenol og klorphenoler

Fenol indgår i veddet hos træagtige planter, og af samme grund i træetjære. Det blev isoleret fra stenkulstjære allerede i 1834 og var råstof for det første plastmateriale, bakelit, fra ca. 1910. I dag bruges fenol bl.a. til fremstilling af nylon og bisfenol A (til epoxyforbindelser og polycarbonater). Desuden indgår stoffet i talrige industriproduktioner, der fører til så forskellige slutprodukter som lægemidler, pesticider, farvestoffer og syntetiske harpikser.

Alkylfenoler er bl.a. østrogenlignende stoffer, nonylfenoler, phthalater og PCB'ere. De anvendes bl.a. som antioxidant og til fremstilling af tensider.

Halogenerede fenoler (klorphenoler) anvendes som desinfektionsmidler og til fremstilling af ukrudtsmidler, fx 2,4-diklorfenoxyeddikesyre.

Fenol og fenolforbindelser bidrager i mange sammenhænge til forurening af vand og jord. Dels er de giftige, dels smager og lugter de ubehageligt. Klorerede fenolforbindelser kan smages i så lave koncentrationer som 1 µg/l, dvs. fortyndet 1 mia. gange.

Mange fenolforbindelser er produceret som giftstoffer, fx som desinfektionsmidler eller pesticider, og har samme virkning, når de slipper ud i naturen. Giftvirkningen har især betydning, når forbindelserne kommer ud i vandløb og søer, fx via spildevand eller fra landbrugsarealer. Mindre koncentrationer gør vandet uegnet som drikkevand. Større koncentrationer dræber dyre- eller planteliv, afhængigt af hvilke forbindelser, der er udledt - fx har det vist sig, at det yderst giftige dioxin er et biprodukt ved fremstillingen af bl.a. visse ukrudtsmidler og afløvningsmidler.

Tjæreforureninger stammer blandt andet fra gasværker og steder, hvor tjære er blevet anvendt i produktionen (asfalt), eller hvor tjæreaffald er blevet deponeret (lossepladser), og pladser som har været anvendt til tjæring af fiskenet. Derudover kan fenol og metylfenoler også dannes ved nedbrydning af naturligt organisk stof. Flydende husdyrgødning kan indeholde op til 2400 mg fenol pr. kilo tørstof (Fyns Amt, 2002). Fenolforbindelser, fx nitrofenoler og klorfenoler, kan blive spredt med grundvandsstrømmen fra giftdepoter, fx gamle gasværksgrunde. Fremstilling og anvendelse af træimprægneringsmidler (pesticider rettet mod skimmel og svamp) kan også være en kilde til forurening med klorerede fenoler. Eksempelvis har penta-klorfenol i perioden 1956 til 1979 været anvendt til træimprægnering i mængder på op til 4.300 kg/år. Klorerede fenoler kan være ledsaget af yderst giftige dioxiner og dibenzofuraner. Penta-klorfenol er meget giftig, lokalirriterende, miljøfarlig og mistænkt for at være kræftfremkaldende (MST, 2012b).

Fenolforbindelser kan i større eller mindre grad nedbrydes af bakterier, afhængigt af forbindelsens kemiske sammensætning. Nedbrydning sker både i jord, vand og i spildevandsrensningens anlæg.

Nonylfenoler

I de seneste år har der været stor fokus på hormonlignende stoffers forekomst i miljøet, herunder stofgruppen nonylfenoler. Nonylfenoler i miljøet stammer primært fra nedbrydning af nonylfenoethoxylater, som blandt andet findes i vaskemidler og rengøringsmidler. Brugen af nonylfenoethoxylater ophørte dog i 1989 (MST, 1991). Flydende husdyrgødning kan indeholde op til 8,9 mg nonylfenol pr. kilo tørstof (Fyns Amt, 2002).

Phthalater (blødgørere)

Lige siden udviklingen af PVC (polyvinylchlorid), som er en hård plast, har man haft brug for stoffer, der kunne gøre plasten blød og bøjelig. Til dette formål har man udviklet en stor mængde kemisk forskellige blødgørere. De mest anvendte blødgørere indgår i den stofgruppe, der i daglig tale kaldes Phthalater.

Phthalaterne Di(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), Dibuthylphthalat (DBP) og Di-iso-nonylphthalat (DNP) indgår i grundvandsovervågningens analyseprogram.

DEHP har været anvendt som blødgører i PVC-plast i over 50 år. Forsøg med mus og rotter har vist, at der er en sammenhæng mellem mængden af DEHP og udviklingen af leverkræft. Om det også gælder for mennesker er endnu uvist. DEHP har derudover en hormonlignende effekt. Hos rotter kan DEHP give forandringer i sædleder og i testikler, mindske antallet af fostre og øge risikoen for abort. Disse forsøg har medført, at DEHP er kommet på EU's liste over farlige stoffer (reproduktionstoksisk stof), og i indeværende år har EU Kommissionen foreslået, at DEHP fremover skal klassificeres som et "prioriteret farligt stof" (Europaudvalget, 2012). Miljøstyrelsen har forbudt DEHP i legetøj til børn under 3 år. Flydende husdyrgødning kan indeholde op til 4,7 mg DEHP pr. kilo tørstof (Fyns Amt 2002).

DBP forekommer blandt andet i trykfarver, maling, udfyldningsmidler, opløsningsmidler, hærdere, metaloverfladebehandlingsmidler, bindemidler, gulvbelægningsmaterialer og isoleringsmaterialer. DBP er altså et stof, som forekommer i mange forbindelser, og dets fysiske/kemiske egenskaber medfører, at de er hyppigt forekommende i miljøet, i laboratorieudstyr o.l. Det er derfor meget svært at undgå et vist baggrundsniveau i forbindelse med analyser af DBP. DBP er som DEHP klassificeret som kategori 2 reproduktivt giftstof af EU.

Detergenter

Detergenter (vaskemidler) kan dannes naturligt, men de typer af detergenter, der analyseres i overvågningsprogrammet, de lineære alkylbenzensulfonater (LAS), stammer primært fra vaske- og rengøringsmidler. Stofferne kan muligvis også stamme fra overfladeaktive stoffer, som tilsættes ved opblanding af pesticider før udsprøjtning. Tilsætningen af overfladeaktive stoffer bidrager blandt til at øge aktivstofferne blandbarhed med vand (Kudsk, 1999) og kan derved påvirke pesticidernes spredning i miljøet.

MTBE

MTBE er et hjælpestof, som kan tilsættes benzin for at øge oktantal og fremme forbrændingen i motoren. Siden 2000 har det ikke været anvendt i Danmark i oktan 92 og 95 benzin. MTBE er letopløseligt i vand og er en indikation på forurening med benzin i grundvandet. Siden 2000 er der gennemført en omfattende oprydning af benzinfurede grunde (Energi og olieforum) og der ses i dag en faldende udbredelse af MTBE i grundvandet (Brüsch & Villholt, 2011).

Grundvandsovervågning

Datagrundlag

I perioden 2011-2015 gennemføres der i grundvandsovervågningen (GRUMO) analyser for organiske mikroforureninger i gennemsnitligt 500 indtag pr. år, hvor det enkelte indtag ikke nødvendigvis prøvetages hvert år. Analysefrekvensen afhænger af, hvor høje koncentrationer der tidligere er fundet. Stofferne fastholdes i overvågningsprogrammet så længe der stadig gø-

res fund. I 2012 er der taget prøver i 131 indtag. Stoffer, analysefrekvenser og detektionsgrænser fremgår af programbeskrivelsen (NOVANA hjemmeside).

Det er karakteristisk for en væsentlig del af fundene af organiske mikroforureninger i GRUMO, at koncentrationen er lav, tæt på den krævede detektionsgrænse, og at antallet af genfund i det enkelte indtag er forholdsvis beskedent. Sandsynligheden for forekomst af falske positive (fund, hvor der reelt intet er i prøven) er forøget, når der måles koncentrationer tæt på detektionsgrænsen sammenlignet med målinger af højere koncentrationer. For at holde omfanget af rapportering på et overskueligt niveau, og fokusere opmærksomheden på de væsentligste fund/forureninger i GRUMO, rapporteres kun fundomstændigheder for stoffer, hvor analyseresultatet har overskredet drikkevandskravene.

Det er påvist, at kloroform kan dannes naturligt. Sigtet med nærværende rapportering har først og fremmest været at belyse den samfundsbedingede påvirkning af grundvandet, hvorfor analyser af kloroform (triklormetan) ikke er medtaget.

For henholdsvis nonylfenoler, benzen, toluen og xylen er der rejst tvivl om validiteten af en del af analyseresultaterne. Naturstyrelsen påpeger (Vestjylland Vand, 13-04-2012), at der i en periode i 2011 har kunnet konstateres en uforklarlig overhyppighed af fund af nonylfenoler. Fagdatacenter for Grundvand ved GEUS, har for 2011 og 2012 iagttaget et bemærkelsesværdigt stort antal tilfælde af fund af nonylfenoler i nyetablerede borer. Miljøcenter Roskilde har bemærket en uforklarlig overhyppighed af fund af benzinrelaterede stoffer, især toluen og benzen.

På grund af disse usikkerheder er antallet af fund af organiske mikroforureninger nedenstående opgjort uden de problematiske stoffer.

Tilstand, udvikling og årsager

I 2012 er der i alt gjort fund (>3 x detektionsgrænsen) af organiske mikroforureninger i 12 ud af 131 prøvetagne grundvandsovervågningsindtag svarende til 18,3 % af indtagene. Fundene omfatter stofferne DNP (diisononylfenol), triklorethylen, fenol og vinylklorid. 15 fund er gjort i borer, som er etableret i 2011 eller 2012. Det svarer til, at der er gjort sikre fund af organiske mikroforureninger i 9 % af de nye borer til generel overvågning.

Det dybeste fund (bla. nonylfenoler) er gjort 148 m u.t. under mere end 100 m lerdække i en boring etableret i til grundvandskortlægningen (se kapitel 2 om det nye stationsnet). I samme indtag er der fund af AMPA i 2011 og 2012. Disse fund er næppe retvisende.

Der er fundet overskridelser af drikkevandskravene i 8 indtag, svarende til ca. 6 %. Disse er beskrevet i tabel 14.

Stof	Drikkevands krav µg/l	Antal indtag med			Beskrivelse af fundsted for drikkevandskvalitets-overskridelser
		Analyser	Fund >3 x DG	Over-skridelse	
Vinyl-klorid	0,3	131	6	5	Et indtag i København, Gladsaxe, industri kvarter (DGUnr: 200.3438). Indhold 2,3 µg/l. Fund i tilbage fra 2003. Fire indtag i på Lolland, Vesterborg, landbrugsarealer (DGUnr: 230.111., 230.112 (to indtag) og 230.130) i dybder fra 25 til 40 mu.t. Indhold fra 0,43 µg/l til 5,5 µg/l. Mange tidligere fund i samme størrelse tilbage fra 1999. Der ses ingen konkrete eller sandsynlige kilder i området.
TCE, Triklor-etylen	1	131	2	1	Et indtag i København, NV, tidligere industri kvarter (DGUnr: 201.5935). Indtaget er analyseret første gang i 2006, hvor der blev konstateret et indhold på 14 µg/l. I 2010 var indholdet på 7 µg/l og i 2011 på 8,6 µg/l og i 2012 på 5,2 µg/l. Forureningen truer det underliggende kalkmagasin.
DNP, Di-iso-nonyl-phthalat	1	131	6	2	Et indtag i Frøslev Plantage (DGUnr: 174. 280) med et indhold på 1,48 µg/l. Førstegangsfund. Indtaget analyseret siden 2006. Et indtag overvågningsboring tilhørende Brovst Vandværk (DGUnr: 25. 633) med et indhold på 1,1 µg/l. Fundet bekræfter fund i 2011 på 0,2 µg/l.
Oplysninger om boringernes beliggenhed og stamdata kan ses på JUPITER hjemmesiden ved indtastning af DGU-nummer.					

Tabel 14. Fundomstændigheder for organiske mikroforureninger, som i 2012 har overskredet drikkevandskravet i indtag i grundvandsovervågningsboringer. DG = Detektionsgrænse.

I tabel 15 er vist en komplet opgørelse af analyseindsatsen på GRUMO – inklusive de stoffer, hvor der er rejst tvivl om analyseresultaternes validitet – for perioden 2008-2012. Perioden er valgt for at muliggøre sammenlignelighed med opgørelsen af vandværkernes Boringskontrol som angivet i tabel 19. Det skal bemærkes, at der i GRUMO-programmet er lagt særligt vægt på at placere målestationerne, så de er upåvirkede af depoter, forurenede grund mv.

Gruppe	Stof	Indtag								
		Indtag	Fund	Fund >3xDG ¹⁾		>75 % af DK		Over DK ²⁾		Stofnr
		antal	antal	antal	%	antal	%	antal	%	kode
1	DEHP	928	46	23	2,5	9	1	7	<1	0426
1	DNP	928	33	16	1,7	8	<1	7	<1	0431
1	DBP (Dibutylphthalat)	928	16	0		1 ³⁾	<1	0		3044
1	Nonylfenoler ⁴⁾	928	68	40	4,3	0		0		0467
1	Nonylfolethoxylater ⁵⁾	713	0	0		0		0		0468
1	Nonylfenol (NP1EQ)	928	0	0		0		0		9406
1	Nonylfenol (NP2EQ)	928	0	0		0		0		9407
1	NPE (NP1EQ+NP2EQ+NP) ⁵⁾	65	0	0		0		0		9409
2	Alkylbenzensulfonat	669	1	1	<1	1	<1	1	<1	0457
4	Naphthalen ⁵⁾	688	7	4	<1	0		0		0649
4	Benzen ⁴⁾	908	46	8	<1	0		0		0662
4	Toluen ⁴⁾	908	209	59	6,5	1	<1	1	<1	0665
4	Xylen ⁴⁾	687	78	29	4,2	0		0		0668
4	O-xylen ⁴⁾	713	33	13	1,8	0		0		2662
4	M+P-xylen ⁴⁾	713	75	29	4,1	0		0		2664
4	Ethylbenzen	3	0	0		0		0		3007
6	1,2-Dibrom-ethan	908	2	0		0		1 ¹⁾	<1	0442
6	Trichlormetan (kloroform)	883	96	59	6,7	13	1,5	11	1,2	2612
6	Tetrachlormethan	908	4	0		0		0		2616
6	Tetrachlorethylen	908	13	5	<1	1	<1	0		2617
6	Trichlorethylen	907	20	10	1,1	2	<1	2	<1	2618
6	1,1,1-trichlorethan	908	7	3	<1	0		0		2621
6	Vinylchlorid	908	12	8	2,5	8	<1	6	<1	9946
7	Fenol	907	30	12	1,3	5	<1	2	<1	2776
7	2,4-diklorfenol ⁵⁾	686	4	1	<1	2	<1	2	<1	2688
7	2,6-diklorfenol ⁵⁾	626	0	0		0		0		2690
7	Pentaklorfenol	907	2	0		2	<1	2	<1	2695

1) DG = Detektionsgrænse
2) DK = Drikkevandskrav
3) Detektionsgrænsen x 3 er større end 75 % af drikkevandskravet
4) Der er rejst tvivl om validiteten af visse af analyseresultaterne
5) Udgået af analyseprogrammet fra 2011.

Tabel 15. Komplet opgørelse af analyseindsatsen på GRUMO – inklusive de stoffer, hvor der er rejst tvivl om analyseresultaternes validitet – for perioden 2008 til 2012.
Stofgrupper: 1: Hormonforstyrrende stoffer, 2: Detergenter, 4: Aromatiske kulbrinter, 6: Halogenerede alifatiske kulbrinter, 7: Fenol og klorfenoler, se også tabel 16 og 19.

Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer

Datagrundlag

De kemiske analyser i boringskontrollen har gennem årene været gennemført med en bred vifte af detektionsgrænser varierende fra meget lave detektionsgrænser svarende til GRUMO til detektionsgrænser på højde med et eventuelt drikkevandskrav (grænseværdier) og i nogle tilfælde højere end drikkevandskravet (tabel 16 og 19). Dette står i modsætning til grundvands- overvågningen, hvor alle analyser udføres med en fast, krævet detektionsgrænse. Det skal bemærkes, at det fremgår af Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger (NST, 2011), at analysekvalitetskravene til kemiske analyser i boringskontrollen, herunder kravene til detekti- onsgrensene, nu er de samme som for NOVANA.

Som tommelfingerregel bør detektionsgrænsen ikke være højere end 10 % af kvalitetskravet, hvis data skal anvendes til forvaltningsformål.

Der findes intet ajourført nationalt register over hvilke vandværksboringer, der er aktive, (se Indledning, kap 2 og kap 7). Det betyder i praksis, at der i JUPITER kan være registreret vand- forsyningsboringer, som har eller har haft høje koncentrationer af organiske mikroforureninger, som ikke længere eller ikke for nærværende leverer vand, der skal anvendes til drikkevand el- ler anden konsum.

Tilstand, udvikling og årsager

I 2012 har vandværkerne analyseret for 108 forskellige stoffer inden for gruppen organiske mikroforureninger (eksklusive pesticider). Der er indberettet analyseresultater fra 1659 borin- ger, tilhørende 963 vandværker fordelt på 92 kommuner. Der er tilsyneladende ikke indberettet analyser af organiske mikroforureninger i aktive vandværksboringer fra kommunerne Lyngby- Tårnbæk, Herlev, Vallensbæk, Fanø, Ringkøbing-Skjern og Læsø.

I boringerne er der gjort fund med koncentrationer, der overskrider 3 x detektionsgrænsen og fundet overskridelser af drikkevandskravene jf. tabel 16, 17 og 18. Det skal bemærkes, at det sæt af boringer, som indgår i vandværkernes egenkontrol, ændrer sig fra år til år, fordi vand- værkerne ofte vælger at stoppe eller formindske indvindingen fra forurenede boringer. Det må derfor forventes, at tabellerne underestimerer påvirkningen af grundvandet, og derfor ikke kan tages som udtryk for den generelle tilstand i grundvandet.

Overskridelserne er hovedsageligt knyttet til kendte forureninger i Hovedstadsområdet (se Thorling mfl., 2010, tabel 6) og i Nordjylland (Hjørring).

Tabel 17 angiver kommune, DGUnr. og dybdeinterval for indtag i boringer, hvor et drikke- vandskrav er overskredet for de halogenerede alifatiske kulbrinter. Størrelsen af overskridel- sen er angivet som det antal gange koncentrationen overskrider drikkevandskravet. Tilsvarende er angivet for de resterende stoffer, som har overskredet drikkevandskrav i 2012 i tabel 18.

Stofgruppe	Analyseår 2012	Boringer								Stofkode (STAN DAT)
	Stof	Analyseret	Fund	Fund >3xDG ¹⁾		>75 % af DK		Over DK ²⁾		
				Antal	Antal	Antal	%	Antal	%	
2	Anioniske	294	199	2	1 %	0		0		0602
3	C10 – C25	53	1	0 ³⁾		1	2 %	1	2 %	9495
3	C6 – C10	37	1	1	3 %	1	3 %	1	3 %	9508
3	C6 – C35	36	2	2	6 %	2	6 %	2	6 %	9509
3	MTBE	182	12	11	6 %	1	<1 %	0		0490
4	Benzen	496	6	3	<1 %	2	<1 %	2	<1 %	0662
4	Toluen	495	23	9	2 %	0		0		0665
4	Xylen	136	17	8	6 % ^{*)}	0		0		0668
4	M+P-xylen	408	3	3	<1 %	0		0		2664
4	BTEX (sum)	5	1	1	20 % ^{*)}	1	20 % ^{*)}	0		3006
4	Ethylbenzen	459	8	2	<1 %	0		0		3007
6	Tetraklormetan	488	1	1	<1 %	0		0		2616
6	Tetrakloretylen	493	21	18	4 %	6	1 %	5	1 %	2617
6	Triklloretylen	495	36	28	6 %	7	1 %	7	1 %	2618
6	1,1,1-triklorethan	488	3	2	<1 %	0		0		2621
6	Cis-1,2-Dichloretylen	70	23	16	23 %	6	9 %	5	7 %	0404
6	Trans-1,2-Dichloretylen,	70	8	4	6 %	2	3 %	0		0408
6	1,1-Dichloretylen	69	2	2	3 % [*]	0		0		0407
6	Chl. opl.midler ⁴⁾	8	8	7	88 % ^{*)}	3	38 % ^{*)}	3	38 % ^{*)}	3087
6	1,1-Dichlorethan	67	12	6	9 % ^{*)}	0		0		4542
6	1,2-Dichlorethan	480	13	2	<1 %	2	<1 %	2	<1 %	9422
6	Vinylklorid	89	10	9	10 %	2	2 %	1	1 %	9946
7	Fenol	110	5	2	2 %	0		0		2676
7	2,4-dichlorphenol	1539	3	2	<1 %	0		0		2688

1) DG = Detektionsgrænse
2) DKK = Drikkevandskrav
3) Den anvendte detektionsgrænse er større end drikkevandskravet
4) Chlorerede opløsningsmidler - uspecifiseret
* spinkelt datamateriale

Tabel 16. Opgørelse af det overordnede resultat af analyseindsatsen i vandværkernes egenkontrol i 2012. Kun stoffer, der er fundet i koncentrationer større end 3 gange detektionsgrænsen (DG) er medtaget. DK er drikkevandskravet (grænseværdien) . Standatkode listen, se Standat hjemmesiden. Kodeliste STD00019.

Stofgrupper: 2: Detergenter, 3: Olieprodukter, 4: Aromatiske kulbrinter, 6: Halogenerede alifatiske kulbrinter, 7: Fenol og klorfenoler.

Halogenerede alifatiske kulbrinter. Højeste overskridelse i 2012 i indvindingsboringer opgivet som forholdet mellem den målte værdi og drikkevandskravet.								
Kommune	DGUnr	Dybde, m u.t.	Tetra- klor- ethylen	Tri- klor- ethylen	Di- klor- ethan	Diklor- ethylen	Vinyl- klorid	Chl.opl. midler – uspec.
Hjørring	5. 594	53,9-73,5		20			5,3	
Rødovre	200. 3628	9,0-52,0	1,3			1,3		
Frederiksberg	201. 274	27,0-41,5		5,5				
Frederiksberg	201. 3702	49,5-70,0		9,8	1,5	5,4		
Frederiksberg	201. 5311	32,5-51,0		4,7	1,8	1,6		
Frederiksberg	201. 5312	29,5-49,5		1,6				
Ishøj	207. 2693	17,4-31,5	1,8					1,5
Ishøj	207. 2696	16,7-28,1	2,0					1,5
Ishøj	207. 2701	15,7-28,5	1,7					1,4
Tårnby	208. 1560	6,2-60,00		6,0		1,3		
Hvidovre	208. 1578	6,5-60,0	3,3					
Tårnby	208. 1968	17,7-40,0		17		2,3		

Tabel 17. Fundomstændigheder for alifatiske kulbrinter ved vandværkernes boringskontrol i 2012 for de tilfælde, hvor drikkevandskravene har været overskredet. Højeste overskridelse i 2012 er opgivet som forholdet mellem den målte værdi og drikkevandskravet.

Højeste overskridelse i 2012 i indvindingsboringer. Opgivet som forholdet mellem den målte værdi og drikkevandskravet.						
Kommune	DGUnr.	Dybde m u.t.	Olieprodukter			Aromater
			C6-C35	C6-C10	C10-C25	Benzen
Hjørring	5.533	23,5 - 43,5				4,6
Ebeltoft	91. 25	16,3-21,3	210	210		1,4
Vordingborg	227. 144		22		22	

Tabel 18. Fundomstændigheder for olieprodukter og aromatiske kulbrinter ved vandværkernes boringskontrol i 2012 for de tilfælde, hvor drikkevandskravene har været overskredet. Den højeste overskridelse i 2012 er angivet som forholdet mellem den målte værdi og drikkevandskravet.

Tabel 19 viser en opgørelse af de overordnede resultater af analyseindsatsen i vandværkernes egenkontrol i perioden 2008–2012, svarende til en komplet cyklus af boringskontrol i alle indvindingsboringer. Oplysninger om boringernes beliggenhed og stamdata samt øvrige grundvandskemiske sammensætning kan findes i JUPITER ved indtastning af DGU nr. i "søgeformular" under indgangen "Adgang til alle data", se JUPITER hjemmesiden.

Der er kun medtaget stoffer, der er fundet i koncentrationer, som ligger over 75 % af drikkevandskravet, hvilket er den koncentration, der ifølge Vandrammedirektivet udløser en indsats med henblik på at nedbringe koncentrationen af stoffet i grundvandet. Det ses, at der er foretaget et stort antal analyser af "renseri-stofferne": trikloretylen, tetrakloretylen og deres nedbrydningsprodukter.

Stof Gruppe	Analyse år 2008- 2012	Boringer								Stofkode (STAN DAT)
	Stof	Bo- ringer	Fund	Fund >3xDG ¹⁾		>75 % af DK		Over DK ²⁾		
				Antal	Antal	Antal	%	Antal	%	
1	DEHP	5	1	1	*	1	*	1	*	0426
2	Anioniske	1023	692	74	7 %	2	<1 %	2	<1 %	0602
3	Olie	17	4	1 ³⁾	6 %	4	24 %	4	24 %	2552
3	Olieprodukter	23	3	0 ³⁾	-	3	13 %	3	13 %	3002
3	C10 – C25	365	11	3 ³⁾	1 %	11	3 %	11	3 %	9495
3	C25 – C35	340	3	1 ³⁾	<1 %	3	1 %	3	1 %	9496
3	C6 – C10	214	2	1	<1 %	1	<1 %	1	<1 %	9508
3	C6 – C35	138	6	5	3,6 %	5	4 %	5	4 %	9509
3	MTBE	776	77	8	1 %	4	<1 %	3	<1 %	0490
4	Benzen	1741	17	8	<1 %	4	<1 %	4	<1 %	0662
4	BTEX (sum)	23	3	1	4 %	1	4 %	1	4 %	3006
4	Methylbenzen	1645	19	5	<1 %	2	<1 %	2	<1 %	3007
5	Fluoranthen	196	4	3	2 %	1	<1 %	1	<1 %	2701
5	Benz(a)pæren	196	4	0 ³⁾	-	4	2 %	3	2 %	9824
6	Tetraklormetan	1661	3	3	<1 %	1	<1 %	1	<1 %	2616
6	Tetrakloretylen	1666	48	30	2 %	15	<1 %	14	<1 %	2617
6	Triklorethylen	1668	74	54	3 %	15	<1 %	13	<1 %	2618
6	1,1,1-trikloretan	1667	13	3	3 %	1	<1 %	0	<1 %	2621
6	Cis-1,2- Dichlorethylen	286	45	30	11 %	10	4 %	9	3 %	0404
6	Trans-1,2- Dichlorethylen,	286	11	7	3 %	2	<1 %	2	<1 %	0408
6	Chl. opl.midler ⁴⁾	8	8	8	*	3	*	3	*	3087
6	1,2-Dichlorethan	1590	31	17	1 %	3	<1 %	3	<1 %	9422
6	Vinylklorid	319	23	14	4 %	6	2 %	2	<1 %	9946
7	Fenol	518	16	7	1 %	1	<1 %	1	<1 %	2676
7	4klor,2metylfenol	3884	8	3	<1 %	1	<1 %	1	<1 %	2686
7	2,4-dichlorfenol	5839	15	5	<1 %	1	<1 %	1	<1 %	2688
7	Pentaklorfenol	755	1	1	<1 %	1	<1 %	1	<1 %	2695
8	Dietylæter	13	1	1	*	1	*	1	*	3047

1) DG = Detektionsgrænse 2) DK = Drikkevandskrav
3) Den anvendte detektionsgrænse er større end drikkevandskravet
4) Chlorerede opløsningsmidler – uspecifiseret * spinkelt datamateriale

Tabel 19. Opgørelse af det overordnede resultat af analyseindsatsen i vandværkernes boringskontrol i perioden 2008–2012, svarende til en hel cyklus af boringskontrol. Kun stoffer, der overstiger drikkevandskravet med 75 % (jf. Vandrammedirektivet) er medtaget. For Standatkodelisten, se Standat hjemmesiden. Kodeliste STD00019. Stofgrupper: 1: Hormonforstyrrende stoffer, 2: Detergenter, 3: Olieprodukter, 4: Aromatiske kulbrinter, 5: PAH, 6: Halogenerede alifatiske kulbrinter, 7: Fenol og klorfenoler, 8: Alkoholer og ætere.

For trikloretylen er 75 % af drikkevandskravet i perioden 2008 til 2012 overskredet i 4 boringer i Frederiksberg kommune, 3 boringer i Høje Tåstrup, 4 boringer i Tårnby og 1 boring i henholdsvis Rødovre, Furesø, Solrød og Hjørring.

For tetrakloretylen er 75 % af drikkevandskravet i perioden 2008 til 2012 overskredet i 5 boringer i Høje Tåstrup, 3 boringer i Ishøj, 3 boringer i Køge og 1 boring i henholdsvis Hvidovre, Rødovre, Furesø, og Hjørring.

Der er foretaget et langt mindre antal analyser af olie og olieprodukter, men i 31 boringer svarende til 24 % af de analyserede boringer overskrides 75 % af drikkevandskravet, netop for olie og olieprodukter.

Forskellen i forholdet mellem antal analyser og antal fund for henholdsvis renserstofferne og olieprodukterne tyder på at overvågningen af olieprodukterne er mere fokuseret (omkring kendte punktkilder (benzintanke mv.), mens renserstofferne er mere geografisk spredte og, at der stadig foregår en indkredsning af problemets omfang.

Sammenfatning organiske mikroforureninger

Sammenfattende for såvel grundvandsovervågningen som vandværkernes boringskontrol viser fund af mange forskellige organiske mikroforureninger, at der i et moderne industrialiseret samfund med en bred anvendelse af miljøfremmede stoffer ofte forekommer spild, som påvirker grundvandet i uheldig retning, uden at det efterfølgende er muligt umiddelbart at fastslå beliggenheden af kilden eller nærmere at angive udbredelsen. Samlet set er størstedelen af analysedata præget af lave koncentrationer, få genfund, eller genfund over en kortere årrække som dokumenteret af den detaljerede gennemgang af organiske mikroforureninger fra vandværkernes egenkontrol på Fyn (Thorling m.fl., 2012).

Det hører i lige så høj grad med til det samlede billede af grundvandsforureningen med organiske mikroforureninger, at når en massiv forurening først er etableret, så kan de forurenende stoffer trænge dybt ned i samfundets reserve af uforurenede grundvand. Det viser langvarige overskridelser af drikkevandskravene i oftest bynære boringer inden for eller i nærheden af kendte depoter og forurenede grunde (Thorling m.fl., 2011). Kun stoffer, der er fundet i koncentrationer, som overstiger drikkevandskvalitetskravet med 75 %, som er den koncentration, der ifølge Vandrammedirektivet udløser en indsats med henblik på at nedbringe koncentrationen af stoffet i grundvandet, er medtaget.

Det ses, at der er foretaget et stort antal analyser af "renseri-stofferne" trikloretylen og tetrakloretylen og deres nedbrydningsprodukter. For trikloretylen er 75 % af drikkevandskvalitetskravet i perioden 2008 til 2012 overskredet i 4 boringer i Frederiksberg kommune, 3 boringer i Høje Tåstrup, 4 boringer i Tårnby og 1 boring i henholdsvis Rødovre, Furesø, Solrød og Hjørring. For tetrakloretylen er 75 % af drikkevandskvalitetskravet i perioden 2008 til 2012 overskredet i 5 boringer i Høje Tåstrup, 3 boringer i Ishøj, 3 boringer i Køge og 1 boring i henholdsvis Hvidovre, Rødovre, Furesø, og Hjørring.

Der er foretaget et langt mindre antal analyser af olie og olieprodukter, men i 31 boringer svarende til 24 % af de analyserede boringer overskrides 75 % af drikkevandskvalitetskravet, netop for olie og olieprodukter.

Forskellen i forholdet mellem antal analyser og antal fund for henholdsvis renserelementer og olieprodukter tyder på at overvågningen af olieprodukter er mere fokuseret (omkring kendte punktkilder (benzintanke mv)) mens renserelementerne er mere geografisk spredte og at der stadig foregår en indkredsning af problemets omfang.

I hovedstadsområdet (NST 2011a, side 127) og omkring andre store byer (NST 2011b, side 151) bidrager de organiske mikroforureninger i væsentligt omfang til at tilstanden i de udpegede grundvandsforekomster i henhold til EU's Vandramme- og Grundvandsdirektiv må betegnes som ringe. I takt med at indsatsen mod forurenede grunde og depoter bærer frugt, vil de med 6 års intervaller gentagne tilstandsvurderinger forventeligt vise et stigende antal grundvandsforekomster, hvis tilstand i henhold til direktiverne kan betegnes som god.

Referencer, organiske mikroforureninger

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet, 2009a: LBK nr. 1427 af 04/12/2009. Bekendtgørelse af lov om forurennet jord (Jordforureningsloven)

Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2012: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1277 af 12. december 2012.

Miljøstyrelsen, 1991: Overfladeaktive stoffer – spredning og effekter i miljøet. - Miljøprojekt nr. 166.

Miljøstyrelsen, 2010a: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord og kvalitetskriterier for drikkevand". (5-11-13)
www.mst.dk/NR/rdonlyres/95E72216-4024-4881-AE3A-5FA05E2A486F/84000/MaSt01forsuringkvvBATbladudenkor.pdf

Miljøministeriet, 2011a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900, 17. august 2011 (analysekvalitetsbekendtgørelsen)

Miljøstyrelsen, 2012a: Redegørelse om jordforurening 2010. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 1, 2012.

Miljøstyrelsen, 2012b: Faktaark: Pentachlorphenol (PCP). (5-11-13)

www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Kemikalier/regulering_og_regler/faktaark_kemikalierreglerne/Pentachlorphenol_PCP.htm

EU- direktiver

EU, 2000: Vandrammedirektivet. Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)

EU, 2006: Grundvandsdirektivet. Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Grundvandsdirektivet)

Andre referencer

Albers, Christian Nyrop, 2010: Natural halogenated compounds in forest soils: formation, leaching, emissions and spatiotemporal patterns of chloroform and related compounds, Rapport /De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland; 2010:17, 1 bd. (flere pag.), Ph.d. afhandling, Roskilde Universitet 2010

Albretchen, JH., og Bjerg, B.L., 2000: Nedbrydning i grundvandsmiljøer. – Kemiske stoffer i miljøet (red. Helweg, A.)

Arbejds miljøsekretariatet, Det grafiske Branchesikkerhedsråd 198,4 Orientering 4: om stoffer og materialer:
www.grafiskbar.dk/publikationer/historisk-arkiv/aromatiske-kulbrinter/ (5-11-13)

Beredskabsstyrelsen, 2013: Faktaark om Vinylklorid. www.kemikalieberedskab.dk/upload/ik/1623.pdf (5-11-13)

Brüsch, W. og Villholt, K. G., 2011: Punktkilders påvirkning af grundvandsressourcens kvalitet. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt **Nr. 1395** 2011

Europaudvalget, 2012: <http://www.ft.dk/samling/20111/almdele/miu/bilag/385/1129299/index.htm>

Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning.

Jacobsen, O.S., Laier, T., Juhler, R.K., Kristiansen, S.M., Dichmann, E., Brinck, K., Juhl, M.M, Grøn, G., 2007: Forekomst og naturlig produktion af chloroform i grundvand. BLST, 2007 120 pp.

Kudsk, P., 1999: Danmarks JordbrugsForskning, Flakkebjerg. <http://www.fsps.dk/planteavl/Additivers%20indflydelse.htm>

Naturstyrelsen 2011a: www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/1594CEE0-33E2-42CF-8015-F3F17123F4C9/0/2_3_Oeresund_vandplan_20dec_2011.pdf (5-11-13)

Naturstyrelsen 2011b: www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/E29AE587-D7B9-490B-B306-51CC46EE1A83/0/1_13_OdenseJord.pdf

Naturstyrelsen, Vestjylland Vand, 2012: Fund af nonylphenoler i Grundvandsovervågningen. Notat af 13. april 2012. Ref. KiHar

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i feltet. Teknisk anvisning. GEUS 2012.
www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Links:

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.10.2013)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.10.2013)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10..2013)

STANDAT hjemmesiden, DCE, 2012: www.dmu.dk/Myndighedsbetjening/Overvaagning/Standat/Standatbiblioteket/ (21-10-2013)

Energi og olieforum, 2012: www.eof.dk/Home/OM.aspx (5-11-13)

Videnscenter for Arbejds miljø, 2013: www.arbejdsmiljoviden.dk/Viden-om-arbejdsmiljoe/Kemisk-arbejdsmiljoe/Kraefftremkaldende-stoffer (5-11-13)

7 Pesticider

Indledning

I grundvandsovervågningen analyseres der i den indeværende programperiode (2011-2015) for 31 forskellige pesticider og nedbrydningsprodukter fordelt på 11 aktivstoffer og 20 nedbrydningsprodukter. Ud af de 31 stoffer er 5 stoffer pesticider og nedbrydningsprodukter fra midler godkendt uden restriktioner, 5 stoffer er pesticider eller nedbrydningsprodukter fra godkendte midler med restriktioner, mens de resterende stoffer er pesticider eller nedbrydningsprodukter fra forbudte pesticider.

Boringskontrollen for vandværker omfatter 31 obligatoriske pesticider og nedbrydningsprodukter samt 2 klorfenoler pr. 1. jan. 2012. Analyseprogrammet er i forhold til tidligere udbygget med 18 stoffer, der omfatter såvel nyere som ældre pesticider samt godkendte, regulerede og forbudte stoffer. Se tabel 29 og 32. Af de 21 pesticider og nedbrydningsprodukter fra det hidtidige analyseprogram, indgår 13 stadig i analyseprogrammet. Det gamle analyseprogram bestod indtil 1. jan. 2012 af 23 obligatoriske stoffer (heraf 2 klorfenoler). En række vandværker har dog analyseret for flere stoffer.

I grundvand kan pesticider og disses nedbrydningsprodukter stamme fra erhvervsmæssig brug af pesticider i skov- og jordbrug samt fra privates anvendelse i haver og anlæg samt ukrudtsbekæmpelse på befæstede arealer i byområder. Dertil kommer udvaskning fra spild og punktkilder fx vaskepladser, der kortlægges og overvåges særskilt i forbindelse med Jordforureningsloven (MST, 2012).

I denne rapport er der anvendt en række forskellige opgørelsesmetoder, for at beskrive, hvorledes pesticider optræder i grundvandet. Dels vises den aktuelle status for 2012. Derudover vises den samlede påvirkning over hele perioden, for at illustrere i hvilket omfang indtagene i hele monitoringsperioden har været påvirket af pesticider. Opgørelser over fund på analyseniveau anvendes til at vurdere hvor mange analyser, der er gennemført pr år, og ved beregninger af middel og median koncentrationer for enkeltstoffer. Vurderingen af udviklingen i GRUMO og Boringskontrol datasættene sker på indtagsniveau, således at et indtag tælles med en gang, såfremt der et år har været et eller flere fund af et eller flere stoffer i det pågældende indtag.

Når det beregnes hvor stor en andel af grundvandet, der i hele monitoringsperioden har været påvirket af pesticider eller nedbrydningsprodukter, medtages det enkelte indtag kun en gang, selv om der har været udtaget mange vandprøver med fund. Opgørelsen på indtagsniveau anvendes for at undgå en skævvridning af datasættene, fordi der ofte er blevet udtaget flere prøver fra indtag med fund. Endelig fokuseres der nærmere på udvalgte aspekter af de konkrete fund i form af tidsserier eller fordeling mht. dybde i grundvandet.

Målsætning

Ifølge Vandrammedirektivet må pesticidindholdet i drikkevand og grundvand ikke overstige 0,1 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og relevante nedbrydningsprodukter, mens summen af enkeltstoffer ikke må overstige 0,5 µg/l (EU, 1998, 2000 og 2006). Pesticider og nedbrydningsprodukter bliver kun i et vist omfang tilbageholdt eller nedbrudt ved traditionel vandbehandling på de danske vandværker. Drikkevandskravet på 0,1 µg/l blev oprindeligt fastlagt i EU's Drikkevandsdirektiv (EU, 1980). I Danmark er sumværdien næsten aldrig i anvendelse, da der i

boringer med et samlet pesticidindhold over sumværdien som regel er mindst ét stof, der overskrider drikkevandskravet på 0,1 µg/l.

Grundvandsovervågning

Datagrundlag

Der er i dette afsnit anvendt pesticidanalyser fra grundvandsovervågningen i perioden 1990-2012, begge år inklusive. Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet. De første år blev der analyseret for 8 stoffer. Siden har udvikling i analyseteknikkerne muliggjort opbygningen af et omfattende og dynamisk program, hvor nye pesticider inddrages, når det er relevant. Samtidig udgår pesticider, der kun sjældent eller aldrig findes.

Grundvandsovervågningens oprindelige formål var at give et generelt billede af grundvandets tilstand i en række udvalgte oplande. Siden 2003 er der overvejende blevet analyseret for pesticider i grundvandsindtag, hvor dateringer viser, at grundvandet er dannet efter 1950. For at opnå bedre overensstemmelse med Vandrammedirektivet overvåges der i dag i en større andel af grundvand i risiko for ikke at opfylde miljømålene. Bl.a. af den grund er prøvetagningsstrategien ændret siden 2007 for at fokusere på de boringer, hvor tidligere målinger viser, at der er størst sandsynlighed for at finde en samfundsmæssig påvirkning med pesticider og deres nedbrydningsprodukter.

Det betyder, at grundvandsindtag, hvor der ikke tidligere fundet af pesticider, prøvetages hvert tredje år (2007-2010) og 2 gange på 5 år i 2011-2015. Indtag, hvor der tidligere fundet af pesticider, prøvetages hvert år. Variationen i antal indtag, der analyseres pr. år, og i analysefrekvens betyder, at rapporteringen giver et billede af tilstanden i de indtag, der analyseres de enkelte år, men også at det er kompliceret at lave meningsfulde generelle landsdækkende tidsserier, se også kapitel 2. I analyseprogrammet indgår i alt 31 stoffer, hvoraf 21 stammer fra forbudte pesticider, mens 5 er fra regulerede, og 5 er fra tilladte. Tabel 20 viser status mht. godkendelse pesticider, der indgår i den nuværende programperiode 2011-15 for GRUMO.

Analyseresultater fra grundvandsovervågningen fra hele monitoringsperioden 1989-2012 fremgår af bilag 1 til 6.

Relevans

Grundvandsovervågningen sikrer et datamateriale, der er uafhængig af udviklingen i vandindvindingsstrukturen, mens analyserne fra vandværkernes boringskontrol giver et billede af omfanget af pesticider i det råvand, vandværkerne indvinder fra deres aktive indvindingsboringer. Derfor giver grundvandsovervågningen et mere repræsentativt billede af omfanget af pesticider i grundvandet, fordi overvågningsboringer i modsætning til vandværksboringer ikke lukkes eller sløjfes, hvis der konstateres pesticider.

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Juridisk status	Bemærkning
Aminomethylphosphonsyre (AMPA)*	Godkendt	Nedbrydningsprodukt fra glyphosat.
Atrazin	Forbudt	Forbudt i 1994 af hensyn til grundvandet.
Bentazon	Reguleret	Begrænset i 1995. Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet.
4-CPP*#	Reguleret	Flere moderstoffer, nogle med anvendelsesrestriktioner. Forbudt eller pålagt væsentlige restriktioner.
2,6 DCCP*#	Reguleret	Flere moderstoffer, nogle med anvendelsesrestriktioner. Forbudt eller pålagt væsentlige restriktioner.
Desamino diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Deethyl atrazin*	Forbudt	Moderstof: bla. Atrazin.
Deethyldeisopropyl atrazin* (DEIA)	Forbudt	Nedbrydningsprodukt, der kan dannes af atrazin, terbuthylazin, simazin mfl.
Deisopropyl atrazin*	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin. Terbuthylazin: Restriktioner i 2003, godkendelse tilbagekaldt ultimo 2008 (EU vurdering), anvendelse forbudt i DK april 2009 pga. risiko for grundvandet.
Deethyl-hydroxy-atrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
Deisopropyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
Didealkyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
2-hydroxyterbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof: Terbuthylazin: Restriktioner i 2003, godkendelse tilbagekaldt ultimo 2008 (EU vurdering), anvendelse forbudt i DK april 2009 pga. risiko for grundvandet.
Dichlobenil	Forbudt	Forbudt i 1996 af hensyn til grundvandet.
BAM (2,6-Dichlorbenzamid)*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
2,6-Dichlorbenzoesyre*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
Dichlorprop	Reguleret	Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet. Begrænset i 1997.
Diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Glyphosat	Godkendt	Godkendt, anvendt siden 1975.
Hexazinon	Forbudt	Forbudt i 1994 af hensyn til grundvandet.
Mechlorprop	Reguleret	Begrænset i 1997. Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet.
Metribuzin	Forbudt	Forbudt i 2004 af hensyn til grundvandet.
4-nitrophenol*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra parathion, forbudt i 1990. Kan være urenhed i andre midler og fra industrikemikalier.
Simazin	Forbudt.	Intet salg i Danmark efter 2004. Forbudt i EU 2005 af hensyn til grundvandet.
Trikloredikesyre (TCA)	Forbudt	Udfaset i Danmark (intet salg efter 1988) af hensyn til grundvandet.
CYPM ^{nyt}	Godkendt	Moderstof azoxystrobin, anvendt siden 1998.
Picolinafen ^{nyt}	Godkendt	Anvendt siden 2007.
CL153815 ^{nyt*}	Godkendt	Moderstof Picolinafen, anvendt siden 2007.
2-hydroxy-deethyl terbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof terbuthylazin.
PPU ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof rimsulfuron, solgt i små mængder 2001 til 2010.
PPU desamino, ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof rimsulfuron, solgt i små mængder 2001 til 2010.

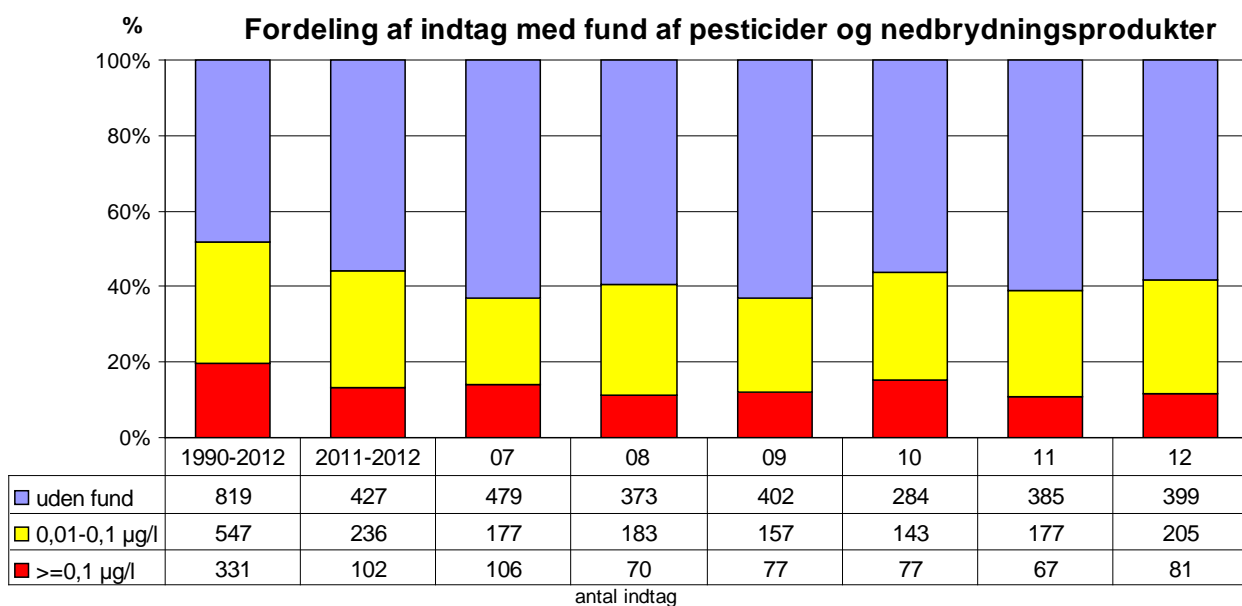
Tabel 20. Administrativ status for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der analyseres i grundvandsovervågningen (GRUMO). Nedbrydningsprodukter er markeret med *. 10 nye pesticider og nedbrydningsprodukter analyseret i 2011 og 2012 er mærket med ^{nyt}. Juridisk status for nedbrydningsprodukter gælder moderstoffet. # 4-CCP og 2,6-DCCP kan være nedbrydningsprodukter eller urenheder fra phenoxysyrer som dichlorprop, mechlorprop og andre phenoxysyrer. 4-nitrophenol er både et nedbrydningsprodukt og industrikemikalie og kan derfor ikke nødvendigvis relateres til pesticidanvendelse.

Tilstand og udvikling

Tabel 21 og figur 36 viser, at der i 2012 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 42 % af de undersøgte indtag, og at drikkevandskravet på 0,1 µg/l blev overskredet i ca. 12 % af de undersøgte indtag. Der er således sket en mindre stigning fra 39 % i 2011, mens andelen er stort set svarende til de 44 % af indtagene, der indeholdt pesticider i 2010. Der er tale om små variationer gennem tid, der kun over længere perioder viser en udvikling. Antallet af fund af de 10 nye stoffer i analyseprogrammet (2011-12) er så lavt, og optræder i indtag, hvor der allerede er andre fund, således at det ikke ændrer det generelle billede af stort set konstante fundprocenter for perioden 2007-12.

GRUMO	Analysér	Antal indtag			Andel indtag med fund i %		
	antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
2012	691	685	205	81	29,9	11,8	41,8
2011	638	629	177	67	28,1	10,7	38,8
2010	506	504	143	77	28,4	15,3	43,7
2009	646	636	157	77	24,7	12,1	36,8
2011 til 2012	1.330	765	236	102	30,8	13,3	44,2
Hele perioden	15.918	1.697	547	331	32,2	19,5	51,7

Tabel 21. Pesticidfund i grundvandsovervågningen vist som hhv. antal og procentvis fordeling af analyserede indtag, opdelt på fund over og under drikkevandskravet på 0,1 µg/l. Der er medtaget oplysninger om perioderne 2011-2012, hvor samme analyseprogram har været anvendt, hele perioden 1990-2012 samt for de enkelte år, 2009, 2010, 2011 og 2012. 2011-12 datasættene bygger på et analyseprogram, der omfatter 31 stoffer mod 21 stoffer i 2009-10. Opgørelserne for hele perioden viser, hvor stor en del af de overvågede grundvandsmagasiner, der er sårbare overfor denne forureningstype, de enkelte år viser øjebliksbilleder af forureningens omfang.



Figur 36. Pesticidanalyser fra GRUMO. **Antal indtag** er anført under de enkelte år 2007-2012 og for to perioder for tre koncentrationsintervaller: ≥0,1 µg/l, [0,01-0,1] µg/l, samt uden fund. **Andel analyser** pr. år fremgår af tabel 22, der omfatter hele monitoringsperioden 1990-2012.

Det stigende antal fund af pesticider i grundvandsovervågningen i perioden frem til 1998, (Thorling mfl., 2012) afspejler, at grundvandet i denne periode er blevet analyseret for stadig flere pesticider og nedbrydningsprodukter, hvilket også er tilfældet efter 2004, hvor analyseprogrammet dels medtager metribuzins nedbrydningsprodukter, samtidig med at andelen af indtag i højtliggende og mere belastet grundvand forøges.

År	Gnsn. dybde til top indtag			Antal analyser			Andel i %	
	Alle indtag	Indtag med fund	Indtag $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	I alt	alle fund	$\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	Alle fund	$\geq 0,1 \mu\text{g/l}$
1990	26,4	25,5	31,1	274	30	11	10,9	4,0
1991	26,0	19,9	18,1	326	23	15	7,1	4,6
1992	21,0	23,3	17,6	462	13	3	2,8	0,6
1993	25,0	19,4	15,9	474	35	10	7,4	2,1
1994	23,5	15,9	17,6	646	49	16	7,6	2,5
1995	23,9	20,2	16,5	728	76	31	10,4	4,3
1996	23,9	17,3	14,8	776	140	68	18,0	8,8
1997	25,2	18,4	17,2	749	161	65	21,5	8,7
1998	25,3	20,5	18,4	896	268	79	29,9	8,8
1999	25,9	20,5	15,9	958	219	65	22,9	6,8
2000	26,4	19,4	18,0	875	216	64	24,7	7,3
2001	24,6	19,6	17,5	803	227	68	28,3	8,5
2002	24,6	18,2	17,1	809	221	73	27,3	9,0
2003	24,6	19,4	16,7	814	232	81	28,5	10,0
2004	23,6	19,7	19,5	648	227	97	35,0	15,0
2005	20,2	17,6	17,3	828	294	102	35,5	12,3
2006	19,6	16,6	17,2	860	309	108	35,9	12,6
2007	20,7	16,8	16,6	803	299	114	37,2	14,2
2008	18,7	15,9	14,7	709	287	80	40,5	11,3
2009	19,2	17,3	16,3	641	236	77	36,8	12,0
2010	16,0	14,9	15,1	509	224	78	44,0	15,3
2011	20,0	16,7	16,9	639	248	67	38,8	10,5
2012	19,4	18,2	18,7	691	289	81	41,8	11,7

Tabel 22. Alle pesticidanalyser fra GRUMO (ikke indtag), for perioden 1990–2012. Antal analyser pr. år i alt, med fund og med fund større end drikkevandskravet på $0,1 \mu\text{g/l}$. Det gøres opmærksom på, at tabel 21 og 22 ikke kan sammenlignes, da tabel 22 omfatter en opgørelse af gennemførte analyser pr. år og ikke en opgørelse af antal analyserede indtag (tabel 21), idet der i nogle indtag udføres mere end en analyse om året.

Pesticiderne og deres nedbrydningsprodukter kan bl.a. nedvaskes til grundvandet, når overskudsnedbør infiltrerer sammen med andre opløste stoffer fra de øvre jordlag. Et samspil mellem geologiske, hydrauliske, topografiske forhold og kraftige regnhændelser på udbringningstidspunktet betyder, at pesticiderne kan forekomme som pulser/fronter, der med grundvandet bevæger sig gennem grundvandsmagasinerne og i kortere eller længere periode påvirker de enkelte grundvandsmoniteringsindtag. Samtidig varierer forbrugsmønstret i et opland fra år til år.

Dette betyder, at man ikke altid genfinder de samme pesticider eller nedbrydnings-produkter i de samme indtag fra år til år. De enkelte pesticider bindes på forskellig måde i såvel rodzone som i de underliggende sedi-menter. Stoffer som BAM, der er svært nedbrydeligt, gen-findes ofte, mens andre stoffer, der omsættes eller bindes, i stedet kun findes en enkelt eller få gange i samme indtag.

I hele overvågningsperioden 1990-2012 er der fundet pesticider mindst en gang i ca. 52 % af de 1.697 undersøgte indtag, og i knap 20 % af indtagene var drikkevandskravet en eller flere gange overskredet, se tabel 21. Denne opgørelse af antal fund i hele perioden viser, hvor **stor en del af den undersøgte ressource** og de undersøgte indtag, der indtil i dag på et eller flere tidspunkter har indeholdt pesticider eller nedbrydningsprodukter.

I de to seneste år (2011-2012), hvor der er analyseret for 31 stoffer (tabel 20) er der fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i 44 % af 765 undersøgte indtag, hvoraf drikkevandskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 13 % af alle indtag, se tabel 21.

Tabel 22 viser **antal analyser** udført pr. år i hele overvågningsperioden. Tabellen er udarbejdet for at vise udviklingen i antallet af analyserede vandprøver gennem perioden. Antallet af analyser er faldet til godt 800 analyser i 2007 og til 509 i 2010, og er i takt med udbygningen af det nye stationsnet igen steget til 691 prøver i 2012, se også figur 4.

De 10 nye stoffer i analyseprogrammet

Der er i 2011 og 2012 undersøgt for ti nye stoffer i henholdsvis 639 og 691 indtag. Stofferne, deres status samt resultaterne for 2012 fremgår af bilag 1 og 2 (hele perioden og analyser fra 2012) og af tabel 20 og 23.

Tabel 23 viser andel indtag med fund af de 10 stoffer for perioden 2011-2012. Da amterne tidligere har analyseret for nogle af triazin-nedbrydningsprodukterne er bilag 1, der omfatter hele monitoringsperioden, ikke sammenligneligt med tabel 23, der kun har medtaget analyser fra 2011 og 2012.

De 3 dominerende stoffer med relativt mange fund i tabel 23, er nedbrydningsprodukter fra i dag forbudte triaziner, fx atrazin. To af stofferne har også fund over drikkevandskravet. Didealkyl-hydroxyatrazin er således fundet i – bemærkelsesværdige - 7,9 % af de undersøgte indtag i 2011-2012, mens drikkevandskravet var overskredet i 0,7 %. Deisopropylhydroxy-atrazin blev fundet i 4,5 % af indtagene.

Nedbrydningsproduktet *PPU* fra det forbudte pesticid, rimsulfuron, er påvist i 6 ud af 763 undersøgte indtag svarede til 0,8 %, i alle tilfælde dog under drikkevandskravet, mens triazin nedbrydningsproduktet, 2-hydroxyterbuthylazin, blev fundet i to indtag under drikkevandskravet på 0,1 µg/l.

Tre stoffer: 2-hydroxydesethylterbutylazin, det godkendte stof picolinafen og picolinafens nedbrydningsprodukt CI153815, er fundet en enkelt gang i koncentrationer under drikkevandskravet.

CyPM, der er et nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin, og et nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron, PPU-desamino, blev ikke påvist i 2011 og 2012.

10 nye stoffer i 2011 og 2012	Status	Analysér	Antal indtag			Andel i %		
		antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0, µg/l	i alt
Didealkyd-hydroxyatrazin*	forbudt	1329	764	55	5	7,2	0,7	7,9
Deisopropyl-hydroxyatrazin*	forbudt	1329	764	33	1	4,3	0,1	4,5
Deethyl-hydroxyatrazin*	forbudt	1329	764	12	0	1,6	0	1,6
PPU (rimsulfuron)*	forbudt	1322	763	6	0	0,8	0	0,8
2-hydroxyterbutylazin*	forbudt	1322	763	2	0	0,3	0	0,3
2-hydroxydesethylterbutylazine*	forbudt	1322	763	1	0	0,1	0	0,1
Picolinafen	godkendt	1322	763	1	0	0,1	0	0,1
CI153815* (Picolinafen)	godkendt	1322	763	1	0	0,1	0	0,1
CyPM* (azoxystrobin)	godkendt	1322	763	0	0			
PPU-desamino* (rimsulfuron)	forbudt	1322	763	0	0			

Tabel 23 GRUMO. 10 nye stoffer i perioden 2011-2012. Der er i analyseperioden optalt antal analyser, antal indtag analyseret, indtag med fund i koncentrationsintervallerne 0,01-0,1 µg/l og ≥0,1 µg/l. Navne i (parentes) er moderstof til nedbrydningsproduktet. * Stoffet er et nedbrydningsprodukt.

10 nye stoffer 2011 og 2012	Analysér	Antal indtag			Andel indtag med fund i %		
	antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
10 "nye" stoffer	1.329	764	80	5	10,5	0,7	11,1
Alle 31 stoffer 2011 til 2012	1.330	765	236	102	30,8	13,3	44,2

Tabel 24. GRUMO. Fund af de 10 nye pesticider og nedbrydningsprodukter i 2011-2012. Tabellen viser også fund af alle analyserede pesticider i samme periode. Fundandelen for de 10 stoffer er derfor en delmængde af hele analyseprogrammet, der omfatter 31 stoffer.

Tabel 24 viser, at de 10 "nye" stoffer er fundet i 11,1 % af de analyserede indtag i perioden 2011-2012, mens 0,7 % af de analyserede indtag overskred drikkevandskravet på 0,1 µg/l. Af tabel 23 fremgår, at det særligt er tre triazinnedbrydningsprodukter som findes hyppigt, mens de øvrige stoffer alle er fundet i under 1 % af indtagene.

Da der ofte forekommer flere triazinnedbrydningsprodukter i samme indtag er fundandelene i 2011 og 2012 ikke steget i forhold til tidligere monitoringsår, fordi de nye stoffer forekommer i vandprøver, som også indeholder andre pesticider, se tabel 21.

Hvis de 10 nye stoffer ikke medtages i en opgørelse af fundandele i 2011-2012 vil den samlede fundandel for perioden 2011-2012 stadig være 44 %, se tabel 24. Dette viser, at et nedbrydningsprodukt som didealkyl-hydroxyatrazin kan stamme fra nedbrydning af andre nedbrydningsprodukter, hvor nedbrydningen enten sker i grundvandsmagasinerne eller i den biologiske aktive rodzone, hvorfra der kan forekomme udvaskning.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer

Fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer er opgjort for 2007-2012 samt for hvert enkelt år i samme periode. I perioden er analyseprogrammet ændret, således at der nu også analyseres for en række ekstra nedbrydningsprodukter, der stammer fra såvel forbudte som godkendte pesticider, se tabel 20. Fordelingen er ikke undersøgt i perioden før 2007, hvor det forrige analyseprogram blev gennemført, dels fordi analyseprogrammet varierer gennem tid med hensyn til prøvetagningsstrategi og antal stoffer, dels fordi en række pesticider løbende er fjernet fra markedet og derfor ikke vil have samme status i perioden. Det er således overordentligt kompliceret at gennemføre en meningsfuld sammenligning for perioden før 2007.

2011 - 2012	Indtag			i % af antal analyserede indtag			
	antal	Med fund	≥ 0,1 µg/l	Intet fund	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	Alle fund
Forbudte stoffer	765	312	88	59,2	29,3	11,5	40,8
Regulerede stoffer	765	46	14	94,0	4,2	1,8	6,0
Godkendte stoffer	764	12	2	98,4	1,3	0,3	1,6

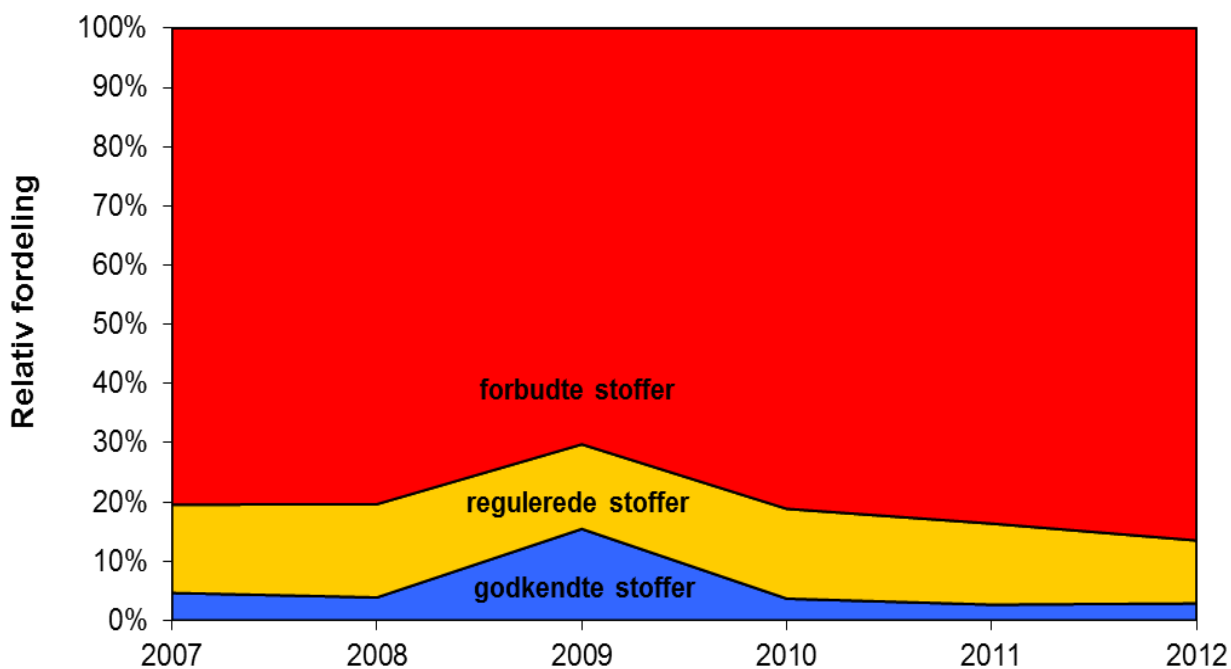
Tabel 25. Godkendte, regulerede og forbudte pesticider for perioden 2011-2012, svarende til den 2 årige periode det nye analyseprogram med 31 stoffer har været anvendt. Tabel 20 viser hvilke stoffer, der er godkendte, regulerede eller forbudte.

Pesticider, der stadig anvendes, kan opdeles i to grupper: De godkendte og de regulerede pesticider, hvor fx glyphosat, med det tilhørende nedbrydningsprodukt AMPA, har haft uændrede godkendelsesvilkår. 5 regulerede stoffer har fået en mere restriktiv godkendelse bl.a. for at nedsætte risikoen for nedsivning til grundvandet. 2 nedbrydningsprodukter kan stamme fra såvel de regulerede som de forbudte pesticider.

Tabel 25 viser, at der blev fundet godkendte pesticider eller nedbrydningsprodukter i 2011-2012 i 1,6 % af de analyserede indtag, mens drikkevandskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 0,3 % af indtagene. Et indtag kan godt indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor godt optræde i flere af de tre kategorier.

De regulerede stoffer blev i perioden 2011-12 fundet i 6 % af de analyserede indtag, mens drikkevandskravet var overskredet i 1,8 %. Da det overvågede grundvand i overvejende grad er mere end 10 år gammelt (se kapitel 3, figur 6) vil en del fund af de regulerede stoffer i grundvandet kunne stamme fra anvendelse af moderstofferne, før disse blev reguleret. Det fremgår af tabel 25, at de forbudte pesticider, og nedbrydningsprodukter fra disse, er fundet langt hyppigere end de regulerede og godkendte pesticider. Det fremgår, at de forbudte pesticider er fundet i 41 % af indtagene, med en overskridelse af drikkevandskravet i 11,5 %.

Tabel 26 viser - opdelt på tilladte, regulerede stoffer og forbudte stoffer - fund og andelen af analyser, der overskrider drikkevandskravet opdelt på de enkelte år i perioden 2007-2012. Opgørelse er baseret på analyser pr. år, fordi der kun i enkelte tilfælde er udtaget mere end en vandprøve pr. år fra indtagene.



Figur 37. Relativ fordeling af godkendte, regulerede og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse i perioden 2007-2012, beregnet som andel analyser med fund pr. år for de tre stofgrupper. Figuren illustrerer data fra tabel 26.

År		Antal analyser	Analyser med fund	Analyser $\geq 0,1 \mu\text{g}$	% alle fund	% 0,01 - 0,1	% $\geq 0,1$
Godkendte stoffer	2007	800	15	5	1,9	1,3	0,6
	2008	703	12	2	1,7	1,4	0,3
	2009	639	41	12	6,4	4,5	1,9
	2010	509	9	3	1,8	1,2	0,6
	2011	638	7	2	1,1	0,8	0,3
	2012	691	9	2	1,3	1,0	0,3
Regulerede stoffer	2007	802	48	16	6,0	4,0	2,0
	2008	709	49	14	6,9	4,9	2,0
	2009	641	38	14	5,9	3,7	2,2
	2010	509	37	16	7,3	4,1	3,1
	2011	639	36	12	5,6	3,8	1,9
	2012	691	33	9	4,8	3,5	1,3
Forbudte stoffer	2007	803	260	96	32,4	20,4	12,0
	2008	709	250	67	35,3	25,8	9,4
	2009	641	187	55	29,2	20,6	8,6
	2010	509	198	64	38,9	26,3	12,6
	2011	639	222	56	34,7	26,0	8,8
	2012	691	270	71	39,1	28,8	10,3

Tabel 26. Godkendte, regulerede og forbudte stoffer i grundvandsovervågningen for perioden 2007 til 2012. Der er anvendt samme analyseprogram i hhv. 2011-2012 og 2007-2010.

Figur 37 viser den relative fordeling af andel fund for godkendte, regulerende og forbudte stoffer pr. år i 2007 til 2012. Det ses, at et ellers stabilt kurveforløb løftes af de relativt mange fund af glyphosat og AMPA i 2009. Se også figur 40. En udredning gennemført i 2009/2010 kunne ikke fastslå, årsagen til de særligt mange fund i 2009.

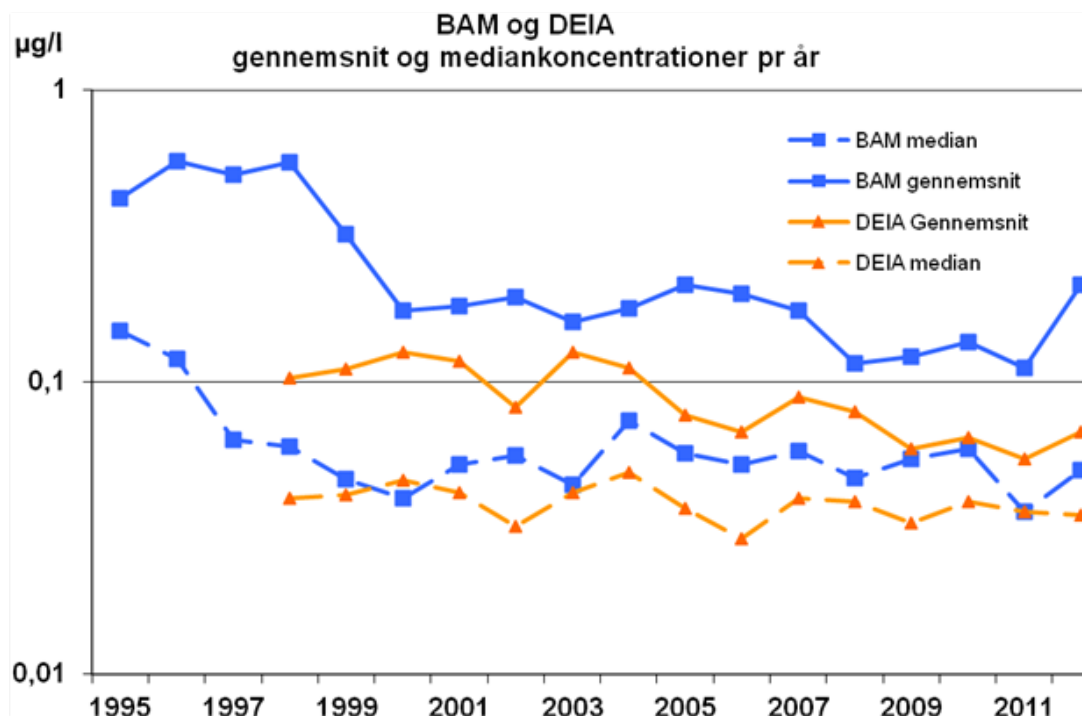
Tidsserier for udvalgte stoffer i GRUMO

Figur 38, 39 og 40 viser gennemsnit og median for fundkoncentrationer for 6 udvalgte stoffer:

- 2 nedbrydningsprodukter, BAM og DEIA, hvis moderstoffer er forbudte
- To regulerede pesticider bentazon og dichlorprop
- Det godkendte pesticid glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA.
-

Kun analyser med fund af de udvalgte stoffer indgår i beregningerne. Analyser uden fund er således ikke medtaget. Fundene for de enkelte år kan stamme fra forskellige borer og dermed forskellige dybder. Det skal bemærkes, at repræsentativiteten er lav for de år og stoffer, hvor der er få fund, idet enkelte fund får stor betydning for tidsseriens udseende. Antal analyser og analyser med fund fremgår af tabel 27.

Da der analyseres for pesticider i grundvand med meget forskellig alder (se kapitel 3) og i vand udtaget fra forskellige dybdeintervaller, er der ikke beregnet koncentrationer på grundlag af alle analyser, men kun for analyser med fund af de enkelte stoffer. En opgørelse for alle analyser, uanset om der er fund, giver kun mening, hvis hvert indtag vurderes for sig. Fra 2004 til 2012 er der en gradvis øget andel af terrænnære indtag, se figur 45, og dermed mere sårbart grundvand.



Figur 38. Gennemsnits- og mediankoncentrationer pr. år for analyser med fund af BAM og DEIA, der begge er nedbrydningsprodukter fra i dag forbudte stoffer. Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsovervågningen, mens analyser uden fund er udeladt. Antal analyser og antal analyser med fund pr. år fremgår af tabel 27. Bemærk, der bruges en logaritmisk y-akse.

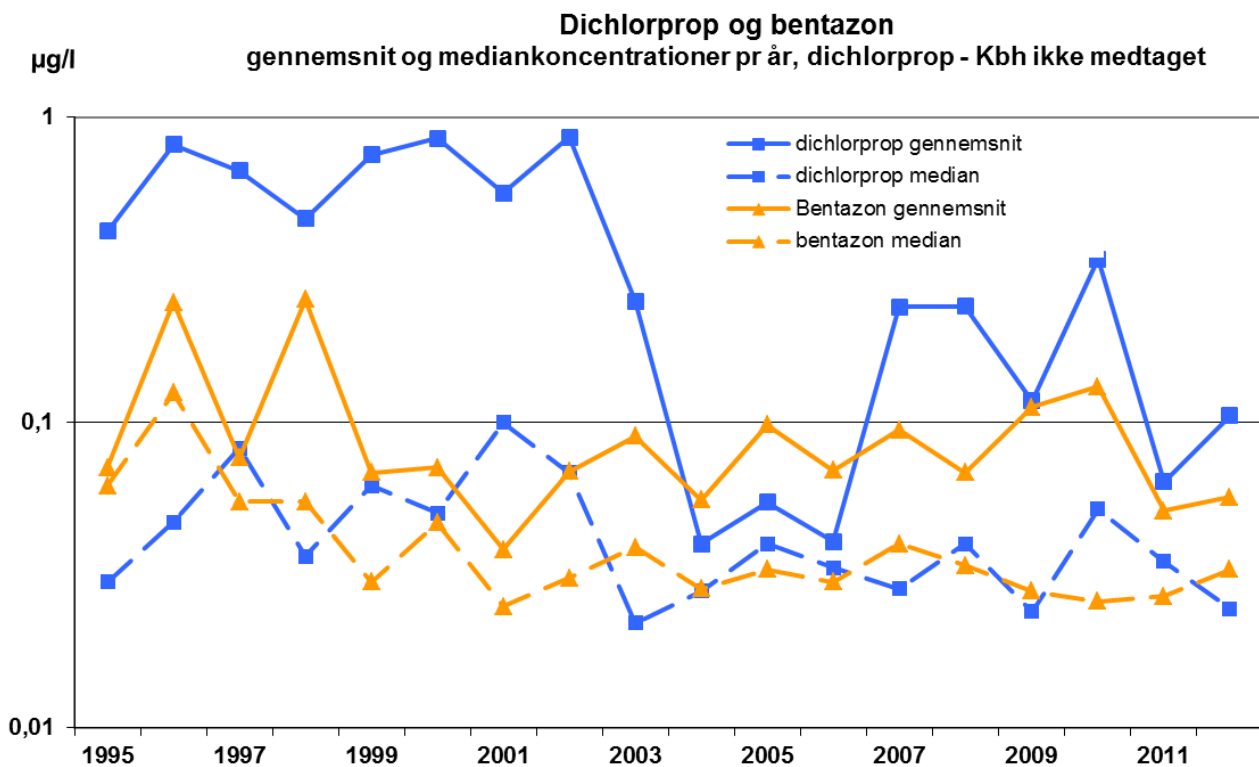
Figur 38 viser, at gennemsnits- og mediankoncentrationen for fund af BAM er faldet siden moderstoffet blev forbudt i 1996, mens koncentrationen er steget i 2012 pga. et enkelt fund med høj koncentration (7,7 µg/l) i et indtag, der ikke er analyseret før. I samme boring er der 17 indtag, hvor der tidligere er udtaget prøver med fund fra skiftende indtag gennem årene. Alle 17 indtag har indeholdt BAM, men dog i væsentligt mindre koncentrationer. De mange indtag med fund og de høje koncentrationer i grundvandet tyder på, at kilden til disse fund kan være en gårdsplads eller en lignende lokalitet, hvor moderstoffet, dichlobenil, har været anvendt som granulat (Elkjær mfl., 2002). Da hyppigheden af BAM fund i grundvandsovervågningen ikke er faldet i samme periode, se tabel 27, kan de mindre koncentrationer muligvis skyldes omsætning i både grundvandsmagasiner og i de øvre umættede jordlag og/eller aftagende udvaskning fra de øvre jordlag.

For DEIA ses et mindre fald i koncentrationer efter et af moderstofferne, terbuthylazin, blev reguleret i 2003 og forbudt i 2009. Da DEIA kan stamme fra en lang række triaziner, kan man ikke henføre faldet fra omkring 2003 og fremover til enkelte pesticider.

Figur 39 viser udviklingen for to regulerede pesticider. Dichlorprop er siden 1997 kun anvendt i meget små mængder sammenholdt med det tidligere forbrug. Både gennemsnits- og mediankoncentrationer falder gennem perioden frem til 2004, hvorefter de stiger igen. Da stofferne er fundet i meget høje koncentrationer i et enkelt opland i København, er disse analyser udeladt i figur 39. Dichlorprops fundhyppighed i grundvand har gennem de senere år været faldende, og den lille stigning i 2012 i gennemsnitskoncentration skyldes et enkelt fund i St. Fuglede på 0,77 µg/l. I dette indtag er stoffet gennem de sidste dekader fundet i meget høje, men med aftagende koncentrationer, hvilket tyder på en oprindelse fra en punktkilde. (Tuxen, 2013)

Bentazon blev reguleret i 1995, og der ses ikke et fald i gennemsnitskoncentrationerne efter 1999, men en fluktuerende og siden 2000, også en svagt stigende gennemsnitskoncentration, samtidig med, at der er en mere stabil mediankoncentration. Dette peger mod, at der optræder enkelte høje koncentrationer samtidig med mange fund under drikkevandskravet, (Christensen, 2013). Da dateringerne viser, at grundvandet i mange indtag er dannet før det tidspunkt reguleringen fandt sted, vil man vanskeligt kunne identificere eventuelle virkninger af reguleringen i grundvandet.

Figur 40 A og B, viser udviklingen for glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA – med og uden fund fra to indtag i overvågningsboring 70.14.02.01 og 02, DGUnr. 71.483 (Se faktaboks, om denne boring nedenfor). Der er 7 fund af AMPA i 2012, heraf to over drikkevandskravet, mens glyphosat blev fundet i 6 indtag, heraf 2 over drikkevandskravet på 0,1 µg/l, se tabel 27. I begge disse indtag var stofferne tidligere påvist.

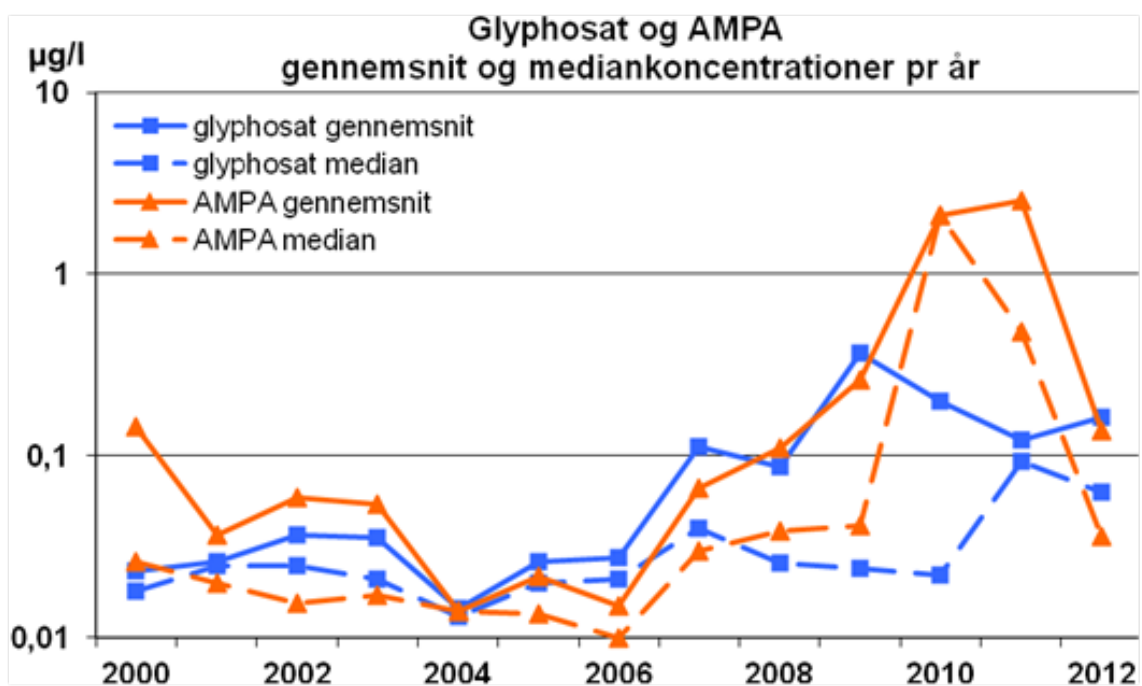


Figur 39. Gennemsnits og mediankoncentrationer pr. år for dichlorprop og bentazon, der begge er reguleret af Miljøstyrelsen. Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsovervågningen. Analyser uden fund er udeladt. I figuren indgår heller ikke en række analyser fra indtag under Nørrebroparken med høje koncentrationer, som formodentlig skyldes uheld eller behandling af befæstede arealer. Antal analyser og antal analyser med fund pr. år fremgår af tabel 27. Bemærk, der bruges en logaritmisk y-akse.

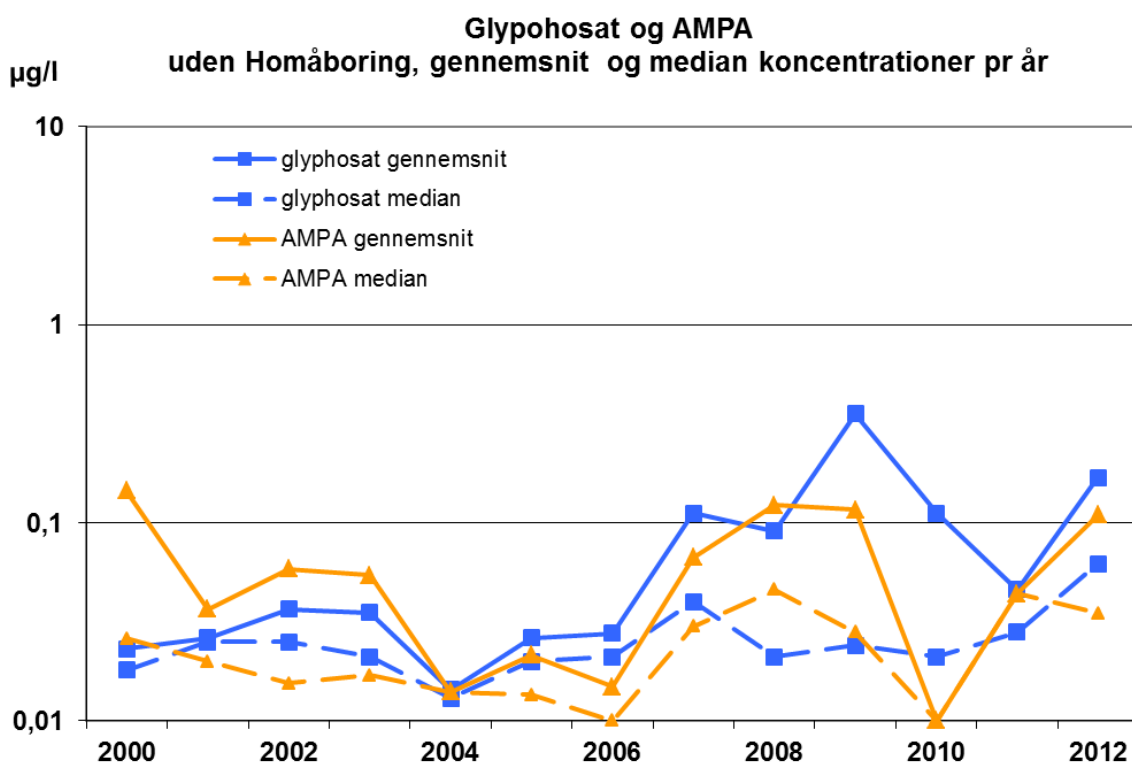
Figur 40 A (med fund fra Homå-boringen) viser, at koncentrationerne af glyphosat og AMPA er steget frem til 2009, mens den nederste figur, 40 B, (uden fund fra Homå-boringen) viser fluktuerende koncentrationer omkring og under drikkevandskravet. Der er for begge kurver tale om meget få analyser med fund, se tabel 27, og kurveforløbene er derfor statistisk usikre. Både figur 40 A og B kan derfor ikke anvendes til at vurdere det generelle udviklingsforløb i grundvandet.

Faktaboks: Glyphosat og AMPA fund i boring mistænkt for utætheder.

Homå-boringen (DGUnr. 71.483) har to indtag og boringen blev i 2011 mistænkt for at være utæt. Der var derfor mistanke om, at fund af glyphosat og AMPA i boringen skyldes sprøjtning direkte omkring boringen. Nærmere undersøgelser bekræftede eksistensen af utætheder. Imidlertid optræder utæthedernes dybt i forhold til grundvandsspejlet og indtagene. Dette sammen med de høje fundkoncentrationer samt det store antal forskellige stoffer tyder på, at fundene kan stamme fra en ukendt opstrøms punktkilde. (Tuxen, 2013) Naturstyrelsen har i 2013 etableret en erstatningsboring opstrøms, for at afklare kilde til fundene. Figur 40 viser tidsserier for glyphosat og AMPA både med og uden resultater fra de to indtag.



A



B

Figur 40. Gennemsnits- og mediankoncentrationer pr. år for analyser med fund for glyphosat og glyphosats nedbrydningsprodukt AMPA. Glyphosat er godkendt uden særlig regulering. Den nederste figur viser gennemsnits- og mediankoncentrationer for analyser med fund uden to indtag, i DGU 71.483 (Homå boringen, se faktaboksen forrige side). Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsovervågningen. Analyser uden fund er udeladt. Se også tabel 27. Bemærk, der bruges en logaritmisk y-akse.

GRUMO ANALYSER		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
BAM	Antal	113	430	527	830	833	853	801	798	795	644	828	860	800	709	641	509	639	691
	Med fund	27	70	94	130	126	123	124	105	116	93	120	147	125	127	110	103	121	119
	≥0,1	15	37	36	43	32	30	35	35	39	40	42	53	47	39	33	37	30	40
	andel fund	23,9	16,3	17,8	15,7	15,1	14,4	15,5	13,2	14,6	14,4	14,5	17,1	15,6	17,9	17,2	20,2	18,9	17,2
	andel ≥0,1	13,3	8,6	6,8	5,2	3,8	3,5	4,4	4,4	4,9	6,2	5,1	6,2	5,9	5,5	5,1	7,3	4,7	5,8
DEIA	Antal				166	626	823	776	785	762	625	811	847	800	704	640	509	638	691
	Med fund				13	29	32	47	55	42	66	88	96	115	112	84	82	70	97
	≥0,1				4	8	12	11	11	14	22	18	26	32	20	16	13	10	18
	andel fund				7,8	4,6	3,9	6,1	7,0	5,5	10,6	10,9	11,3	14,4	15,9	13,1	16,1	11,0	14,0
	Andel ≥0,1				2,4	1,3	1,5	1,4	1,4	1,8	3,5	2,2	3,1	4,0	2,8	2,5	2,6	1,6	2,6
bentazon	Antal	103	301	517	824	829	853	797	796	787	645	827	860	799	709	641	509	639	691
	Med fund	7	12	18	23	10	12	16	20	14	12	23	29	25	27	25	25	22	24
	≥0,1	1	7	5	5	2	3	2	5	2	1	3	7	7	6	6	9	3	3
	andel fund	6,8	4,0	3,5	2,8	1,2	1,4	2,0	2,5	1,8	1,9	2,8	3,4	3,1	3,8	3,9	4,9	3,4	3,5
	Andel ≥0,1	1,0	2,3	1,0	0,6	0,2	0,4	0,3	0,6	0,3	0,2	0,4	0,8	0,9	0,8	0,9	1,8	0,5	0,4
dichlorprop	Antal	716	704	686	824	829	853	797	794	787	643	827	860	799	709	640	509	639	691
	Med fund	14	28	25	25	18	13	18	19	20	15	9	16	20	14	12	8	15	10
	≥0,1	8	14	15	11	9	5	11	10	8	4	4	6	4	5	4	2	3	1
	andel fund	2,0	4,0	3,6	3,0	2,2	1,5	2,3	2,4	2,5	2,3	1,1	1,9	2,5	2,0	1,9	1,6	2,3	1,4
	Andel ≥0,1	1,1	2,0	2,2	1,3	1,1	0,6	1,4	1,3	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,1
glyphosat	Antal			46	202	720	837	782	788	769	630	813	847	800	703	639	509	638	691
	med fund						8	5	6	9	3	13	9	14	10	27	8	5	6
	≥0,1								1	1				5	2	9	3	2	2
	andel fund						1,0	0,6	0,8	1,2	0,5	1,6	1,1	1,8	1,4	4,2	1,6	0,8	0,9
	andel ≥0,1						0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	1,4	0,6	0,3	0,3
AMPA	Antal			46	202	720	824	782	789	771	630	813	847	799	703	639	509	638	691
	Med fund						13	9	6	7	1	4	6	3	8	25	2	4	7
	≥0,1						3	1	2	1				1	2	7	1	2	2
	Andel fund						1,6	1,2	0,8	0,9	0,2	0,5	0,7	0,4	1,1	3,9	0,4	0,6	1,0
	andel ≥0,1						0,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,1	0,2	0,3	0,3

Tabel 27. Grundvandsovervågning 1995-2012. Antal analyser, antal analyser med fund og antal analyser $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, andel fund og andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ i %. Udvikling i fund af nedbrydningsprodukter fra forbudte stoffer (BAM og DEIA), regulerede stoffer (bentazon og dichlorprop) samt det godkendte stof glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Opgørelse er baseret på **antal analyser** med fund og antal analyser $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ for de enkelte år.

Tabel 27 viser forekomsten af de 6 udvalgte stoffer i perioden 1999-2012. Den samlede fundandel og fundandel større end $0,1 \mu\text{g/l}$ er vist, samt antal analyser, analyser med fund og analyser med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$. Udviklingen i fundandelene er påvirket af, at der indgår stadig flere terrænnære indtag, og dermed mere sårbart vand frem til 2009-2012. Dette betyder også, som før nævnt, at tidsserierne i figur 38, 39 og 40 ikke kan give et repræsentativt og dækkende billede af grundvandets tilstand, dels fordi det ikke er de samme indtag, der er prøvetaget, dels fordi antallet af analyser med fund er lavt.

BAM kan findes i mange indtag, selv om det efterhånden er mere end 15 år siden moderstoffet, dichlobenil, blev fjernet fra markedet. Dette tyder på, at der er bundet en stor pulje af BAM eller dichlobenil i rodzonen, som langsomt udvaskes, dog i stadig mindre koncentrationer. Grundvandets alder er dog også over 15 år i hovedparten af indtagene, se kapitel 3.

DEIA forekommer i stadig flere indtag, hvilket kan skyldes, at stoffet kan stamme fra nedbrydning af en lang række i dag forbudte triaziner, hvoraf et (terbuthylazin) først for nyligt er taget af markedet. Af nedbrydningsprodukter ud over DEIA bliver der nu også hyppigt fundet didealkylhydroxyatrazin, der optræder i ca. 8% af indtagene.

Det regulerede stof bentazon forekommer gennem de senere år i flere indtag, hvilket måske kan hænge sammen med fokuseringen på højtliggende grundvand, hvor der ofte findes pesticider. Dichlorprop er på trods heraf fundet i stadig færre indtag, og det markante fald i forbruget af dichlorprop gennem de sidste 15 år, afspejles således i både fundandele og i koncentrationer i grundvandet. En del af faldet kan skyldes omsætning i grundvandsmagasinerne. (Christensen, 2013)

Tabel 27 viser, hvordan forekomsten af glyphosat og AMPA i grundvandsovervågningen har udviklet sig siden 1997, hvor stofferne blev analyseret første gang, og frem til 2012. Det ses, at antal analyser med fund i perioden 2005-2011 har været på samme niveau for henholdsvis glyphosat og AMPA, dog undtaget det relativt store antal fund i 2009. Fundandelene i 2009 er derfor næppe repræsentative for grundvandets tilstand. Årsagen til den høje andel fund i 2009 kendes ikke.

Dybdeafhængighed for pesticider i grundvandsovervågningen

Figur 41 og tabel 28 viser fordelingen af pesticider og nedbrydningsprodukter mod dybden i grundvandsmagasinerne. Det fremgår af øverste diagram, hvordan den aktuelle situation var i 2012. I midten er vist status for perioden 2011-2012. Nederst er vist resultatet for den samlede overvågningsperiode 1990-2012. Opgørelsen for hele perioden viser, hvor stor en andel af indtagene, der må anses for at være sårbare overfor de pesticider og nedbrydningsprodukter, der har givet anledning til den pågældende påvirkning, mens opgørelsen 2011-2012 viser fordelingen for den seneste programperiodes analyseprogram 2011-2012.

Figur 41 og tabel 28 viser, at der i 2012 er fundet pesticider i mere end 40 % af de undersøgte indtag i intervallet 0 til 40 m u.t., og at andelen af fund over drikkevandskravet stiger ned til denne dybde, hvorefter fundandelen over drikkevandskravet falder med stigende dybde. Der er i 2012 ikke fundet så mange pesticider og nedbrydningsprodukter i dybere niveauer af magasinerne, hvilket bl.a. skyldes, at antallet af analyserede dybe indtag er formindsket, som det også fremgår af tabel 28. Dette mønster, hvor andelen af fund over drikkevandskravet stiger med stigende dybde, kan tyde på, at den samlede nedvaskning af pesticider og nedbrydningsprodukter fra overfladen er aftagende, se også figur 42.

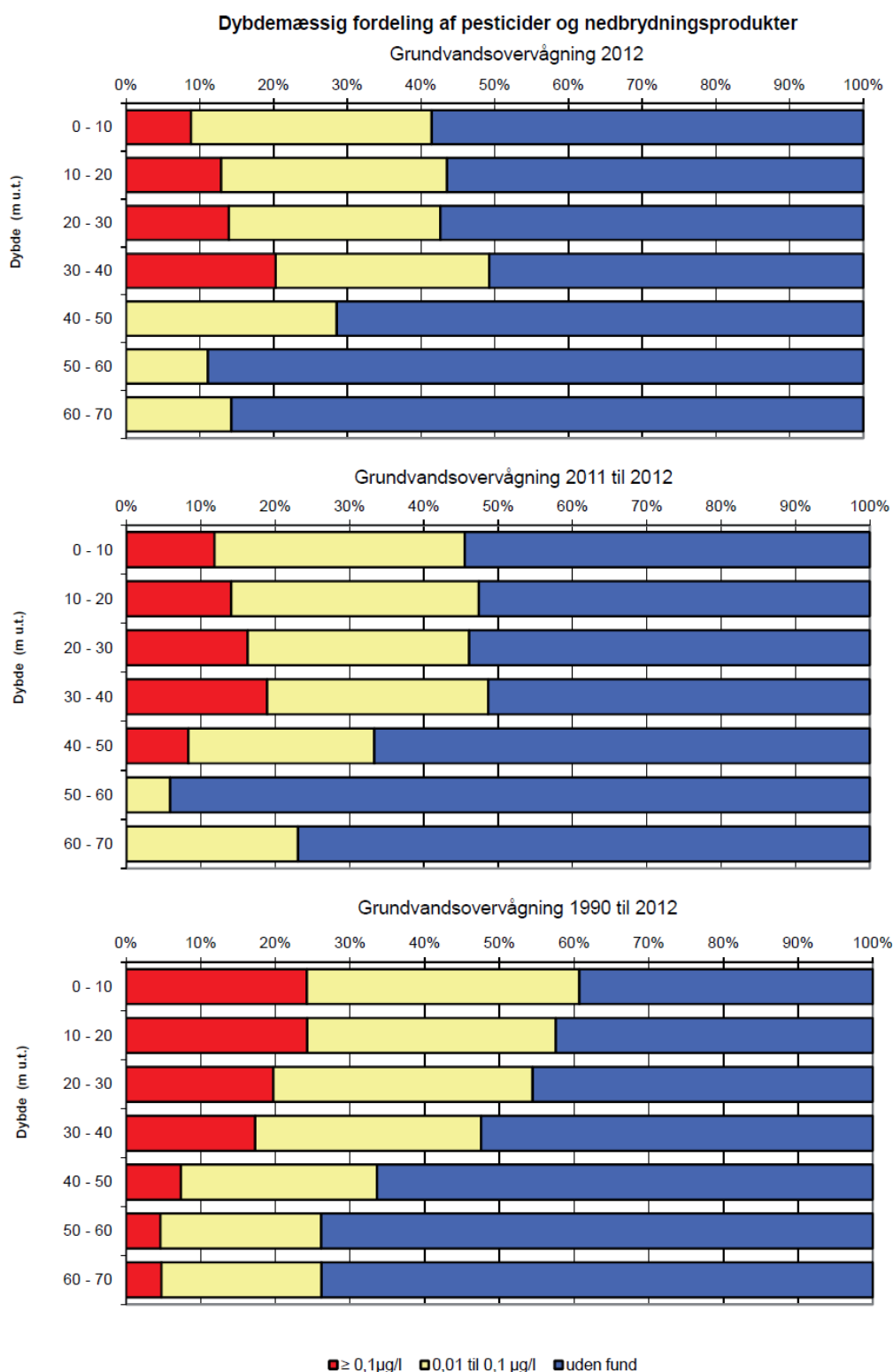
For perioden 2011-2012 ses, at forekomsten af pesticider stiger fra ca. 45 % i intervallet 0-10 m u.t. til ca. 50 % i intervallet 30-40 m u.t., hvorefter andelen af indtag med fund falder.

Den dybdemæssige fordeling fra hele overvågningsperioden 1990-2012 viser, at der er fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 60 % af indtagene i dybdeintervallet 0-20 m u.t., og at drikkevandskravet er overskredet i ca. 25 % af indtagene i dette dybdeinterval. Antallet af fund aftager med dybden til ca. 25 % i intervallet 60-70 m u.t., men der er også fundet pesticider i større dybder.

Fordelingen viser, at det mest sårbare grundvand ligger tættest ved terræn, og i hvilket omfang indtag på forskellige dybder gennem hele monitoringsperioden på 21 år en eller flere gange har været påvirket af pesticider og nedbrydningsprodukter.

Dybde	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70
Periode	m u.t.	m u.t.	m u.t.	m u.t.	m u.t.	m u.t.	m u.t.
2012	192	248	129	69	21	9	7
2011-2012	211	270	141	74	24	17	13
1990-2012	359	556	314	185	122	65	42

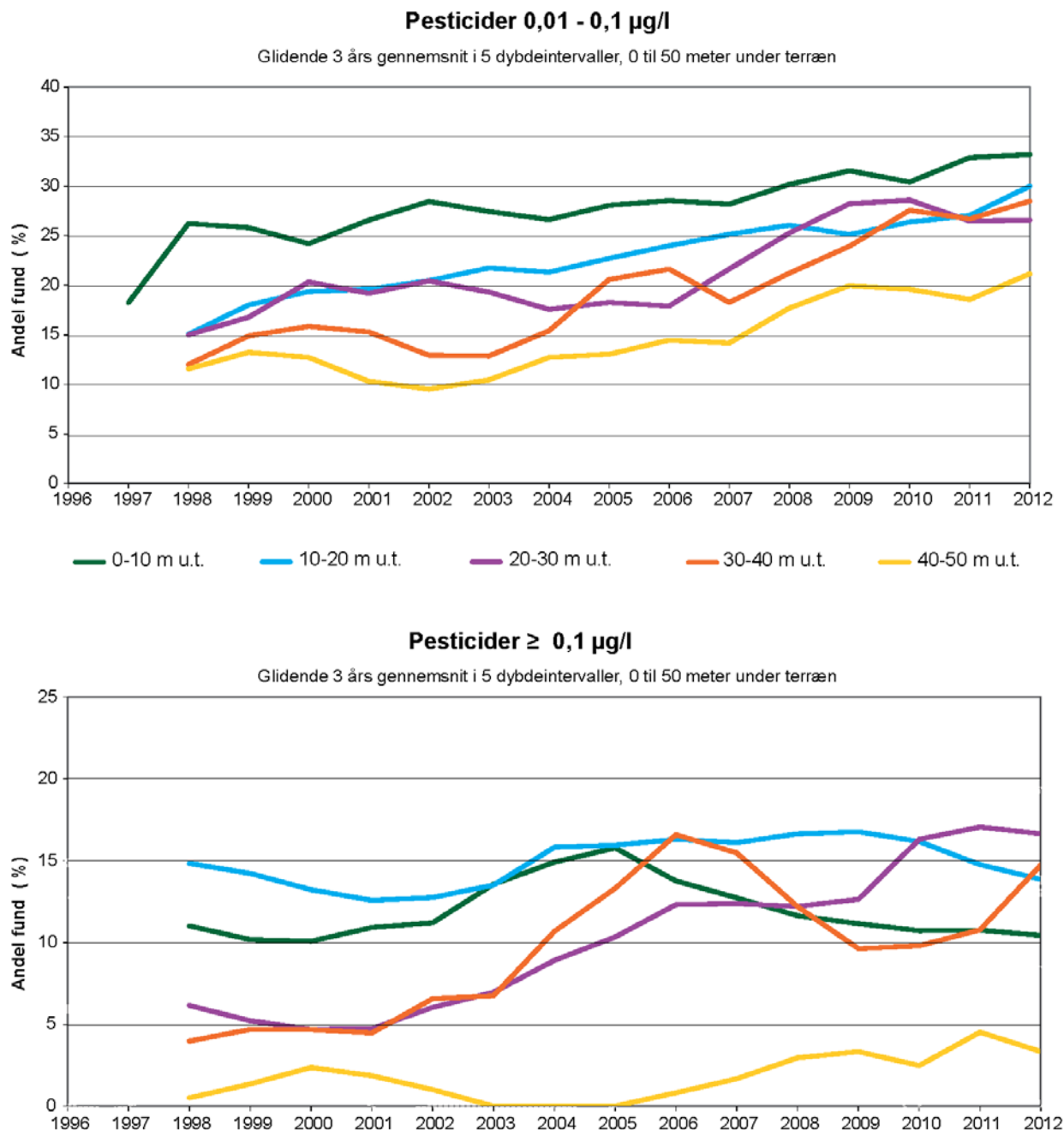
Tabel 28. Antal analyser i forskellig dybde for forskellige perioder



Figur 41. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO. De 3 figurer viser: dybde fra terræn til top af indtag i 2012, i denne programperiode (2011-2012), hvor indtagene er analyseret for stofferne i tabel 20, og i hele overvågningsperioden (1990-2012). **Antal indtag** i hver af de tre koncentrationsklasser for hvert dybdeinterval er vist i tabel 28. Her er antal indtag, indtag med fund og fund over drikkevandskravet vist. Det fremgår, at antallet af analyserede indtag i 2012 og 2011-2012 er lille i det dybtliggende interval.

Figur 42 viser udviklingen af fundandele i fem dybdeintervaller for pesticider og nedbrydningsprodukter under og over drikkevandskravet på 0,1 µg/l. Figur 42A viser, at pesticidandelene for koncentrationer under drikkevandskravet stiger i alle fem dybdeintervaller gennem hele perioden, mens figur 42B viser, at fundandelene for fund over drikkevandskravet fra ca. 2003 er faldende i det øverste interval, mens faldet indtræffer noget senere i intervallet 10-20 m u.t.

I det dybere liggende interval 20-30 m u.t. stiger fundandelene for fund over drikkevandskravet derimod gennem det meste af perioden, men særligt fra ca. 2008.

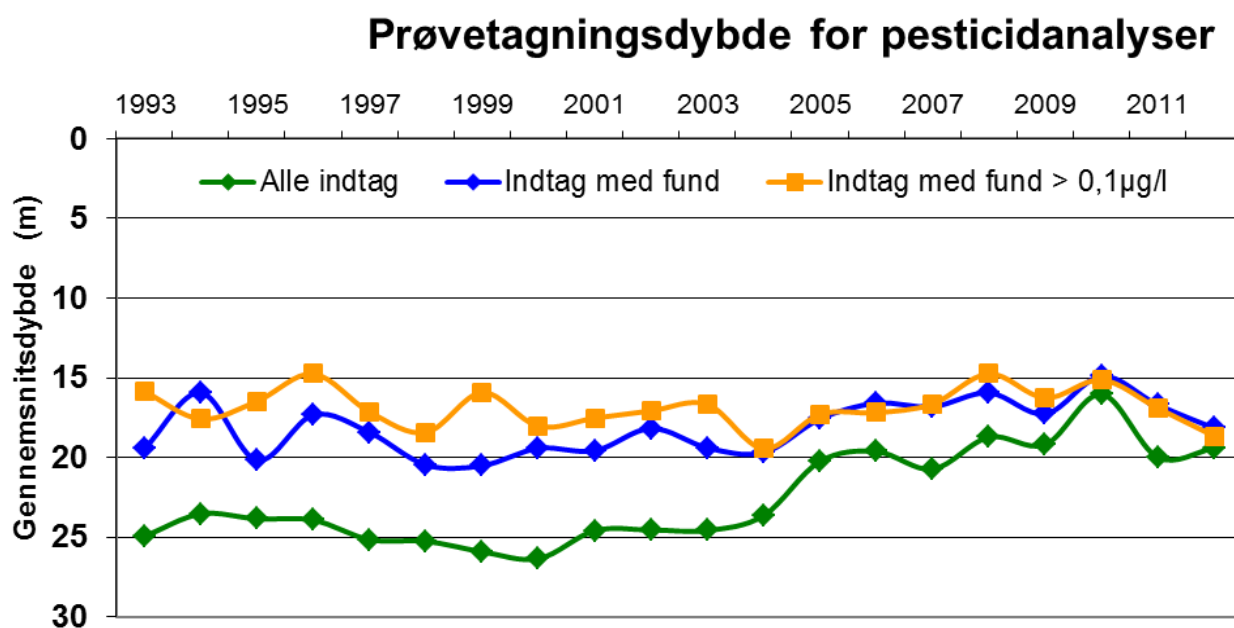


Figur 42. 3 års glidende gennemsnit for dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO i fem dybdeintervaller i perioden 1996-2012. Øverst (A) udviklingen for pesticider og nedbrydningsprodukter i koncentrationsintervallet 0,01-0,1µg/l, mens nederst (B) udviklingen for pesticider funder i koncentrationer over drikkevandskravet.

Dette mønster antyder som før nævnt, at andelen af fund over drikkevandskravet falder i det øverste grundvand, hvilket kan betyde at den samlede udvaskning er ved at blive mindre, målt i koncentrationer. Det ses samtidig, at der gennem perioden forekommer en stadig større andel indtag med pesticider i koncentrationer, der er mindre end drikkevandskravet. Dette viser at en større og større del af grundvandet indeholder pesticider, men overvejende i koncentrationer under drikkevandskravet.

Figur 43 viser, hvordan udviklingen i den gennemsnitlige prøvetagningsdybde er ændret i perioden 1993 til 2012 for alle indtag, for indtag med fund og for indtag med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$. Formålet med figuren er at vise, hvilken effekt den tidligere nævnte ændring i prøvetagningsstrategi har haft på prøvetagningsdybden. Det fremgår, at den gennemsnitlige dybde til toppen af indtagene er blevet mindre, og at der i perioden fra 2003 er analyseret indtag i mindre dybder, men også at den gennemsnitlige indtagsdybde er steget igen i 2011-12. Dette skyldes et ændret stationsnet.

Den gennemsnitlige dybde for indtag med fund og indtag med fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ er tilsvarende blevet nogle meter mindre gennem de seneste 10 år, og spændet mellem fund og fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ er mindre end perioden før 2004. Dette kan skyldes den ændrede prøvetagningsstrategi og det forhold, at der forekommer en stigende mængde pesticiderne i dybere niveauer i løbet af overvågningsperioden.



Figur 43. Udvikling i gennemsnitlig dybde til top af indtag i monitoringsperioden 1993-2012. Gennemsnittet er beregnet som gennemsnit til top indtag pr. år for alle pesticidanalyser pr. år. Gns. analyse dybde: Den gennemsnitlige dybde til top indtag for alle analyserede prøver. Gns. dybde fund: Den gennemsnitlige dybde fra terræn til top indtag for vand prøver med fund. Gns. dybde ogr: Den gennemsnitlige dybde til top indtag med fund af pesticider over drikkevandskravet.

Vandværkernes kontrol af indvindingsboringer

Datagrundlag

Drikkevandsboringer analyseres ikke hvert år, men i en turnus på 3-5 år afhængigt af, hvor meget vand det enkelte vandværk indvinder. Analyseprogrammet på vandværkerne er meget varierende over tid og mellem vandværkerne indbyrdes (Miljøministeriet, 2007). I dette afsnit afreporteres pesticidanalyser fra indvindingsboringer gennemført af offentlige og private almene vandværker for perioden 1992-2012. Analyseprogrammet på vandværkerne skal som minimum indeholde de stoffer, der fremgår af drikkevandsbekendtgørelsen (MST, 2011). Fra 2012, trådte et revideret analyseprogram med 31 stoffer i kraft, se tabel 29. Blandt andet skal der nu analyseres for glyphosat og AMPA.

Kommunerne er i dag ikke forpligtet til at indberette oplysninger om lukkede, nedlagte eller fusionerede vandværker. Det har som konsekvens, at der ikke findes fyldestgørende data om, hvor mange og hvilke vandværker, der er aktive. En ny bekendtgørelse (MIM, 2012) forventes fremadrettet at rette op på dette problem, da der fremover skal indberettes årligt, hvilken anvendelse de enkelte borer har.

For at afgrænse mængden af aktive indvindingsboringer bedst muligt anvendes derfor alene analyser af vandprøver fra borer fra vandværker, hvorfra der er boringskontrolanalyser indenfor de sidste 5 år. Det betyder, analyser fra borer, der ikke prøvetages med korrekt hyppighed, mangler. Derudover mangler data fra indvindingsboringer, hvorfra kommunerne ikke har godkendt analyseresultaterne.

Boringer, der er nedlagte, og tidligere indvindingsboringer, hvorfra der ikke længere modtages boringskontrolanalyser, indgår i datasættet "Andre Boringer", hvor også borer fra Grundvandskortlægningen, forureningsundersøgelser mv. optræder, se kapitel 2.

Relevans

Tilstanden på vandværkerne illustrerer befolkningens eksponering for pesticider, i modsætning til overvågningsdata, der illustrerer grundvandets påvirkning. Her redegøres for hvor stor en andel af vandværkernes indvindingsboringer, der har indeholdt pesticider eller nedbrydningsprodukter pr. år i perioden 1993-2012, fund mod dybde samt den regionale fordeling af fund. Da vandværkerne løbende nedlægger og etablerer borer, afspejler udviklingen i fund pr. år ikke situationen i grundvandsmagasinerne, men vandværkernes evne til at håndtere problemerne med pesticider i de borer, hvorfra der indvindes grundvand. I dette afsnit vurderes kun vandprøver udtaget af aktive vandværker fra deres råvandsboringer.

Tilstand, udvikling og årsager

Tabel 30 og figur 44 viser udviklingen i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværkernes indvindingsboringer. I 2010-2012 blev der fundet pesticider i 20-25 % af de analyserede borer, mens der i hele undersøgelsesperioden blev fundet pesticider i ca. 27 % af borerne. Den relativt lave samlede procentdel for hele perioden sammenlignet med fundprocenterne i de seneste år skyldes, at vandværkerne løbende lukker borer med pesticidfund, og at tabellen kun viser borer, der stadig er aktive. Dette skal ses i forhold til grundvandsovervågningen, hvor andelen af påvirket grundvand ældre end 20 år er væsentlig større end den, der findes i de enkelte år for boringskontrollen.

Fra omkring år 2000 har andelen af pesticidpåvirkede indvindingsboringer været faldende, og andelen har de sidste 5-6 år stabiliseret sig omkring 20 til 25 %. Der blev i 2012 fundet pesticider i 24 % og 3,9 % med overskridelse af drikkevandskravet.

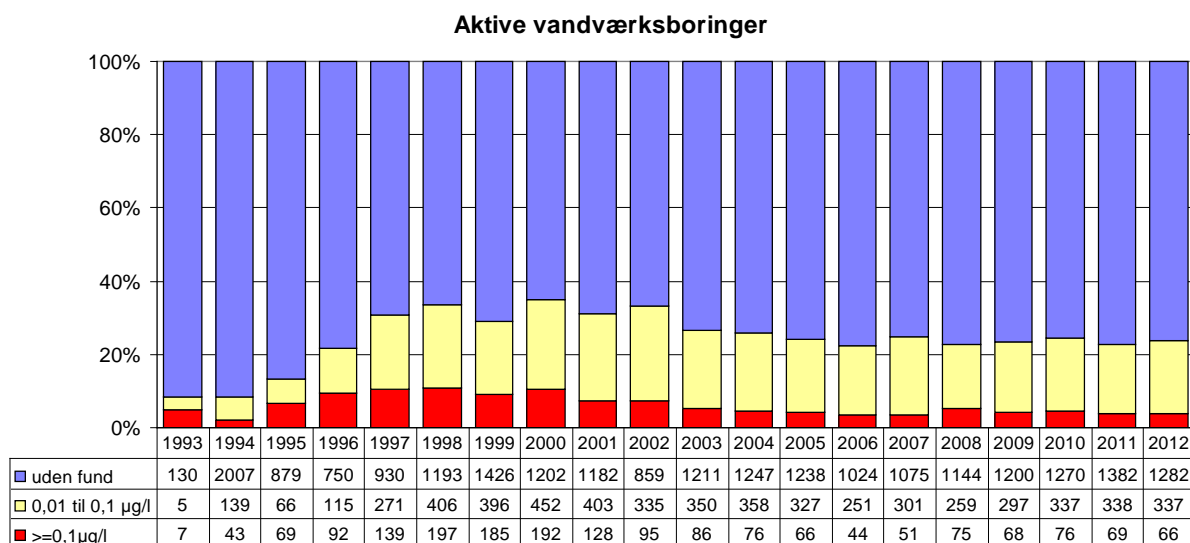
Pesticid/nedbrydningsprodukt	Juridisk status
Glyphosat ^{nyt}	Godkendt
AMPA* ^{nyt}	Godkendt
Bentazon	Reguleret
Simazin	Forbudt
Hexazinon	Forbudt
Atrazin	Forbudt
Deethylatrazin*	Forbudt
Deethylhydroxyatrazin* ^{nyt}	Forbudt
DEIA, Deethyldeisopropylatrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deethylterbutylazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropylatrazin*	Forbudt
Didealkyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Hydroxyatrazin*	Forbudt
Hydroxysimazin* ^{nyt}	Forbudt
MCPA	Reguleret
Mechlorprop (MCP)	Reguleret
Dichlorprop (2,4-DP)	Reguleret
2,4-D	Reguleret
2,6-DCPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte andre regulerede
4-CPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte andre regulerede
Dichlobenil	Forbudt
2,6-dichlorbenzoesyre* ^{nyt}	Forbudt
BAM, 2,6-dichlorbenzamid*	Forbudt
4-nitrophenol* ^{nyt}	Forbudt
Diuron ^{nyt}	Forbudt
Ethylthiourea (ETU)* ^{nyt}	Fra godkendte, nedbrydningsprodukt bl.a. fra maneb og mancozeb
Metribuzin ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-diketo* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino-diketo* ^{nyt}	Forbudt

Tabel 29. 31 pesticider som indgår i vandværkernes kontrol af indvindingsboringer – ”Boringskontrollen” fra 2012 (MST, 2011). Analysefrekvensen afhænger af den indvundne vandmængde. Ud over de 31 stoffer i boringskontrollen indgår også to chlorphenoler, der dog også kan have andre oprindelser end pesticider. Disse er ikke medtaget her. 18 stoffer, som er markeret^{nyt}, er stoffer, som ikke tidligere var i analyseprogrammet. Nedbrydningsprodukter er markeret med*.

Aktive Indvindingsboringer	Analyser	Antal boringer			Andel boringer i %		
		antal	i alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l
2012	1.915	1.685	337	66	20,0	3,9	23,9
2011	2.026	1.789	338	69	18,9	3,9	22,8
2010	1.850	1.683	337	76	20	4,5	24,5
1992-2012	28.954	6.177	1.349	320	21,8	5,2	27,0

Tabel 30. Pesticider i aktive vandværkers boringskontrol. Andel boringer med 0,01-0,1µg/l, andel ≥0,1µg/l og andel med fund ialt i %. **Andel analyser** med fund er vist i tabel 31.

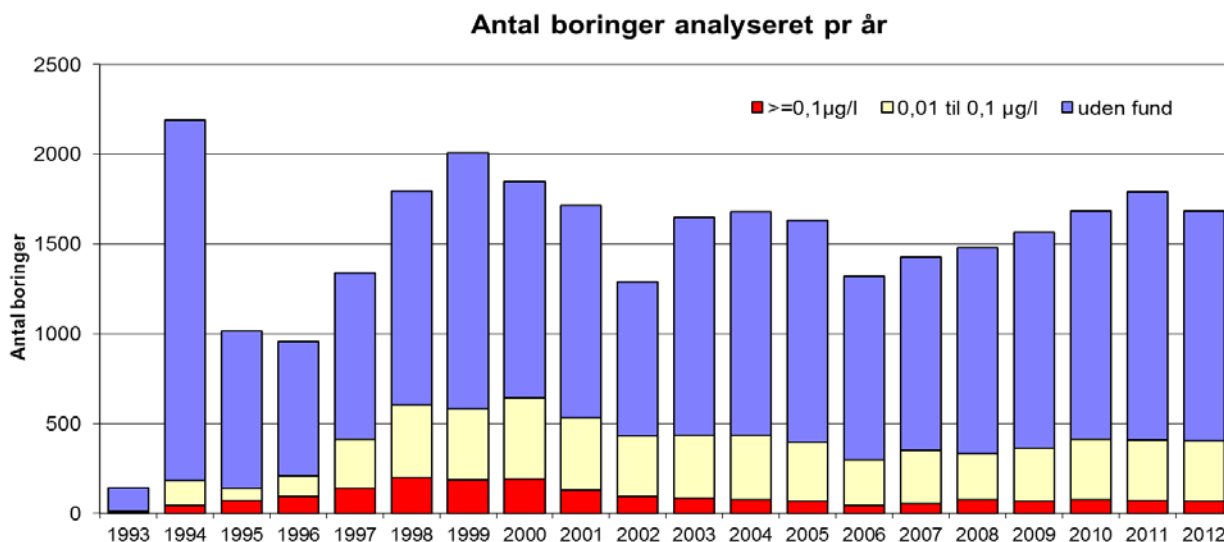
Faldet siden 2000 i andelen af boringer med fund over drikkevandskravet på 0,1 µg/l kan skyldes, at vandværkerne tager forurenede boringer ud af drift (se figur 44), mens årsagen til den stigende andel af pesticidpåvirkede boringer op gennem 90'erne formodentlig er, at mange vandværker har analyseret for et stigende antal pesticider og nedbrydningsprodukter.



Figur 44. Fordeling af pesticidindhold i vandværkernes indvindingsboringer pr. år (1993-2012). Figuren viser status for de vandværker, der var aktive de viste år. Indikatoren indeholder ikke de samme boringer fra år til år, da disse analyseres i en turnus på op til fem år. Desuden tager vandværkerne ofte indvindingsboringer med indhold af pesticider ud af drift. Antal boringer i hver af de tre klasser er anført under de enkelte år.

Figur 45 viser antal boringer undersøgt for pesticider i perioden 1993-2012, og viser de samme data anvendt til figur 44. Det ses at antallet af boringer, der overstiger drikkevandskravet gennem de seneste 5 år, er stabiliseret. De pesticider og nedbrydningsprodukter, der hyppigst findes i vandværkernes indvindingsboringer, er generelt stoffer, som er forbudt og som ikke har været i handelen i 6 til ca. 15 år, eller stoffer pålagt regulering i form af anvendelsesbegrænsninger i Danmark. Alderen af det vand som vandværkerne indvinder til

drikkevandsformål er ofte mere end 10-20 år gammelt, og stofferne, der findes i råvandsboringerne, må forventes at kunne påvirke grundvandet og eventuelt drikkevandet mange år frem.



Figur 45. **Antal boringer med analyser af pesticider pr. år i vandværkernes boringskontrol.** Hvert års data stammer fra et udtræk fra databasen udført det pågældende år.

Tabel 31 viser antallet af pesticid**analyser** for perioden 1994-2012 for aktive indvindingsboringer fra dette års dataudtræk. Det fremgår, at der blev udført 1875 analyser i 2003, mens antallet er 1.936 i 2009, 1971 i 2010, 2028 i 2011 og 1915 i 2012. Der er formentlig derudover en række indvindingsboringer, der ikke indgår i datasættet, idet der ikke kan udelukkes en vis underrapportering af analyser, som kommunerne mangler at godkende. Omvendt er det muligt at nogle af disse boringer anvendes som reserve eller monitoringsboringer, og ikke pt anvendes til indvinding. Endelig er det vanskeligt at sammenholde boringskontrol datasættet fra år til år, fordi resultater fra sløjfede eller ikke-aktive indvindingsboringer bliver overført til datasættet "Andre Boringer", og fordi der hvert år etableres nye indvindingsboringer.

De 18 nye stoffer i boringskontrollen

Det nye analyseprogram, som vandværkerne har anvendt siden 1. januar 2012, er i forhold til tidligere udbygget med 18 stoffer, der omfatter såvel nyere som ældre pesticider samt godkendte, regulerede og forbudte stoffer. De 18 nye stoffer er bl.a. fundet i grundvandsovervågningen eller i Varslingssystemet for udvaskning af pesticider til grundvandet, se hjemmesiden for Varslingssystemet for pesticider.

Tabel 32 viser alle analyser fra de 18 stoffer for året 2012, hvor de 18 stoffer er fundet 6,3 % af de analyserede boringer, og at drikkevandskravet var overskredet i 0,6 %.

I tabel 33 ses de fundne stoffer i boringskontrollen i 2012, og det fremgår, at DEIA er fundet i 2,4 % af de analyserede boringer i 2012, mens de øvrige nye stoffer alle er fundet i ca.1% eller mindre af de undersøgte boringer, og at der kun er få fund over drikkevandskravet. De relativt få fund af de nye stoffer i Boringskontrollen kan skyldes, at vandværkerne allerede har

lukket de indvindingsboringer, hvor der er fundet nedbrydningsprodukter fra triaziner og BAM, som normalt findes sammen med netop disse stoffer.

I perioden 1992-2012 er der analyseret 6.177 indvindingsboringer, mens de 18 stoffer er analyseret i 1533 boringer i 2012, svarende til ca. 25 % af de aktive indvindingsboringer.

Borings kontrol	Antal analyser			% analyser		Gennemsnitsdybde m u.t		
	Pr. år	med fund	≥0,1 µg/l	fund	≥0,1 µg/l	alle boringer	med fund	≥0,1 µg/l
1994	1163	63	9	5,4	0,8	39,5	27,1	26,6
1995	604	67	22	11,1	3,6	39,0	25,0	28,3
1996	650	96	22	14,8	3,4	41,8	30,4	27,3
1997	827	167	40	20,2	4,8	39,8	29,8	31,8
1998	1223	295	49	24,1	4,0	40,2	31,9	32,9
1999	1436	318	55	22,1	3,8	41,8	32,8	31,6
2000	1481	431	70	29,1	4,7	40,9	29,6	29,2
2001	1494	416	67	27,8	4,5	40,0	30,1	29,4
2002	1284	406	65	31,6	5,1	40,2	30,2	28,9
2003	1875	529	77	28,2	4,1	38,7	27,6	24,4
2004	1639	449	77	27,4	4,7	37,9	27,5	24,8
2005	1728	435	71	25,2	4,1	37,8	27,8	27,3
2006	1552	449	69	28,9	4,4	41,2	28,6	25,3
2007	1686	494	81	29,3	4,8	40,2	28,6	26,2
2008	2017	533	113	26,4	5,6	39,3	28,5	25,1
2009	1936	527	101	27,2	5,2	40,4	30,7	26,5
2010	1971	567	106	28,8	5,4	40,1	29,1	25,9
2011	2078	566	107	27,2	5,1	42,2	32,4	28,2
2012	1915	542	104	28,3	5,4	40,7	31,3	27,0

Tabel 31. Pesticidstatus for vandværkernes indvindingsboringer opgjort på **antal analyser** pr. år i aktive indvindingsboringer. Analyser og procentvis fordeling med fund, fund større end drikkevandskravet på 0,1 µg/l. Denne tabel kan ikke **sammenlignes** med tabel 30, der bygger på **antal boringer**. Tabel 30 er retrospektiv og viser udviklingen fra datasæt til datasæt, mens denne tabel bygger på de analyser, der er i dette års datasæt. Tabellen viser derudover for hvert år den gennemsnitlige dybde for de analyserede og aktive indvindingsboringer og de gennemsnitlige dybder for indvindingsboringer med fund og overskridelser af drikkevandskravet.

18 nye stoffer i 2012	Analyser antal	Antal boringer			Andel boringer i %		
		I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	I alt
2012, 18 nye stoffer	1.614	1.533	88	9	5,7	0,6	6,3
Alle aktive BK boringer 1992- 2012	28.954	6.177	1349	320	21,8	5,2	27,0

Tabel 32. Boringskontrollen. Forekomst af de 18 nye stoffer i 2012, Antal analyser og boringer analyseret, med fund i koncentrationsintervallet 0,01-0,1µg/l og ≥ 0,1 µg/l. Tabellen har også medtaget alle aktive boringer analyseret i 1992-2012.

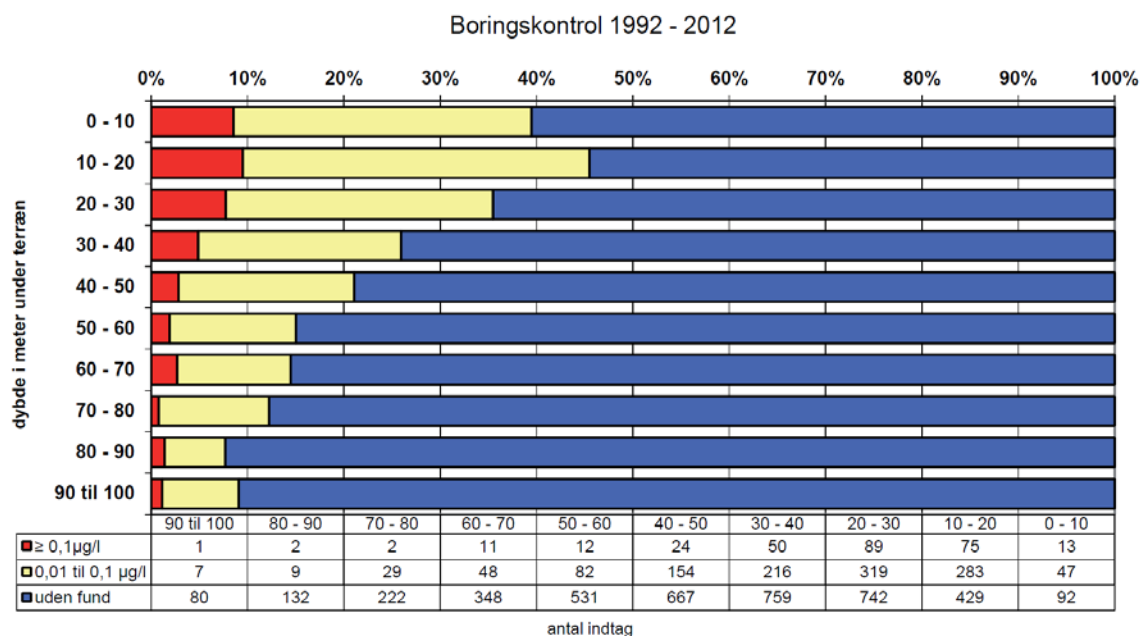
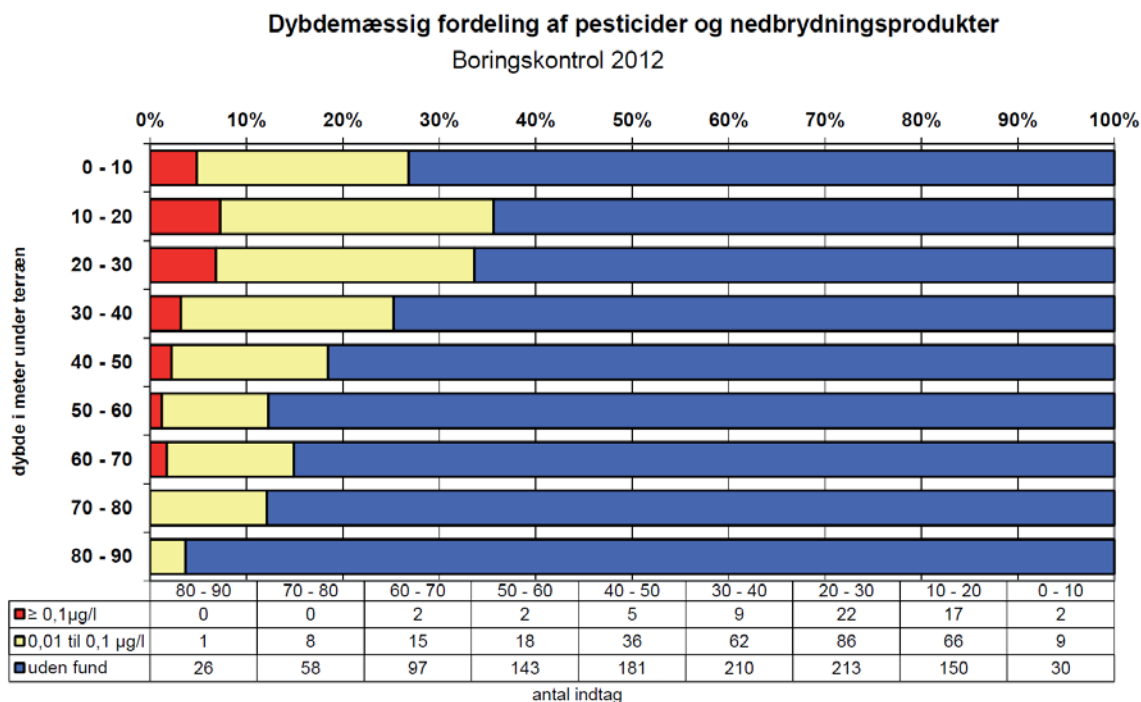
Boringskontrol 2012 nyt analyseprogram	Analyser			Boringer			Andel i %		
	antal	m fund	≥ 0,1	antal	med fund	≥ 0,1	0,01til 0,1	≥ 0,1	fund
2,6-Dichlorbenzamid	1835	391	79	1676	296	48	14,8	2,9	17,7
DEIA, atrazin, deethylisopropyl* ^{nyt}	1581	48	1	1511	36	1	2,3	0,1	2,4
Bentazon	1641	42	5	1560	35	4	2,0	0,3	2,2
Mechlorprop	1657	35	1	1564	25	1	1,5	0,1	1,6
Hexazinon	1615	19	2	1541	18	2	1,0	0,1	1,2
2,6-dichlorbenzosyre* ^{nyt}	1488	17		1419	16		1,1		1,1
Atrazin, deethyl-	1624	24	3	1544	16	1	1,0	0,1	1,0
Metribuzin-desamino-diketo* ^{nyt}	1381	19	1	1317	12	1	0,8	0,1	0,9
Atrazin	1621	16		1544	14		0,9		0,9
Atrazin, deisopropyl	1616	15		1542	13		0,8		0,8
Dichlorprop	1657	24	8	1565	13	4	0,6	0,3	0,8
Atrazin, Didealkyl-hydroxy-* ^{nyt}	1480	10	0	1409	9	0	0,6	0,0	0,6
4CPP* ^{nyt}	1608	15	5	1523	11	5	0,4	0,3	0,7
4-Nitrophenol* ^{nyt}	1587	9		1518	9		0,6		0,6
Atrazin, hydroxy-	1616	5	1	1542	5	1	0,3	0,1	0,3
MCPA	1617	6		1543	4		0,3		0,3
Ethylentiurea* ^{nyt}	1478	3	1	1414	3	1	0,1	0,1	0,2
Hydroxysimazin* ^{nyt}	1580	3		1511	3		0,2		0,2
2,6-DCPP* ^{nyt}	1585	4		1516	3		0,2		0,2
Glyphosat ^{nyt}	1596	2		1523	2		0,1		0,1
Atrazin, Deisopropyl-hydroxy-* ^{nyt}	1479	3	0	1409	3	0	0,2	0,0	0,2
Atrazin, Deethyl-hydroxy-* ^{nyt}	1475	1		1406	1		0,1		0,1
AMPA* ^{nyt}	1583	1	1	1514	1	1		0,1	0,1
Terbuthylazin- Deethyl* ^{nyt}	1585	1		1516	1		0,1		0,1
Simazin	1616	1		1542	1		0,1		0,1
Dichlobenil	1659			1571					
2,4_D	1615			1541					
Diuron ^{nyt}	1518			1452					
Metribuzin ^{nyt}	1473			1409					
Metribuzin-diketo* ^{nyt}	1380			1316					
Metribuzin-desamino* ^{nyt}	1371			1307					

Tabel 33. 2012. Analyse af de 31 pesticider, som indgår i vandværkernes kontrol af indvindingsboringer – ”Boringskontrollen”. Tabellen viser antal analyser og boringer, der er analyseret med det nye analyseprogram, hvor mange fund og fund $\geq 0,1$ $\mu\text{g/l}$, der er for de enkelte stoffer. Ud over de 31 stoffer indgår også to chlorphenoler, der ikke er medtaget. 18 nye stoffer i analyseprogrammet er markeret med ^{nyt}, Er det ny stof et nedbrydningsprodukt er markeringen *^{nyt}.

Opgøres de 1533 indvindingsboringer, hvor der i 2012 er en analyse af 18 nye stoffer i analyseprogrammetstoffer, i forhold til dybde af top til vandindtag i boringerne, findes en analysefrekvens på 24-26 % i alle 10 metersintervallet til 80 m u.t. i forhold til hele datasættet. Det kan derfor antages, at 2012 datasættet sandsynligvis er repræsentativt på landsplan.

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

Figur 46 viser, hvorledes andelen af fund af pesticider falder med dybden, målt som afstanden fra terræn til toppen af boringernes indtag. Det fremgår, at der i 2012 blev fundet pesticider i 25-35 % af de aktive indvindingsboringer, der indvandt grundvand fra intervallet 0 til 30 m u.t. Af figuren fremgår det, at de fleste af de boringer, der blev analyseret i 2012 ligger i intervallet 20 til 60 m u.t., og at antallet af analyserede boringer i intervallet 0 til 10 m er lavt.

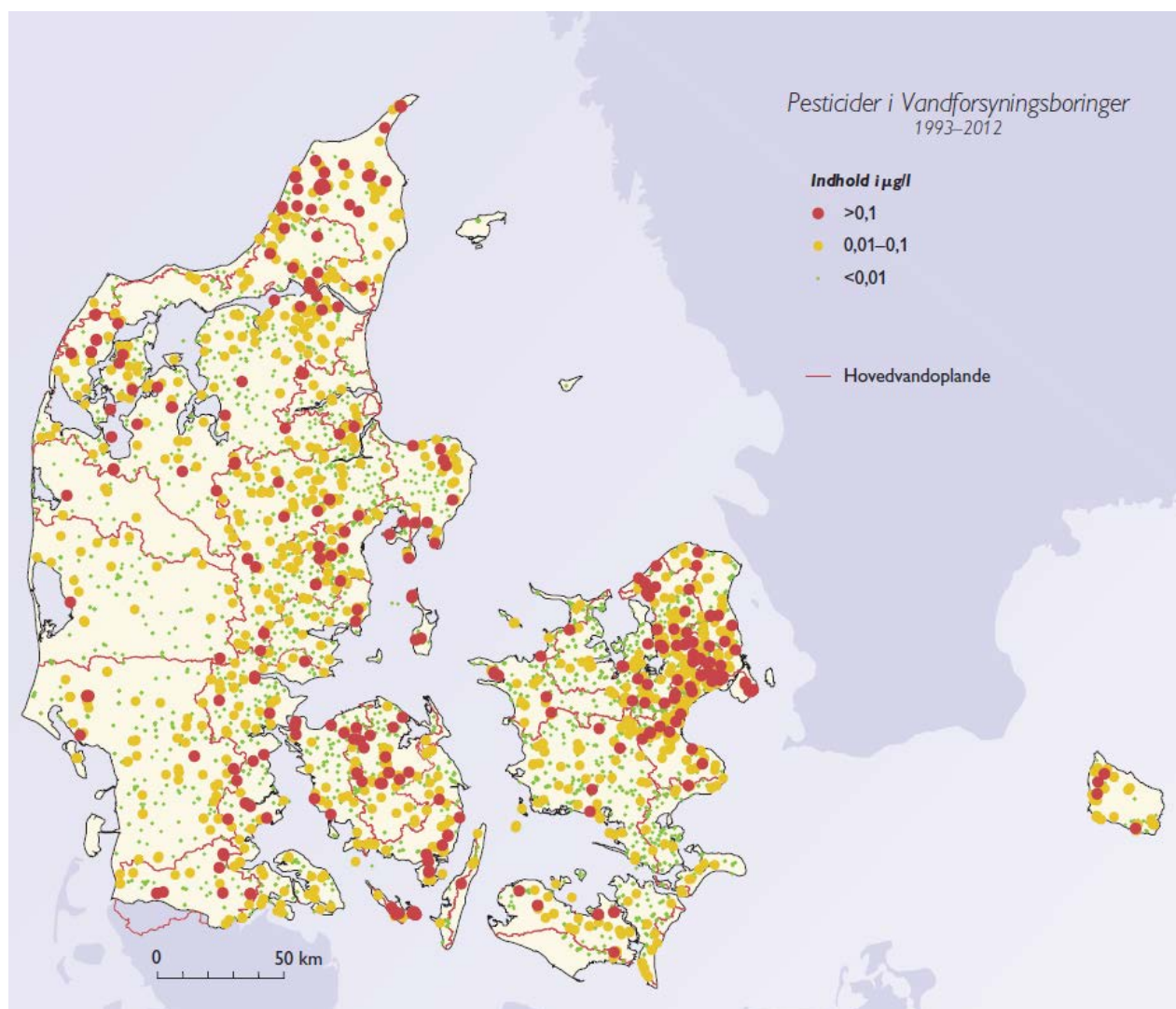


Figur 46. Dybdemæssig fordeling af pesticider i vandværkernes Boringskontrol som funktion af dybden til overkanten af indtaget. Øverst (A) for 2012, nederst (B) hele perioden 1992 til 2012. Kun indtag med oplysninger om dybde er medtaget. Der er tale om aktive indvindingsboringer, hvor der de seneste 5 år er foretaget boringskontrolanalyser for pesticider.

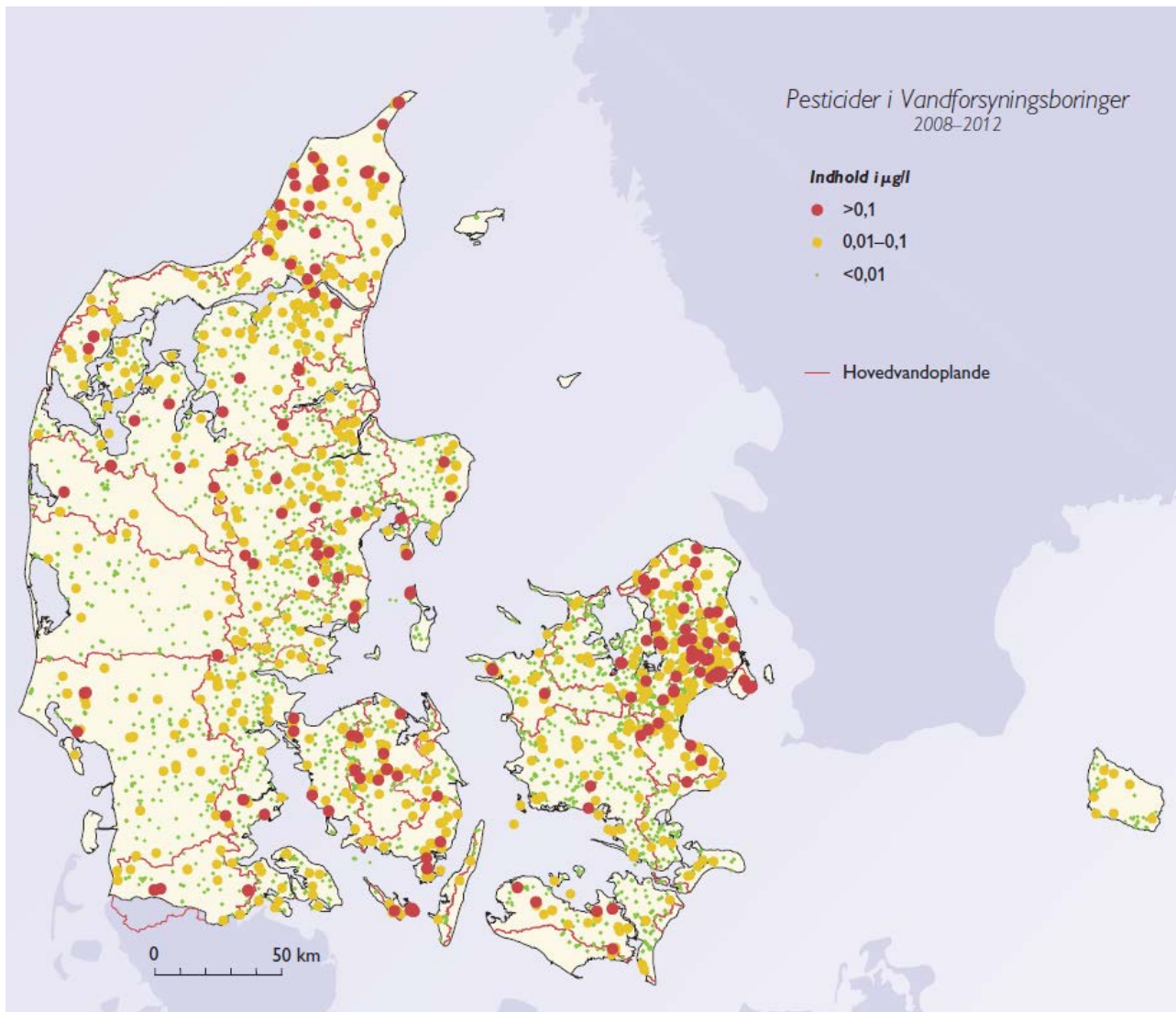
Fund af pesticider i indvindingsboringer, der har været aktive i hele perioden 1992-2012, viser, at der er fundet pesticider i ca. 45 % af det øverste grundvand i intervallet 0 til 20 m u.t., hvoraf ca. 10 % af borerne har et pesticidindhold over drikkevandskravet. Data kun fra 2012, viser det samme billede.

Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 47 og 48 viser fordelingen på landsplan af pesticidindholdet i aktive indvindingsboringer i henholdsvis hele monitoringsperioden samt i den seneste 5 årsperiode, 2008-2012, hvor alle vandværksboringer skal være analyseret mindst én gang. Der foreligger ikke oplysninger om koordinater for alle borer, og kortene viser derfor ikke alle analyserede borer. De to kort viser, at der ved nogle større byer findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter (fortrinsvis BAM, der stammer fra det forbudte pesticid dichlobenil), men også, at der er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i lerede områder, hvor der også findes den største befolkningstæthed. (Brüsch og Villholth, 2011).



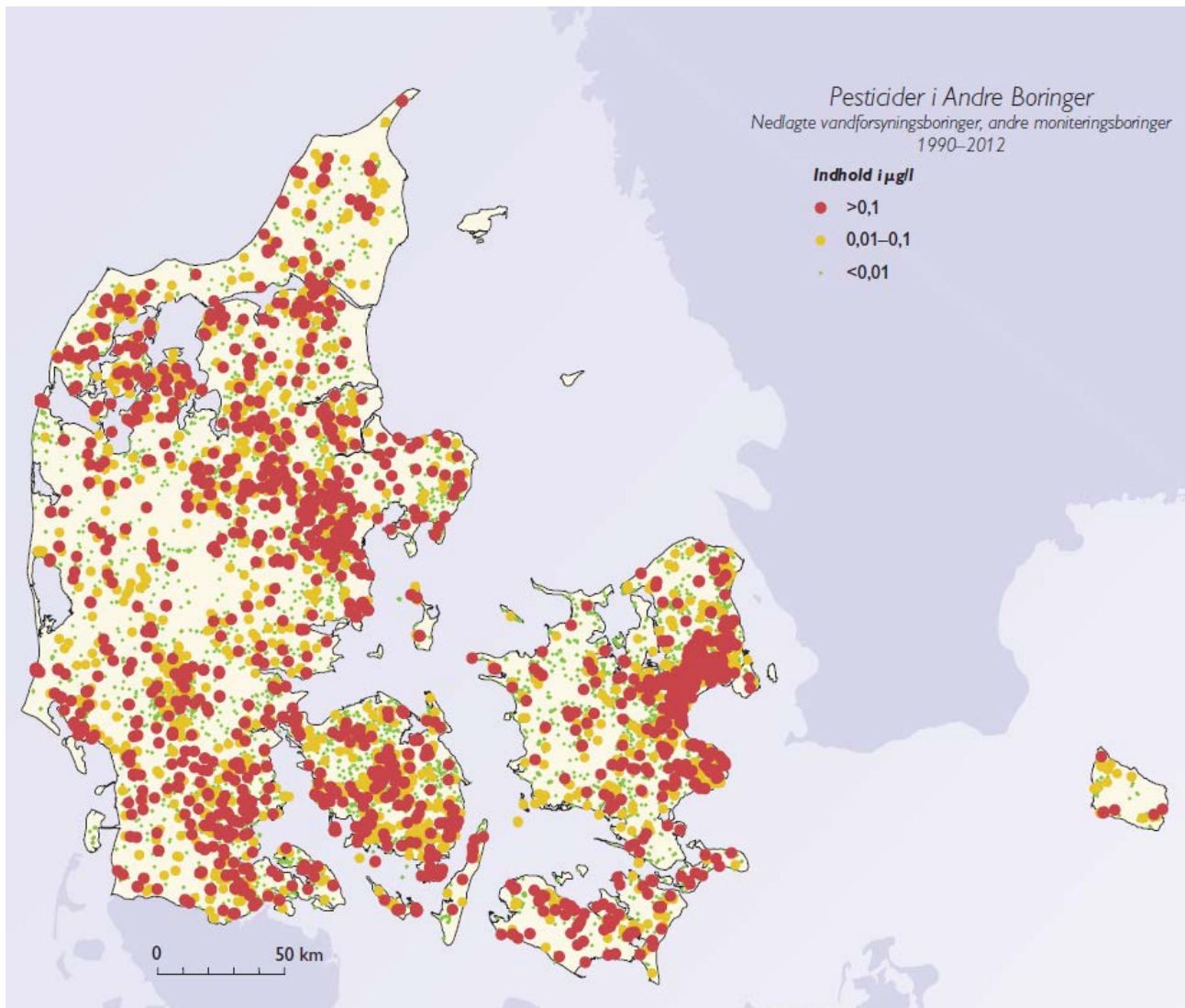
Figur 47. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværkernes Boringskontrol for aktive vandværker i perioden 1993-2012 (6.175 borer). Resultaterne er opdelt i borer uden fund, fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger drikkevandskravet på 0,1 µg/l.



Figur 48. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværkernes Boringskontrol for aktive vandværker i 5 årsperioden 2008-2012, (5.949 boringer). Resultaterne er opdelt i boringer uden fund, fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger drikkevandskravet på 0,1 µg/l.

Der er ret få fund af pesticider og nedbrydningsprodukter på de sandede jyske hedesletter og bakkeøer, hvor vandværkerne generelt indvinder grundvand fra større dybder end i resten af landet bl.a. pga. nitrat i det øverste grundvand. Samtidig er tætheden af vandværksboringer lav i disse områder på grund af den lavere befolkningstæthed.

På Lolland ses en skarp grænse til et område på den sydlige del af øen. Dette skyldes, at netop i dette område kan det være svært at finde større grundvandsmagasiner, da undergrunden hovedsageligt består af fed ler, og at grundvandet i dybere liggende kalklag ofte er saltholdigt. Der findes derfor ikke ret mange almene vandforsyningsboringer i området.



Figur 49. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter fundet i datasættet "Andre Boringer" i perioden 1990-2012 (9.941 boringer). Resultaterne er opdelt i boringer uden fund, fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger drikkevandskravet på 0,1µg/l.

Figur 49 viser den geografiske fordeling af 9.959 boringer med kendte koordinater fra gruppen "Andre Boringer". Der er fundet pesticider i 3.768 boringer, hvoraf 1.875 boringer en eller flere gange har overskredet drikkevandskravet på 0,1 µg/l. Figuren viser i hovedtræk samme fordeling som i figur 47 og 48, men det ses dog, at der i denne gruppe af boringer, som bl.a. rummer nedlagte vandværksboringer, også påvises pesticider i Vestjylland.

Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet

Tabel 34 viser hvilke stoffer, der gennem de sidste ca. 20 år er fundet hyppigst i henholdsvis grundvandsovervågningen, vandværkernes kontrol af aktive indvindingsboringer og gruppen "Andre Boringer". "Andre Boringer" omfatter bl.a. nedlagte indvindingsboringer, små private vandforsyningsanlæg, der ofte forsyner enkeltliggende husstande i det åbne land, samt andre boringer. Tabellen omfatter hele overvågningsperioden, og stofferne er oplistet med faldende relativ hyppighed inden for hvert program.

BAM (nedbrydningsprodukt fra det forbudte stof dichlobenil) findes hyppigst i alle typer pesticidundersøgelser af dansk grundvand, men også de i dag forbudte triaziner og de tilhørende nedbrydningsprodukter forekommer med stigende hyppighed i forhold til tidligere opgørelser, fx DEIA, der forekommer i næsten 15 % af indtagene i grundvandsovervågningen samt deisopropylatrazin, deethylatrazin, didealkylhydroxyatrazin og atrazin.

Nedbrydningsproduktet desam(ino)-diketo-metribuzin fra pesticidet metribuzin (forbudt aktivstof i tidligere anvendte kartoffelmidler) er fundet i 5,1 % af indtagene i grundvandsovervågningen, tabel 34, mens stoffet er fundet i ca. 1% i boringskontrollen.

Det mest anvendte pesticid i Danmark, glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, er fundet gentagne gange i GRUMO, og i flere boringer er der tale om genfund. Tabel 34 viser stofferne opgjort akkumuleret for perioden 1990-2012 med fund i henholdsvis 6,5 % og 4,5 % af de undersøgte indtag. I 2012 blev glyphosat og AMPA fundet i 0,9 % og 1 % af de undersøgte indtag.

Tabel 35 viser for 2012 de 20 hyppigst fundne pesticider opdelt på forskellige grupper af boringer. Glyphosat er fundet i to vandværks-boringer, mens AMPA er fundet i en vandværksboring i 2012, se bilag 5 og 6. I de aktive vand-værksboringer er der i hele monitoringsperioden 1990-2012 fundet glyphosat i 0,5 % af de vandværksboringer, hvor der er analyseret for stoffet, mens nedbrydningsproduktet AMPA er fundet i 0,2 % af boringerne.

De ret høje fundandele for glyphosat og AMPA i gruppen "Andre Boringer" i tabel 34 stammer bl.a. fra en undersøgelse af små private vandforsyningsanlæg, hvor stoffet blev fundet i drikkevandsanlæg (bl.a. gravede brønde og boringer i bunden af gravede brønde), der indvinder grundvand fra højtliggende grundvand i lerede områder.

Tabel 35 viser, at langt de fleste pesticider og nedbrydningsprodukter bliver fundet i færre boringer ved vandværkernes Boringskontrol, end i GRUMO og "Andre Boringer". Både mechlorprop og dichlorprop forekommer således i 2012 ret sjældent i både Boringskontrollen og i grundvandsovervågningen, mens begge stoffer findes hyppigt i "Andre Boringer". Dette kan skyldes, at der netop i denne gruppe boringer ofte findes vandprøver, der er præget af punktkilder, mens man i grundvandsovervågningen oftere finder vandprøver, der er præget af fladebelastning (Tuxen, 2013). Da vandværkerne ofte indvinder store mængde vand fra de enkelte boringer, vil små koncentrationer fra fladebelastning kunne blive fortyndet ved blanding af gammelt rent grundvand med højtliggende forurenede grundvand, og andelen af fund i boringerne vil derfor være små.

Grundvandsovervågning 1990-2012			Boringskontrol 1992-2012			Andre Boringer 1990-2012		
Stofnavn	% Fund	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% Fund	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% Fund	% ≥0,1 µg/l
BAM	21,1	8,4	BAM	19,3	3,9	BAM	29,5	13,8
DEIA	14,6	3,9	Bentazon	2,9	0,4	Atrazin	6,3	1,7
Atrazin, deiso- propyl	11,3	1,7	DEIA	2,4	0,2	Atrazin, deethyl-	6,9	1,5
4-Nitrophenol	9,0	0,6	Mechlorprop	2,3	0,2	Atrazin, deisopro- pyl	6,7	1,3
Atrazin, deethyl-	7,9	1,5	Dichlorprop	1,9	0,2	Simazin	4,9	0,7
Didealk.- hydr.atraz.	7,7	0,8	Atrazin	1,8	0,2	Mechlorprop	4,1	1,7
Bentazon	7,1	2,0	Atrazin, deethyl-	1,6	0,0	Dichlorprop	3,9	1,6
Glyphosat	6,5	1,5	Atrazin, deisopropyl	1,5	0,0	Bentazon	4,1	1,3
Atrazin	5,5	1,3	Hexazinon	1,4	0,1	Hexazinon	2,2	0,6
Metribuzin- desam-diketo	5,1	1,9	4CPP	1,3	0,3	4CPP	5,8	3,6
Trichloreddikesy- re	4,9	1,3	2,6-dichlorbenzoyre	1,0		Atrazin, hydroxy-	2,1	0,4
Dichlorprop	4,9	1,4	4-Nitrophenol	0,9		MCPA	1,5	0,7
AMPA	4,5	1,2	Metribuzin-desamino- diketo	0,9	0,1	Dichlobenil	1,9	0,3
Deisopropyl hydroxy atrazin	4,5	0,2	Simazin	0,8	0,0	AMPA	4,7	1,3
Mechlorprop	4,2	1,1	MCPA	0,7	0,1	DEIA	7,8	1,3
Metribuzin- diketo	3,7	1,0	Dichlobenil	0,7	0,1	Glyphosat	3,3	0,7
Simazin	3,0	0,5	Didealkyl-hydroxy-atrazin	0,6	0,0	4-Nitrophenol	6,2	3,1
4CPP	2,7	0,9	Atrazin, hydroxy-	0,6	0,1	Diuron	1,7	0,4
MCPA	2,4	0,4	Glyphosat	0,5		Terbutylazin	1,1	0,1
Ethylentiurea	2,3	0,3	2,6-DCPP	0,5		2,6-DCPP	3,8	0,9

Tabel 34. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO (1990-2012), aktive indvindingsboringer (1992-2012) og i "Andre boringer" (1990-2012), der omfatter nedlagte indvindingsboringer, vandværkernes egne overvågningsboringer og andre analyser fra fx små private vandforsyninger. De viste andele er beregnet med antal analyserede indtag/boringer og boringer med fund og fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$. Der er kun medtaget stoffer, analyseret i mere end 200 boringer fra GRUMO og Boringskontrollen, mens der kun er medtaget stoffer, analyseret i mere end 500 boringer for "Andre Boringer" for at undgå resultater fra forureningsundersøgelser af større special depoter. Se bilag 1-6 med oplysninger om antal analyser, antal boringer og koncentrationsintervaller. I opgørelsen for "Andre Boringer" er fx parathion udeladt. Alle fund er dog medtaget i bilag 1-6. De beregnede fundandele for GRUMO viser, hvor stor en andel af indtagene, der en eller flere gange har indeholdt det enkelte stof i hele perioden 1990-2012. Andelen opgjort for hele perioden kan derfor ikke sammenholdes med fund-andelen pr. år.

Grundvandsovervågning 2012			Boringskontrol 2012			Andre boringer 2012		
Stofnavn	% Fund	% ≥ 0,1 µg/l	Stofnavn	% Fund	% ≥ 0,1 µg/l	Stofnavn	% Fund	% ≥ 0,1 µg/l
BAM	16,9	5,8	BAM	17,7	2,9	BAM	24,4	7,3
DEIA	13,7	2,6	DEIA	2,4	0,1	DEIA	6,8	1,4
Atrazin, deisopropyl	10,7	0,7	Bentazon	2,2	0,3	Mechlorprop	5,2	2,2
Didealkyl-hydroxy-atrazin	6,4	0,6	Mechlorprop	1,6	0,1	Dichlorprop	4,9	1,3
Metribuzin-diketo	5,8	0,4	Hexazinon	1,2	0,1	4CPP	4,5	2,9
Metribuzin-desam-diketo	5,0	0,7	2,6-dichlorebnzosyre	1,1		Atrazin, deisopropyl	4,3	0,2
Atrazin, deethyl-	4,5	1,2	Atrazin, deethyl-	1,0	0,1	Metribuzin-desamino-diketo	3,6	
Deisopropyl-hydroxyatrazin	3,5	0,0	Metribuzin-desamino-diketo	0,9	0,1	Atrazin, deethyl-	3,4	0,4
Bentazon	3,5	0,4	Atrazin	0,9		Bentazon	2,7	0,7
Atrazin	2,5	0,6	Atrazin, deisopropyl	0,8		Simazin	2,4	0,6
Hexazinon	1,8	0,3	Dichlorprop	0,8	0,3	Atrazin	2,3	0,6
Dichlorprop	1,5	0,1	4CPP	0,7	0,3	Didealkyl-hydroxy-atrazin	2,1	0,5
Simazin	1,5	0,0	Didealkyl-hydroxy-atrazin	0,6	0,0	AMPA	2,1	
Mechlorprop	1,3	0,7	4-Nitrophenol	0,6		Hexazinon	1,7	0,4
4CPP	1,0	0,4	Atrazin, hydroxy-	0,3	0,1	Atrazin, hydroxy-	1,5	0,4
Deeth.-hydr.-atrazin	1,0	0,0	MCPA	0,3		4-Nitrophenol	1,5	
2,6-dichlorbenzosyre	1,0	0,1	Deisopropyl-hydroxy-atrazin	0,2	0,0	Deisopropyl-hydroxyatrazin	0,9	
AMPA	1,0	0,3	Ethylthiurea	0,2	0,1	Ethylthiurea	0,8	0,5
Glyphosat	0,9	0,3	Hydroxysimazin	0,2		2,6-dichlorebnzosyre	0,7	
4-Nitrophenol	0,4	0,0	2,6-DCPP	0,2		2,6-DCPP	0,7	0,4

Tabel 35. Status 2012 for de 20 hyppigst fundne stoffer i analyseindsatsen 2012 for grundvandsovervågningen, Boringskontrol af aktive indvindingsboringer og ”Andre boringer”. Der er kun medtaget stoffer, der er analyseret i mere end 100 boringer fra ”Andre boringer”. Se også bilag 1- 6 med oplysninger om antal analyser, antal boringer og koncentrationsintervaller.

Konklusion pesticider

Pesticider i grundvandsovervågningen

Der findes stadig en betydelig udbredelse af pesticider i grundvandet. I 2012 blev der i grundvandsovervågningen fundet pesticider i 42 % af indtagene, mens drikkevandskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 12 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirket af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det mere dybtliggende og ældre grundvand er mindre.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: Godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført yderligere begrænsninger på anvendelsen bl.a. af hensyn til en beskyttelse af grundvandet. I analyseprogrammet indgår i alt 31 stoffer, hvoraf 21 stammer fra forbudte pesticider, mens 5 er fra regulerede og 5 er fra tilladte. I 2012 blev der fundet godkendte stoffer i ca. 1 % af indtagene, mens regulerede stoffer blev fundet i 6 % og forbudte stoffer i 39 %. I alt 7 % af fundene stammer således fra stoffer, der fortsat er i brug. Pesticidanalyserne for de sidste 6 år viser, at ca. 1/5 af fundene skyldes godkendte og regulerede stoffer, mens ca. 4/5 stammer fra forbudte stoffer.

Tidsserier for udvalgte pesticider i grundvandet udviser generelt faldende koncentrationer for forbudte og regulerede stoffer, mens der ikke er tilstrækkelige data til at vurdere udviklingen for tilladte stoffer som Glyphosat og dets nedbrydningsprodukt, AMPA.

Specielt kan nævnes, at fundhyppigheden af Glyphosat og AMPA i 2012 ligger på 0,9 % og 1,0 % (begge på 0,3 % for fund over drikkevandskravet), hvilket er på samme niveau som tidligere i grundvandsovervågningen.

I det øvre grundvand har der været en faldende andel af pesticider med koncentrationer over drikkevandskravet de senere år. Samtidig stiger antallet af fund af pesticider over drikkevandskravet i det dybereliggende grundvand. Der ses samtidig en større hyppighed af indtag med pesticider i koncentrationer under drikkevandskravet i dybder ned til 50 m u.t. Dette kan forklares med en reduceret udvaskning fra rodzonen og øvre jordlag. Skønt der kan ses tegn på en mindsket påvirkning i det øverste grundvand, breder en puls af pesticider, udvasket for år tilbage, sig stadigt dybere ned i grundvandsmagasinerne. Resultaterne viser, at en strammere regulering i anvendelsen af pesticider nu kan ses i det øvre og yngste grundvand. Forde-lingen peger også på, at det dybtliggende grundvand, hvorfra vandværkerne indvinder drikkevand, fremover kan blive mere påvirket af den puls af pesticider over drikkevandskravet, der bevæger sig ned gennem grundvandsmagasinerne.

Der er i 2011 og 2012 undersøgt for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De 3 dominerende stoffer med relativt mange fund – for to af stoffernes vedkommende også fund over drikkevandskravet - er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner, hvor didealkylhydroxyatrazin er fundet i 7,7 % af de undersøgte indtag i 2011-12, mens drikkevandskravet var overskredet i ca. 1 %. Deisopropyl-hydroxyatrazin blev fundet i 4,5 % af indtagene. Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid, rimsulfuron er påvist i 6 ud af 763 undersøgte indtag, i alle tilfælde dog under drikkevandskravet. Tre stoffer, heraf to godkendte, er fundet en enkelt gang i koncentrationer under drikkevandskravet, mens et stof, hydroxyterbuthylazin, blev fundet i fem indtag under drikkevandskravet på 0,1 µg/l. To stoffer, heraf et godkendt, er ikke påvist.

Pesticider i vandværkernes boringskontrol

Andelen af pesticidpåvirkede aktive indvindingsboringer er de sidste 5-10 år stabiliseret på lidt under 25 %. I 2012 blev der således fundet pesticider i 24 % af de undersøgte indvindingsboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l for enkeltstoffer var overskredet i 4 % af boringerne. Resultatet kan sammenlignes med fundene i årene omkring 2004, hvor der var fund i 26 % af boringerne, heraf 4,5 % over drikkevandskravet. BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 17,7 % af de undersøgte indvindingsboringer i 2012.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af analyseprogrammet for pesticider i vandværkernes boringskontrol med indførelse af analyse for yderligere 18 stoffer, som bl.a. er fundet i grundvandsovervågningen eller i Varslingssystemet for udvaskning af pesticider til grundvandet. Af disse nye stoffer er nedbrydningsprodukt DEIA fra Atrazin fundet i 2,4 % af de analyserede prøver i 2012, mens de øvrige nye stoffer er fundet i ca. 1 % eller mindre af de undersøgte vandprøver. Der er kun få fund over drikkevandskravet. De relativt få fund af de nye stoffer i boringskontrollen kan skyldes, at vandværkerne har lukket nogle af de indvindingsboringer, hvor der tidligere er fundet nedbrydningsprodukter fra triaziner og BAM, som ofte findes sammen med netop disse stoffer.

I tidligere års grundvandsovervågningsrapporter er det dokumenteret, at der findes flest pesticider i aktive vandværksboringer i lerede områder og omkring større byer, hvor især BAM er påvist

Referencer, Pesticider

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2012: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1277 af 12. december 2012. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøstyrelsen, 2010: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2009, Orientering fra Miljøstyrelsen, 8, 2010

Miljøstyrelsen, 2012a: Redegørelse om jordforurening 2010. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 1, 2012.

EU- direktiver

EU, 1980: Rådets direktiv 80/778/EØF af 15. juli 1980. (1. version af Drikkevandsdirektivet)

EU, 1998: Europaparlamentets og Rådets direktiv nr. 98/83/EF om kvaliteten af vand til drikkevand. (Drikkevandsdirektivet)

EU, 2000: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)

EU, 2006: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Grundvandsdirektivet)

Andre referencer

Brüsch W. & Villholt, K. G., 2011: Punktkilders påvirkning af grundvandsressourcens kvalitet. Miljøprojekt Nr. 1395 2011, Miljøstyrelsen

Christensen L., S. Marcher, V. Møller, W. Brüsch, A. Rosenbom, A. Duer, M. Bach Madsen & M. Skriver, 2013: Bentazon. Anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.

Elkjær, Lars, Hans Ole Hansen, Liselotte Ludvigsen, Marianne Marcher Juhl, Mette Skougaard, Claus Kirkegaard, John Bastrup, Jens Baumann, Flemming Larsen, Liselotte Clausen, Niels P. Arildskov, Peter R. Jørgensen, Jens Kistrup & Niels Henrik Spliid, 2002: Pesticider og vandværker. Udredningsprojekt om BAM forurening. Hovedrapport. Miljøprojekt Nr. 732, 2002.

Tuxen N., Roost, S., Kofoed, J.L.L., Aisopou, A., Binning, P.J., Chambon J., Bjerg, P.L., Thorling, L., Brüsch, W. og Esbensen, K., 2013. Skelnen mellem pesticidkilder. Miljøprojekt nr. 1502, Miljøstyrelsen 2013.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Links:

Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (20-10-2013)

8 Vandindvinding

I Danmark anvendes den største andel af de oppumpede vandmængder til drikkevandsforsyning, men der bruges også betragtelige mængder til andre formål, hvoraf markvandingen udgør den største andel. Herudover anvendes grundvandet til en lang række forskellige formål indenfor industri, institutioner, gartneri og dambrug.

I henhold til Vandforsyningsloven (MiM, 2010) skal alle indvindinger indberettes af indvinderen til kommunerne, der skal kontrollere og indlæse data i den fællesoffentlige database JUPITER. Indvindingerne opgøres for hvert kalenderår, og indberetningen til Kommunalbestyrelsen skal foretages inden den 1. februar det følgende år, hvorefter data skal indlæses i JUPITER inden 1. april.

Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral struktur med knap 3000 almene vandværker (jf. indberetningerne af oppumpede vandmængder), hvoraf var ca. 150 kommunalt ejede pr. 1. jan 2010. Derudover indvindes der fra en række lokale vandforsyninger til institutioner og enkeltvandforsyninger, som hver forsyner 1-9 til husstande.

Relevans

Vandindvinding til drikkevandsforsyning i Danmark baseres udelukkende på oppumpning af grundvand. Med det stigende fokus på klimaets betydning for den fremtidige vandindvinding er det af hensyn til forsyningssikkerhed og miljøpåvirkninger væsentligt, at man kender mængden og udviklingen af de vandmængder, der årligt oppumpes. Det skyldes, at grundvandet indgår som en vigtig del af vandets kredsløb. Når nedbørsmængden ændres som følge af klimaændringer, ændres den mængde grundvand, der er til rådighed til indvinding, og derved kan der blive behov for en ny afvejning af de oppumpede vandmængder i forhold til behovet for vandføring i vandløb, vandstanden i moser og søer mv. Lokalt og regionalt kan indvindingen have et omfang, der ikke er bæredygtig. For at kunne sikre en optimal udnyttelse af det til rådighed værende grundvand, er det nødvendigt at kende de samlede indvindinger lokalt, regionalt og på landsplan.

Målsætning

I Miljømålsloven (MiM, 2009) er det en generel målsætning, at der kun må indvindes så meget vand, at påvirkningerne af overfladevand og grundvandsafhængige økosystemer i vådområder mv. ikke hindrer opfyldelse af miljømålsætningerne (Vandplanernes hjemmeside). Det er derfor nødvendigt at kunne dokumentere såvel den absolutte størrelse som ændringerne i den oppumpede grundvands- og overfladevandsmængde på såvel lokal som regional og national skala. Et væsentligt aspekt er desuden, at den samlede indvindings miljømæssige påvirkning for hvert hovedopland skal vurderes i Vandplanerne hvert 6. år (Vandplanernes hjemmeside).

Datagrundlag for afrapporteringen

Til denne rapport er der pr. 6. maj 2013 foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de vandmængder som kommunerne (tidligere, amterne) har indberettet til JUPITER for perioden 1989 frem til og med 2012.

I perioden 1989-2005 blev de oppumpede vandmængder beskrevet på baggrund af de indberetninger, som GEUS hvert år modtog fra amterne. Disse data indeholdt et skøn over størrelsen af de manglende indberetninger. Efter strukturreformen i 2007 ligger tilsynsmyndigheden

for indvinding af grundvand hos de 98 kommuner, og der udarbejdes ikke længere decentrale skøn over manglende indberetninger. (BLST, 2010) GEUS har derfor siden 2008 baseret opgørelserne på de faktisk indberettede vandmængder, der er i JUPITER databasen på udtrækstidspunktet, således at der herefter er overensstemmelse mellem databasen og de rapporterede opgørelser. For yderligere information se GRUMO-rapport for 1989-2008 (Thorling mfl., 2010).

Kommunernes indberetning af oppumpede vandmængder

I forbindelse med udtræk af data efter tidsfristens udløb har det igen i år vist sig, at flere af kommunerne ikke har indberettet data inden tidsfristen den 1. april 2013. Otte kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2012 rettidigt. Samlet set vurderes der på den baggrund alene at mangle indberetning af omkring 16 mio. m³ for 2012. Det bemærkes også, at 5 kommuner fortsat mangler at indberette indvindingsdata for vandværkerne for 2006. I alt skønnes dette at udgøre 20 mio. m³.

Oppumpede vandmængder fra almene vandværker

Der er også i år fokuseret på vurdering af datakvaliteten for oppumpningen fra de almene vandværker. Indberetningerne er gennemgået på kommuneniveau (kommunegrænser fra 2007 er anvendt for hele perioden) for alle 98 kommuner med henblik på, at opnå et mere troværdigt datasæt, der afspejler den reelle oppumpning. Gennemgangen af data er foregået ved at summere vandmængderne fra alle de almene vandværker i hver kommune og opstille disse i en række tabeller og figurer. Den årlige oppumpning blev plottet for hver kommune som tidsserier og "outliers" blev visuelt identificeret i forhold til den generelle trend og forventninger i oppumpning.

Som udgangspunkt forventes det, at udviklingen i oppumpningen for de almene vandværker ikke varierer voldsomt fra år til år, da en kommune er en så tilpas stor og mangfoldig enhed, at ændringer i forbrugsmønstre indenfor en hel kommune vil ses som gradvise (bløde) ændringer over flere år og derfor danne relativt bløde forløb på tidsserierne. Administrative ændringer kan give anledning til markante spring i opgørelserne, lige som nye industrier og lign. kan medføre store ændringer. Der har været opmærksomhed på betydningen af sådanne ændringer under gennemgangen af data. I sidste års rapportering optrådte et eksempel på opretning af en tidsserie fra en kommune.

I gennemgangen af indberetningerne fra de almene vandværker er der fundet forskellige typer af problemer, med over/underindberetninger overvejende falder indenfor 3 grupper:

- Manglende indberetning
- Dobbeltindberetning - ofte som følge af, at der indberettes på både over- og underanlæg
- Overfladevand indberettes som grundvand (én kommune, med en mængde på 4 mio. m³)

Nødvendig datakorrektion i forbindelse med afrapporteringen

Nogle af de fejl og mangler, der er observeret, er store og er vurderet til at være betydende for opgørelserne på indberetningen af de almene vandværker, og i mindst 20 kommuner er det vurderet, at der er problemer med indberetningerne. For at få et estimat på omfanget af over/underindberetning er der udført en manuel datakorrektion baseret på den visuelle gennemgang af tidsserierne over antal vandværker, der indberettes, samt for de oppumpede vandmængder.

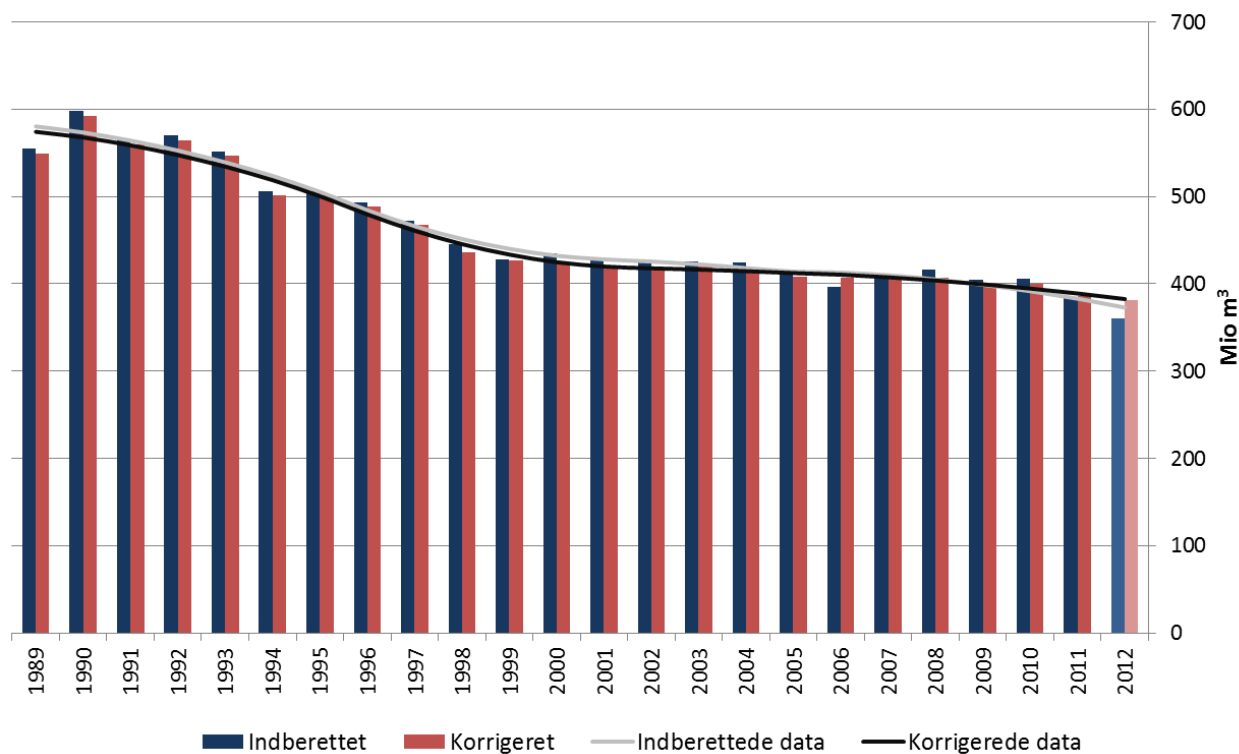
Overindberetninger er nemmere at identificere og rette end underindberetninger, da de ofte har form af ekstra poster i databasen, og derfor blot skal slettes.

Underindberetning er vanskeligere at identificere og estimere præcist, da der her alene er anvendt kurveforløbet på tidsserierne til at identificere og angive den manglende værdi. I en del kommuner har det været muligt at korrigere data med rimelig sikkerhed, og de har samtidig haft et omfang, hvor det er vurderet, at have betydning for den nationale opgørelse. Korrektionen af data er alene udført i forbindelse med denne analyse, da tilretningen af data i JUPITER, kun kan udføres af kommunerne (Dataansvarsaftalen, 2007) og data vil indtil videre fortsat være fejlbehæftet.

De største korrektioner er foretaget for perioden efter kommunalreformen fra 2006 og frem til 2009. For 2012 er der foretaget en opjustering på knap 21 mio. m³.

Figur 50 viser opgørelserne for de oppumpede vandmængder for de almene vandværker vist både med og uden korrektion. De korrigerede data er vist med rødt. Der er et bemærkelsesværdigt stort antal dobbeltindberetninger efter kommunalreformen, sandsynligvis som følge af usikkerhed om hvilke kommuner, der har tilsynsmyndighed med hvilke anlæg, ikke mindst i de tilfælde, hvor der er tilknyttet både over- og underanlæg. Efter sletning af dobbeltindberetninger er faldet i 2006 blevet mere markant og tilskrives, at der fortsat er mangler i data.

Samlede oppumpede vandmængder



Figur 50. Indberettede oppumpede vandmængder fra almene vandværker med blå, og korrigerede oppumpede vandmængder med rødt, i mio. m³ for perioden 1989-2012. Udviklingen er fittet med Loess, se forklaring i tekstboks for både indberettede og korrigerede data.

På baggrund af ovenstående korrektioner er der udført et lokalvægtet gennemsnit (Loess, se tekstbox nedenfor) for hhv. de indberettede og de korrigerede dataserier, for perioden 1989-2012, se figur 50. I 2012 var den indberettede vandmængde for de almene vandværker 361 mio. m³, mens den forventede indberetning, se figur 50, er på 382 mio. m³. Der formodes således, at være en underindberetning i 2012 på omkring 21 mio. m³ for kategorien "almene vandværker". Dette er i overensstemmelse med, at der helt mangler data fra nogle kommuner og andre indberetninger er ufuldstændige.

På figur 50 angiver de nedtonede farver på søjlerne i 2012, at data ikke er komplette, og at der i stedet for forventes en værdi svarende til 382 mio. m³ vist med den sorte Loess-kurve.

I år er det vurderet, at data frem til og med 2011 med rimelighed kan indgå i analysen af tendenser og udviklinger på data, men at 2012 data fortsat er ukomplette og må tages med forbehold.

Loess regression

Brugen af Loess regression, anvendes når man har behov for en ikke lineær regression, hvor der tages udgangspunkt i de nærmeste punkters beliggenhed på kurven. I stedet for traditionel lineær regression, er der tale om at man arbejder med et polynomium, der fittes bedste muligt til observationerne. Se fx Wikipedia eller statistiske lærebøger.

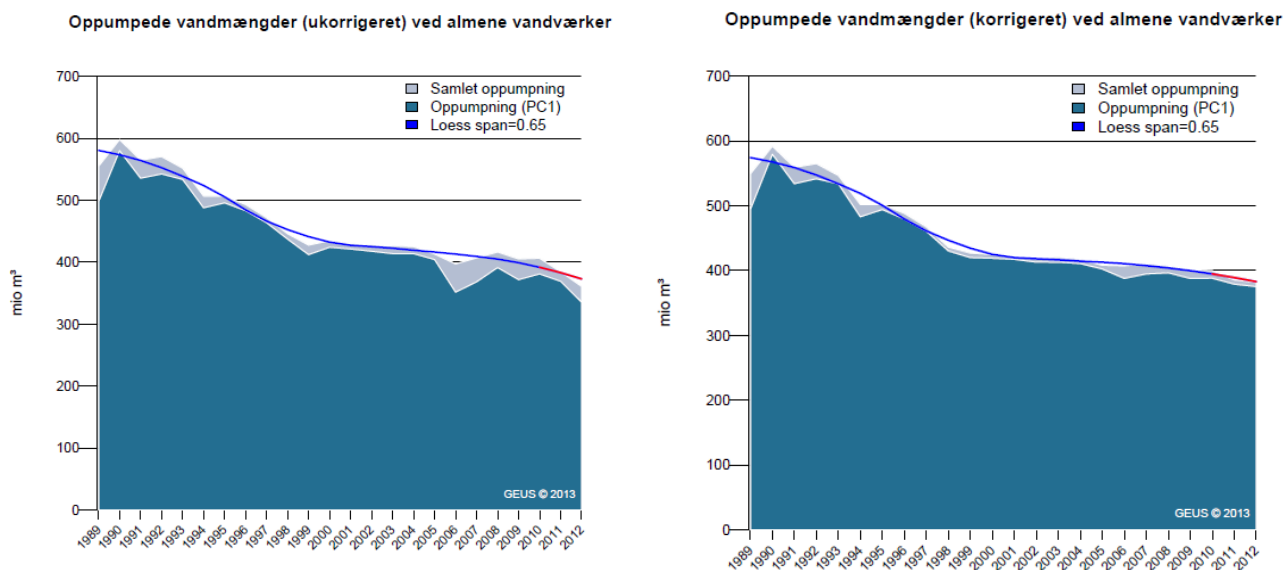
Analyse af datakvalitet

For at vurdere kvaliteten af data og for at vurdere om data før og efter kommunalreformen er sammenlignelige, udfører GEUS hvert år en gennemgang af data for de oppumpede vandmængder. Hvert år er der blevet ryddet fejl af vejen, og datakvaliteten er over de sidste 4-5 år forbedret betydeligt. Der er dog hvert år en tendens til, at det seneste års indberetning er mangelfuld og at analysen af tendenser og udviklinger derfor ikke kan være helt "up to date". Dette er også tilfældet med data fra 2012.

Der har hidtil ikke været noget sted i Danmark, hvor der foreligger et samlet overblik over, hvor mange og hvilke vandværker, der er aktive. Det er derfor ikke i denne rapportering muligt at afgøre, om en indberetning er komplet for hver enkelt kommune, hvorfor datakvaliteten vurderes ud fra en række skøn. En ny bekendtgørelse (MiM, 2012) stiller fremadrettet krav om at status for alle drikkevandsboringer indberettes til JUPITER. Dette skulle i fremtiden sikre mere præcise overblik datakvaliteten af vandværkernes indvindingsmængder.

GEUS har igen i år anvendt PCA-metoden, som et værktøj til at vurdere, om data er komplette, se tekstboks nedenfor.

For at vurdere om den korrektion, der blev udført for de indberettede oppumpede vandmængder fra de almene vandværker er rimelig, er der dels udført en PCA analyse for de indberettede data og dels en PCA analyse, hvor der er taget højde for korrektionerne udført ovenfor. De 2 diagrammer i figur 51 viser, at der efter korrektion af data er en noget større andel af dataene, der kan forklares ud fra PC1, hvilket tages som et udtryk for, at dataene er mere komplette, end de var inden korrektionen. Det vurderes desuden, at kombinationen af PCA og Loess-estimer kan anvendes til at vurdere indvindingskategoriens forventelige indberetning.



Figur 51. PCA analyser for indberettede oppumpede vandmængder (1989-2012) uden korrektion af data til venstre og med korrektion til højre.

I sidste års rapport er problemstillingerne omkring figur 51 nærmere beskrevet.

Principal Component Analysis (PCA)

PCA er en metode til dataanalyse, som gør det muligt at udrede sammenhænge i et datasæt med mange variable. I praksis foregår det på den måde, at datasættet i én matematisk arbejdsang opdeles i et antal nye variable, kaldet primære komponenter, som hver især er uafhængige af hinanden, og som hver især repræsenterer en bestemt del af de variationer, der er i datasættet. Hver primær komponent er en linearkombination af de oprindelige komponenter og kan analyseres for sig og tolkes typisk som hørende til en bestemt proces. På den måde vil det fx være muligt at adskille, hvor stor en del af variationerne i en pejletidsserie, der hidrører fra grundvandsdannelse, og hvor stor en del der hidrører fra oppumpning. Effekterne grundvandsdannelse og oppumpning vil være tilknyttet hver sin primære komponent. Endelig vil en del af variationerne skyldes datastøj, som fx. fejlindtastninger m.v. Se. også Thorling mfl., 2010

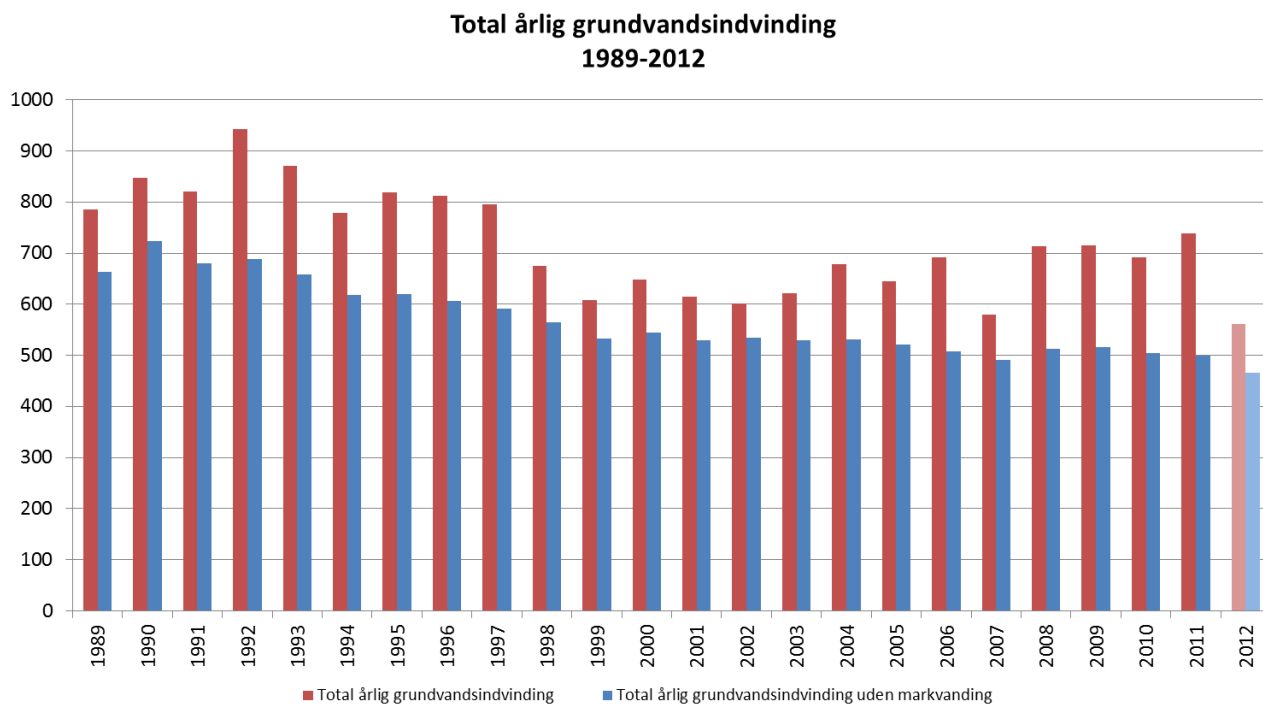
Analyse af den totale årlige grundvandsindvinding i Danmark

Figur 52 viser de totale oppumpede vandmængder for perioden 1989-2012 med røde søjler, mens de grønne søjler viser de totale oppumpede vandmængder uden markvanding. Markvandingen er stærkt varierende og påvirket af variationer i vejret fra år til år.

I tidligere års rapporter blev det konkluderet, at 2007 var mangelfuldt indberettet særligt for markvandingen, men beregninger publiceret i (Hvid, S. Kolind, 2011, se også Thorling mfl., 2011) viser, at der var et markant mindre vandingsbehov for 2007 end årene før og efter. Beregningerne illustrerer, at vandingsbehovet kan variere med adskillige hundrede procent fra år til år og udgøre meget betragtelige andele af oppumpningen på såvel lokal som national skala.

Det er tydeligt, at der fra 1990 og frem til og med 1999 oppumpes mindre og mindre grundvand, og at der fra 1999 og frem er en relativt konstant oppumpning, dog med en svag om end

støt faldende tendens. Fra 1999 og frem til 2011 er forskellen på største og mindste oppumpning opgjort uden markvanding, kun 45 mio. m³, hvilket må siges at være mindre end de udsving, der tidligere er set som følge af mangelfuld indberetning. Markvandingen udgør 25 - 30 % af de samlede oppumpede vandmængder i Danmark og slører evt. udviklingstendenser betinget af konjunkturer og miljøpolitiske tiltag.



Figur 52. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2012) - ikke korrigerede data. Data fra 2012 vurderes at være ukomplette.

Udviklingen i de oppumpede vandmængder i Danmark (uden markvanding) udviser fra 2006 og frem en svagt faldende tendens, tenderende til at være konstant fra 2009 og frem. Der er som nævnt usikkerhed på 2012 data, og de er derfor vist med nedtonede farver i figur 52.

Med de ovenstående forbehold in mente kan det konkluderes, at den totale årlige oppumpning forsat ligger på et stabilt niveau på omkring 500 til 550 mio. m³/år, hvis man ser bort fra markvandingen.

Analyse af indvindingen indenfor de enkelte kategorier

Figur 53 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier 1989-2012. Kategorierne er:

- Almene vandværker: offentlige og private vandforsyningsanlæg.
- Erhvervsvanding: dambrug, markvanding, gartneri.
- Virksomheder med egen indvinding: erhverv, industri, institutioner, afværgepumpninger, grundvandssænkninger, enkelt-indvindinger til husholdninger og anden grundvandsindvinding.
- Overfladevand til alle formål.

I forrige års GRUMO rapport blev udviklingen frem til 2006 beskrevet. I dette års rapport beskrives særligt årene 2006–2012.

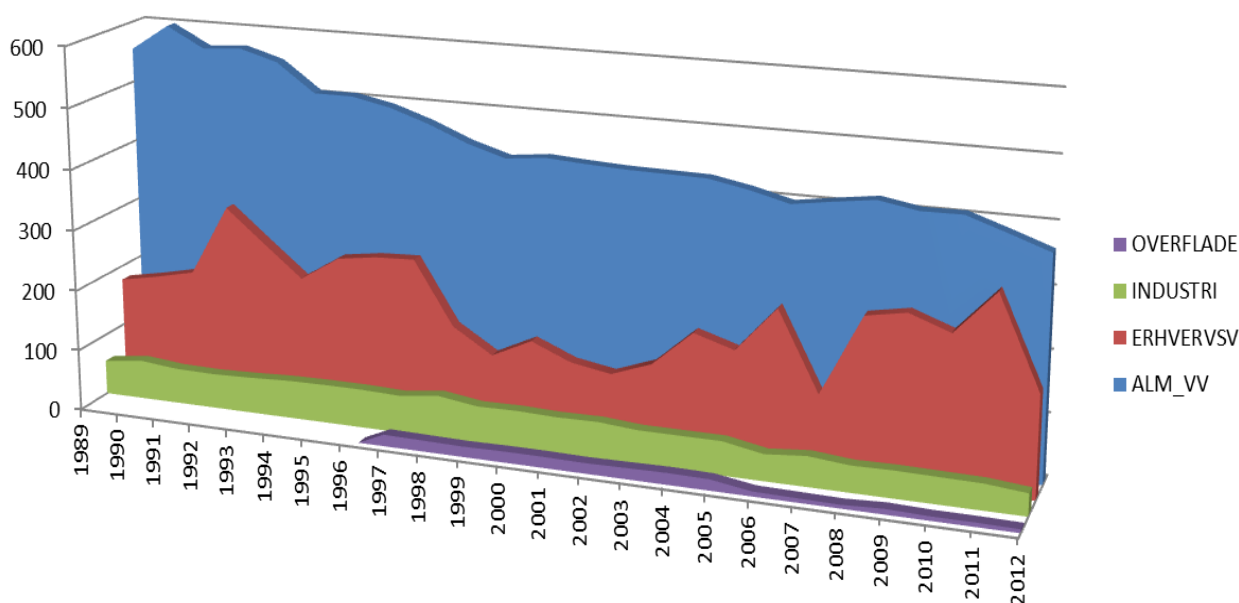
For kategorien almene vandværker er det som tidligere nævnt tydeligt, at der er en nedgang i år 2006 og 2007, som sandsynligvis skyldes manglende indberetning, men at oppumpningen ellers ligger på et ret konstant niveau omkring 400-430 mio. m³. Indvindingen af overfladevand på 4-7 mio. m³ er vanskelig at erkende i figuren og er ikke meget forskellig fra de foregående år. For hele perioden 1989-2012 gælder det, at dambrug er udeladt fra overfladevand, da dambrugernes anvendelse af overfladevandet ikke ændrer nævneværdigt på vandføringen i vandløbene, idet vandet ledes tilbage til vandløbet efter gennemløb i dambruget. Dette giver en mere præcis opgørelse på kategorien for anvendelse af overfladevand.

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "erhverv") ligger i den lave ende af spektret for 2012, men varierer som tidligere nævnt markant fra år til år mellem 100 og 300 mio. m³

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding er relativt konstant og ligger nu på 42 - 44 mio. m³ om året.

Oppumpede Vandmængder i Danmark

Opdelt på kategorier



Figur 53. Vandindvinding i Danmark (1989-2012) opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Opgørelser af indvinding af overfladevand fra før 1997 er ikke pålidelige. Figuren er baseret på ikke korrigerede data.

De tre nævnte kategorier (almene vandværker, virksomheder med egen indvinding og overfladevand til alle formål) har været ret konstante siden kommunalreformen i 2006, og har ligget på værdier fra omkring 515 mio. m³ til i dag, hvor det ligger omkring 466 mio. m³. Variationen på ca. 20 mio. m³/år for de tre kategorier vurderes at ligge inden for de udsving, man kan for-

vente fra år til år pga. variationer i klima og forbrug, og er ikke nødvendigvis et udtryk for en faldende oppumpning. Set for perioden 2008-2010 er den samlede oppumpning på landsplan, se figur 52, lidt højere end for den foregående 4 års periode og har ligget på et relativt højt og konstant niveau på mellem 682 mio. m³ i 2010 og 726 mio. m³ 2011. 2012 viser dog et markant fald til 561 mio. m³, svarende til 165 mio. m³ i forhold til 2011, hvilket som tidligere nævnt delvist kan tilskrives manglende indberetning.

Opsummering og konklusion

De samlede oppumpede vandmængder i Danmark (uden markvanding) udviser fra 2006 og frem en svagt faldende tendens, tenderende til at være konstant fra 2009 og frem. Den totale årlige oppumpning ligger på et stabilt niveau på omkring 500 til 550 mio. m³, hvis man ser bort fra markvandingen.

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug varierer markant fra år til år. I 2011 nåede denne del af indvindingen over 300 mio. m³, hvilket svarede til over 40 % af den samlede grundvandsindvinding i Danmark, mens det for 2012 blot var 166 mio. m³.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding er relativt konstant, og har de seneste fire år ligget på mellem 42 og 44 mio. m³ om året, dog med et svagt fald i 2012.

Indvindingen af overfladevand er marginal og ligger på 4-7 mio. m³/år. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand, men bliver i stedet i langt overvejende grad anvendt til grusvaskning indenfor råstofindustrien og vanding.

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse, og uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandplanarbejdet. For at muliggøre en optimal vurdering af presset på den tilgængelige vandressource er der behov for, at kommunerne fortsat sikrer, at de oppumpede vandmængder i videst mulige omfang indberettes til den fælles offentlige database JUPITER til den fastsatte tidsfrist, som er 1. april det efterfølgende år, jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (MST, 2011). Der sker løbende forbedringer i kommunernes indberetning, men der er fortsat behov for at nogle kommuner kvalitetssikrer data og følger op på indberetningerne og de anbefalinger, der gives, således at fejlindberetninger undgås.

Referencer, Vandindvinding

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

By- og landskabsstyrelsen, nov. 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata.

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2007: Dataansvarsaftalen, <http://internet.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalen%20Bilag%203%20Grundvand.pdf> (5-11-13)

Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009 af Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)

Miljøministeriet, 2010: LBK nr. 635 af 07/06/2010 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)

Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2012: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1277 af 12. december 2012. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Andre referencer:

Hvid, S. Kolind, 2011, Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx, (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L. 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (5-11-13)

Links:

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10.2013)

9 Det Nationale Pejleprogram

I 2007 blev der etableret et Nationalt Pejleprogram med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand ved målinger af kort- og langsigtede variationer i grundvandsstanden.

Variationer i grundvandsstanden kan skyldes flere faktorer. De kan skyldes ændringer i netto-nedbøren over kortere eller længere tid og ændringer i indvindingen på lokal eller regional skala. Omfanget og typen af variationer i grundvandsstanden over tid overvåges i det nationale pejleprogram, hvor beliggenheden af grundvandsstanden i dag registreres dagligt i de fuldt udbyggede overvågningspunkter.

Det Nationale Pejleprogram skal kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejleserier og enkeltmålinger af vandstanden og skal således afspejle repræsentative størrelser for reelle variationer i grundvandets trykforhold. Pejledata af god kvalitet er af stor betydning i vurderinger af vandstanden og til den langsigtede anvendelse til modeller i forbindelse med vurderinger af vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål samt påvirkningen af grundvand og økosystemer.

Relevans

Pejledata er en indikator for udviklingen i grundvandsressourcens størrelse. Ændringer i ressourcens størrelse har afgørende betydning for den mængde grundvand, der kan indvindes til drikkevandsforsyning, markvanding og andre humane behov samt for den økologiske tilstand i vådområder, vandløb og søer mv. Derudover er pejledata relevante i forbindelse med risikovurderinger og planlægningsformål for fx oversvømmelser i bebyggede områder. Vandrammedirektivet foreskriver direkte, at der skal være en overvågning af grundvandsstanden i tilknytning til vandplanarbejdet (EU, 2000).

Målsætning

Vandrammedirektivet (EU, 2000) og Miljømålsloven (MiM, 2009) fastsætter i den generelle målsætning, at befolkningen til enhver tid skal sikres den nødvendige forsyning af drikkevand, og at den økologiske tilstand i overfladevands- og vådområder skal bevares eller forbedres. Målsætningen og tilstanden for de enkelte grundvandsforekomster og de afhængige økosystemer og vådområder fremgår af Vandplanerne (Vandplanernes hjemmeside).

Det nationale pejlestationsnet

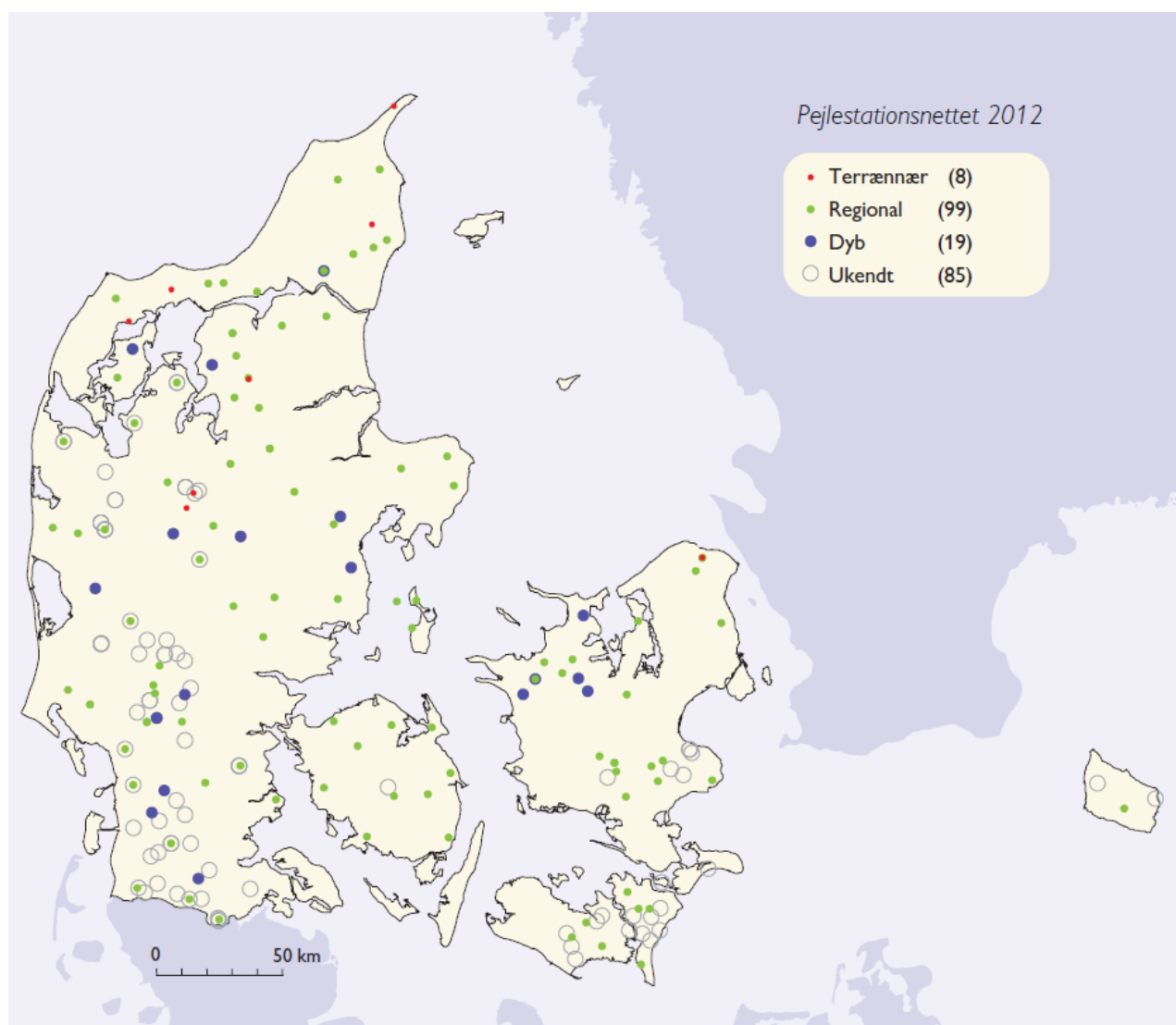
Naturstyrelsen overtog i forbindelse med kommunalreformen i 2007 ansvaret for det nationale pejlestationsnet, som på det tidspunkt blev etableret på basis af amternes meget uensartede pejleprogrammer. Det nationale stationsnet bygger på pejleboringer fra amterne suppleret med nye boringer samt ældre pejleboringer fra GEUS.

Mange tidsserier går tilbage til 1980'erne, hvor amterne etablerede flere pejlestationer i forbindelse med grundvandsovervågningen. Enkelte tidsserier går endog helt tilbage til 1950'erne eller endnu tidligere. Naturstyrelsen har i de senere år nedlagt en del pejleboringer med dårlig/ukendt konstruktion eller med åbenlys påvirkning udefra, fx fra nærliggende markvanding. Disse er erstattet med nye stationer, hvorfra tidsserierne selvsagt er meget korte.

GEUS har i 2012 etableret en tabel for det nationale stationsnet i JUPITER, som danner udgangspunktet for årets afrapportering. Stationstabellen har i den forbindelse været i høring hos

Naturstyrelsen med henblik på at sikre en korrekt beskrivelse af pejlestationerne. Det er hensigten, at oplysningerne i denne stationstabel skal danne udgangspunkt for fremtidige afrapporteringer.

Figur 54 viser pejleboringernes geografiske fordeling grupperet på henholdsvis terrænnære, regionale og dybe grundvandsforekomster. Klassifikationen af pejleboringernes placering i de 3 typer af grundvandsforekomster er baseret på indberetninger fra Naturstyrelsens enheder. I 2012 indgik der i alt 211 pejlestationer/indtag i det nationale stationsnet. I forhold til afrapporteringen i 2011 er der sket en udbygning af nettet med 71 indtag. Det fremgår, at det fortsat især er regionale grundvandsforekomster, der overvåges.



Figur 54. Stationsnet for det Nationale Pejlenet i 2012 med fordelingen på henholdsvis terrænnære, regionale og dybe grundvandsforekomster.

Måleprocedurer og datahåndtering ved indsamlingen af data

I de fleste af pejlestationerne i det nationale stationsnet findes der i dag dataloggere, som dagligt registrerer grundvandsstanden i de enkelte indtag. Stationsnettet er i 2012 suppleret med en række nye undersøgelsesboringer af høj kvalitet. Disse er etableret i forbindelse med den nationale afgiftsfinansierede grundvandskortlægning. Der er desuden kommet undersøgelsesboringer til med længere pejleserier.

Før etableringen af det nationale pejlenet i 2007 var boringerne ikke systematisk udstyret med dataloggere, og derfor ses der i de ældre tidsserier typisk 2-4 årlige pejlinger pr. indtag. I forbindelse med kommunalreformen, især i perioden 2005-2007 blev mange dataloggere taget ud af drift og erstattet med enkeltpejlinger.

Det er en udfordring at fastholde en ensartet og sammenlignelig registrering af pejletidsserier i hele overvågningsperioden. Måleaktiviteten og pejlingerne foregår over mange årtier og er meget følsomme over for ændringer i målepunkterne, deres omgivelser og i måleteknologierne. Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejlenet har et forløb, der indikerer fejl i data, der for eksempel er opstået ved ændringer i boringens indmåling, skift i målepunkt uden efterfølgende konsekvensrettelse af pejleserien eller fejl i indrapportering til JUPITER. Derudover er der i nogle helt specielle tilfælde situationer, hvor JUPITER beregner forkerte værdier for grundvandskote og nedstik (i forbindelse med ændring og/eller nyindmåling af målepunktet). Der optræder også mangler i tidsserierne, som gør beregnede pejledata mere eller mindre uanvendelige.

Det må konstateres, at der fortløbende er meningsforstyrrende mange fejl i pejletidsserierne, og at den tiltagende anvendelse af loggere tillige giver anledning til nye fejltyper i data.

Det er ofte ikke muligt at korrigerer ældre pejletidsserier, fordi dokumentationen i de oprindelige målebøger, lokaliseringsskemaer og målepunkter ikke er gemt. Den tekniske anvisning for indsamling af pejledata i felten, skulle gerne forebygge dette fremover (Thorling, 2012a). I dag kan det ikke ses af loggerdata, om de er korrigeret for variationer i det atmosfæriske tryk og i givet fald hvordan. Hvis de originale pejleserier systematisk blev indberettet og arkiveret, vil det være muligt at identificere potentielle fejl i konverteringsprocessen og korrigeret, hvis der er behov herfor (Post m.fl., 2013).

I den kommende programperiode er der derfor fortsat fokus på, at fejl og mangler udbedres.

Datagrundlag for afrapportering

Pejlingerne fra det nationale pejlenet i JUPITER danner udgangspunkt for afrapporteringen for 2012. Dataene bruges, som de foreligger i databasen. På grund af den store mængde data fra stationer med dataloggere er dataene i pejleserierne i den årlige afrapportering blevet reduceret til én pejling per døgn ved beregning af en gennemsnitlig døgnværdi.

Kvalitetsvurdering af pejletidsserier

Da pejletidsserierne er indsamlet over en lang periode og af forskellige instanser, er det nødvendigt at foretage en vurdering af deres kvalitet, inden de benyttes i afrapporteringen.

Kvaliteten og værdien af en tidsserie kan med fordel vurderes efter:

- længden af tidsserien
- hyppigheden af målinger
- aktualitet (fx målinger i 2012)
- dokumentation (lokalisering, beskrivelse af indretning, indmåling)
- konsistens mellem geologisk og hydrologisk indmåling (jordlag og vandstand)
- konsistens i pejletidsserien.

I de senere år er der i forbindelse med afrapporteringen udført en kvalitetsvurdering af samtlige pejleserier ud fra en optegning af samtlige tidsserier. Denne vurdering danner basis for en systematisk visuel kontrol af, om der i tidsserien er data fra afrapporteringsåret, om der er åbenbare datafejl, der bør rettes op, og om tidsserien er konsistent.

Pejletidsserierne skal kunne anvendes som en konsistent reference, hvorfra man kan vurdere trends uden meningsforstyrrende fejl. I den visuelle kvalitetsvurdering er pejleserierne derfor klassificeret som "usikker", hvis den indeholder spring eller "outliers", som gør, at der ikke direkte kan estimeres en retvisende trend, eller "med datafejl", hvis den indeholder meningsforstyrrende datapunkter.

I denne rapport er kvalitetssætning af pejleserierne grupperet efter deres alder. Det vil sige pejleserier med pejledata målt i perioden 2007-2012, pejleserier med pejledata målt i en væsentlig del af overvågningsperioden (pejledata fra før år 2000) og endelig lange pejleserier (defineret ved at de indeholder pejledata fra før år 1980).

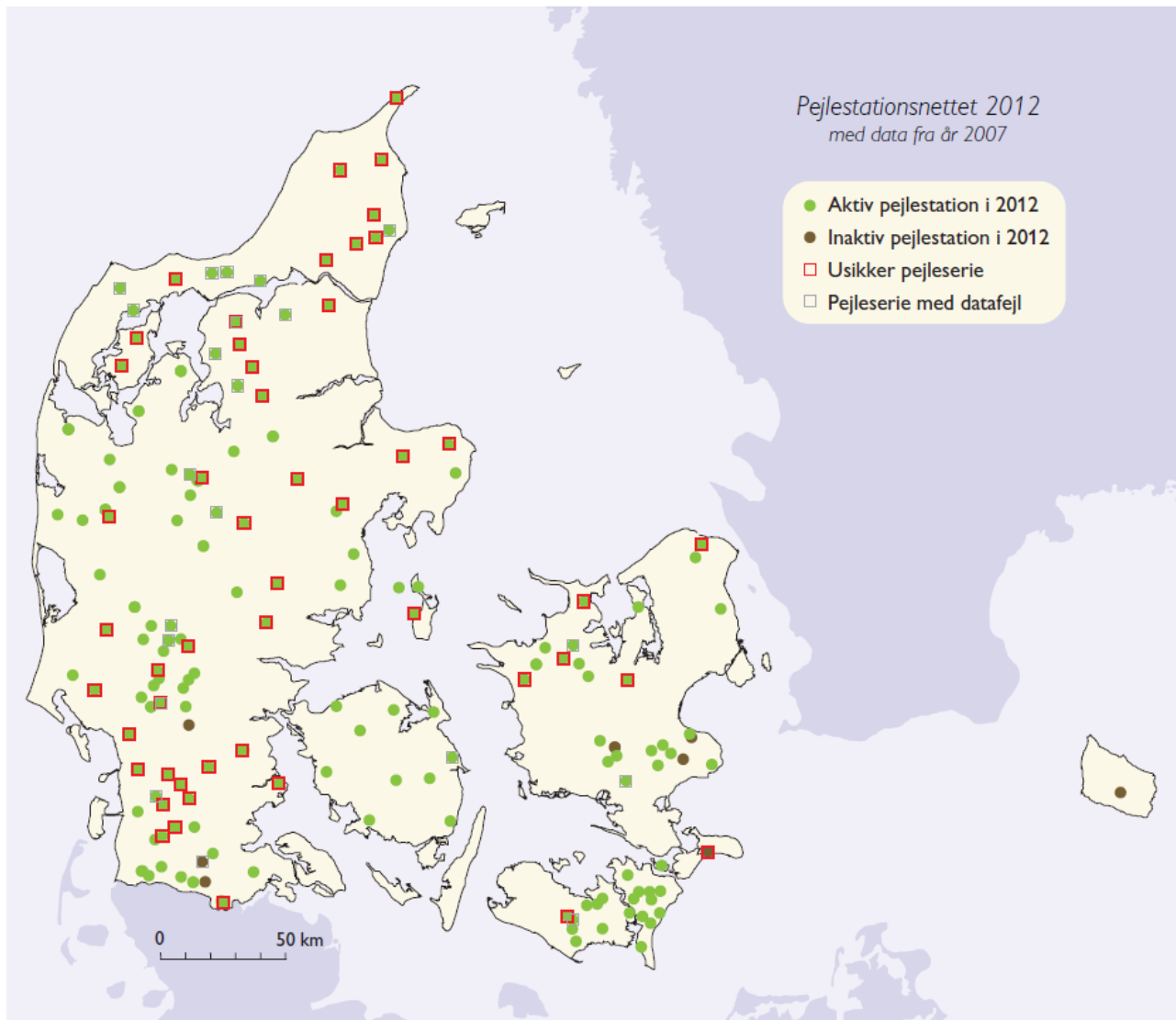
2013-analysen er foretaget med udgangspunkt i de rapporteringer, som Naturstyrelsen har indsendt til GEUS.

Af analysen fremgår, at:

- Næsten alle (198) pejlestationer er aktive i 2012
- Der findes 206 pejleserier med målinger i perioden fra kommunalreformen og til 2012, og af disse vurderes 129 (godt 60 %) af høj kvalitet
- Der findes 165 pejleserier med målinger før år 2000, af disse vurderes 52 (godt 30 %) af høj kvalitet
- Der findes 78 pejleserier med målinger før år 1980, af disse vurderes 21 (godt 25 %) af høj kvalitet.

Den geografiske fordeling af stationerne og deres kvalitet er sammenfattet på figur 55-57.

På baggrund af dataanalysen blev der i 2012 udpeget 1 lang repræsentativ tidsserie for henholdsvis terrænnære, regionale og dybe grundvandsforekomster for henholdsvis Sjælland, Fyn, Nordjylland, Vestjylland og Østjylland. Disse pejletidsserier anvendes i det efterfølgende til at vurdere tendenser i udviklingen af grundvandsstanden samt størrelsesorden på konsekvenser af påvirkninger fra klimaudvikling, større vejræssige hændelser og udefrakommende faktorer.

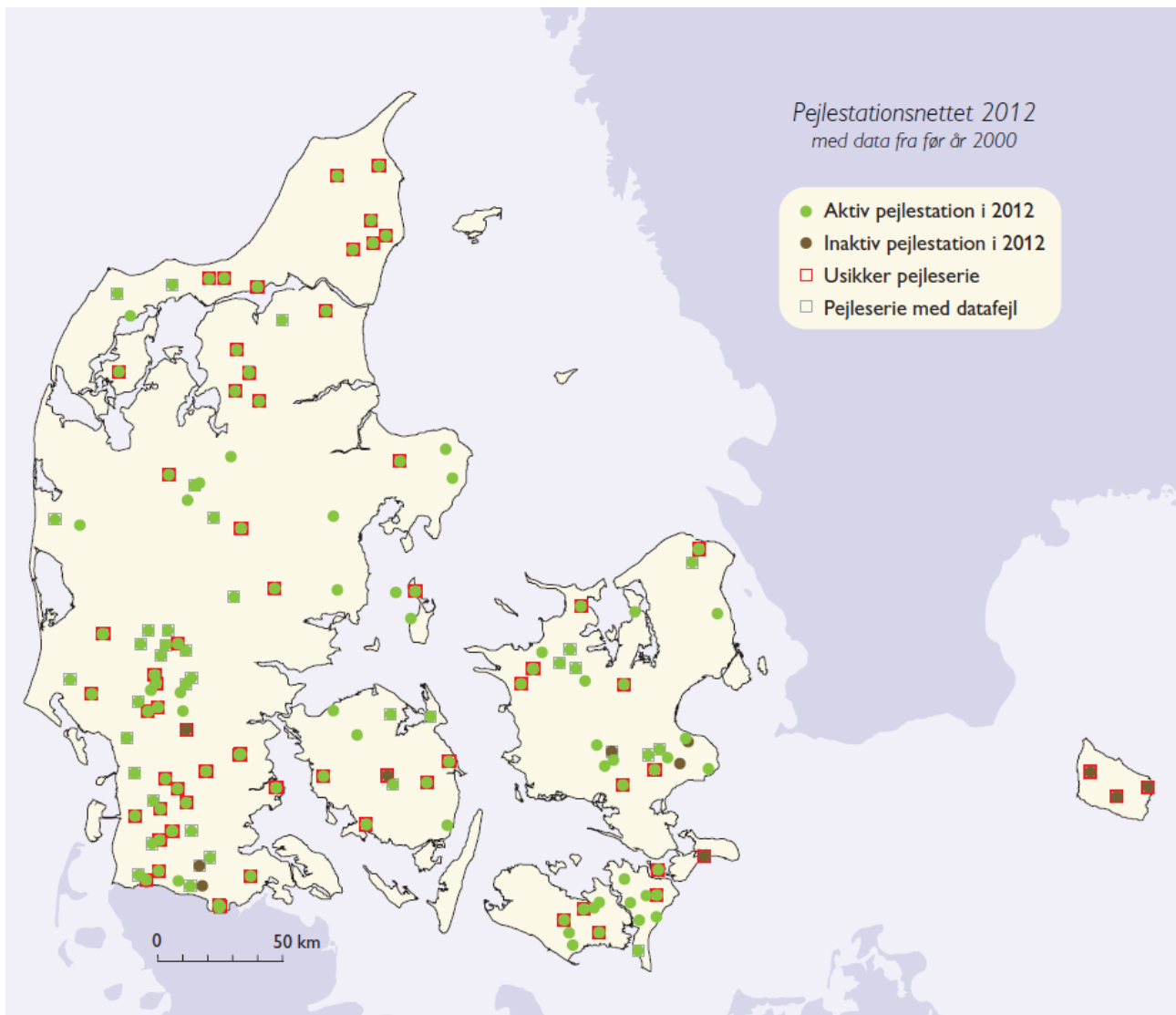


Figur 55. Det Nationale Pejlenet, tidsserier fra 2007-2012 angivet med aktuell status for aktive og inaktive stationer i 2012. Grønne signaturer uden omkringliggende firkant viser, hvor der er pejleserier af god kvalitet.

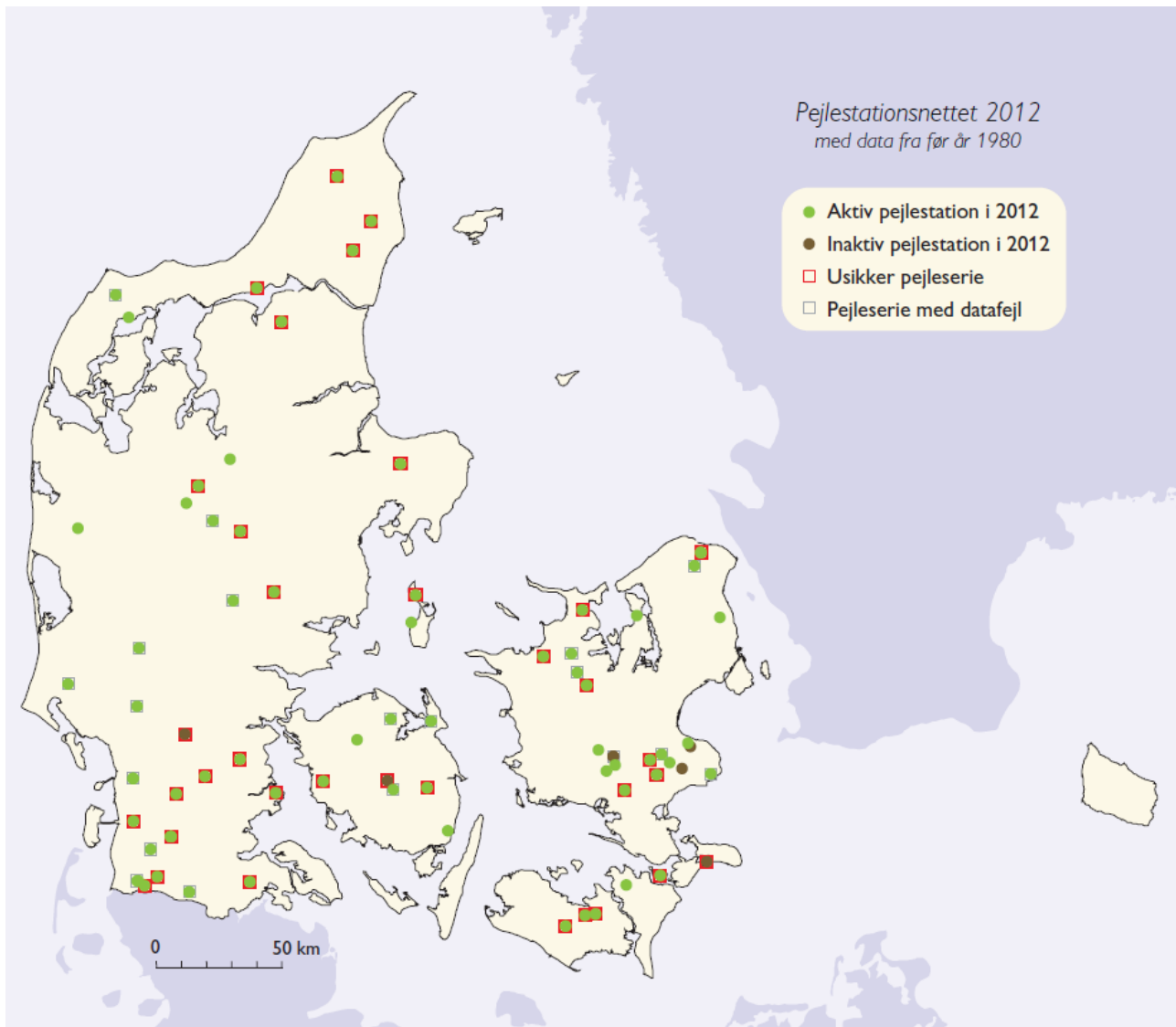
Luftrykkets betydning

Potentialet i spændte magasiner er meget følsomt over for ændringer i atmosfærens lufttryk, sammenlignet med potentialet i frie magasiner. Dette reflekteres i pejledata, idet det faktiske trykniveau for grundvandet påvirkes, den såkaldte barometereffekt, såvel som selve målingen med tryktransducer påvirkes af det atmosfæriske tryk.

I 2012 blev det i udvalgte pejlestationer undersøgt, hvorledes lufttrykket har påvirket pejletidsserier, der er målt med dataloggere. Det har her vist sig, at flere pejletidsserier er påvirket af ændringer i det atmosfæriske tryk. Det er vigtigt, at alle målte data korrigeres for den effekt atmosfæretrykket har på selve målingen. Kun derved kan effekten på ændringer i grundvandets trykniveau skelnes fra de måletekniske effekter. En forudsætning for at korrektionen kan udføres er, at der er registreret og indberettet samtidige værdier af atmosfæretrykket og pejligen, hvilket ikke altid er tilfældet.



Figur 56. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier med pejedata 2000-2012. Angivet med aktive og inaktive stationer i 2012. Grønne signaturer uden omkringliggende firkant viser, hvor der er pejleserier af høj kvalitet.



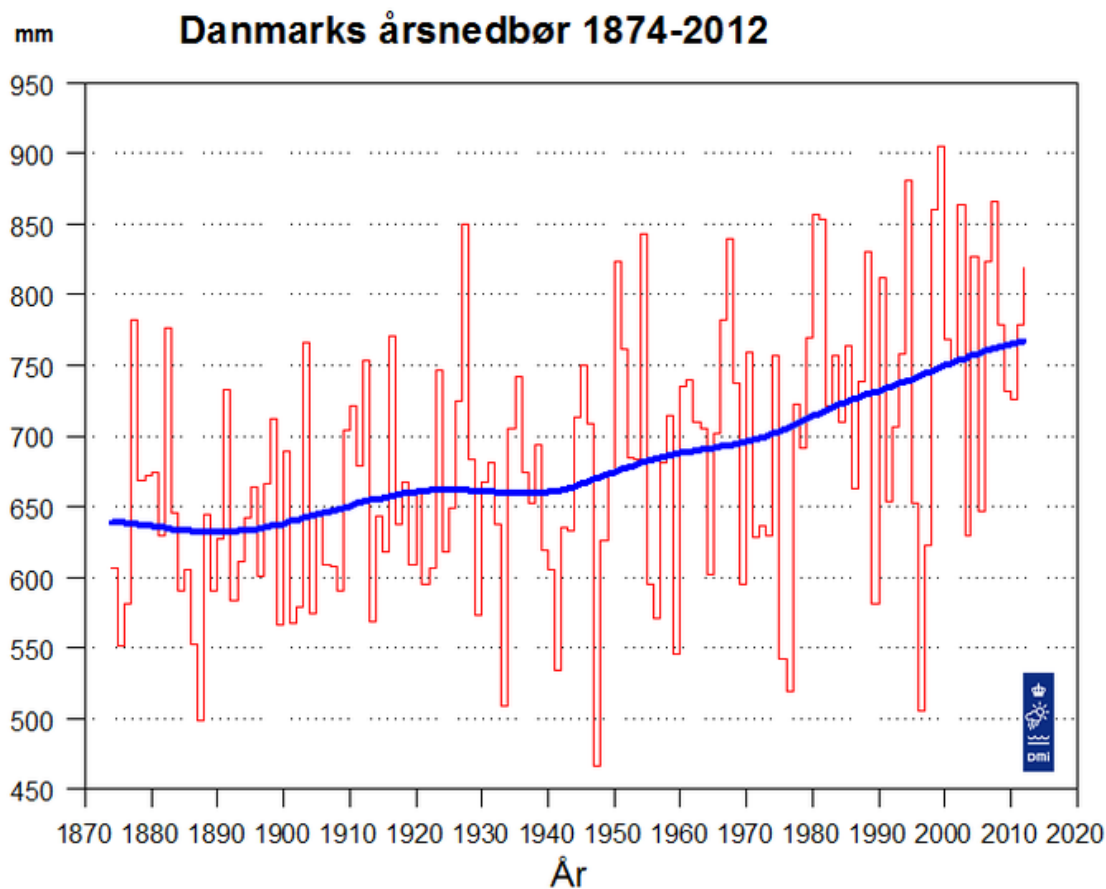
Figur 57. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier med pejledata før 1980. Angivet med aktive og inaktive stationer i 2012. Grønne signaturer uden omkringliggende firkant viser, hvor der er pejlserier af høj kvalitet.

Nedbørens betydning

Viden om mængden af nedbør, der falder fordelt over tid og sted, er nødvendig for at vurdere, om der sker klimatiske ændringer, der kan forventes at påvirke størrelsen af grundvandsdannelsen i de overvågede grundvandsmagasiner. Hvis der er god hydraulisk kontakt fra overfladen og ned til et grundvandsmagasin, vil magasinet reagere hurtigt på en nedbørsbegivenhed. Det modsatte vil gælde for et dybere magasin, hvor strømningsvejen er længere og kontakten dermed dårligere.

Af DMI's hjemmeside (DMI, 2013) fremgår, at det gennemsnitligt regner mest i det centrale Jylland med over 900 mm/år og mindst over Kattegat og Bornholm med omkring 500 mm/år. Figur 58 viser, at nedbøren de sidste 100 år har været stigende. Den gennemsnitlige årsnedbør for normalperioden 1961-1990 er beregnet til 712 mm. I perioden fra 1990-2012 har års-

nedbøren ligget omkring 745 mm, dvs. der har været en stigning på 33 mm svarende til 4,4 % af nedbøren. Temperaturen og antallet af solskinstimer er ligeledes øget i perioden.



Figur 58. Danmarks årsnedbør siden 1874. Værdierne er beregnet landsgennemsnit på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er 9 års Gauss-filtrede værdier (DMI's hjemmeside, 2013).

På trods af stigningen i årsnedbør kan det være vanskeligt på landsplan direkte at se, hvordan ændringerne i nedbøren udmønter sig i pejleserierne. Det skyldes, at noget af den ekstra nedbør strømmer af overfladisk (primært vinter nedbør), og noget fordamper som følge af højere temperaturer, hvorfor kun en del af den faldne nedbør siver ned til grundvandet.

En størrelsesorden på stigningen i grundvandsstanden som følge af 100 mm ekstra nedbør kan groft beregnes til $\frac{1}{2}$ m, forudsat der er et porevolumen på 30 %. En sådan stigning vil typisk forekomme, hvor der er frie sandmagasiner i nedsivningsområderne. Derimod er det vanskeligere at beregne effekten i udstrømningsområderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der omvendt lokalt kan forekomme dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.

Nedbøren falder ikke jævnt over året eller på landsplan, og det er – foruden langsigtede tendenser - vigtigt at vurdere effekten af årsvariationer og ekstremhændelser, fx tørre perioder. I 1980'erne konstateredes øget nedbør i en længere årrække, og der har omvendt været 2 markante nedbørsfattige hændelser siden pejleserierne påbegyndtes, hvor årsnedbøren var

under 2/3 af det normale, nemlig i 1975-976 og i 1996. Den første tørre periode resulterede i øgede investeringer i markvandingsanlæg, som også efterfølgende gav sig udslag i planlægningsmæssige tiltag for at undgå uønskede effekter på grundvand og vådområder.

Som følge heraf er det i de følgende afsnit analyseret, hvordan udvalgte repræsentative pejle-tidsserier reagerer over tid. I de viste tidsserier over grundvandsstanden er det relevant at kigge efter den landsdækkende konsekvens af stigende nedbør generelt og i 1980'erne, og den landsdækkende konsekvens af de ekstremt tørre perioder i 1975-76 og i 1996.

Betydning af indvinding

Udviklingen i indvinding er beskrevet i denne rapport's kapitel 8. Det generelle fald i den samlede indvinding må her forventes at give anledning til en stigende vandstand. Tørre forår og somre, hvor der pågår markvanding, vil kunne medføre, at grundvandsstanden sænkes om sommeren og vise sig som større forskel mellem sommer- og vintervandstand.

Det er i en tidligere GRUMO-rapport (Thorling, m.fl., 2011) vist, at der er en tydelig påvirkning af grundvandsstanden fra vandindvinding i en pejleboring fra Sjælland. Denne pejleboring er oprindeligt etableret af et af de større vandselskaber, og forløbet af vandspejlet afspejler tydeligt, hvor den store indvinding i starten af 1970'erne til den efterfølgende reduceredes i 1990'erne, hvor øget miljøbevidsthed og indførelse af vandafgifter har bevirket et markant fald i det danske vandforbrug.

Grundvandsstand i terrænnære grundvandsforekomster

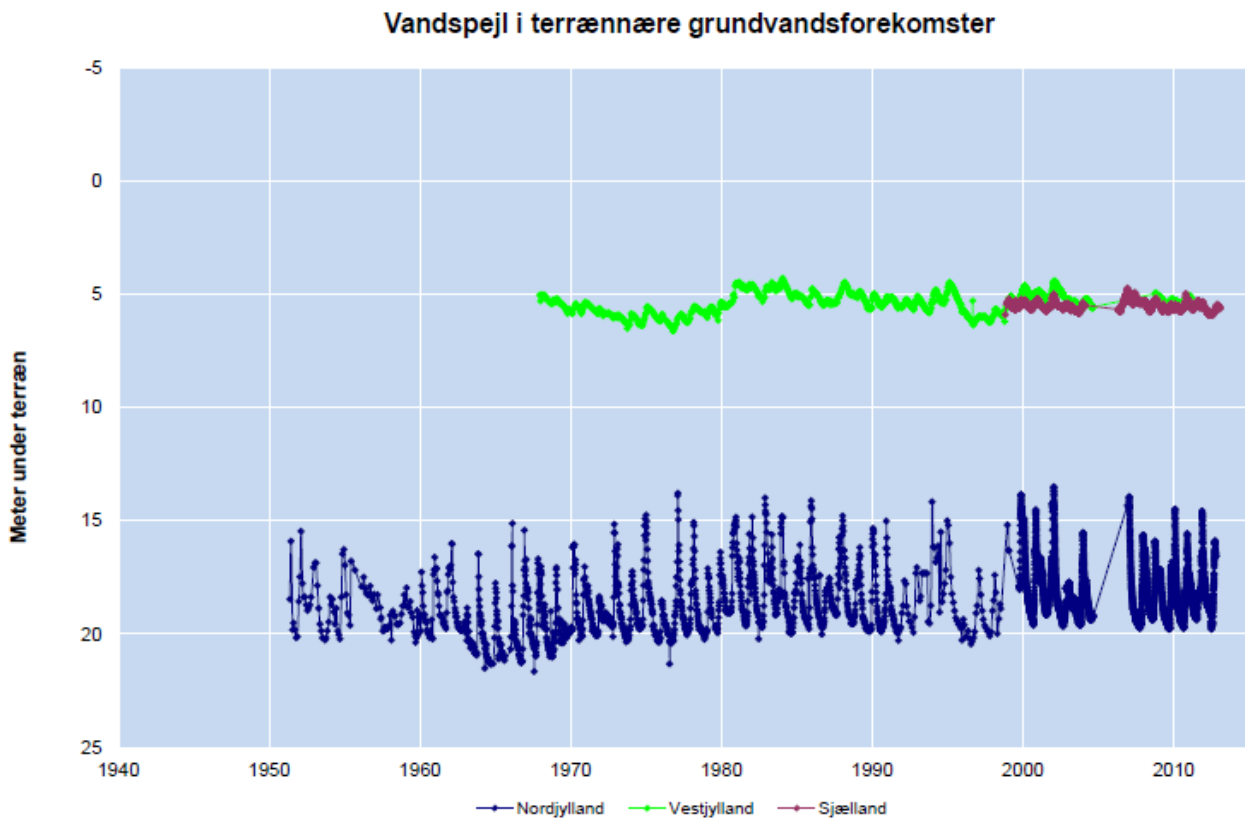
Terrænnære grundvandsforekomster er defineret som grundvandsforekomster, der rummer sand fra terræn, og som har direkte kontakt til overfladevand (MST, 2007). Der forekommer dog i praksis også terrænnære forekomster i kalkbjergarter, som i nedenstående eksempel.

I Det Nationale Pejlenet er 8 ud af de 211 pejleindtag placeret i terrænnære grundvandsforekomster. Heraf er der 7 i Nord- og Kronjylland, 1 på Sjælland, mens der ingen er på Fyn og i Midt- og Sydjylland.

Udviklingen i dybden til grundvandsspejlet for terrænnære grundvandsforekomster er præsenteret ved følgende 3 pejleserier:

- Nordjylland: DGUnr. 30.494 indtag 1 (Kalk/kridt).
- Vestjylland: DGUnr. 75.714 indtag 1 (Ukendt, men formentlig kvartært sand).
- Sjælland: DGUnr. 182.402 indtag 1 (Kalk/kridt).

Figur 59 viser pejleserier for perioden 1940-2012. De viste pejleserier er målt i såvel kvartære som prækvartære magasiner. Grundvandsstanden ligger ned til 22 m u.t.



Figur 59. Pejletidsserier (grundvandstand i m u.t.) for terrænnære grundvandsforekomster.

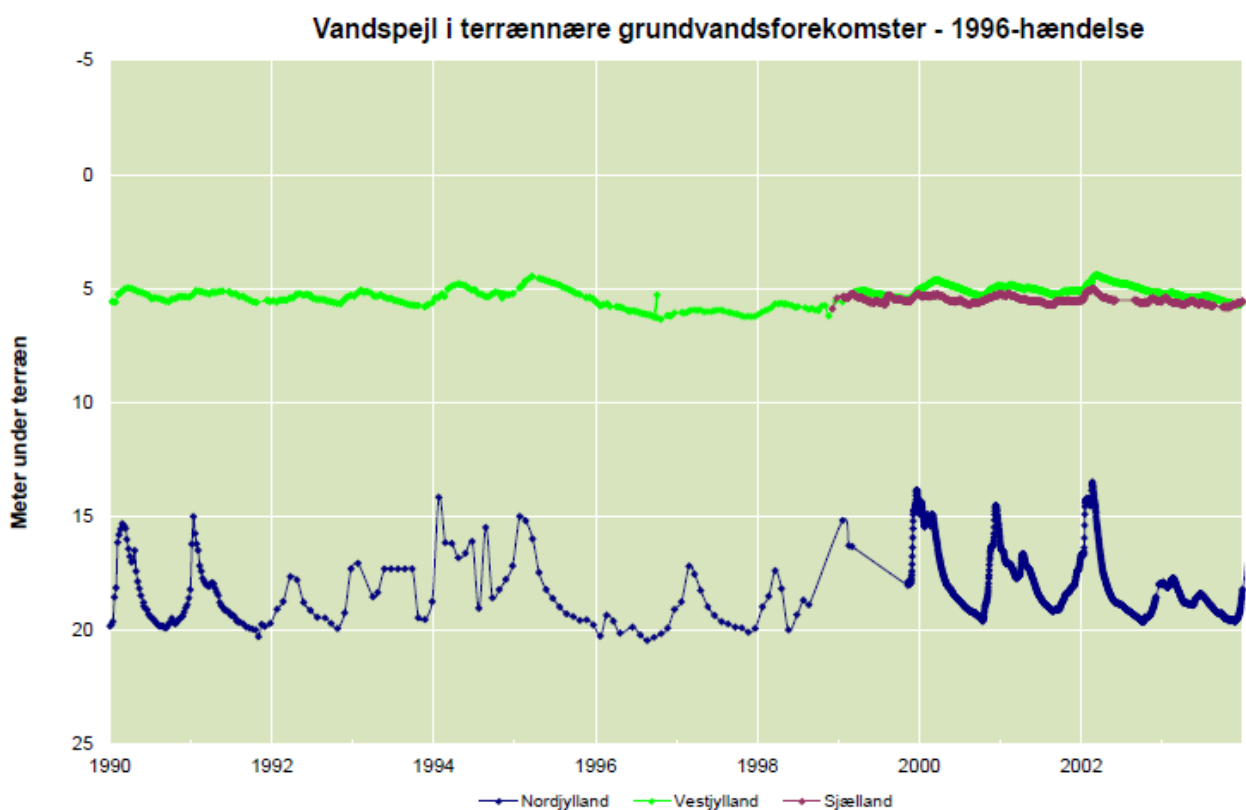
Langsigtet udvikling. Den vestjyske og sjællandske pejletidsserie viser samme overordnede forløb og stor overensstemmelse. Den nordjyske pejleserie har stor amplitude/udsving hen over året. Niveaueet på grundvandsstanden varierer inden for 2-3 m inden for perioden.

Årsvariationen for den sjællandske og vestjyske serie ligger typisk inden for 2 m, mens den nordjyske serie har et årligt udsving på op til 6 m.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som en hævnning af grundvandsstanden på op til 1-2 m.

Påvirkning fra tørre perioder ses i 1975-76 og i 1996 ved et fald i vandstanden på 1-2 m 3-4 år efter hændelsen. I den nordjyske pejleserie iagttages der kun et fald i vandstanden i den efterfølgende vinter (årsudsvinget), mens den ikke umiddelbart er synlig i den vestjyske pejleserie.

Figur 60 viser et udsnit af pejleserien (måleperiode 1990-2004), der illustrerer effekten af tørkeperioden i 1996. Pejleserierne for Østjylland og Sjælland dækker ikke de omtalte perioder.



Figur 60. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) for terrænnære grundvandsforekomster. Figuren er et udsnit (1990-2004) af figur 59 og fremhæver påvirkning fra den tørre periode i 1996.

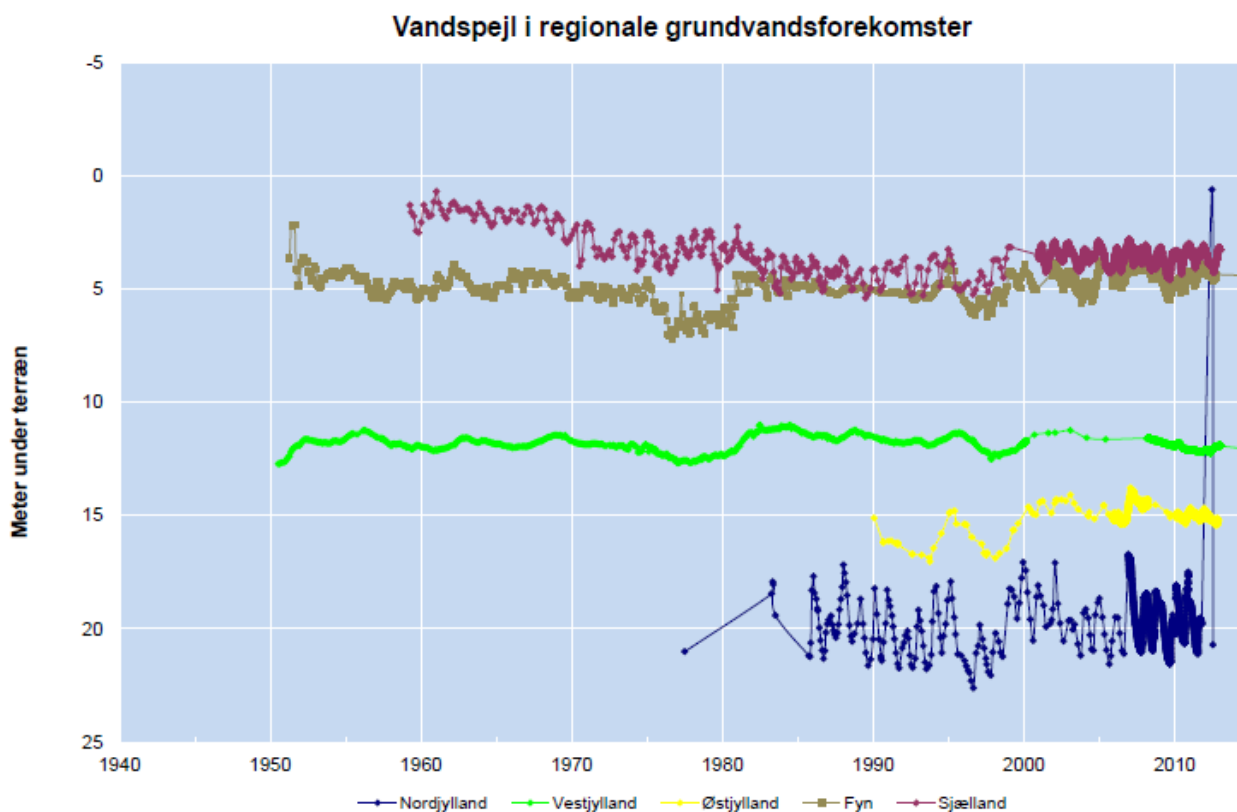
Grundvandsstanden i regionale grundvandsforekomster

Regionale grundvandsforekomster er defineret som grundvandsforekomster, der har en vis kontakt til vandløb og vådområder (MST, 2007). Langt størsteparten (99 af 211) af pejleindtagene i Det Nationale Pejlnet er sat i regionale grundvandsforekomster.

Udviklingen i dybden til grundvandsspejlet for regionale forekomster er præsenteret ved følgende 5 pejleserier:

- Nordjylland: DGUnr. 22.368 indtag 1 (Kalk/kridt).
- Vestjylland: DGUnr. 66.230 indtag 1 (Grus/sand).
- Østjylland: DGUnr. 71.483 indtag 1 (Kalk/kridt).
- Fyn: DGUnr. 136.34 indtag 1 (Kvartært sand).
- Sjælland: DGUnr. 21.272 indtag1 (Kalk/kridt).

Figur 61 viser pejleserierne for perioden 1940-2012. De viste pejleserier er målt i såvel kvar-tære som prækvartære magasiner. Grundvandsstanden ligger ned til 23 m u.t. Vandstanden i den sjællandske pejleboring ser ud til at være påvirket af vandindvinding.



Figur 61. Pejletidsserier (vandstand i m u.t.) for regionale grundvandsforekomster.

Langsigtet udvikling. Der er vist 3 lange og 2 kortere pejleserier (Nord- og Østjylland). Forløbet af pejleserierne udviser forskellige udsving, hvilket vidner om forskellig påvirkning.

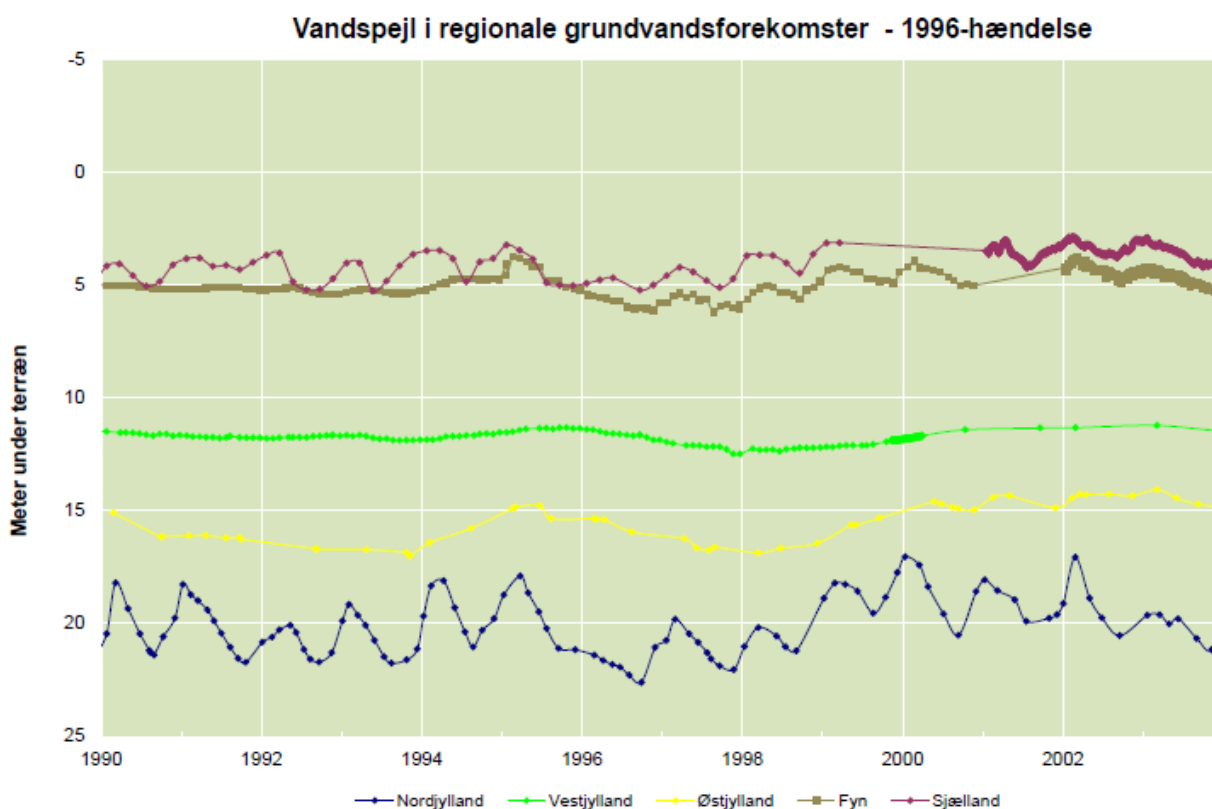
Den østjyske pejleserie udviser en stigende tendens (1-2 m), mens dette ikke er tilfældet i den fynske og vestjyske pejleserie.

Årsvariationen udgør 4-6 m i den nordjyske pejleserie, 2-3 m i den sjællandske og blot 0,5-1 m i de øvrige.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som en svag stigning (1 m) i den vestjyske serie.

Påvirkning fra den tørre periode i 1975-76 ses i op til 3-4 år efter i den fynske og vestjyske pejleboring, hvor der var et fald i vandstanden på 2-3 m.

Påvirkningen af den tørre periode i 1996 afspejler sig forholdsvis ensartet med en sænkning af vandstanden flere år efter i alle pejleserier, se figur 62. I Nordjylland påvirkes vandspejlet ved, at vandstandsstigningen den følgende vinter (årsudsvinget) falder kraftigt fra de normale 4-6 m.



Figur 62. Pejletidsserier (vandstand i m u.t.) for regionale grundvandsforekomster. Figuren er et udsnit (1990-2004) af figur 61 og fremhæver effekten af den tørre periode i 1996.

Grundvandsstanden i dybe grundvandsforekomster

Dybe grundvandsforekomster er defineret som grundvandsforekomster, der har ringe eller ingen kontakt til vandløb og vådområder (MST, 2007).

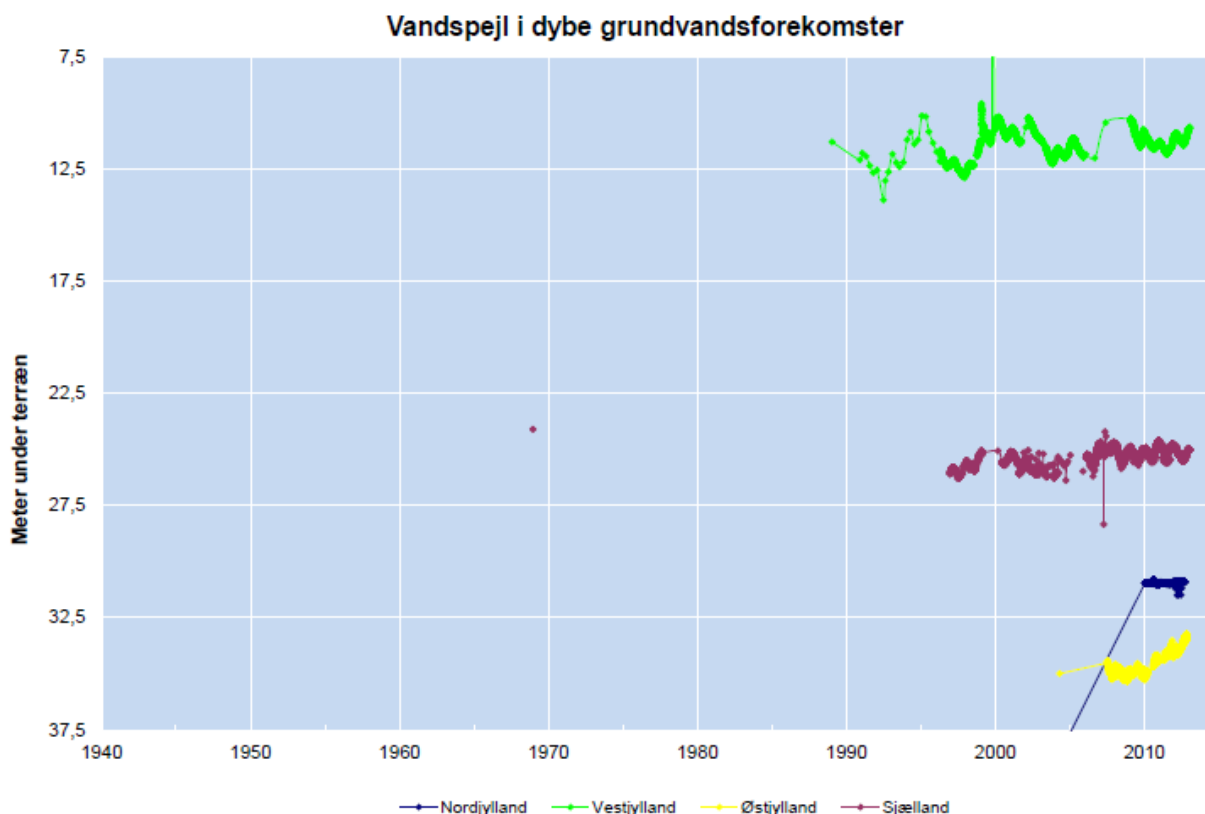
Ud af 211 pejleindtag i det nationale pejlenet er 19 sat i dybe grundvandsforekomster. De fleste af disse pejleboringer findes i Midtjylland og Vestsjælland, der findes ingen på Fyn.

Udviklingen i dybden til grundvand for dybe forekomster er præsenteret ved følgende 4 pejleserier:

- Nordjylland: DGUnr. 39.929 indtag 1 (Kalk/kridt).
- Vestjylland: DGUnr. 123.874 indtag 1 (Prækvartært sand).
- Østjylland: DGUnr. 99.633 indtag 1 (Kvartært sand).
- Sjælland: DGUnr. 205.336 indtag 1 (Kvartært sand).

Figur 63 viser pejleserierne for perioden 1940-2011. De viste pejleserier er målt i såvel kvartære som prækvartære magasiner. Grundvandsstanden er målt mellem 10 og 40 m u.t.

Dataanalysen viser, at den første del af den nordjyske pejleserie er usikker, ligesom der er flere fejlagtige datapunkter i den vestjyske og sjællandske pejleserie.



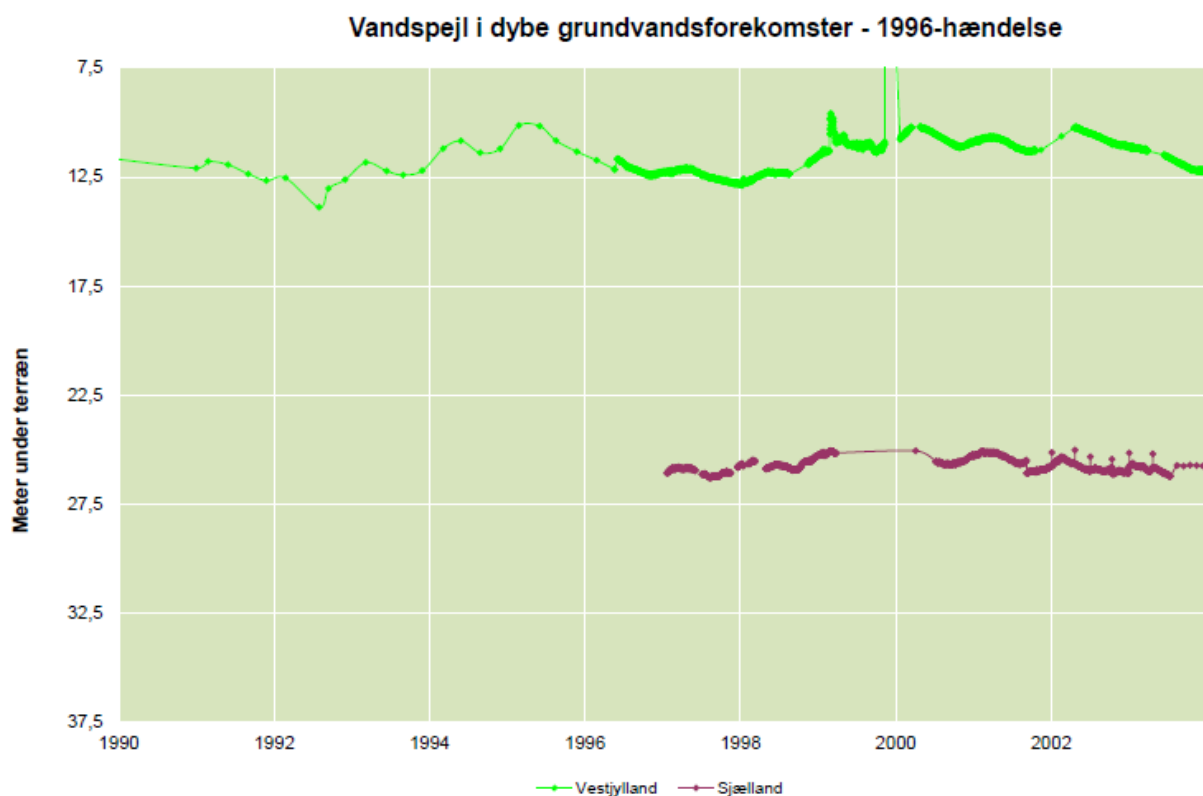
Figur 63. Pejletidsserier (vandstand i m u.t.) for dybe grundvandsforekomster.

Langsigtet udvikling. Forløbet af pejletidsserierne er forskelligartet, hvilket vidner om forskellig påvirkning. Da de 4 pejleserier er forholdsvis korte, er det ikke muligt at vurdere langsigtede tendenser fx som følge af stigende nedbør.

Årsvariation. Pejletidsserierne for Vestjylland og Sjælland er påvirket af årstidssvingninger (1-2 m), for Nordjylland er den ca. 1 m. Der er ikke nævneværdig årstidsvariation i den øst- og nordjyske pejleserie.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne. Tidsserierne er generelt korte. Der er derfor ikke tilstrækkeligt materiale til at vurdere, om der er en stigning i vandstanden.

Påvirkning fra tørre somre. Påvirkningen af den tørre periode i 1996 viser sig i den vestjyske pejleserie med en sænkning af vandstanden i 3 år efter, se figur 64. Der er ikke tilstrækkeligt materiale til at udtale sig om påvirkning af de øvrige pejletidsserier.



Figur 64. Pejletidsserier (vandstand i m u.t.) for dybe grundvandsforekomster. Figuren er et udsnit (1990-2004) af figur 63 og illustrerer effekten af den tørre periode i 1996.

Sammenfatning, Det Nationale Pejlenet

På baggrund af de 211 pejlestationer, som udgør Det Nationale Pejleprogram, overvåges og følges grundvandsstanden over hele landet i terrænnære, regionale og dybe grundvandsforekomster. Stationsnettet bliver i denne programperiode (2011-15) revideret og udbygget, således at stationsnettet fremover bedre kan repræsentere og dække relevante grundvandsforekomster over hele Danmark og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet, (EU, 2000). Se også kapitel 2.

Datakvaliteten i Det Nationale Pejlenet er ikke tilfredsstillende, idet kun halvdelen af pejletidsserierne fra det nuværende pejlestationsnet vurderes af god kvalitet. Det er konstateret mange fejl ved indberetningen af data, dels i selve databasen, men også fordi JUPITER i særlige tilfælde laver fejlregning. Naturstyrelsen og GEUS vil i den kommende tid fortsat have fokus på datakvalitet og søge at rette op på procedurer for indberetning, kvalitetskontrol og lagring af baggrundsinformation for fremadrettet at få bedre udnyttelse af de indsamlede peyledata, blandt andet gennem udarbejdelse af tekniske anvisninger for dataarbejdet. I det omfang der foreligger viden og grunddata, vil der blive søgt rettet i tidligere indberetninger, så flest mulige data fra Det Nationale Pejlenet kan anvendes til overvågningsopgaven fremover.

Klimafaktorer (lufttryk, nedbør og temperatur) og indvinding kan påvirke grundvandsstanden. DMI har observeret en stigende nedbør over de seneste 100 år, som må forventes at have en positiv effekt på grundvandsstanden og dermed den tilgængelige grundvandsressource. Ned-

børen er således steget 4,4 % fra dekadeopgørelsen 1961-90 frem til perioden 1991-2010 svarende til 33 mm.

GEUS har vurderet repræsentative lange pejleserier indenfor 5 geografisk definerede områder og henholdsvis regionale, dybe og terrænnære grundvandsforekomster. Herudfra er noteret følgende tendenser:

- Langsigtet udvikling. Flere, men ikke alle lange pejletidsserier, viser svag stigning i grundvandsstand, i overensstemmelse med at nedbøren generelt har været stigende.
- Årsvariation. Tidsserierne viser en årsvariation på op til 6 m. I samme pejletidsserie ses en tendens til stigende årsudsving.
- Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som en hævnning af vandspejlet på op til 2 m.
- Påvirkning fra tørre perioder. I den observerede periode har der været to nedbørsfattige hændelser i 1975-76 og 1996, som afstedkom øget markvandingsbehov. Disse hændelser slår tydeligst igennem i 3-4 år efter i flere af tidsserier for de regionale og dybe grundvandsforekomster, hvor grundvandsstanden nogle steder afsænkes op til 3 m og andre steder ikke – som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.
- Påvirkning fra indvinding er konstateret i tidligere afrapporteringer og også i den viste pejleboring sat i den regionale grundvandsforekomst fra Sjælland, men ikke specifikt undersøgt i dette års afrapportering.

Referencer. Det Nationale Pejlenet

Dansk og EU lovgivning, vejledninger mv.

EU, 2000: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)

Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009 af Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)

Miljøstyrelsen, 2007: Revision af udpegningen af grundvandsforekomster i Danmark. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 6, 2007

Andre referencer

DMI, 2013: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (5-11-13)

Mielby, S., Ditlefsen, C., og Olesen, H., 2009: Geovejledning 4. Potentialekortlægning. Vejledning i udarbejdelse af potentialekort. GEUS, 2009:

Post, V.E.A. og von Asmuth, J.R., 2013: Hydraulic head measurements – new technologies, classic pitfalls. Hydrogeology Journal nr. 21, 2013, p. 737-750.

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf. (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Links:

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10.2013)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

10 Referencer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

- Arbejdstilsynet, 2000: AT-vejledning C1.1. juli 2000. Vejledning om stoffer og materialer, Kemiske agenser.
- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010
- Miljøministeriet, 2007 Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1449 11. december 2007 (Drikkevandsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2007: Dataansvarsaftalen
<http://internet.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalen%20Bilag%203%20Grundvand.pdf> (5-11-13)
- Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009. Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)
- Miljøministeriet, 2009a: LBK nr. 1427 af 04/12/2009. Bekendtgørelse af lov om forurenede jord (Jordforureningsloven)
- Miljøministeriet, 2010: LBK nr. 635 af 07/06/2010 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)
- Miljøministeriet, 2010: Bekendtgørelse nr. 1022 af 25. august 2010 om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet.
- Miljøministeriet, 2011a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900, 17. august 2011 (analysekvalitetsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2012: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1277 af 12. december 2012. (Drikkevandsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2013: Database - Kvalitetskrav for overfladevand Naturstyrelsen database for kvalitetskrav for overfladevand.
www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Havet/Havmiljoet/Kvalitetskrav+for+overfladevand/Database/ (5-11-13)
- Miljøstyrelsen, 1990: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.
- Miljøstyrelsen, 1991: Overfladeaktive stoffer – spredning og effekter i miljøet. - Miljøprojekt nr. 166.
- Miljøstyrelsen, 1995: Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og vand - Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen 12/1995.
- Miljøstyrelsen, 1997: Boringskontrol på vandværker. - Vejledning fra Miljøstyrelsen 2/1997.
- Miljøstyrelsen, 1998: Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6, 1998.
- Miljøstyrelsen, 1999: Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Vandfonden. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17/1999.
- Miljøstyrelsen 2000: Zonering. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)
- Miljøstyrelsen, 2005: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 2005.
- Miljøstyrelsen, 2007: Revision af udpegningen af grundvandsforekomster i Danmark. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 6, 2007
- Miljøstyrelsen, 2010: Bekæmpelsesmiddelstatistik 2009, Orientering fra Miljøstyrelsen, 8, 2010
- Miljøstyrelsen, 2010a: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". (5-11-13)
www.mst.dk/NR/rdonlyres/95E72216-4024-4881-AE3A-5FA05E2A486F/84000/MaSt01forsuringkvvBATbladudenkor.pdf
- Miljøstyrelsen, 2012a: Redegørelse om jordforurening 2010. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 1, 2012.
- Miljøstyrelsen, 2012b: Faktaark: Pentachlorphenol (PCP).
- Naturstyrelsen 2011a: www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/1594CEE0-33E2-42CF-8015-F3F17123F4C9/0/2_3_Oeresund_vandplan_20dec_2011.pdf (5-11-13)
- Naturstyrelsen 2011b: www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/E29AE587-D7B9-490B-B306-51CC46EE1A83/0/1_13_OdenseFjord.pdf (5-11-13)
- Naturstyrelsen, Vestjylland Vand, 2012: Fund af nonylphenoler i Grundvandsovervågningen. Notat af 13. april 2012. Ref. KiHar
- Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse
www.naturstyrelsen.dk/NR/rdonlyres/865F26DE-5C14-4439-9943-339A647FAEC4/121155/NOVANA_2del.pdf (5-11-13)

EU- direktiver

- EU, 1980: Rådets direktiv 80/778/EØF af 15. juli 1980. (1. version af Drikkevandsdirektivet)
- EU, 1991: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, de stammer fra landbruget. (Nitratdirektivet)
- EU, 1998: Europaparlamentets og Rådets direktiv nr. 98/83/EF om kvaliteten af vand til drikkevand. (Drikkevandsdirektivet)
- EU, 2000: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)
- EU, 2006: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Grundvandsdirektivet)

EU, 2009: Kommissionens direktiv 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 200/60/EF. P1-36. (Analysekvalitetsdirektivet)

EU, Scientific Committee on Consumers Safety, 2009: Updated revised request for a scientific opinion following the new classification of some boron compounds as mutagenic and/or toxic to reproduction according to the Commission Regulation 790/2009

http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/consumer_safety/docs/sccs_g_020.pdf (5-11-13)

Andre referencer

Adriano, D. C., 2001: Trace elements in terrestrial environments (2. edition). Springer Verlag.

Albers, C.N., Laier, T. & Jacobsen, O.S., 2008: Vertical and horizontal variation in natural chloroform in two adjacent soil profiles in a coniferous forest. Geo-Environment and Landscape Evolution III. 16-18 June, 2008. Southampton, United Kingdom. Wessex Institute of Technology. Proceedings of the third international Conference on evolution, monitoring, simulation, management and remediation of the geological environment and landscape, 161-170.

Albrectsen, J._H., og Bjerg, B.L., 2000: Nedbrydning i grundvandsmiljøer. – Kemiske stoffer i miljøet (red. Helweg, A.)

Arbejdsmiljøsekretariatet, Det grafiske Branchesikkerhedsråd 198,4 Orientering 4: om stoffer og materialer:

www.grafiskbar.dk/publikationer/historisk-arkiv/aromatiske-kulbrinter/ (5-11-13)

Beredskabsstyrelsen, 2013: faktaark om Vinylklorid. www.kemikalieberedskab.dk/upload/ik/1623.pdf (5-11-13)

Brüsch, W. og Villholt, K. G., 2011: Punktkilders påvirkning af grundvandsressourcens kvalitet. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt Nr. 1395 2011

Christensen L., S. Marcher, V. Møller, W. Brüsch, A. Rosenbom, A. Duer, M. Bach Madsen & M. Skriver, 2013: Bentazon. Anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.

Committee on Toxicity, 2003: www.food.gov.uk/multimedia/pdfs/evm_nickel.pdf (5-11-13)

DANVA, 2006: Vandstatistik. Drikkevand og spildevand 2005.

DGU, 1989: Jordartskort over Danmark 1:200.000. Sjælland, øerne og Bornholm

DMI, 2013: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (5-11-13)

DMU, 2007: NOVANA – det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508

DMU, 2009: Kvalitetssikring af kemiske analyser i NOVANA.

Elkjær, Lars, Hans Ole Hansen, Liselotte Ludvigsen, Marianne Marcher Juhl, Mette Skougaard, Claus Kirkegaard, John Bastrup, Jens Baumann, Flemming Larsen, Liselotte Clausen, Niels P. Arildskov, Peter R. Jørgensen, Jens Kistrup & Niels Henrik Spliid, 2002: Pesticider og vandværker. Udredningsprojekt om BAM forurening. Hovedrapport. Miljøprojekt Nr. 732, 2002.

Friberg, N., 1998: Skov og skovvandløb. Tema rapport nr. 21 fra DMU. 1998.

Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer I flydende husdyrgødning.

Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsen V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særudgivelse. <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20091217.pdf>

Hansen, B., Rasmussen, B.B., Sivertsen, J., Sørensen, E., Kristoffersen, V. & Christensen, K.S., 2010. Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP). Særudgivelse fra GEUS.

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

Hansen, B., Dalgaard, T., Thorling, L., Sørensen, B. & Erlandsen, M., 2012. Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. Biogeosciences, vol. 9, 5321-5346, 2012.

Hinsby, K., Purtschert, R., Edmunds, W.M., 2008: Groundwater age and quality. In P. Quevauviller (ed.), Groundwater Science and Policy - an International Overview. RSC Publishing, The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 217-39.

Hyung-Sik et al 2004: www.snupharm.ac.kr/lbj/erp/erpmenu/professor_thesis/upLoadFiles/29.pdf (5-11-13)

Hvid, S. Kolind, 2011., Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (5-11-13)

Jacobsen, O.S., Laier, T., Juhler, R.K., Kristiansen, S.M., Dichmann, E., Brinck, K., Juhl, M.M, Grøn, G., 2007: Forekomst og naturlig produktion af chloroform I grundvand. BLST, 2007 120 pp.

Jensen, T. F. m.fl., 2003: Nikkelfrigivelse ved pyritoxidation forårsaget af barometerånding., Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 5, 2003.

Knudsen, C., 1999: Nikkel i grundvand. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Rapport 1999/57.

Kudsk, P., 1999: Danmarks Jordbrugsforskning, Flakkebjerg. <http://www.fsps.dk/planteavl/Additivers%20indflydelse.htm>

Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.

- Laier, T., Jacobsen, O.S., Thomsen, O., Grøn, C., Hunkeler, D. & Laturus, F. 2005: Chloroform production in spruce forest soils - a potential problem for groundwater use in drinking water supply in Denmark. EGU General Assembly 2005. 24-29 April, 2005. Vienna, Austria. European Geosciences Union. Geophysical Research Abstracts 7
- Langtofte, C., 1994: Danske aflejrings sporelementindhold. En status. GEUS – DGU Datadokumentation nr. 7, 1994, 3. genoptryk.
- Larsen, C.L. og Larsen, F., 2003: Arsen i danske sedimenter og grundvand. Vand og Jord 10. årgang nr. 4, side 147-151.
- Mielby, S., Ditlefsen, C. og Olesen, H., 2009: "Geovejledning 4. Potentialekortlægning. Vejledning i udarbejdelse af potentialekort". GEUS, 2009:
- Naturstyrelsen, Miljøcenter Nykøbing Falster, 2009: Grundvandskortlægning Nord- og Midtfalster. Trin 1. http://www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vand-i-hverdagen/Grundvand/Grundvandskortlaegning/regional_status/Naturstyrelsen_Storstrom/Nord_midtfalster.htm
- Post, V.E.A. og von Asmuth, J.R., 2013: Hydraulic head measurements – new technologies, classic pitfalls. Hydrogeology Journal nr 21, 2013, p. 737-750.
- Qevauviller, P., 2005: Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs. J. environmental monitoring, 2005, vol 7 pp89-102.
- Storstrøms Amt, 2000: Redoxboring Sibirien. Teknik- og Miljøforvaltningen, Jord og Grundvand.
- Storstrøms Amt, 2003: NOVA 2003 – Grundvandsovervågning 2002. Teknik- og Miljøforvaltningen, Jord og Grundvand.
- Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (5-11-13)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)
- Thorling, L., Hansen, B. og Magid, J., 2010: Opløst organisk fosfor i grundvand? Vand og Jord pp. 20-23, vol. 17, feb. 2010.
- Tuxen N., Roost, S., Kofoed, J.L.L., Aisopou, A., Binning, P.J., Chambon J., Bjerg, P.L., Thorling, L., Brüsck, W. og Esbensen, K., 2013. Skelnen mellem pesticidkilder. Miljøprojekt nr. 1502, Miljøstyrelsen 2013.

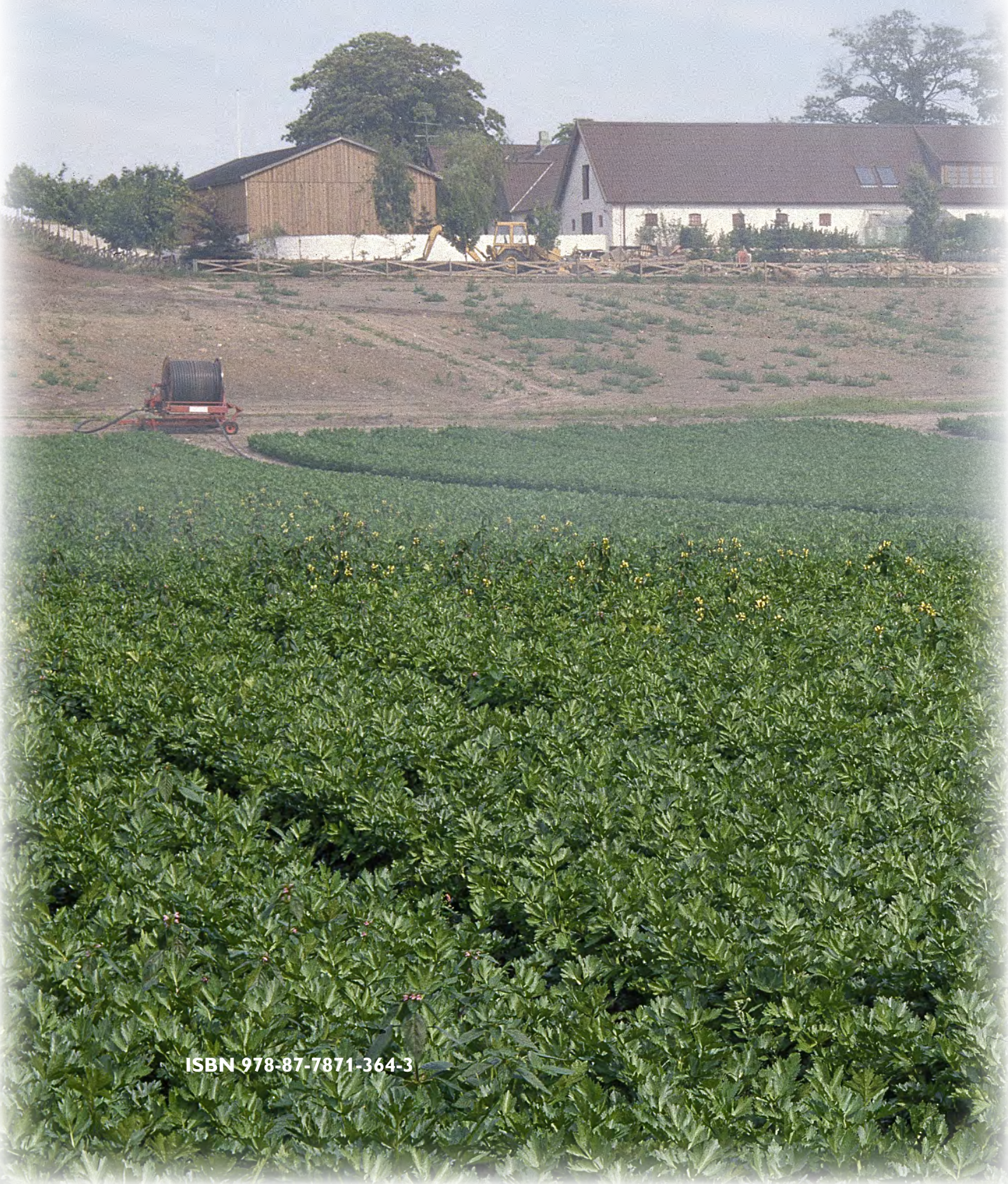
Links og hjemmesider:

- Arbejdstilsynets hjemmeside www.arbejdstilsynet.dk/da/ (5-11-13)
- BRIDGE-Background Criteria for the Identification of Groundwater Thresholds (<http://nfp-at.eionet.europa.eu/irc/eionet-circle/bridge/info/data/en/index.htm>) (5-11-13)
- DMI, Dansk meteorologisk institut, hjemmeside: www.dmi.dk (1-10-13)
- Energi og olieforum, 2012: www.eof.dk/Home/OM.aspx
- GEUS, 1998 : www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html . (5-11-13)Viden om grundvand. Vandets kredsløb.
- Grundvandskortlægningens hjemmeside: www.Grundvandskortlaegning.dk (19.10.2013)
- Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.10.2013)
- Jordforurening, hjemmeside, www.jordforurening.info (19.10.2013)
- JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.10.2013)
- NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)
- NOVANA modellens hjemmeside www.vandmodel.dk/ (19.10.2013)
- STANDAT hjemmesiden, DCE, 2012: www.dmu.dk/Myndighedsbetjening/Overvaagning/Standat/Standatbiblioteket/ (21-10-2013)
- Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.10.2013)
- Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (20-10-2013)
- Videncenter for Arbejdsmiljø, 2013: www.arbejdsmiljoviden.dk/Viden-om-arbejdsmiljoe/Kemisk-arbejdsmiljoe/Kraefftremkaldende-stoffer (5-11-13)

De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland (GEUS)
Klima- og Energiministeriet

Telefon: 38 14 20 00
Telefax: 38 14 20 50
E-post: geus@geus.dk
Internet: www.geus.dk

Øster Voldgade 10
1350 København K
Danmark



ISBN 978-87-7871-364-3