

GRUNDVANDSOVERVÅGNING

1989-2015



Grundvand

Status og udvikling 1989 – 2015

GEUS 2016

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling

Birgitte Hansen

Anders R. Johnsen

Carsten Langtofte Larsen

Flemming Larsen

Susie Mielby

Lars Troldborg

Dato 20. marts 2017

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets tilstand og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2015 som led i Den Nationale Grundvandsovervågning (GRUMO) og landovervågning (LOOP). Fra de almene vandværker præsenteres data fra egenkontrollen af grundvandsvandkvaliteten i vandværksboringerne. Fra indvindere af grundvand og overfladevand; vandværker, industrier, markvandere mv. rapporteres indberettede oplysninger om vandindvindingens størrelse.

De indsamlede data er præsenteret i en række figurer og tabeller, 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 temaet anvendelse af de seneste dateringsdata til vurdering af udviklingen i grundvandets nitratinhold. Kapitlet "organiske mikroforureninger" indgår ikke hvert år og er ikke med i dette års rapport, bortset fra en præsentation af overvågning af perfluorerede stoffer (PFC-stoffer) forbindelser i vandværkernes indvindingsboringer. Kapitlet om fosfor indgår også kun hvert andet år, og blev rapporteret sidste år og rapporteres igen næste år.

Målgrupperne for denne rapportering er Regeringen, Folketinget og offentligheden samt de involverede aktører i overvågningen, herunder Styrelsen for Vand og Naturforvaltning (tidligere Naturstyrelsen), Miljøstyrelsen, kommuner, vandforsyninger og Aarhus Universitet (DCE). En kortfattet sammenfattende rapport udgives samtidigt.

Begge rapporter udkommer alene elektronisk på GEUS' hjemmeside www.geus.dk.

Rapporterne bygger på en række afsnit udarbejdet af medarbejdere ved GEUS, der har de pågældende fagområder som deres arbejdsområde:

Grundvandets Strømning og Alder	Lærke Thorling og Flemming Larsen
Nitrat og Andre Hovedbestanddele	Birgitte Hansen og Lærke Thorling
Uorganiske Sporstoffer	Carsten Langtofte Larsen
Organiske Mikroforureninger	Carsten Langtofte Larsen
Pesticider	Anders R. Johnsen
Vandindvinding	Lars Trolborg
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 www.geus.dk eller www.grundvandsovervaagning.dk ved en henvisning til denne rapport: Thorling, L., Hansen, B., Larsen, C.L., Larsen, F., Mielby, S., Johnsen, A.R., & Trolborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2016.

ISBN Print: 978-87-7871-453-4 og ISBN Online: 978-87-7871-454-1

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning	4
1 Summary in English (ikke opdateret)	9
2 Formål og stationsnet	14
2.1 Formål	14
2.2 Overvågningsdesign og stationsnet, GRUMO	17
2.3 Vandværkernes indvindingsboringer	22
3 Datagrundlag og metoder	26
3.1 Analyseindsats og dataindsamling	26
3.2 Metoder til databehandling	29
4 Grundvandets strømning og opholdstid	33
4.1 Grundvandets hydrogeologi	33
4.2 Grundvandets Opholdstid	40
5 Nitrat	44
5.1 Tilstand	47
5.2 Udvikling	54
6 Uorganiske sporstoffer	64
6.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)	67
Nikkel og Arsen og betydningen af ændringer i stationsnettet over tid	69
6.2 Grundvand i vandværksboringer	73
7 Organiske mikroforureninger	77
8 Pesticider	81
8.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)	82
8.2 Grundvand i vandværksboringer	94
8.3 GRUMO og boringskontrol: sammenligning af de hyppigst fundne stoffer i de to overvågningsprogrammer.	101
9 Vandindvinding	106
9.1 Tilstand og udvikling	107
10 Det Nationale Pejleprogram	112
10.1 Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag	117
11 Referencer	123

1 Sammenfatning

Overvågningen af grundvandet (GRUMO) og det øvrige vandmiljø har fundet sted i næsten 30 år, med en systematisk dataindsamling og rapportering siden 1989. Dette års grundvandsovervågningsrapport præsenterer resultaterne for perioden 1989-2015. Overvågningsprogrammets formål, udvikling og metoder præsenteres i rapportens kapitel 2 og 3. Kapitel 4 beskriver de geologiske, hydrologiske og grundvandskemiske forudsætninger for grundvand og vandforsyning i Danmark.

Mens kapitel 2 således skitserer den forvaltningsmæssige ramme for grundvandsovervågningen, giver kapitel 4 den faglige baggrund for de fortolkninger, der præsenteres i kapitel 5-10, hvor der fokuseres på de indsamlede overvågningsdata.

Overvågning af grundvandet finder sted i følgende sammenhænge:

- Grundvandsovervågningen, GRUMO (1989 ff.)
- Landovervågningen, LOOP (1989 ff.)
- Vandværkernes boringskontrol (1989 ff.)
- Oppumpede vandmængder på vandværker, industri, markvandere mv.(ca. 1980 ff.)

De indsamlede data er tilgængelige i den fællesoffentlige database JUPITER.

Derudover gennemføres der også en overvågning af grundvand i forbindelse med forurenede jord og punktkilder i henhold til jordforureningsloven samt virksomheders egenkontrol iht. miljøgodkendelser. Denne opgave varetages af regioner, kommuner og Miljøstyrelsen. Data herfra rapporteres ikke systematisk til JUPITER og er IKKE genstand for nærværende rapportering.

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, herunder frasortering af dubletter og kontrol af anvendte koder.

Alle data om grundvand og drikkevand, der er omfattet af "Dataansvarsaftalen", skal være tilgængelige i JUPITER.

GEUS modtager løbende opdaterede oplysninger fra kommunerne om vandværkernes oppumpede vandmængder og om forkerte eller mangelfulde data for perioden 2007-2015. På trods af, at der er sket væsentlige forbedringer i indberetningerne i de senere år, er det samlede overblik over antallet af aktive vandværker og indvindingsboringer dog fortsat ikke helt opdateret. Dette betyder, at der er risiko for, at der i datagrundlaget for nærværende rapport medtages vandværksboringer, der ikke aktuelt anvendes til drikkevandsproduktion. Tilsvarende er det sandsynligt, at der kan findes aktive vandværksboringer, der ikke indgår i databehandlingen i denne rapport. Det vurderes imidlertid, at dette ikke har væsentlig betydning for den samlede landsdækkende vurdering af grundvandets kvalitet og kvantitet.

Der blev i 2015 udtaget vandprøver fra i alt 758 indtag til grundvandsovervågning, heraf er 610 "gamle" indtag etableret før 2007 i de 62 oprindelige GRUMO-områder og 148 "nye" indtag fra det distribuerede GRUMO-stationsnet, der er etableret fra og med 2007. Endvidere er der anvendt analyser fra 91 indtag fra de fem LOOP-områder i landovervågningsprogrammet.

Det Nationale Pejleprogram gennemførtes i 2015 i 139 indtag. Omfanget af såvel nye som gamle pejledata fra overvågningsprogrammet, der er tilgængelige i JUPITER, er steget det forløbne år.

Udbygning af stationsnet

Gennem årene er stationsnettet revideret flere gange for at kunne imødekomme udviklingen i de forvaltningsmæssige behov. Et vigtigt indsatsområde for grundvandsovervågningen har siden 2007 været at ju-

stere og udbygge stationsnettet for bedre at kunne understøtte vandområdeplanerne og implementeringen af EU's Vandrammedirektiv. Vandområdeplanerne skal bygge på overvågningsdata, der indsamles på baggrund af et overvågningsnet, der er udformet således, at det giver "et sammenhængende og omfattende overblik over grundvandets kemiske tilstand i hvert vandløbsopland, og således at langsigtede, menneskeskabte tendenser til stigning i forekomsten af forurenende stoffer kan registreres", jf. EU's Vandrammedirektiv.

I denne programperiode (2011-2015) inddrages nye overvågningsindtag, hvorfra der udtages vandprøver og grundvandsstanden pejles. Samtidigt lukkes nogle af de oprindelige overvågningsindtag, mens andre har indgået siden 2011 med en lavere prøvetagningsfrekvens. Ud over at bore helt nye overvågningsboringer, har der også været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra den statslige grundvandskortlægning som supplement til at bore nye overvågningsboringer. I alt 175 indtag er inddraget i nærværende programperiode.

Metoder

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagsniveau.

Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig i tid og rum. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data på tværs af forskellige indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kravværdier og detektionsgrænser. I det omfang, der på tværs af forskellige indtag beregnes gennemsnit, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler.

For at kunne håndtere udviklingen i stationsnettet og indtagenes forskellige prøvetagningshyppigheder og aktive perioder er særlige metoder anvendt til at give et billede af den samlede påvirkning over en periode og dermed øge mulighederne for at identificere effekten af handleplaner og andre miljøindsatser.

Nitrat

Stort set overalt i Danmark findes der nitrat i den øvre del af grundvandsmagasinerne. Den dybdemæssige udbredelse af nitrat i grundvandsmagasinerne varierer dog meget fra tæt på terræn og ned til mere end 100 m u.t. Mægtigheden af de nitratholdige lag er størst, hvor beskyttelsen af grundvandsmagasiner er ringe, hvilket fx gælder områder i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland.

I både GRUMO og LOOP har omkring 20 % af alle de overvågede indtag et nitratinhold over kravværdien på 50 mg/l, mens det er tilfældet for omkring 1 % af vandværksboringerne fra de almene vandværker. Dette hænger sammen med det forhold, at den nitratholdige del af grundvandet mange steder fravælges af vandforsyningerne, og at indvindingen derfor hovedsagelig baseres på det dybere, reducerede og nitratfrie grundvand. Vandværksboringer med et højt nitratinhold er sandsynligvis lukkede, idet andelen af almene vandværker med nitratfrit drikkevand er steget gennem de sidste tre dekader (Schullehner & Hansen, 2014).

Effekten af vandmiljøhandlingsplanerne på udvaskningen af nitrat til grundvandet kan vurderes ved en analyse af nitratinholdet i det iltholdige grundvand. I 2015 havde omkring 40 % af indtagene i det iltholdige grundvand i GRUMO mere end 50 mg/l nitrat, mens der i det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjorde var et nitratinhold over 50 mg/l i hhv. 54 % og 13 % af prøverne.

Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratinhold undersøges ved hjælp af datering af grundvandet. Dateringen muliggør beregning af grundvandets dannelsesår. Herved kan nitratinholdet i grundvandet sammenholdes med tidspunkter for gennemførelse af tiltagene i vandmiljøhandlingsplanerne og kvælstoftildeling i landbruget.

I dette års rapport er der foretaget en yderligere bearbejdning af de data, der blev præsenteret for første gang i sidste årsrapportering (Thorling m.fl., 2015), og som er publiceret i Hansen & Larsen (2016). Der iagttages en stigning i grundvandets nitratinhold i grundvand, der er dannet mellem 1944 og ca. 1975,

dernæst en stagnation for dannelsesår omkring 1975-1985, et tydeligt fald i koncentrationerne for grundvand dannet mellem ca. 1985-1998 og til sidst et spring op i nitratindhold og et faldende niveau frem til 2012 som dannelsesår.

I Danmark har der siden 1940'erne været en tydelig sammenhæng mellem den årlige udvikling i N-overskuddet og nitrat i iltet grundvand på det overordnede nationale niveau (Hansen & Larsen, 2016).

I dette års rapport vises regressionsanalyser af nitratrends i individuelle indtag med iltet grundvand. Der ses en udvikling mod et faldende nitratindhold i iltet grundvand både, når kun indtag med signifikante trends betragtes, og når både indtag med signifikante og non-signifikante trends inddrages. Vurderingen for perioden 1998-2014 bygger på et spinklere grundlag end for de øvrige perioder.

I det terrænære grundvand i LOOP analyseres udviklingen i det iltholdige grundvand i forhold til prøvetagningstidspunktet. Både i sandjords- og lerjordsoplandene observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i første halvdel af overvågningsperioden frem til henholdsvis 2000 og 2006. I de seneste prøvetagningsår ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat i iltet grundvand i sandjordsoplandene over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration i lerjordsoplandene ligger under kravværdien. I 2015 er det gennemsnitlige nitratindhold på 61 mg/l og 26 mg/l i henholdsvis sand- og leroplandene, dvs. mere end dobbelt så højt i sandjordsoplande i forhold til lerjordsoplande.

Uorganiske sporstoffer

En række uorganiske sporstoffer optræder i dansk grundvand i koncentrationer over kravværdierne. I nogle tilfælde skyldes dette naturlige processer, mens det i andre tilfælde skyldes påvirkninger fra menneskelige aktiviteter.

I overensstemmelse med resultaterne fra tidligere års overvågning, viser resultaterne fra 2015, at det for en række indtag i overvågningsprogrammet gælder, at indholdet af sporstoffer i grundvandet overstiger kravværdierne for drikkevand. Dette gælder især for arsen og nikkel, men også for aluminium og bly. I områder, hvor grundvandet har høje indhold af disse stoffer, kan den simple vandbehandling på vandværkerne og/eller fokus på indvindingsstrategien imidlertid understøtte levering af drikkevand, der overholder kravværdierne.

Der er i 2015 fundet overskridelser af kravværdierne for drikkevand for ét eller flere stoffer i 56 % af de 80 undersøgte indtag i GRUMO og i 13 % af de 1290 undersøgte vandværksboringer. Desuden viser resultaterne fra de undersøgte indtag i GRUMO en samtidig overskridelse på to stoffer (ofte aluminium og nikkel), tre stoffer (ofte aluminium sammen med bly, cadmium, nikkel eller zink) og fire stoffer (aluminium, bly, kobber og zink) i henholdsvis 17 %, 8,8 % og 2,5 % af indtagene.

Resultater fra de undersøgte indtag i GRUMO i perioden 1993-2015 viser fra 2010 en stigning i andelen af indtag med koncentrationer af aluminium over kravværdien, og i 2015 havde næsten hvert tredje undersøgte indtag, i alt 24 indtag ud af 80, koncentrationer af aluminium over kravværdien. Dette hænger sammen med udbygningen af stationsnettet, der i de seneste år især har fundet sted i Vestjylland, hvor indholdet af aluminium som følge af lavere pH-værdier ofte er højere i grundvandet end i resten af landet. I en periode, hvor stationsnettet udbygges, vil særligt mange nye indtag blive prøvetaget i de enkelte år, hvorfor resultaterne fra de enkelte år ikke er repræsentative for landet som helhed.

Perfluorforbindelser – Vandværkernes boringskontrol

I 2015 blev der i Drikkevandsbekendtgørelsen som noget nyt stillet krav til vandforsyningerne om at kontrollere råvandet og drikkevandet for perfluorforbindelser, PFC, når der i oplandet er kendskab til grunde, som er eller kan være forurenet med disse stoffer (Miljø- og Fødevareministeriet, 2015). I praksis analyseres der for den delmængde af de perfluorerede stoffer, der går under betegnelsen perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser). I de 116 prøver, vandværkerne udtog i 2015 og indberettede til JUPITER, er der ikke fundet overskridelser af sumkoncentrationen på 0,1 µg/l. Højeste sum er 0,0557 µg/l.

Pesticider i grundvandsovervågningen (GRUMO)

I 2015 blev der i GRUMO påvist pesticider i 36 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet i 9,4 % af indtagene. I perioden 2013-2015, hvor næsten alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang, blev der mindst én gang i perioden påvist pesticider i 43,1 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien var overskredet mindst én gang i 12,9 % af de undersøgte indtag. I de senere år har der i det øvre grundvand (0-20 m u.t.) været en faldende andel af indtag med pesticider over kravværdien. Dette peger på, at reguleringen af pesticiders anvendelse nu reflekteres i det øverste og yngste grundvand. Faldet i andelen af indtag over kravværdien i det øvre grundvand kan betyde, at pesticidudvaskningen har toppet. I lag dybere end 20 m u.t. stiger fundandelene fortsat.

Pesticider kan inddeles i tre grupper i forhold til den administrative status: godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til grundvandet. I analyseprogrammet har der siden 2011 indgået i alt 31 stoffer, hvoraf de 21 er forbudte pesticider eller deres nedbrydningsprodukter, fem er regulerede og fem er tilladte. I 2013-2015 blev der fundet godkendte stoffer i 2,2 % af de undersøgte indtag (0,4 % >0,1 µg/l), mens regulerede stoffer blev fundet i 5,2 % (2,1 % >0,1 µg/l) og forbudte stoffer i 39 % (10,5 % >0,1 µg/l). Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat det hyppigste stof med fund i 16 % af de undersøgte indtag (9,4 % >0,1 µg/l) i 2015. Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat det hyppigste stof med fund i 16 % af de undersøgte indtag (9,4 % >0,1 µg/l) i 2015.

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer (boringskontrollen)

Andelen af aktive vandværksboringer med pesticider eller nedbrydningsprodukter har siden 2003 stabiliseret sig omkring 23-26 % baseret på årlige opgørelser, dog med en svagt stigende tendens inden for de seneste fem år. I 2015 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 27 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kravværdien på 0,1 µg/l (kravværdien for drikkevand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,6 % af borerne. I perioden 2012-2015 blev pesticider fundet mindst én gang i ca. 20 % af de undersøgte borer, hvor 2,7 % af de undersøgte borer havde mindst én overskridelse af kravværdien. Opgørelsen for perioden 2012-2015 viser en mindre fundandel sammenlignet med enkeltårene, hvilket sandsynligvis skyldes, at borer med fund analyseres oftere end borer uden fund. Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat langt det hyppigste stof med fund i 20 % af de undersøgte vandværksboringer (2,2 % >0,1 µg/l) i 2015.

Fra januar 2012 er det obligatoriske analyseprogram for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne ændret, idet 21 "nye" stoffer er tilføjet og otte andre udgået af programmet, fordi de ikke blev fundet. De hyppigst fundne "nye" stoffer i perioden 2012-2015 var CGA108906 (1,7 %), DEIA (1,6%) og 2,6-dichlorbenzoesyre (1,1 %), hvor CGA108906 også viste den største andel med overskridelse af kravværdien (0,4 %). CGA108906 er et nedbrydningsprodukt fra det forbudte pesticid metalaxyl-m.

Mindst ét forbudt stof forekom mindst én gang i 2012-2015 i ca. 17 % af de undersøgte vandværksboringer, med mindst én overskridelse af kravværdien i 2,2 % af de undersøgte borer. De regulerede stoffer forekom mindst én gang i perioden i 3,7 %, mens kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte vandværksboringer. De godkendte stoffer forekom i perioden mindst én gang i 0,4 %, mens kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,1 % af de undersøgte borer.

Vandindvinding

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) har en svagt faldende tendens i perioden 1990-2006 fra ca. 700 mio. m³/år til ca. 500 mio. m³/år. Den samlede oppumpede vandmængde (uden markvanding) for 2015 er opgjort til 463 mio. m³/år. På grund af manglende indberetninger, kan den seneste værdi for den samlede oppumpning dog være større og faldet i oppumpningen dermed være mindre.

Indvinding af grundvand til erhvervsformål (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år. I 2015 nåede denne del af indvindingen op på 269 mio. m³, hvilket svarer til ca. 41 % af den samlede grundvandsindvinding for dette år, mens den i 2003 blot var på 123 mio. m³, der dengang svarede til ca. 20 % af den samlede indvinding.

Indvindingen af overfladevand ligger på 10 mio. m³/år, hvilket blot udgør 2 % af den samlede indvinding (uden markvanding). Overfladevand anvendes ikke til drikkevand, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, fx grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse og er uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandplanarbejdet. For at muliggøre en optimal vurdering af udnyttelsesgraden af 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, jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet 2016a).

Det Nationale Pejleprogram

De seneste 100 år har nedbørsmængderne i Danmark været stigende, hvilket må forventes at afspejles i grundvandsstanden dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige årlige nedbør er steget med 4,4 % fra 712 mm i perioden 1961-1990 til 745 mm i 1991-2015, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år.

GEUS har vurderet fem lange pejleserier i terrænnære indtag, der vurderes at være repræsentative for forskellige dele af landet. Herudfra er noteret følgende tendenser:

- Året 2015: Vandstanden i 2015 ligger hen over året for hovedparten af de udvalgte pejleserier højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1990 og 1991-2014.
- Langsigtet udvikling: Flere, men ikke alle lange pejletidsserier, viser en svag stigning i grundvandsstand, i overensstemmelse med en generelt stigende nedbør.
- Årsvariation: Tidsserierne viser en årsvariation i grundvandsstanden på op til 6 m.
- Påvirkning fra den stigende nedbør siden 2000: Viser sig som et op til 1-2 m højere beliggende vandspejl.

1 Summary in English

In Denmark, groundwater monitoring (GRUMO) and monitoring of the remaining aquatic environment has now been in place for nearly 30 years. As from 1989, monitoring has included systematic data collection and reporting. This year's groundwater monitoring report presents results from the 1989-2015 period. The objective, development and methods of the monitoring programme are presented in chapters 2 and 3 of the report. Chapter 4 describes the geological, hydrological and groundwater-chemical prerequisites for Danish groundwater and water supply.

Whereas Chapter 2 thus outlines the administrative framework for groundwater monitoring, Chapter 4 presents the professional basis for the interpretations that are presented in chapters 5-10, where the collected monitoring data are the main focus.

In Denmark, groundwater monitoring is implemented through the following initiatives:

- The Groundwater Monitoring Initiative, GRUMO (1989 onwards)
- The Agricultural Catchment Monitoring Programme, LOOP (1989 onwards)
- The Waterworks' Well Monitoring Programme (1989 onwards)
- Quantities of water abstracted at waterworks, industry, for irrigation, etc. (. 1980 onwards)

The collected data are made available in the joint public database JUPITER.

Additionally, the groundwater is monitored in connection with contaminated soil and point source contamination in pursuance of the Danish Soil Contamination Act, and in the context of companies' self-monitoring efforts to achieve environmental approvals. This task is handled by regions, municipalities and by the Danish Environmental Protection Agency. Data from these latest monitoring efforts are not reported systematically to JUPITER and are NOT taken into account in the present report.

Data basis

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 data quality, including elimination of duplicates and verification of the used codes.

All data on groundwater and drinking water shall be made available in JUPITER provided they fall within the scope of the Danish Data Responsibility Agreement (in Danish: Dataansvarsaftalen).

GEUS regularly receives updated information from the municipalities on the amounts of water abstracted by the waterworks and about any incorrect or lacking data relating to the 2007-2015 period. Even though considerable improvements have been achieved with respect to data reporting in recent years, the full overview of the number of water works and abstraction wells is still not fully updated. Therefore, there is a risk that the data basis used for the present report includes some waterworks wells even though they do not currently contribute to the drinking-water production. Correspondingly, it is likely that some active drinking-water wells have not been added to the data basis upon which this report is based. Nevertheless, it is our assessment that these factors have little impact on the overall nationwide assessment of the groundwater's quality and quantity.

In 2015, water samples were taken from a total of 758 groundwater monitoring points, including 610 "old" monitoring points established prior to 2007 in the 62 original GRUMO areas, and 148 "new" monitoring points from the distributed GRUMO station net, which was established as from 2007. Furthermore, analyses were included from 91 monitoring points from 5 LOOP areas of the agricultural catchment monitoring programme.

In 2015, the National Groundwater Level Monitoring Programme comprised 139 monitoring points. The amount of both new and old groundwater table data that have been made available in JUPITER has increased in the course of the past year.

Expansion of the net of monitoring stations

Over the years, the net of monitoring stations has been revised repeatedly to accommodate developing administrative needs. Since 2007, an important focus area of the groundwater monitoring initiative has been the adjustment and expansion of the net of monitoring stations to better underpin the river basin management plans and the implementation of the EU's Water Framework Directive. The river basin management plans shall be based on monitoring data collected from a monitoring network designed to provide a "coherent and comprehensive overview of the chemical composition of the groundwater in every watercourse catchment area to ensure that long-term human-induced trends towards increases in the occurrence of pollutants may be recorded", cf. the EU's Water Framework Directive".

In the programme period covered in the present report (2011-2015), new monitoring points have been included from which water samples are taken and the groundwater table is measured. Simultaneously, some of the original monitoring points are being discontinued, and yet others have been used only at a reduced sampling frequency since 2011. In addition to the drilling of new monitoring points, inclusion of existing points from the national groundwater monitoring initiative has also been a focus area to supplement drilling of new monitoring points. A total of 175 monitoring points were included in this programme period.

Methods

The present report employs a range of indicators and reporting methods to describe the occurrence of each substance in the groundwater. Other things equal, data are prepared for analysis to ensure that reports are based on monitoring point data.

The main principle for the majority of the figures is that focus is on the distribution of concentrations in time and space. Mean values based on data from several different monitoring points are given only exceptionally. Instead, the focus is on how large shares of the examined data (the population) fall above or below required values and detection thresholds. Where mean values are calculated based on several monitoring points, the median and range are also provided, typically as quantiles.

To be able to take into account the development of the net of monitoring stations and the different sampling frequencies and active periods of the monitoring points, special methods were used to provide a picture of the total impact within a period thereby increasing the chance of identifying the effect of action plans and other environmental initiatives.

Nitrate

Nitrate is found in the upper part of the aquifers in nearly all parts of Denmark. Nevertheless, the extension in depth of nitrate in the aquifers varies considerably from near surface level to more than 100 metres below the surface. The thickness of the nitrate-containing layers is greater where the protection of the aquifers is more limited, which is the case e.g. in parts of North Jutland, Thy, Himmerland and in Djursland.

In both GRUMO and LOOP, approx. 20% of all monitored wells register a nitrate content exceeding the 50 mg/l threshold value, whereas this is the case for approx. 1% of the waterworks wells from public waterworks. This may be explained by the fact that the nitrate-containing part of the groundwater is often excluded from the water supply and that the abstraction is therefore based mainly on the deeper, reduced and nitrate-free groundwater. Any waterworks well with high nitrate content has probably been discontinued as the share of public water works that provide nitrate-free drinking water has increased in the course of the past three decades (Schullehner & Hansen, 2014).

The effect of the water environment action plans on nitrate leaching to the groundwater may be assessed by analysis of the nitrate content in the oxic groundwater. In 2015, about 40% of the wells in the oxic groundwater in GRUMO contained more than 50 mg/l of nitrate, whereas the corresponding shares of the samples for oxic upper groundwater in LOOP on sandy and clayey soils were 54% and 13%, respectively.

The development of the nitrate content in the oxic groundwater is tested by groundwater dating. Dating facilitates calculation of the year the groundwater was formed. Therefore, the nitrate content in the

groundwater can be compared with the time the initiatives of the water environment action plans were implemented and with the agricultural nitrogen quota.

This year's report includes an additional analysis of the data that were initially presented in the previous annual report (Thorling et al., 2015) and which were published in Hansen & Larsen (2016). An increase is observed in the nitrate content of groundwater formed between 1944 and approx. 1975; then a stagnation was seen for water formed about 1975-1985; a clear decrease was seen in the concentrations in groundwater formed approx. 1985-1998; and finally a leap upwards in nitrate content and a decreasing level for groundwater formed until 2012 were seen.

Since the 1940s, Denmark has witnessed a clear association between the annual development in the N surplus and the amount of nitrate in oxic groundwater at the general, national level (Hansen & Larsen, 2016).

In this year's report, we include regression analyses of nitrate trends in individual oxic groundwater monitoring points. A trend can be observed towards decreasing nitrate content in oxic groundwater, both when monitoring points with significant trends are considered exclusively and when both monitoring points with significant and non-significant trends are included. The assessment for the 1998-2014 period rests on a weaker basis than the remaining periods.

In the shallow groundwater covered by the LOOP, the development in oxic groundwater is analysed based on the time of the sampling. In both sandy and clayey soils, the greatest decrease in nitrate concentrations was observed in oxic groundwater during the first half of the monitoring period, before 2000 and 2006, respectively. In the most recent sampling years, the annual mean nitrate concentration in sandy soils exceeds the requirement threshold, whereas the annual mean concentration in clayey soils falls below the requirement threshold. In 2015, the mean nitrate content was 61 mg/l and 26 mg/l in sandy and clayey catchment areas, respectively. Thus, the content was more than twice as high in sandy catchment areas as in clayey catchment areas.

Inorganic trace elements

A series of inorganic trace elements are present in Danish groundwater at concentrations exceeding the threshold values. In some areas, this is due to natural processes, whereas in other cases the presence of trace elements is due to human activities.

In accordance with results from previous years' monitoring, the 2015 results demonstrate that - for a number of monitoring points - the content of trace elements in the ground water exceeds the threshold values for drinking water. This applies mainly to arsenic and nickel, but also to aluminium and lead. In areas where the drinking water has a high content of these substances, simple water treatment at the water works and/or an increased focus on the abstraction strategy may, nevertheless, underpin the supply of drinking water that complies with the threshold values

In 2015, values exceeding those established in the drinking water requirement for one or more of the relevant substances were found in 56% of the 80 tested GRUMO monitoring points and in 13% of the 1,290 tested abstraction wells of the Waterworks' Well Monitoring Programme. Furthermore, results from the tested GRUMO monitoring points demonstrate concurrent, excessively high values for two substances (frequently aluminium and nickel), three substances (frequently aluminium and lead, cadmium, nickel or zinc, and four substances (aluminium, lead, copper, and zinc) in 17%, 8.8% and 2.5% of the monitoring points, respectively.

Results from the tested GRUMO monitoring points in the period from 1993 to 2015 show an increase from 2010 onwards in the share of monitoring points with aluminium concentrations exceeding the threshold value, and in 2015 nearly one in every three tested monitoring point - a total of 24 of the 80 tested monitoring points - contained aluminium concentrations exceeding the threshold value. This is associated with the expansion of the station net, which in recent years has mainly affected West Jutland, where the aluminium content is higher due to lower pH values in the groundwater than are found in the rest of Denmark. In a period during which the station net is being expanded, a particularly large number of new

monitoring points will be tested each year, and therefore the results from the individual years are not representative for the entire country.

Perfluorinated compounds - the waterworks' well control

A novel requirement was introduced in 2015 as the Executive Order on Drinking Water introduced a requirement that raw water and drinking water should be tested for perfluorinated compounds, PFC, when there is knowledge of areas in the catchment area that are or may have been contaminated with these compounds (Ministry of Environment and Food of Denmark, 2015). In practice, analyses were performed to detect the subset of perfluorinated compounds known as perfluoroalkylated acids (PFAS compounds). In the 116 samples that the waterworks tested in 2015 and reported to JUPITER, the 0.1 µg/l sum concentration was not exceeded in any case. The highest sum observed was 0.0557 µg/l.

Pesticides in the groundwater monitoring (GRUMO)

In 2015, the GRUMO identified pesticides in 36% of the tested monitoring points, and the requirement threshold value of 0.1 µg/l was exceeded in 9.4% of the monitoring points. In the 2013-2015 period, during which nearly all active monitoring points have been tested at least once, pesticides were detected one or more times in 43.1% of the tested monitoring points, whereas the requirement threshold value was exceeded once or more often in 12.9% of the tested monitoring points. The higher proportion of findings in the 2013-2015 period compared with the individual years may, in part, be explained by the fact that monitoring points with no pesticides were sampled slightly more frequently than monitoring point with pesticides. In recent years, the upper groundwater (0-20 metres below surface) has shown a decreasing share of monitoring points with pesticides in concentrations exceeding the requirement threshold value. This indicates that the regulation of the use of pesticides is now reflected in the upper and younger groundwater. The decrease in monitoring points exceeding the requirement threshold value in the upper groundwater suggests that the washout of pesticides has peaked. In layers located below 20 metres below surface, the proportion of findings exceeding the threshold value continues to increase.

Pesticides may be divided into three groups based on their administrative status: approved, regulated and banned. In this context, regulated pesticides are substances which, after their approval, have been subjected to restrictions with a view to protecting the groundwater. Since 2011, the analysis programme comprises a total of 31 substances of which 21 are banned pesticides or their break-down products are banned; five are regulated and five are approved pesticides. In 2013 - 2015, approved substances were found in 2.2% of the sampled monitoring points (0.4% > 0.1 µg/l), while regulated substances were identified in 5.2% (2.1% > 0.1 µg/l) of monitoring points and banned substances in 39% (10.5% > 0.1 µg/l). The break-down product BAM from the banned pesticide dichlobenil remains the most frequently found compound and it was detected in 16% of the sampled monitoring points (9.4% > 0.1 µg/l) in 2015.

Pesticides in the groundwater in waterworks wells (Waterworks' Well Monitoring Programme)

As from 2003, the share of active waterworks wells with pesticides or their break-down products has stabilised at 23-26%, based on annual reports, even though a slightly increasing trend has been observed in the past five years. In 2015, pesticides were thus detected in groundwater in 27% of the sampled abstraction wells, whereas the requirement threshold value of 0.1 µg/l (threshold value for drinking water and single groundwater substances) was exceeded in 3.6% of the wells. In the 2012-2015 period, pesticides were detected once or more often in approx. 20% of the sampled wells and 2.7% of the sampled wells recorded one or more measurements exceeding the requirement threshold value. The statement for the 2012-2015 period shows a lower share of findings than the individual years, which is probably because wells with findings are analysed more frequently than wells without findings. The break-down product BAM from the banned pesticide dichlobenil remains by far the most frequently found compound and it was detected in 20% of the sampled monitoring points (2.2% > 0.1 µg/l) in 2015.

As from January 2012, the mandatory analysis programme for pesticides in groundwater from waterworks wells was changed as 21 "new" compounds were added and another 8 were discontinued from the programme as they had not been detected. The most frequently detected "new" substances in the 2012-2015 period were CGA108906 (1.7%), DEIA (1.6%) and 2,6-dichlorobenzoic acid (1.1%), where

CGA108906 was also the compound found to exceed the requirement threshold value most frequently (0.4%) CGA108906 is a break-down product of the banned pesticide metalaxyl-m.

In the 2012-2015 period, at least one banned substance occurred once or more often in approx. 17% of the samples waterworks samples, and at least one measurement exceeding the requirement threshold value was seen in 2.2% of the sampled wells. The regulated substances occurred at least once in 3.7%, whereas the requirement threshold value was exceeded at least once in 0.4% of the sampled waterworks wells. The approved substances occurred at least once in 0.4 %, whereas the requirement threshold value was exceeded at least once in 0.1% of the sampled wells.

Water abstraction

The total abstracted water quantity in Denmark (not including field irrigation) displays a slightly decreasing trend in the 1990-2006 period, from approx. 700 million m³/year to approx. 500 million m³/year. The total amount of abstracted water (not including field irrigation) for 2015 constituted 463 million m³/year. Due to lacking reporting, the latest aggregate abstraction value may be greater than the value stated above, and the decrease in abstraction may therefore be smaller.

Groundwater abstraction for industrial irrigation (field irrigation, horticulture and fish farms) varies considerably from year to year. In 2015, this part of the abstracted water reached 269 million m³, corresponding to approx. 41% of the total amount of abstracted groundwater in Denmark in the year, whereas in 2003 the amount abstracted for these purposes was a modest 123 million m³, corresponding to approx. 20% of the groundwater abstracted in that year.

Abstraction of surface water amounts to 10 million m³/year, corresponding to only 2% of the annual amount of water abstracted (not including field irrigation). Surface water is not used for drinking water in Denmark, but is primarily used for industrial purposes, e.g. gravel washing in primary industries and for irrigation.

The amounts of water abstracted is an important parameter in the national water balance statement and constitute an invaluable data basis in the assessment of the quantitative status of available groundwater in connection with water plan work. To facilitate optimal assessment of the exploitation rate of the available water resource, it is essential that municipalities continue efforts to ensure that the quantities of abstracted water are reported to the joint public database JUPITER, when at all possible (Ministry of Environment and Food of Denmark, 2016a).

The National Groundwater Level Monitoring Programme

For the past 100 years, precipitation amounts in Denmark have followed an increasing trend which is presumably reflected in the groundwater table, partly through an increased groundwater resource, partly as swamping of low-lying areas. The average annual precipitation has increased by 4.4% from 712 mm in the 1961-1990 period to 745 mm in the 1991-2015 period, which is equivalent to a 33 mm/year increase of the average annual precipitation.

The GEUS has assessed five long groundwater table data series in areas with monitoring points that were assessed as being representative to different parts of Denmark. On this basis, the following trends were recorded:

- The year 2015: Throughout 2015, the majority of the selected groundwater table data series exceed both those of the 1961-1990 and the 1991-2014 period.
- Long-term trends: Several, but not all long groundwater measurement time series present a slight increase in the groundwater table in accordance with the generally increasing precipitation amount.
- Annual variation: The time series show an annual variation in the groundwater table of up to 6 m.
- Impact of increasing precipitation 2000ff : Reflected in a 1-2 metre elevation of the water table.

2 Formål og stationsnet

Sammenfatning og konklusion

Denne rapport om grundvandets tilstand og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2015 som led i Den Nationale Grundvandsovervågning (GRUMO) og Landovervågning (LOOP). Fra de almenene vandværker præsenteres data fra egenkontrollen af grundvandsvandkvaliteten i vandværksboringerne. Rapporteringen af status og udvikling i omfanget af vandindvinding bygger på data fra indvindere af grundvand og overfladevand; vandværker, industrier, markvandere mv.

Grundvandsovervågningen sikrer et datamateriale, der er uafhængigt af udviklingen i vandindvindingsstrukturen, mens analyserne af grundvandet i vandværksboringerne illustrerer tilstanden i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand. Tilsammen giver disse to datasæt et generelt billede af grundvandets tilstand i områder, hvor diffuse forureningskilder og naturlige grundvandskemiske processer udgør den overvejende påvirkning af grundvandets kvalitet.

Grundvandsovervågningen har i næsten 30 år sikret indsamling af forvaltningsrelevante data om grundvandets kvalitet og kvantitet. Herved er der bl.a. etableret lange sammenhængende tidsserier for en lang række stoffer. Disse data danner basis for både vurderinger af grundvandets tilstand og udvikling på landsplan, og for vurdering af effekterne af politiske handleplaner over for blandt andet nitrat og pesticider. Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Naturforvaltning (NOVANA). Denne rapport er en national præsentation af data baseret på udvalgte indikatorer. Afrapporteringen sker årligt.

Gennem årene er programmet revideret flere gange for at kunne imødekomme udviklingen i de forvaltningsmæssige behov. Siden 2007 har der i flere omgange været tiltag for at tilpasse stationsnettet til Vandrammedirektivets krav til overvågning. Dette indebærer, at der i den indeværende programperiode (2011-2015) inddrages nye overvågningsindtag, mens nogle af de oprindelige overvågningsindtag lukkes eller indgår med lavere prøvetagningsfrekvens. Udbygningen fortsættes i 2016. I den indeværende programperiode (2011-2015) er i alt 175 nye indtag inddraget til fortsat overvågning, heraf 67 indtag fra grundvandskortlægningen.

Der blev i 2015 udtaget vandprøver fra i alt 758 indtag til grundvandsovervågning, heraf 610 i "gamle" indtag etableret før 2007 i 61 GRUMO-områder og 148 "nye" indtag fra det distribuerede stationsnet. I det samlede datasæt indgår der også analyser fra 91 indtag fra de fem LOOP-områder.

Det Nationale Pejleprogram har siden 2007 været en del af grundvandsovervågningen med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand. I 2015 indgik der 139 indtag i pejleprogrammet.

2.1 Formål

Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur, NOVANA

Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA).

Formålet med grundvandsovervågningen er jf. programbeskrivelsen (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011) at:

- "Understøtte den statslige forvaltning i forbindelse med grundvandets kvalitet og mængde i forhold til Vandplanarbejdet
- Bidrage til at styrke det faglige grundlag for fremtidige internationale tiltag, nationale handlingsplaner, regional forvaltning og andre foranstaltninger til beskyttelse og udnyttelse af grundvandsressourcen, herunder bidrage til at udvikle forskellige værktøjer og tilvejebringe en bedre forståelse af sammenhængen mellem grundvand og overfladevand

- Overordnet dokumentere effekten af vandmiljøplaner og andre miljøindsatser på grundvandsressurens kvalitet og størrelse - herunder om målsætningen er nået og om udviklingen går i den ønskede retning
- Fremskaffe den fornødne viden om status og udvikling i grundvandets kvalitet og kvantitet og om årsagerne til ændringer, så der i fremtiden vil være tilstrækkelige vandmængder i de rette kvaliteter til at dække både samfundets behov for vandforsyning og samfundets behov for vand i naturen for at opnå de ønskede miljømål
- Løbende formidle om grundvandets kvalitet og kvantitet, nationalt og regionalt
- Overvågningen af grundvandet skal desuden sikre viden om grundvandets tilstand og udvikling med henblik på fremtidig justering af vandværkernes boringskontrol. Det skal derved bidrage til at sikre grundvandet i en mængde og af en kvalitet, der er egnet til produktion af drikkevand, som overholder de til enhver tid gældende kvalitetskrav. Kendskab til tilstand og udvikling i grundvandets kemiske sammensætning er også væsentlig for at kunne vurdere risiko for korrosion i vandforsyningsanlæg og rørledninger og for valg af nye materialetyper hertil.
- Endvidere skal grundvandsovervågningen være med til at fremskaffe dokumentation til fremtidig vurdering af pesticiders anvendelighed i dansk landbrug og i andre sammenhænge. Grundvandsovervågningen supplerer således varslingsystemet for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP), som kun finder sted i 5 specielt indrettede værkstedsområder med kontrolleret udbringning af pesticider og næringsstoffer."

Historik for grundvandsovervågningen, GRUMO

De Nationale Overvågningsprogrammer, i dag NOVANA, som grundvandsovervågningsprogrammet er en del af, blev oprindeligt iværksat som en konsekvens af den første Vandmiljøplan 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. For det andet at sikre befolkningens forsyning med drikkevand af god kvalitet (Miljøstyrelsen, 1988). Stationsnettet i grundvandsovervågningen blev derfor designet med det formål at give et generelt billede af grundvandets tilstand i en række udvalgte oplande for dermed at opnå et landsdækkende repræsentativt overblik. Programmet er løbende tilpasset de forvaltningsmæssige behov. Tabel 1 giver et overblik over alle programperioderne.

Periode	Programnavn	Antal år	Bemærkning	Reference
1988-1992	VMP overvågningsprogram	5	Etablering af GRUMO områder	Miljøstyrelsen, 1988
1993-1997	VMP overvågningsprogram	5		Miljøstyrelsen, 1993
1998-2003	NOVA-2003	6		Miljøstyrelsen, 2000a
2004-2009	NOVANA	6		DMU, 2004
(2007-2009)		(3)	Midtvejsrevision	DMU, 2007
2010	NOVANA	1	Forlængelse 1 år	DMU 2010a,b
2011-2015	NOVANA 2011-2015	5		Naturstyrelsen, DMU & GEUS, 2011

Tabel 1. Historik for Det Nationale overvågningsprogram af Vand og Natur, NOVANA.

I dag er formålet med prøvetagningsstrategien tillige at give "et sammenhængende og omfattende overblik over grundvandets kemiske tilstand i hvert vandløbsopland og således at langsigtede menneskeskabte tendenser til stigning i forekomsten af forurenende stoffer kan registreres", jf. EU's Vandrammedirektiv. Bl.a. af den grund er prøvetagningsstrategien ændret siden 2004 med størst prøvetagningshyppighed i de indtag, hvor tidligere målinger har vist, at der er størst sandsynlighed for at finde en samfundsmæssig påvirkning, fx fra forurening med pesticider og deres nedbrydningsprodukter.

Derudover foreskriver Vandrammedirektivet (EU, 2000), se næste afsnit, at der skal være en overvågning af grundvandsstanden i tilknytning til vandplanarbejdet. "Overvågningsnettet udformes således, at

det giver en pålidelig vurdering af den kvantitative tilstand for alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster, herunder vurdering af den tilgængelige grundvandsressource.”

Ændringerne af overvågningsstrategien medfører, at den tidsmæssige udvikling i vandkvaliteten bedst beskrives enten på indtagsniveau eller samlet set for hver programperiode. Et indtag er det interval af en boring, hvor vandet strømmer ind, se afsnit 2.2. Af praktiske grunde er prøvetagningsindsatsen for de indtag, der kun skal prøvetages én eller to gange i en programperiode, fordelt over alle prøvetagningsår. Derfor indgår der hvert år indtag med forskellig prøvetagningsfrekvens. For at håndtere dette, når der foretages en vurdering af data, arbejdes der med særlige metoder beskrevet i kapitel 3.

Vandrammedirektivet og Grundvandsdirektivet

Vandrammedirektivet, der trådte i kraft i 2000, har blandt andet til formål at forebygge yderligere forringelse og beskytte og forbedre grundvandets tilstand med henblik på at opnå og bevare god tilstand i grundvandet. Vandrammedirektivet foreskriver, at medlemsstaterne hvert 6. år skal udarbejde vandområdeplaner, der bl.a. skal indeholde en tilstandsvurdering af grundvandets kemiske og kvantitative tilstand på grundvandsforekomstniveau, samt et resume af eventuelle fornødne foranstaltninger med henblik på at nå fastlagte konkrete miljømål (EU, 2000).

Der er i Vandrammedirektivet desuden fastlagt nærmere bestemmelser om medlemsstaternes forpligtelser til at overvåge grundvandets tilstand. Formål og overvågningsdesign er i den nuværende programperiode 2011-2015 tilpasset kravene til grundvandsovervågning i Vandrammedirektivet og Grundvandsdirektivet (EU, 2000 og 2006), under hensyntagen til de øvrige overvågningsbehov i øvrigt, fx Nitratdirektivet (EU, 1991)

Det danske grundvand er i forbindelse med forberedelserne af vandområdeplanerne for anden planperiode (2015-2021) opdelt i 402 grundvandsforekomster, der udgør de planmæssige enheder med henblik på at opgøre tilstanden og fastlægge evt. indsatser, der ligger ud over den generelle miljøindsats i den eksisterende regulering (Troldborg mfl., 2014). Grundvandsforekomsterne har betydning for, hvorledes grundvandsovervågningen og dermed stationsnettet tilrettelægges, idet der er konkrete krav til overvågningen af grundvandsforekomsterne i direktiverne.

Vandrammedirektivet opererer med ”kontrolovervågning” og ”operationel overvågning”. I programbeskrivelsen er den praktiske implementering af dette detaljeret beskrevet (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011).

Kontrolovervågning skal iflg. Vandrammedirektivet gennemføres for grundvandsforekomster, der anses for at være truet, se også tilhørende CIS-Guidance Documents. Kontrolovervågning skal udføres mindst én gang for hver planperiode, dvs. mindst én gang hvert 6. år. Den ”operationelle overvågning” skal gennemføres for forekomster eller grupper af forekomster, hvor der vurderes at være risiko for, at grundvandsforekomsten ikke vil kunne opfylde miljømålet ved udløbet af planperioden. Operationel overvågning skal finde sted mindst én gang om året.

Samlet set ligger en lang række love, bekendtgørelser, direktiver o. lign. fra Danmark og EU til grund for overvågningen og vandforvaltningen. Overvågningen kan derfor mht. stofvalg, prøvetagningshyppighed mm. afvige fra Vandrammedirektivet. Et udvalg af relevante love, bekendtgørelser, direktiver o. lign kan findes i litteraturlisten sidst i dette kapitel. Her henvises også til en række relevante hjemmesider, hvor yderligere oplysninger kan findes.

Rapportering af grundvandsovervågning

Mens selve overvågningen er et direktivkrav, er nærværende årlige overvågningsrapport ikke et direktivkrav, men er en national, indikatorbaseret afrapportering. Hvert år siden 1990 har GEUS udarbejdet en landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen (Grundvandsovervågningsens hjemmeside). Nærværende rapport bygger på data indsamlet til og med 2015.

Overvågningsrapporten præsenterer ikke data på forekomstniveau. En opgørelse på forekomstniveau præsenteres i tilstandsvurderingerne, som udarbejdes hvert 6. år, og som rapporteres gennem vandområdeplanerne.

Siden 2005, der var det første rapporteringsår for NOVANA-programmet, har der været tale om en indikatorbaseret rapportering, hvor en række faste indikatorer opdateres hvert år. Dette er typisk figurer af generel, landsdækkende karakter. Med udgangspunkt heri suppleres der med relevante figurer og diskussioner. Nogle emner rapporteres ikke hvert år, og fosfor og organiske mikroforureninger indgår derfor ikke i dette års rapport, bortset fra et kapitel om perfluorerede stoffer i vandværkernes boringskontroller. Endelig er forskellige temaer uddybet enkelte år, enten som et selvstændigt fokuspunkt eller som en mere omfattende bearbejdning af de faste emner. I år er der et tema i kapitel 5, hvor udviklingen i grundvandets nitratindhold vurderes ud fra grundvandets opholdstid med udgangspunkt i de nyeste grundvandsdateringer.

Alle data er tilgængelige for offentligheden i den fællesoffentlige database JUPITER (JUPITER hjemmesiden).

Ud over præsentationen af data i nærværende rapport, indberettes alle data til det Europæiske Miljøagentur (EEA), hvor de indgår i den internationale rapportering, som EEA forestår (EEA hjemmesiden).

Hvert 4. år udarbejdes en selvstændig rapport til EU kommissionen, som led i en særlig rapportering tilknyttet Nitratdirektivet (EU, 1991), baseret på overvågningen af grundvandets nitratindhold i overvågningsboringerne for GRUMO. Den seneste rapportering i henhold til Nitratdirektivet er fra 2016, der dækker perioden 2012-2015. (Miljøstyrelsen, 2016).

2.2 Overvågningsdesign og stationsnet, GRUMO

Alle vandprøver og pejlinger er indsamlet i boringer. Det filtersatte interval af boringen, hvor vandet strømmer ind, kaldes indtaget. Et indtag kan dog også være et åbentstående hul i en boring, der står i kalklag. En boring kan have flere indtag i forskellig dybde. Almindeligvis har en overvågningsboring 1-3 indtag. Begrebet indtag er defineret yderligere i GRUMO-rapporten fra 2001 (Stockmarr, 2001).

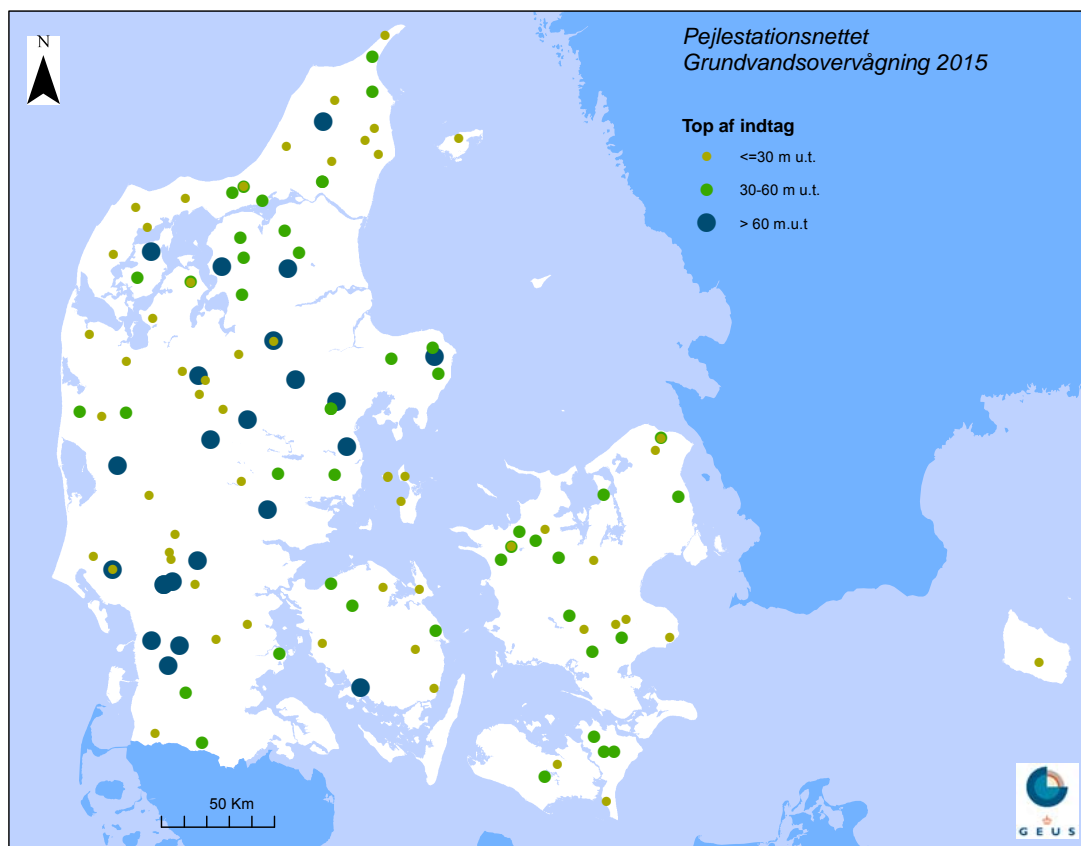
Tabel 2 giver et overblik over aspekter af overvågningen af grundvandet i Danmark. De forskellige aspekter af tabellen diskuteres gennem dette kapitel.

Hvad	GRUMO	LOOP	Nationale pejlenet	Vandværker	Punktkilder
Hvor	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Indvindingsboringer	Overvågningsboringer mm.
Hvorfor	NOVANA	NOVANA	NOVANA	Drikkevandsbekendtgørelsen	Jordforureningsloven
Hvem	SVANA/GEUS	SVANA/DCE/GEUS	SVANA/GEUS	Vandværker/kommuner	Regioner
Hvor mange	Over alle år ca. 2000 2015: 758	I alt ca. 100 2015: 91	I alt ca. 160 2015: 139	I alt ca. 8.000 2015: 1584	I alt ca. >15.000 punktkilder, med > 10.000 indtag
Rapport	GEUS	GEUS/DCE	GEUS	GEUS	Region /rådgivere

Tabel 2. Oversigt over bidrag til og aspekter af overvågningen af grundvand i Danmark, herunder omfang af bidrag til datagrundlaget for afrapportering. Bemærk: Punktkilder indgår ikke i nærværende rapportering. Antal punktkilder et skøn baseret på forespørgsler i flere regioner.

Det Nationale Pejleprogram

Figur 1 viser den geografiske fordeling af de 139 indtag, der i 2015 indgik i Det Nationale Pejleprogram. Her overvåges grundvands potentialeforhold med fast installerede dataloggere, der dagligt opsamler flere målinger af grundvandsstanden. I programmet indgår såvel pejlinger i terrænnære indtag, som pejlinger i indtag i de dybere dele af grundvandet.



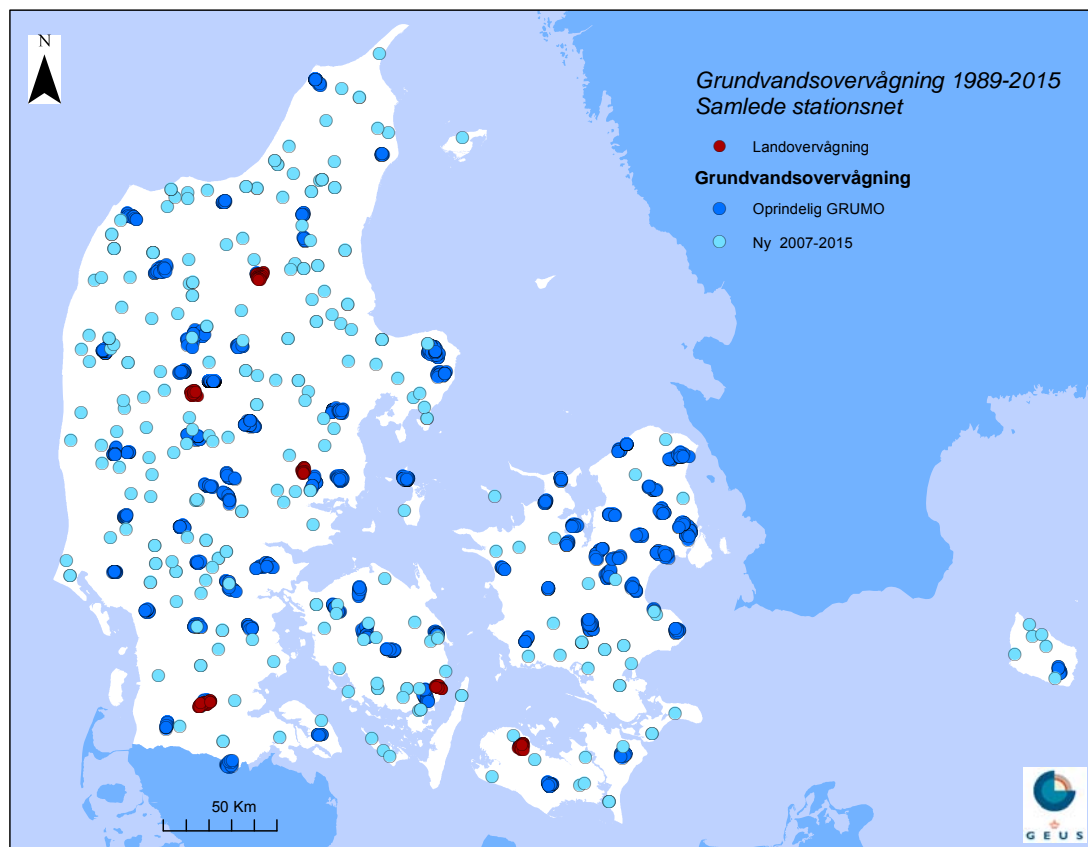
Figur 1. Stationsnet for Det Nationale Pejleprogram i 2015 med fordelingen på henholdsvis terrænnære (≤ 30 m u.t.), middel dybde (30-60 m u.t.) og dybe indtag (> 60 m u.t.).

Grundvandsovervågning, stationsnet for vandkvalitet, historik og status

Figur 2 viser det samlede stationsnet anvendt i grundvandsovervågningen i perioden 1989-2015. Boringerne er opdelt i de oprindelige GRUMO-boringer (der ligger i de gamle grundvandsovervågningsområder), boringer i de seks oprindelige landovervågningsområder (LOOP) og boringer i det distribuerede stationsnet, der er under fortsat udbygning med henblik på tilpasning til Vandrammedirektivet. Det distribuerede stationsnet består af overvågningsboringer, der er etableret eller inddraget siden 2007. Samlet har godt 2.000 indtag været anvendt til overvågning af grundvands kvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2015, se Tabel 3.

Grundvandsovervågningen bestod oprindeligt af 73 grundvandsovervågningsområder, som i årene op til 2007 blev udbygget til at omfatte ca. 1400 overvågningsindtag. Fra programmets start har overvågningen omfattet yderlig 112 meget korte indtag (længde 5 cm) i en række multifilterboringer til overvågning af grundvands hovedbestanddele i Rabis Bæk området. Disse boringer blev etableret som led i et NPO-forskningsprojekt (Postma mfl. 1991). Sidst i 1990'erne blev der etableret yderligere fem multifilterboringer, "redoxboringerne", hver med 15-20 korte indtag (længde 10 cm).

Indtag som undervejs har vist sig uegnet til fortsat overvågning er lukkede, fx når tekniske forhold gør prøvetagning efter standarderne i de tekniske anvisninger vanskeligt eller umuligt.



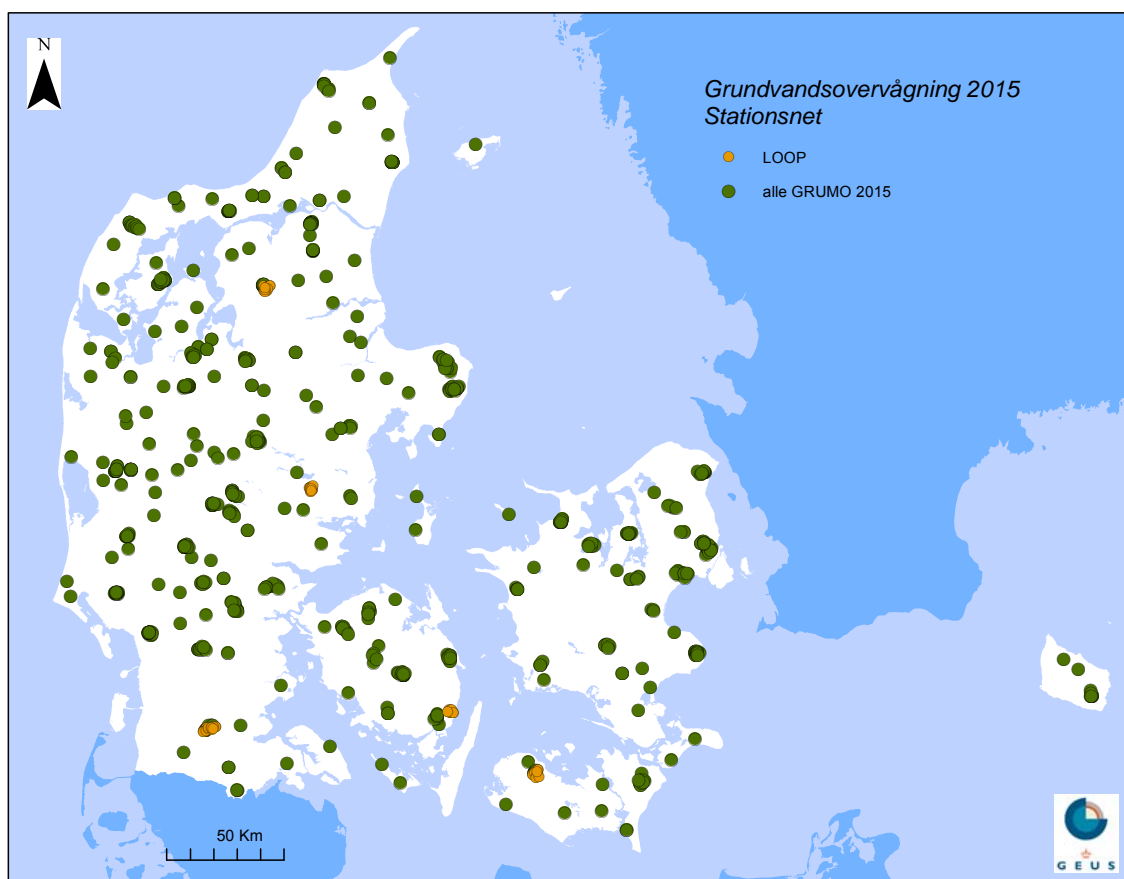
Figur 2. Det samlede stationsnet for grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1989-2015. Kortet viser indtag i de 73 grundvandsovervågnings-områder (GRUMO-områder) og seks landovervågningsoplande (LOOP), hvoraf et ved Herning er lukket i dag. Ligeledes ses de nye overvågningsboringerne i det distribuerede stationsnet, som er under udbygning uden for de oprindelige GRUMO-områder i perioden 2007-2015.

Periode	Etablerede Antal indtag	Aktive Antal indtag	Lukkede Antal indtag	Bemærkning
Før 1988	174	121		NPo program og Amternes egen overvågning
1988-1992	1096	443	161	Etablering af GRUMO områder
1993-1997	149	62	128	Teknisk kvalitetssikring og forbedringer
1998-2003	222	156	142	5 redoxboringer
2004-2009	440	299	510	380 terrænnære boringer
(2007-2009)	(36)	(14)	(230)	Terrænnære uden for GRUMO områder, nær overfladevand.
2010	1	0	37	
2011-2015	242	179	86	Det distribuerede stationsnet
I alt	Ca. 2300	1139	1064	

Tabel 3. Udvikling i stationsnet GRUMO, etablering af stationer. Tabellen angiver antal indtag etableret i de forskellige perioder og hvor mange indtag, der i indværende programperiode stadig er aktive. Derudover er det angivet hvor mange indtag, der blev lukket i forskellige programperioder. Indtag lukket op til 2003 er primært lukket på grund af tekniske forhold. Bemærk, der i en given programperiode lukkes både ældre og nye indtag, der efter etablering ikke viser sig egnede til overvågningsformål, se også Tabel 1.

I de fem aktive landovervågningsoplande, LOOP, se figur 3, har der siden overvågningens start sidst i 1980'erne indgået yderligere ca. 100 indtag, placeret kun 1,5-6,0 meter under terræn (m u.t.). Alle indtag ligger under dyrkede landbrugsarealer, hvor kvaliteten af det helt nydannede grundvand overvåges. Grundvandsovervågningen i LOOP fokuserer på næringsstofferne nitrat og fosfat, men omfattede før 2005 også uorganiske sporstoffer og pesticider. I denne rapport medtages kun LOOP-overvågning i den mættede zone, mens rapporteringen af øvrige aktiviteter i LOOP - herunder overvågning af udvaskning til den umættede zone - rapporteres af DCE, senest i Blicher-Mathiesen mfl. (2016).

Figur 3 viser det stationsnet, der i 2015 er anvendt i overvågningen af grundvandets kemiske tilstand. Der blev i 2015 udtaget vandprøver fra i alt 758 indtag til grundvandsovervågning, heraf 610 i "gamle" indtag etableret før 2006 i 61 GRUMO-områder og 148 "nye" indtag fra det distribuerede stationsnet. I det samlede datasæt indgår der også analyser fra 91 indtag fra fem LOOP-områder. Selve analyseprogrammet præsenteres i kapitel 3.



Figur 3. Stationsnet for grundvandsovervågningen i 2015. Overvågning af grundvandets kvalitet i grundvandsovervågningsboringer i de oprindelige GRUMO-områder, i det distribuerede stationsnet samt i de boringer, der indgår i LOOP.

Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2015

For at tilpasse stationsnettet til kravene om overvågning i Vandrammedirektivet udbygges stationsnettet i 2011-2015, et arbejde der afsluttes i 2016. Udbygningen er sket gennem etablering eller inddragelse af en række enkeltstående boringer. Boringerne har indtag i grundvandsforekomster eller grupper heraf, hvor der hidtil enten ikke er overvåget eller overvågningen har været begrænset.

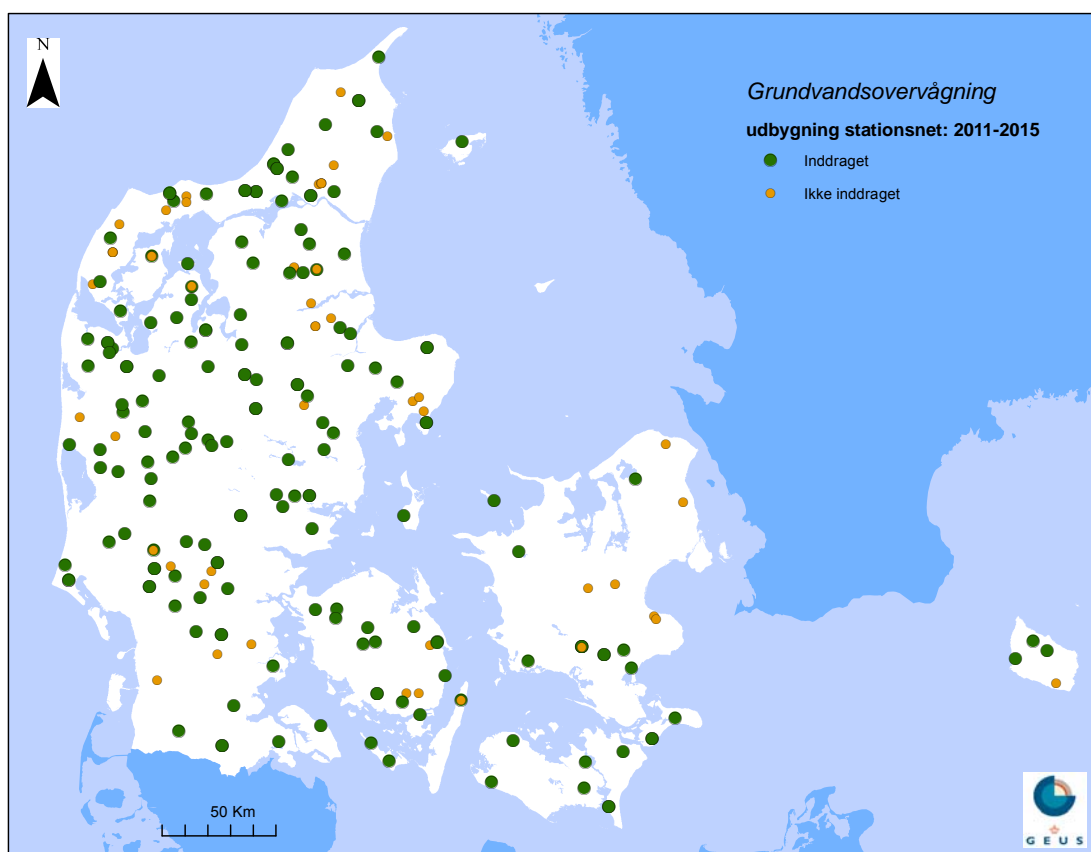
Disse nye boringer er i programbeskrivelsen betegnet "det distribuerede stationsnet" (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011). I den forbindelse er der i 2011-2015 i stort omfang inddraget relevante indtag i kortlægningsboringer fra Den Nationale Grundvandskortlægning.

I forbindelse med etableringen af det distribuerede stationsnet blev 261 indtag omklassificeret til hvilede. Der udtages ikke prøver fra indtagene i programperioden 2011-2015. Der er tale om indtag i dybere grundvandsforekomster med lille eller ingen påvirkning af nitrat, pesticider eller andre miljøfremmede stoffer. Samtidig er det indtag, hvor vandkvaliteten kun langsomt ændres, og hvor vandkvaliteten 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.

I samtlige indtag, der har været i betragtning som kandidater til det distribuerede stationsnet, er der blevet udtaget prøver til analyse for alle relevante kemiske parametre. Formålet hermed er at kunne fastsætte den fremtidige overvågningsfrekvens og vurdere boringens egnethed til overvågningsformål.

Figur 4 viser lokaliseringen af indtag, der i indeværende programperiode (2011-2015) har været inddraget med henblik på at skabe det distribuerede stationsnet. I perioden 2011-2015 har 238 indtag været i betragtning, hvoraf 175 er vurderet egnede til fortsat overvågning pr. 1. januar 2016.

Der har været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra Den Nationale Grundvandskortlægning. Generelt har det vist sig, at kun omkring halvdelen af de eksisterende boringer, der blev forsøgt inddraget op til 2014, var egnede som overvågningsboringer, mens de boringer, der målrettet nyetableres til overvågningsformål, med enkelte undtagelser, har været egnede til formålet.

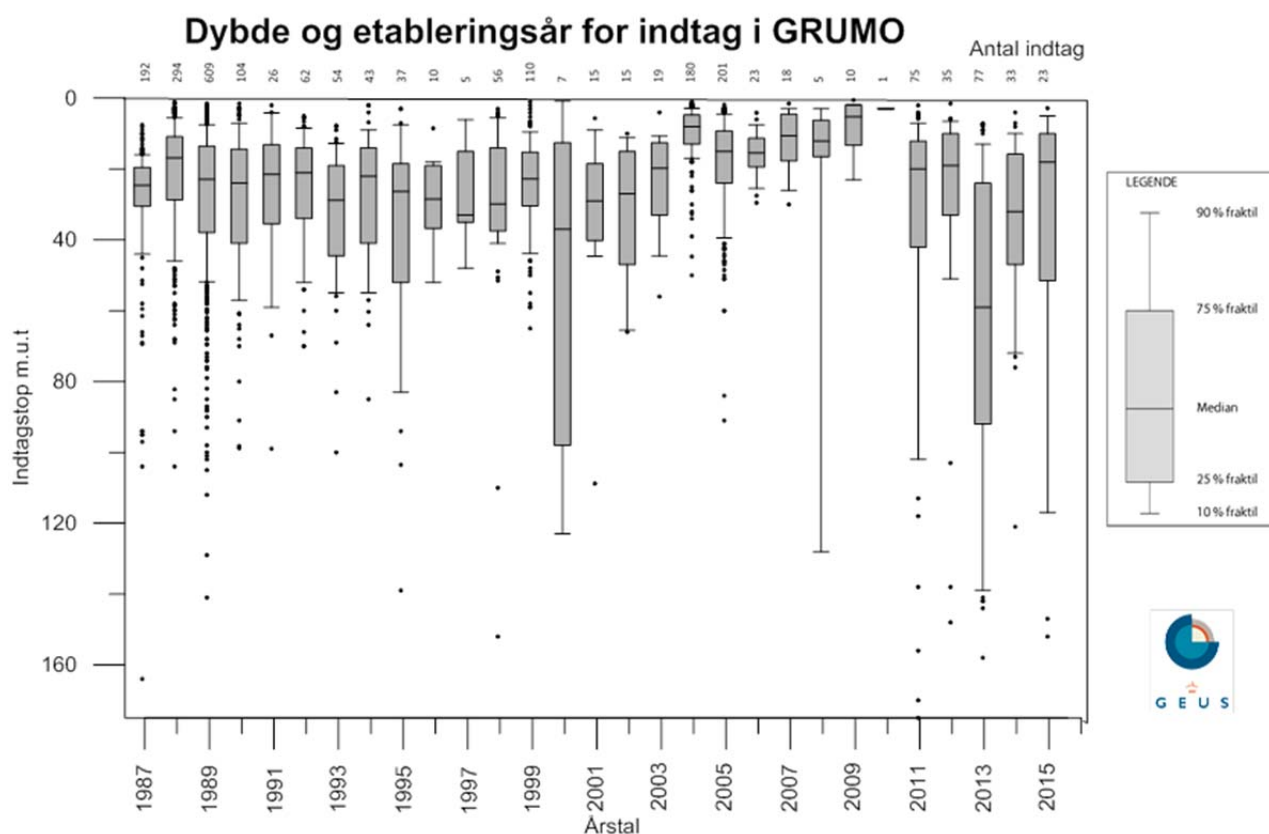


Figur 4. Udbygning af stationsnettet i programperioden 2011-2015: Samtlige 238 overvågningsindtag er prøvetaget i 2011-2015, hvoraf 175 af indtagene er inddraget i det distribuerede stationsnet pr. 1. jan 2016. Indtag, der ikke inddrages, er indtegnet nederst, så boringer med flere indtag viser det indtag, som inddrages.

Figur 5 viser dybdefordelingen for de nye indtag, der er inddraget de enkelte år i perioden 1987-2015. Dybden er fastlagt som afstanden mellem terræn og top af indtag. Etablering af boringer begyndte året før de første prøvetagninger blev igangsat i 1988. Med en vandret streg vises medianværdien. For hvert

år er det angivet, hvor mange indtag der er oprettet. Det fremgår fx, at der blev inddraget 192 indtag i 1987 og blot fem i 2008.

Figur 5 viser, at der frem til ca. 2009 blev inddraget stadigt mere terrænnære indtag. I perioden 2011-2014 er der inddraget mange indtag, som blev etableret i forbindelse med Den Nationale Grundvandskortlægning. Blandt andet derfor ses en større andel af indtag i dybere dele af grundvandet i de seneste år.



Figur 5. Dybdefordeling af afstanden fra terræn til overkanten af indtaget for nye indtag i overvågningen som funktion af det år, de i JUPITER angives til første gang at indgå i GRUMO-stationsnettet. Medianværdien er vist med en vandret streg. Boksen repræsenterer de midterste 25-75 % af fordelingen de enkelte år. 80 % af indtagene ligger inden for linjen. Enkeltpunkter er de indtag, der falder uden for 10-90 % fraktilen. Øverst er angivet antal nye indtag for hvert enkelt år.

2.3 Vandværkernes indvindingsboringer

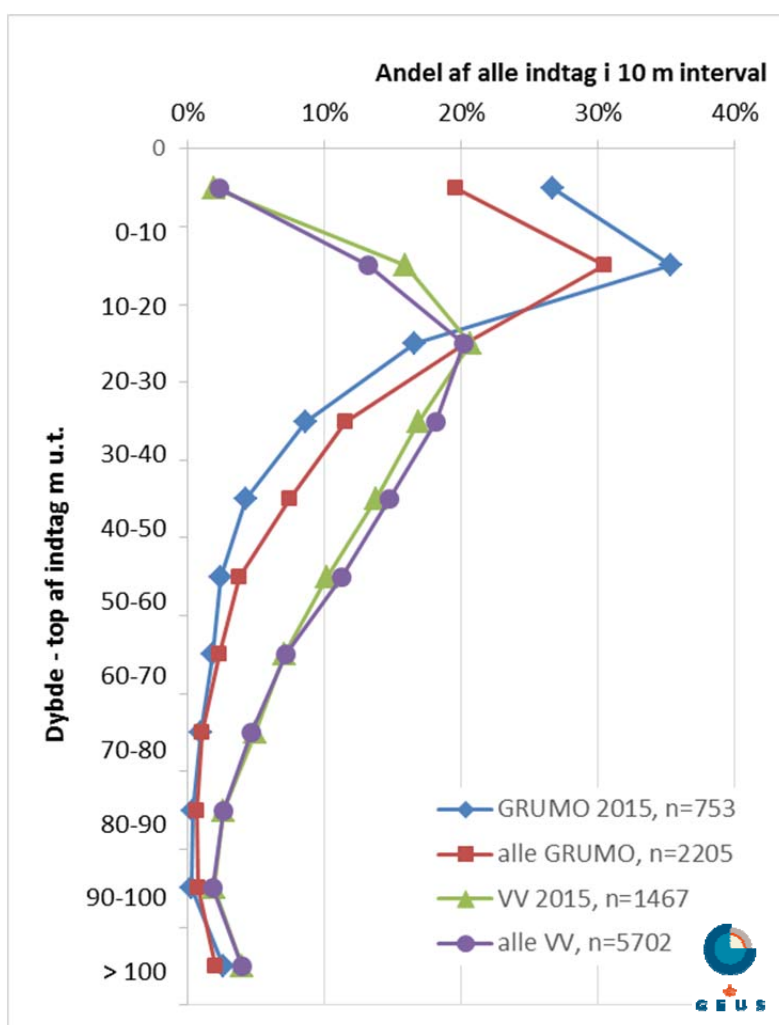
I bekendtgørelsen om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, den såkaldte Drikkevandsbekendtgørelse (senest Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a), har der siden 1989 været stillet krav om overvågning af kvaliteten af det grundvand, som vandværkerne indvinder. Boringskontrollen, som den kaldes, gennemføres af vandværkerne. Hyppigheden af boringskontrolanalyser i aktive indvindingsboringer afhænger af den indvundne vandmængde med en prøvetagningshyppighed fra 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, fx tekniske problemer. Dermed sikres løbende den bedst mulige drikkevandskvalitet for forbrugerne, hvilket ikke nødvendigvis er udtryk for en tilsvarende udvikling i grundvandets kvalitet. Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral vandforsyningsstruktur. I 2012 var der godt 2.600 almene vandværker, hvoraf ca. 330 var offentligt ejet (Sørensen, 2013). Værkerne indvinder fra ca. 7.800 boringer, men har yderligere flere tusind boringer til

pejling, monitorering og reserve. Heraf bliver der indberettet data til JUPITER fra ca. 8.000 borer. Endelig har der de seneste årtier været en udvikling mod færre og større vandværker i Danmark.

For at beskrive kvaliteten af det vand, der på et givet tidspunkt anvendes til drikkevandsformål, er det nødvendigt at have opdaterede oplysninger om hvilke vandværksboringer, der til enhver tid er i drift, og dermed kan karakteriseres som egentlige indvindingsboringer. Vandværksboringerne fordelt over hele Danmark og fremgår fx af Figur 24, der viser nitratindholdet i vandværksboringer prøvetaget i perioden 2011-2015, hvor man kan forvente, at alle aktive vandværksboringer er prøvetaget mindst én gang i perioden.

Figur 6 viser dybdefordelingen til toppen af indtaget for GRUMO borer og vandværksboringer, hvorfra der er analyseresultater i form af en boringskontrolanalyse. Figur 6 viser dels fordelingen af samtlige indtag med analyse i år 2015, og dels indtag med mindst en analyse i hele perioden 1990-2015. Det ses, at dybdefordelingen af vandværksboringerne er den samme i 2015 som for hele perioden, mens der er flere indtag fra GRUMO i højtliggende grundvand i 2015 end for hele perioden. Samtidig kan det udledes af Figur 6, at kun ca. 30 % af vandværksboringerne har toppen af indtaget beliggende i større dybde end 50 m u.t. Mere end halvdelen af alle vandværksboringer har toppen af indtaget beliggende mellem 20 og 50 m u.t.



Figur 6. Dybdefordeling af overkant af indtag (m u.t.) for aktive vandværksboringer (VV) og GRUMO-indtag, hvorfra der er udtaget prøver for hhv. en boringskontrol og hovedbestanddele i forbindelse med overvågningen, og hvor der er oplysninger om dybden. Fordelingen er vist for perioden (1990-2015) og for 2015. Det fremgår, at vandværksboringerne havde den samme dybdefordeling i 2015 som i perioden 1990-2015, mens der i GRUMO er kommet flere indtag til i de øverste 20 m.

Referencer: Formål og stationsnet

Dansk lovgivning mv.

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

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015a: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvand og grundvand, nr.1070 af 09/09/2015.

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015b: Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder. LBK nr. 1531 af 08/12/2015 (Miljømålsloven)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015c: Lov vandforsyning mv. LBK nr. 1584 af 10/12/2015 (Vandforsyningsloven)

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016b: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger nr. 914 af 27/06/2016. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen) Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c:

Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljøstyrelsen, 1988: Sammenstilling af det totale overvågningsprogram i henhold til vandmiljøplanen, okt. 1988.

Miljøstyrelsen, 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115, Miljøstyrelsen 1989.

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

Miljøstyrelsen, 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr.2/1993, Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen 2000: NOVA-2003. Redegørelse nr. 1, 2000, Miljøstyrelsen.

Miljøstyrelsen, 2013a: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the period 2008-2011. (83 pp)

Miljøstyrelsen, 2014a: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <http://svana.dk/overvaagning/novana-program/> (22-9-2016)

Naturstyrelsen, 2014: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning. Bilag A opdateret 2016.

Naturstyrelsen, 2015: NOVANA 2016, Programbeskrivelse.

EU direktiver

Analysekvalitetsdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2009/90/EF

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

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

Nitratdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF

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

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015. Landovervågningsoplände 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164 <http://dce2.au.dk/pub/SRxxx>

DMU, 2004: NOVANA, Det nationale program for overvåning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse. Faglig rapport fra DMU nr. 495.

DMU, 2007: NOVANA – det Nationale Program for Overvåning af Vandmiljøet og Naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508.

DMU, 2007: Det nationale program for overvåning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse 2007-2009. Faglig rapport fra DMU nr. 615, 2007.

DMU, 2010a: Program NOVANA 2010. Opdatering af faglig rapport nr. 615 fra DMU – Programbeskrivelse for NOVANA del 2. NOTAT, 31. maj 2010.

DMU, 2010b: DEVANO 2010. Decentral Vand og Naturovervåning. NOTAT, 31. maj 2010.

Postma, D., Boesen, C., Kristiansen, H. & Larsen, F. (1991): Nitrate Reduction in An Unconfined Sandy Aquifer - Water Chemistry, Reduction Processes, and Geochemical Modelling. Water Resour.Res. 1991, 27 (8), 2027–2045.

Qevauviller, P., 2005: Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs. J. environmental monitoring, 2005, vol 7 pp 89-102.

Stockmarr, J. (red) 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/g-o-2001-indl.pdf>

Sørensen, B.L., 2013: Hvor mange vandværker er der i Danmark og hvor meget grundvand indvinder de? Foredrag på Dansk Vand Konference 19. nov. 2013, Århus.

Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (22.9.2016)

Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/78 http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/grundvand_kemiske_tilstand.aspx (22.9.2016)

Trolborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Documents/GEUS_Rapport_58_2014_Final_web.pdf (22.9.2016)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (22.9.2016)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (22.9.2016)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://svana.dk/vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (22.9.2016)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: <http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/index.html> (22.9.2016)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (22.9.2016)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer, <http://miljoeogressourcer.dk/> (22.9.2016)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (22.9.2016)

NOVANA hjemmeside <http://svana.dk/overvaagning/novana-program/> (22.9.2016)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (22.9.2016)

NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (22.9.2016)

NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (22.9.2016)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://svana.dk/vand/vandomraadeplaner/> (22.9.2016)

3 Datagrundlag og metoder

Sammenfatning og konklusion

Gennem hele overvågningen har grundvandets kvalitet været overvåget med fokus på fire stofgrupper: Hovedbestanddele, uorganiske sporstoffer, pesticider og organiske mikroforureninger. Data er indsamlet i det Nationale Overvågningsprogrammes særlige overvågningsboringer (GRUMO og LOOP) og i vandværker-nes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol.

Analyseprogrammerne for de miljøfremmede stoffer har både for GRUMO og boringskontrollen udviklet sig gennem tiden, bl.a. i takt med udviklingen af analysemetoder, der har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser i forhold til kravværdierne og dermed mulighed for overvågning af nye stoffer i grundvandet. Samtidig er stoffer, der kun sjældent eller aldrig påvises, udgået af programmerne. Se fx bilag 7. Analyseprogrammerne for boringskontrollen fremgår af den til enhver tid gældende version af Drikkevandsbekendtgørelsen. Tidligere versioner af bekendtgørelsen findes på Retsinformati-ons historiske database. Analyseprogrammerne for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne.

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af overvågningen. Kommunerne sikrer hvert år indberetning af disse data til JUPITER.

Kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af regionerne i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteredes indtil 2014 årligt af Miljøstyrelsen. En mindre del af disse data er indberettet til JUPITER. Grundvandsdata fra jordforureningsområdet er IKKE genstand for nærværende rapportering.

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder. Som udgangspunkt bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagsniveau. Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig i tid og rum. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data på tværs af forskellige indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kravværdier og detektionsgrænser. I det omfang, der på tværs af forskellige indtag beregnes gennemsnitsværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler, se nedenfor i kapitel 3.2.

For at kunne håndtere indtagenes forskellige prøvetagningshyppigheder og aktive perioder, sådan som de er indbygget i programmet, se kapitel 2, anvendes en periodeopgørelse, der giver et billede af det samlede resultat over en given periode.

3.1 Analyseindsats og dataindsamling

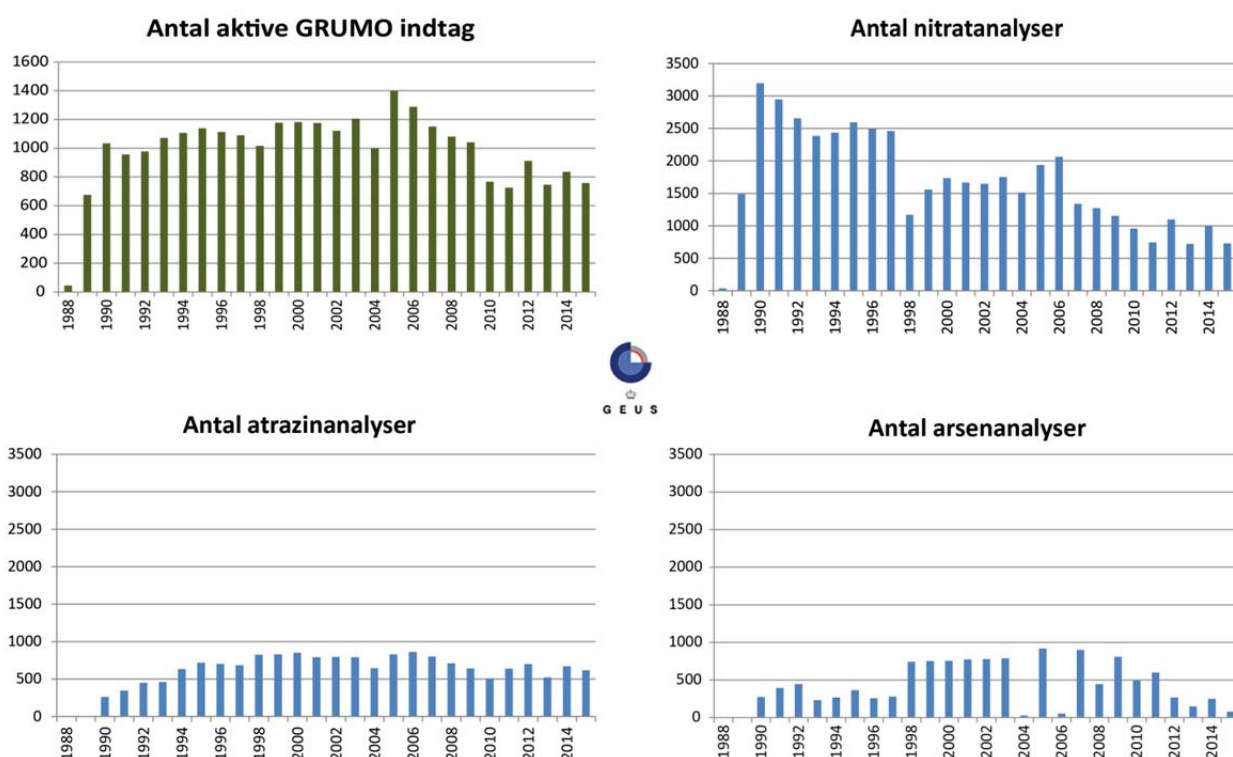
Analyseindsats vedr. grundvandskvalitet

Gennem hele overvågningen har grundvandets kvalitet været overvåget med fokus på fire stofgrupper: Hovedbestanddele, uorganiske sporstoffer, pesticider og organiske mikroforureninger. Data er først og fremmest indsamlet i det Nationale Overvågningsprogrammes særlige overvågningsboringer (GRUMO og LOOP) og i vandværker-nes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol.

Analyseprogrammerne for de miljøfremmede stoffer har for både GRUMO og boringskontrollen udviklet sig gennem tiden i takt med, at udviklingen af analysemetoderne har muliggjort analyser af relevante miljøfremmede stoffer og sporstoffer med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser i forhold til kravværdierne. Undervejs er stoffer, der kun sjældent eller aldrig findes, udgået af programmerne. De aktuelle analyseprogrammer for indeværende programperiode fremgår af de kapitler, hvor stofferne præsenteres. Analyseprogrammerne i øvrigt fremgår af programbeskrivelserne (NOVANA-hjemmesiden). Analyseprogrammerne for boringskontrollen fremgår af de forskellige versioner af Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016a).

Specielt for pesticider gælder, at resultaterne fra "Varslingssystemet for pesticider" (VAP) anvendes til justering af analyseprogrammet for både GRUMO og boringskontrollen, mens fx screeninger og andre resultater fra NOVANA indgår i beslutningsgrundlaget for justering af analyseprogrammet for GRUMO og drikkevandsbekendtgørelsen, herunder boringskontrollen se også kapitel 7 og 8. I bilagene præsenteres resultater fra samtlige pesticidanalyser, opdelt på grundvandsovervågning og boringskontrol, i det omfang de foreligger i JUPITER.

Figur 7 viser hvor stort et datamateriale, der er til rådighed for rapporteringen med udgangspunkt i antallet af registrerede aktive GRUMO-indtag samt antal analyser for nitrat, atrazin og arsen. De tre udvalgte stoffer har gennem hele programperioden indgået i analysepakkerne for hhv. hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer og illustrerer således analyseomfanget for disse stofgrupper.



Figur 7. Illustration af analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2015. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver i de enkelte år, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

Antallet af prøvetagede indtag i de enkelte år viser, hvorledes overvågningen iværksættes i løbet af 1988-1989 og derefter frem til 2004 har nogenlunde konstant antal prøvetagede indtag hvert år. Tabel 3 redegør for, hvorledes der i 2004-2006 etableres mange nye terrænnære indtag, og der fra og med 2007 igangsættes en omlægning af stationsnettet.

Det fremgår af Figur 7, at mens der har været et fald i antallet af årlige analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider ligget mere konstant i hele overvågningsperioden, dog med et mindre fald, der svarer til det reducerede stationsnet efter 2010. I indeværende programperiode er der normalt højst én prøve/år/indtag, bortset fra i redoxboringerne, der kun indgår i to af programperiodens år (2012 og 2014), men da med fire prøver/år/indtag.

Faldet i antallet af nitratanalyser pr. år er især begrundet i det forhold, at prøvetagningsfrekvensen/år for hovedbestanddele er faldet gennem tiden, mens prøvetagningsfrekvensen for pesticider til sammenligning ikke har varieret meget. Det større antal analyser for nitrat i 2012 og 2014 end 2013 og 2015 viser, at der i 2012 og 2014 blev udtaget prøver i de 89 indtag i redoxboringerne, der ikke prøvetages hvert år.

Hvad angår sporstofferne har prøvetagningshyppighederne og omfanget af analyser varieret betragteligt fra programperiode til programperiode. De mange analyser for sporstoffer i programperioderne fra 1993 til 2009, skulle dække behovet for at etablere baggrundskoncentrationer af sporstofferne, hvorefter der fokuseres på overvågning i områder med særligt høje koncentrationer af sporstoffer.

Oppumpede vandmængder

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. I henhold til Vandforsyningsloven (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015c) og Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016a) skal alle almene indvindinger indberette indvindingen til kommunerne. Ikke-almene indvindinger indberettes dog kun, såfremt kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne kvalitetssikrer og indberetter herefter vandmængderne til JUPITER.

Anden overvågning af grundvandet

Kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af Regionerne i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteredes indtil 2014 årligt af Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2014a). Denne overvågning er knyttet til såvel oprydninger som kortlægning af jordforureninger. Derudover foretages der overvågning af grundvandet ved forurenende virksomheder som lossepladser mv. Mere information kan fås på Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer (Hjemmesiden for jordforurening).

Data, der indsamles som led i overvågning og undersøgelser af kendte større punktkilder, og som efterfølgende er indlæst i JUPTIER, er så vidt muligt søgt adskilt fra de øvrige data, der indgår i denne rapportering. I regi af Miljøportalen arbejdes der i disse år på, at grundvandsdata fra regionernes forureningsundersøgelser løbende lægges i JUPITER, men på nuværende tidspunkt er det ikke besluttet, hvornår det skal ske.

Datagrundlag for rapportering

Indberetningen af vandanalyser til JUPITER databasen fra såvel grundvandsovervågningen som boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af analyselaboratorierne. Efterfølgende godkender kommunerne eller Styrelsen for Vand og Naturforvaltning, SVANA data jf. Dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2016) og Drikkevandsbekendtgørelsen (senest Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016a), før de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen.

Vandværkernes aktive indvindingsboringer identificeres til rapporteringen på grundlag af bl.a. en kode for prøveformål, som laboratorierne angiver for hver analyseret vandprøve, der indberettes til databasen.

Kommunerne vedligeholder de administrative oplysninger om vandværkerne i JUPITER, og det forudsættes, at boringernes driftsstatus er ajourført. Når der i denne rapport gives status for grundvandskvaliteten i vandværksboringerne på aktive vandværker, forventes det, at datamaterialet kun i begrænset omfang inddrager analyser fra vandværker, der ikke længere er aktive. Af samme årsag forventes datamaterialet kun i begrænset omfang at medtage vandværksboringer, hvorfra der ikke indvindes grundvand til drikkevandsproduktion. Det kan fx være et vandværks overvågningsboringer eller pejleboringer, hvor der har været et behov for at kende vandkvaliteten.

Fast dataudtræk fra JUPITER

Som grundlag for rapporteringen udarbejdes der hvert år et veldefineret udtræk fra JUPITER, som rapporteringen er baseret på. Udtrækket produceres af et særligt program med algoritmer, der sikrer at data, der fx er mærket som fejlagtige, ikke indgår i databehandlingen. Ligeledes fjernes dubletter, lige som andre datatekniske problemer som fx anvendelse af forskellige stofkoder for samme stof eller brug af forskellige enheder håndteres.

Før udtrækket foretages, gennemfører GEUS en kvalitetskontrol af de data, som Styrelsen for Vand og Naturforvaltning, (SVANA, tidligere Naturstyrelsen), har indsamlet som led i NOVANA. Det kan dreje sig om forkert brug af koder, og andre datatekniske forhold. Derudover producerer GEUS plot af alle pejletidsserier, hvilket giver SVANA mulighed for at identificere og rette fejl og mangler, som ikke blev erkendt under indlæsning, inden det endelige dataudtræk af pejlinger til rapporteringen foretages.

Til denne rapport er der lavet et udtræk af de kemiske data fra JUPITER d. 1. april 2016, mens der pr. 20. maj 2016 er foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de indberettede vandmængder til JUPITER for perioden 1989 frem til og med 2015.

3.2 Metoder til databehandling

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt for databehandlingen bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagniveau.

Statistiske metoder

Det bærende princip for hovedparten af figurene er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig i tid og rum. Der er fokus på hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kravværdien og detektionsgrænsen. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit for data fra flere forskellige indtag, men det kan fx være relevant i en udvalgt delmængde af data med fælles egenskaber. I det omfang, der beregnes gennemsnitsværdier, præsenteres også medianer. Grundvandets tilstand mht. de enkelte stoffer/stofgrupper kan derudover illustreres gennem fraktildiagrammer, beregning af medianer og 25 og 75 % fraktiler mv., der samtidig illustrerer spredningen, se fx Figur 26. Der er, i relevant omfang, lavet en opdeling efter geologi, geokemi, dybde eller strømningstid mv, specielt i de år, hvor der er særlig fokus på et enkelt emne. For miljøfremmede stoffer med lave fundprocenter er fundprocenten i sig selv en vigtig parameter.

Koncentrationsklasser.

Der anvendes en ensartet afgrænsning af koncentrationsintervaller i forhold til anvendelsen af < eller ≤ gennem hele rapporten. I Drikkevandsbekendtgørelsen arbejdes med den højst tilladelige værdi, hvilket betyder, drikkevandskravet først er overskredet, når indholdet i en prøve er større end kravværdien.

Rapporten tager derfor afsæt i disse tre koncentrationsklasser:

- under detektionsgrænsen, DG. Dvs. $x < DG$ (i.p. = ikke påvist)
- fra og med detektionsgrænsen og til og med kravværdien, KV. Dvs. $DG \leq x \leq KV$
- over kravværdien. Dvs. $x > KV$

Detektionsgrænse og kvantifikationsgrænse

Mens vi i Danmark traditionelt opererer med detektionsgrænsen, opererer man i Analysekvalitetsdirektivet (EU, 2009) og Grundvandsdirektivet (EU, 2006) med kvantifikationsgrænsen (LQ, level of quantification), som er defineret som tre gange detektionsgrænsen (DG). Alle resultater i JUPITER er angivet i forhold til detektionsgrænsen. I Danmark implementeres brugen af kvantifikationsgrænsen med bekendtgørelse 914 af 27/06/2016 (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016b).

Som udgangspunkt i GRUMO-rapporten anvendes detektionsgrænsen (DG). Hvis koncentrationer er < DG (ikke påvist) anvendes den numeriske værdi af DG ved beregning af gennemsnitsværdier. Hvis alle værdier er under prøvens DG, opgives gennemsnit, median osv. som mindre end den største DG i populationen. Er der et fåtal af analyser med forhøjet DG angives den hyppigste DG, og undtagelserne bemærkes. Dette kan især være relevant for visse pesticider, eller når der indgår ældre data med højere DG.

Valget af den numeriske værdi af DG som substitut for prøver med indhold under DG ved beregninger er begrundet i det forhold, at det beregningsteknisk giver mindst risiko for fejl, og det forhold, at der for miljøfremmede stoffer (MFS) er fokus på om stoffet overhovedet er til stede. For naturligt forekommende stoffer normalt er DG, som regel meget mindre end kravværdien, og substitutionsmetoden i praksis uden betydning for vurdering af tilstanden.

Kvantifikationsgrænsen (LQ) anvendes almindeligvis ikke i GRUMO rapporten. Den er dog inddraget, når det vurderes, at der er særlig stor usikkerhed på målinger omkring DG. Dette er især tilfældet for organiske mikroforureninger, hvor risikoen for kontamineringer er særlig stor.

Ved beregning af udviklingstendenser på stoffer med indhold tæt ved DG er der særlige problemer knyttet til den store analytiske usikkerhed på måleresultater under LQ. Derfor anvendes $\frac{1}{2} * LQ$ for alle værdier under LQ, når der skal beregnes trends. Dette er især relevant for pesticider, hvor mange stoffer optræder meget tæt på DG, og variationer mellem fx 0,01 og 0,025 µg/l ikke må fejltolkes som en reel fordobling af indholdet, men alene som usikkerheden på fastlæggelse af indhold ved værdier under LQ. Egentlige trendberegninger indgår normalt kun i forbindelse med temarapportering.

Databehandling

Fraktildiagrammer, hvor alle målinger indgår, anvendes til at præsentere stoffernes koncentrationsfordelinger. Afbildningsmetoden giver mulighed for at aflæse median og vurdere spredningen på resultaterne, se fx Figur 26.

Der anvendes også søjlediagrammer og tabeller, hvor stoffernes % -vise fordeling typisk præsenteres i mindst tre koncentrationsintervaller:

- under detektionsgrænsen, DG (i.p. = ikke påvist)
- fra og med detektionsgrænsen og til og med kravværdien
- over kravværdien

Når data fra indtag med forskellig prøvetagningsfrekvens skal sammenlignes, må opgørelser over tilstand og udvikling i populationen baseres på en samlet periode af en vis længde. Hertil har GEUS gennem alle årene anvendt periodeopgørelser, der bygger på det princip, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i et givent koncentrationsinterval, selv om der har været udtaget flere vandprøver med fund, eller der er påvist flere stoffer i samme prøve. På indtagsniveau opgøres således, hvor stor en andel af indtagene, der i en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller overskridelse af kravværdien, se boks 1. Det optælles ikke hvor mange stoffer, der har været påvist, eller hvor mange stoffer, der har overskredet kravværdien. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kravværdien, tælles derfor kun med én gang. Omvendt betyder metoden, at hvis der er udtaget flere vandprøver fra samme indtag over en periode, og der ikke er fund i alle prøver i perioden, men dog mindst ét fund, bliver indtaget talt med i kategorien med fund.

Boks 1: Principper for en periodeopgørelsen

I periodeopgørelsen tæller hvert indtag kun med én gang en given periode.

- For *enkeltstoffer* optælles, i hvor mange indtag stoffet er fundet over en given periode.
- For *alle analyserede stoffer*, hvor gruppen af stoffer har samme kravværdi (fx pesticider) optælles i hvor mange indtag, der mindst én gang i en periode er påvist et eller flere stoffer over detektionsgrænsen eller kravværdien.

Optællingen kan tage udgangspunkt i middelværdi i perioden eller om der er mindst ét stof eller mindst ét indtag, der i perioden ligger over detektionsgrænse eller kravværdi. Middelværdi bruges når indholdet i hovedparten af analyserne ligger langt over detektionsgrænsen.

I rapportens kapitler er anført, hvilke af ovenstående muligheder, der er brugt.

BEMÆRK: Hvis der er flere fund af samme stof flere gange tælles det kun med én gang. Hvis der er flere stoffer fra samme stofgruppe, indgår stofgruppen stadig kun én gang.

Dybdefordelinger

Fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet illustreres som Figur 21. Her er dybden opdelt i intervaller typisk af 10 m.

Dybdefordelingen præsenterer ved stoffernes procentvise fordeling, typisk i mindst tre koncentrationsintervaller:

- under detektionsgrænsen, DG (i.p. = ikke påvist)
- fra og med detektionsgrænsen og til og med kravværdien
- over kravværdien

Dybden er angivet som "dybden til top af indtag" eller "indtagstop". Dette er den dybde, som er angivet i JUPITER i m u.t. til overkanten af indtaget. I GRUMO er indtagene som regel korte med en længde på 1-2 m. I vandforsyningsboringer er længden af indtaget ofte omkring 6 m, men kan være meget lange, fx kan indtaget i nogle kalkboringer være op til 50 m langt.

Tidsserier

De fleste indikatorer viser tidsserier med udgangspunkt i prøvetagningsåret, se fx Figur 25. Tidsserier, hvor alle målinger (evt. for en bestemt veldefineret delmængde af data) fra hvert år indgår, er præsenteret i boksdiagrammer. Disse diagrammer er især nyttige for stoffer med en stor andel af resultaterne over detektionsgrænsen. Her vises både gennemsnitsværdi og median sammen med 10, 25, 75 og 90 % fraktilerne, se fx Figur 26.

Egentlige statistiske analyser af tidsserier ligger uden for rammerne af den årlige normalrapportering, men kan udføres i forbindelse med temarapportering. Her kan resultaterne fra dateringerne også inddrages (se kap. 4), og tidsskalaen kan transformeres til infiltrationstidspunktet. Dette muliggør en stærkere effektmåling af samspillet mellem indsatsplaner og miljøtiltag og de målte koncentrationer i grundvandet, fx nitrat, se Figur 32.

Pejledata og oppumpede vandmængder

Pejledata og oppumpede vandmængder behandles ikke som de kemiske parametre.

Oppumpede vandmængder præsenteres alene som tidsserier opdelt på indvindingskategorier.

Mht. pejledata er overvågningen stadig under konsolidering, og fokus ligger på datakvalitet og teknisk udvikling af området. Data indsamles med meget stor hyppighed (ned til hvert kvarter) og præsenteres som tidsserier på indtagsniveau for udvalgte indtag. Der arbejdes med metodeudvikling for aggregering af data. I årets rapport er der vist et eksempel herpå, se kap. 10.

Referencer: Datagrundlag og metoder

EU, 2006: Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. (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. (Analysekvalitetsdirektivet)

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, <http://www.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalens%20bilag%203%20om%20grundvand%20-%20revideret%20marts%202015.%20PDF.pdf> (22-09-2016)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015a: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvand og grundvand, nr.1070 af 09/09/2015.

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015b: Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder. LBK nr. 1531 af 08/12/2015 (Miljømålsloven)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015c: Lov vandforsyning mv. LBK nr. 1584 af 10/12/2015 (Vandforsyningsloven)

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016b: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger nr. 914 af 27/06/2016. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljøstyrelsen, 2014a: Miljøstyrelsen, Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <http://svana.dk/overvaagning/novana-program/> (22-9-2016)

Relevante hjemmesider og links

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://svana.dk/vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (22.9.2016)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: <http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/index.html> (22.9.2016)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (22.9.2016)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer, <http://miljoegressourcer.dk/> (22.9.2016)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (22.9.2016)

NOVANA hjemmeside <http://svana.dk/overvaagning/> (22.9.2016)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (22.9.2016)

4 Grundvandets strømning og opholdstid

Sammenfatning og konklusion

Formålet med dette kapitel er at give en kortfattet baggrund for de hydrogeologiske betingelser for tolkning af de data, der indgår i rapporten. Her introduceres begreber som grundvandsmagasiner, grundvandsdannelse, grundvandets strømningsforhold, væsentlige geokemiske miljøer (redoxforhold) og grundvandets opholdstid. Dette er valgt frem for en fragmentarisk ordliste, som vanskeligere kan formidle sammenhængen i den faglige baggrundsviden. Gennem rapporten er der således i vidt omfang referencer til dette kapitel i relation til diskussionen af de indsamlede data.

Dateringerne anvendes til at illustrere opholdstiden af grundvandet i de indtag, der indgår i stationsnettet. Dateringerne forbedrer mulighederne for at vurdere effekten af de miljøpolitiske indsatser, der er iværksat for at sikre opfyldelse af målsætningerne for grundvandets kvalitet.

4.1 Grundvandets hydrogeologi

Geologiske forudsætninger

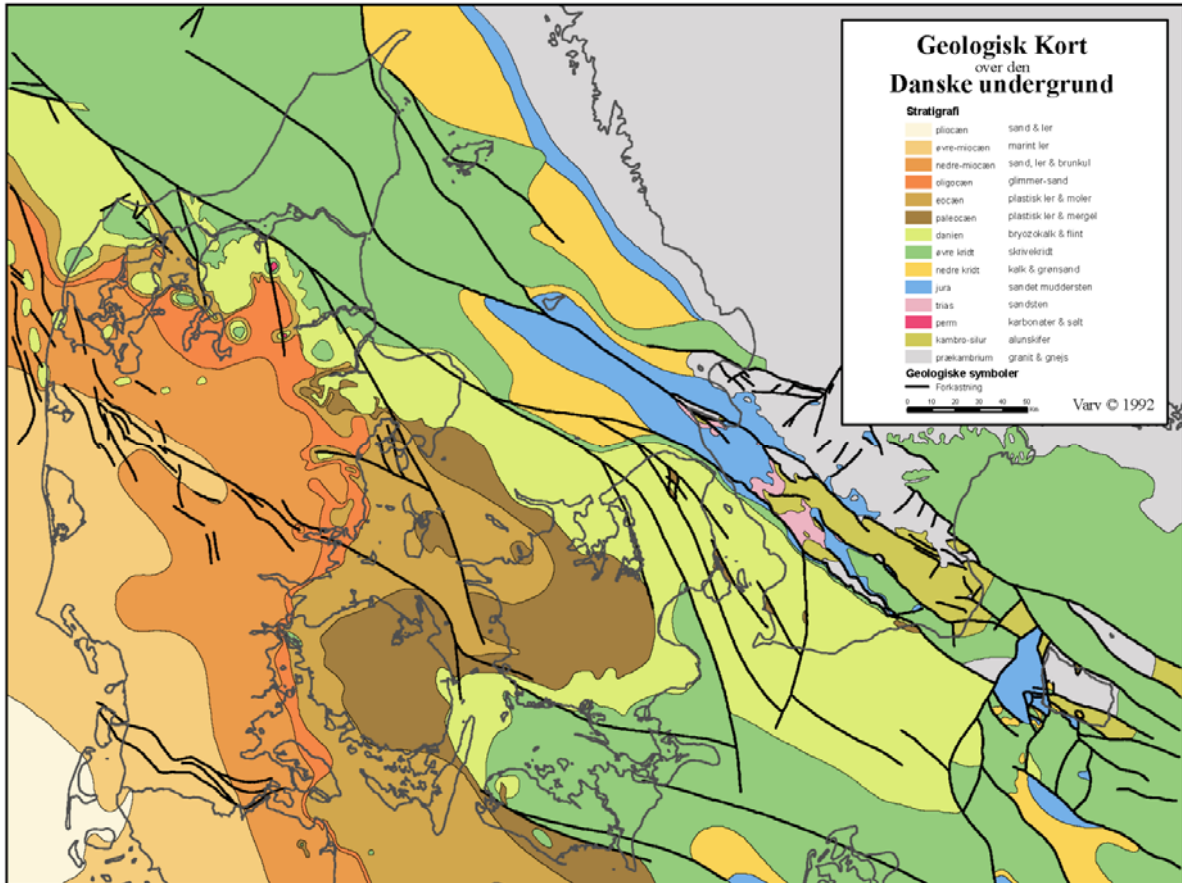
I store dele af Danmark foregår grundvandsindvindingen fra geologiske lag afsat af smeltevand i forbindelse med landets nedisning under de seneste istider under kvartærtiden. I andre områder indvindes vandet også fra kalk og sandlag, der stammer fra før istiderne, de såkaldte prækvartære aflejringer. Indvindingsforholdene på den nordlige del af Bornholm er særlige, idet undergrunden der består af grundfjeld.

Figur 8 viser et geologisk kort over den danske undergrund. Kortet er et prækvartærkort dvs. at det viser de lag, der ligger umiddelbart under istidsaflejringerne. Grundvandsmagasiner i Skrivekridt (mørk grøn farve) og Danienkalk (lys gulgrøn farve) findes under istidslagene i den østlige del af Sjælland, på Lolland, Falster, Møn, i den østlige del af Fyn ved Nyborg og på det nordlige Langeland samt i et strøg fra Djursland til Aalborg til Thy. Derudover findes der også grundvandsmagasiner i glaciale sandlag i disse områder.

I Østjylland, i området omkring Himmerland, Thy, på Fyn og Vestsjælland består de prækvartære lag af fed tertiær ler (Oligocæn, Eocæn og Paleocæn), der ikke kan anvendes til vandindvinding. Her findes grundvandsmagasinerne typisk i begravede dale i det prækvartære ler, der er fyldt op med istidsaflejringer. I disse områder er lagene ofte meget forstyrrede af isens bevægelser. Under disse heterogene forhold kan det være vanskeligt at vide, hvor grundvandsmagasinerne ligger, og ny viden fra Den Nationale Grundvandskortlægning (Grundvandskortlægningens hjemmeside) har stor betydning for kendskabet til grundvandsmagasinerne rumlige udbredelse.

I det vestlige Jylland findes der betydelige grundvandsressourcer i de tertiære sandlag under istidslagene. Disse sandlag hælder mod vest, og findes derfor i stor dybde ved den jyske vestkyst. Disse tertiære sandlag, er yngre end kalken og optræder ikke i den østlige del af Danmark.

Over de prækvartære grundvandsmagasiner findes i det meste af landet glaciale grus- og sandmagasiner, der også udnyttes til vandindvinding. I det nordligste Jylland ligger kalkforekomsterne så dybt, at de indeholder saltvand, og derfor ikke er anvendelige til vandforsyningsformål. I dette område anvendes glaciale grus- og sandlag samt post-glaciale (lag dannet efter istiden) lag til grundvandsindvinding.



Figur 8. Den prækvartære overflade i Danmark, dvs. udbredelsen af ældre geologiske lag umiddelbart under istidsaflejringerne fra den kvartære periode, der begyndte for ca. 1,6 mio. år siden. (Håkansson & Schack Pedersen, 1992)

Grundvandsdannelse

Nedbør, der ikke fordampes fra planter, fra jordoverfladen eller vandoverflader, strømmer enten via dræn til vandløbene eller til dybere lag i undergrunden, hvor det udgør den egentlige grundvandsdannelse. I de øvre jordlag er der som regel også luft i hulrummene mellem sedimentkornene. Hvor der er luft i hulrum og sprækker, taler man om den umættede zone, hvor nedsivningen sker ved en overvejende lodret vandbevægelse mod grundvandsspejlet. Under grundvandsspejlet er der vandmættede forhold (grundvand), hvilket betyder der ikke længere er luft mellem kornene.

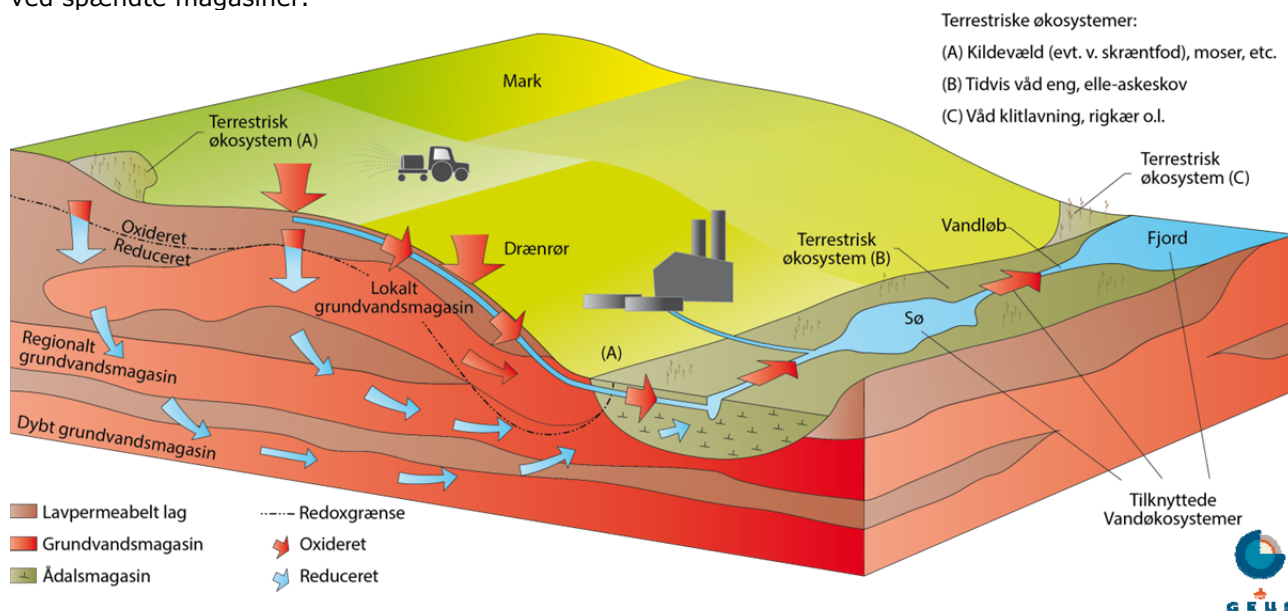
Grundvandsmagasiner

Et grundvandsmagasin kan defineres som et vandførende geologisk lag, hvorfra der kan etableres en rentabel vandindvinding. I Vandrammedirektivet er dette formuleret således: "et Grundvandsmagasin er et eller flere underjordiske lag af bjergarter eller andre geologiske lag med tilstrækkelig porøsitet og permeabilitet til at muliggøre enten en betydelig grundvandsstrømning eller indvinding af betydelige mængder grundvand".

Der foregår også en opmagasinering og transport af grundvand i mellemliggende, lavpermeable geologiske lag, og ofte påvirkes grundvandskvaliteten i betydeligt omfang af disse lag, det være sig fx i form af nitratreduktion eller frigivelse af arsen.

Figur 9 viser en principskitse for grundvandsdannelse og -strømning samt magasintyper. Grundvandsmagasiner opdeles i frie, spændte eller artesiske. Frie grundvandsmagasiner er karakteriseret ved, at der over grundvandsspejlet findes en umættet zone. Frie grundvandsmagasiner er normalt i direkte kontakt med atmosfæren via luften i den umættede zone. Frie grundvandsmagasiner findes i sandlag i store dele af Jylland, og i kalkmagasiner eksempelvis ved Aalborg, på Djursland, på Stevns og Møn. Grundvandet i

frie grundvandsmagasiner er ofte relativt ungt. Der kan dog forekomme relativt gammelt grundvand i frie magasiner, hvor der er opadrettede hydrauliske gradienter fx tæt på åer. Grundvandet i frie magasiner er ofte relativt sårbart overfor påvirkninger fra terræn, da der ikke er overliggende, beskyttede lerlag, som ved spændte magasiner.



Figur 9. Konceptuel figur over grundvandets strømningsmønster. Frie grundvandsmagasiner med dominerende lokal grundvandsstrømning og spændte grundvandsmagasiner med regionale grundvandsstrømninger.

Spændte grundvandsmagasiner er højpermeable aflejringer, der ligger under lavpermeable geologiske lag, se det regionale grundvandsmagasin på Figur 9. Når grundvandsmagasiner er spændte, vil grundvandsstanden i borer stå over lagets øvre grænse op i lag, der er mere eller mindre vandstandsene. I særlige tilfælde står trykniveauet over terrænen. Grundvandsmagasiner, med trykniveau over terrænen blev første gang beskrevet i egnen Artois i Frankrig, og har derfor fået betegnelsen artesiske.

Spændte grundvandsmagasiner har ofte en mere indirekte grundvandsdannelse gennem lerede lag, og de er derfor generelt mindre sårbare end grundvandsmagasiner med frit vandspejl. I Danmark findes dybe, spændte grundvandsmagasiner i grus og sandforekomster i Jylland, på Fyn og Vestsjælland. I det østlige Sjælland findes spændte magasiner i kalkbjergarter. I ådale kan ler og dynd skabe spændte eller artesiske forhold tæt ved terrænen. Mange vandværksboringer er derfor placeret i ådale.

Figur 9 viser områder med nedadrettet hydraulisk gradient (grundvandsdannelse) og områder med opadrettet gradient (grundvandsudsivning) mod åen.

Grundvandets strømning

Grundvandets strømning i den mættede zone foregår i tre dimensioner. I grundvandsmagasinerne er der en overvejende horisontal strømning, med en mindre opadrettet eller nedadrettet komponent. Hvor gradienten er nedadrettet, taler man om grundvandsdannelse til dybere lag. Omvendt ses en opadrettet strømning (eller udsivning) ofte under vådområder, under åer og ved kysten.

Grundvandets strømning i undergrunden er betinget af fordelingen af vandets hydrauliske potentiale, der udtrykker grundvandets energitilstand. Grundvandets energi er givet ved summen af den potentielle energi og vandets tryk. Grundvandet strømmer fra områder med højt hydraulisk potentiale til områder med lavere hydraulisk potentiale. Det hydrauliske potentiale driver således grundvandsstrømmen, og vandets strømningshastighed er givet ved Darcy's lov:

$$(1) \quad V_p = K * \frac{dh}{dx} * \frac{1}{n}$$

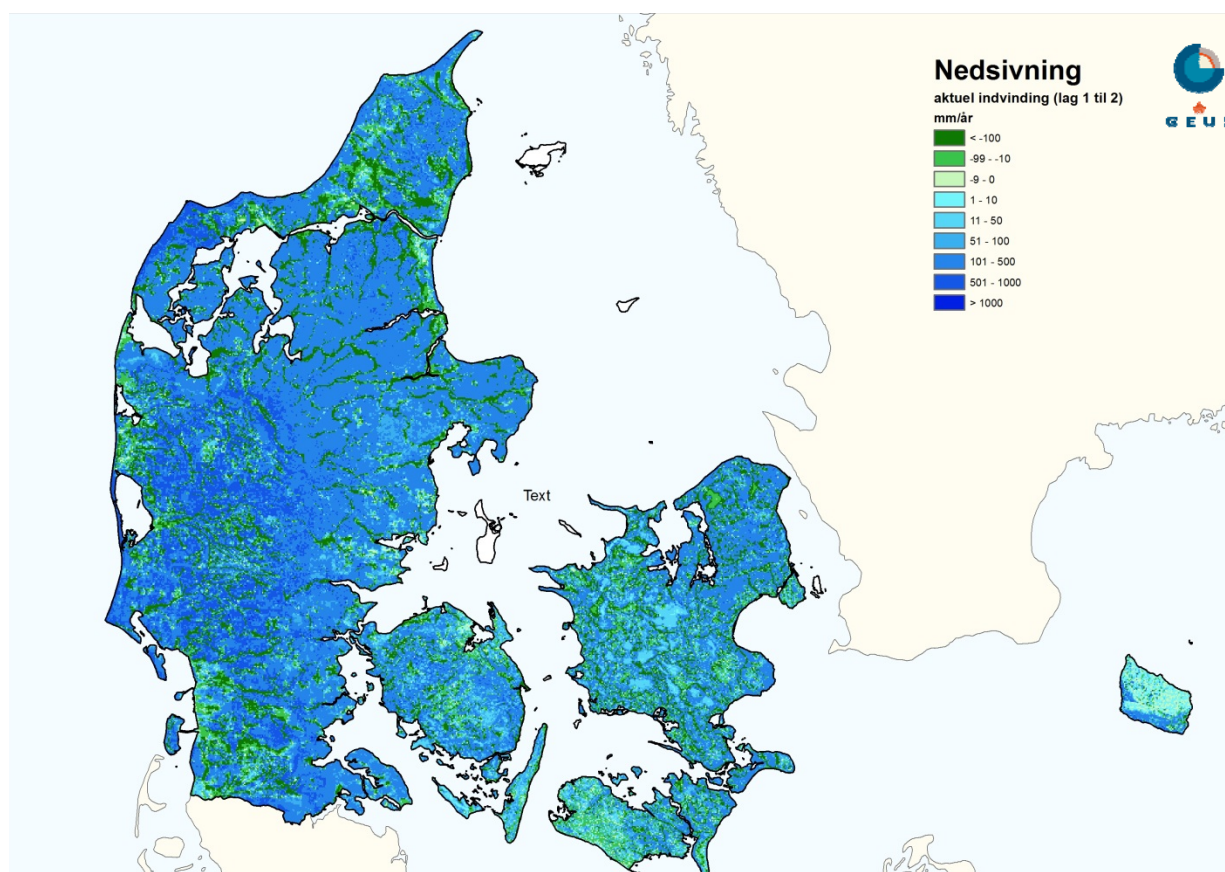
Hvor V_p er grundvandet partikelhastighed, K er de geologiske lags hydrauliske ledningsevne, dh/dx er hydraulisk gradient og n er sedimenternes effektive porøsitet, dvs. den brøkdelen af sedimenterne, hvor der er hulrum i sedimenterne (porerummet), hvor der er plads til at grundvandet kan strømme. Grundvandet konkrete detaljerede strømningsmønster påvirkes af de geologiske lags rumlige udbredelse. Derfor er det vigtigt at kende grundvandsmagasinerne geologiske opbygning, hvis man skal kunne forudsige grundvandet strømningsmønster.

Modellering

Grundvandsstrømningen i Danmarks undergrund er overordnet beskrevet i DK modellen, hvor undergrunden er inddelt i 11 beregningslag (DK model hjemmeside). DK modellen er en national hydrologisk model udviklet i samspil med NOVANA aktiviteterne.

Den beregnede vertikale grundvandsstrømning mellem de to øverste beregningslag (lag 1 og 2) i DK modellen, kan betragtes som et udtryk for nedsivningen til grundvandsmagasinerne.

Figur 10 viser den beregnede nedsivning/opsivning for perioden 2005-2010 mellem beregningslag 1 og 2 i DK modellen. Det fremgår, at grundvandsdannelsen på de overvejende sandede jorde i Jylland typisk er mellem 500 og 1.000 mm/år. På Fyn og Sjælland er grundvandsdannelsen meget mindre, typisk 10-100 mm/år. I hele landet viser beregningerne udsivning (grøn farve) langs store dele af kysten og under åerne.



Figur 10. Grundvandsdannelsen i Danmark udtrykt ved den gennemsnitlige beregnede nedsivning (blå)/opsivning (grøn) mellem beregningslag 1 og 2 i DK modellen i perioden fra 2005 til 2010 i mm/år (Henriksen mfl., 2014). Terrænnære lag findes i beregningslag 1 i DK modellen, og den vertikale strømning heri har betydning for grundvandsdannelsen til de lag, der er relevante for vandforsyningen og for størrelsen af en hurtig afstrømning til overfladevand.

Grundvandets kvalitet

Grundvandets kvalitet afhænger af den atmosfæriske deposition, udvaskningen af stoffer fra de øvre jordlag og biogeokemiske reaktioner i de geologiske lag samt hydrologiske faktorer som fx nedbørsmængder og intensitet, strømningsveje og grundvandets opholdstid. To typer af naturlige kemiske reaktioner er særlig vigtige; nemlig forsurende processer og redox processer. Disse fører ganske langsomt til, at grundvandsmagasinerne forsures og ilttes.

Grundvandet kan for det første opdeles i kalkmættet neutralt grundvand og surt grundvand. I jordlag, hvor der optræder kalk, neutraliserer kalken bl.a. syrer fra atmosfæren og fra nedbrydning af organisk stof i jordbunden, hvilket opretholder et pH omkring 7,5. Hvis jordlagene er kalkfrie, vil grundvandet være surt, indeholde aggressivt kuldioxid, og pH vil typisk ligge under 6,5. Forsuringsfronten er defineret som den dybde, hvortil opløsningen af kalk i undergrunden er nået.

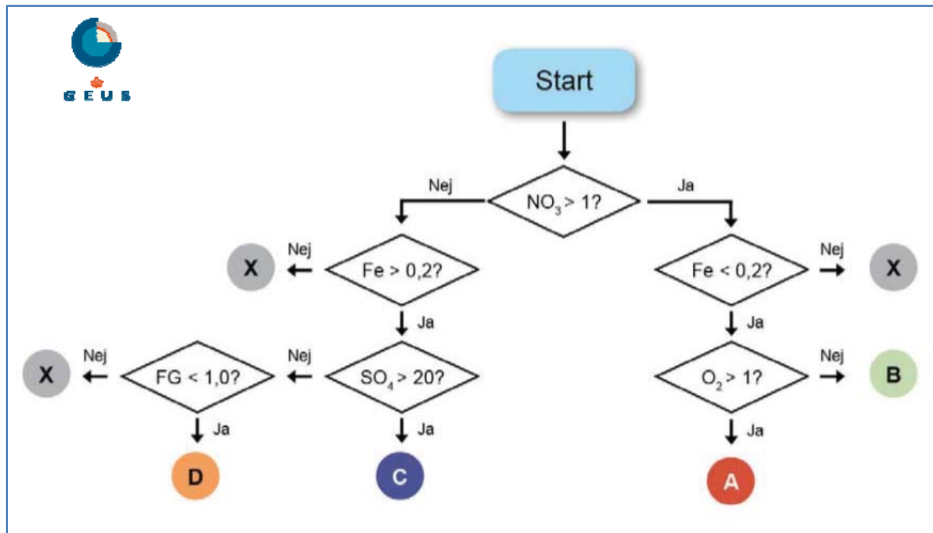
Ud over grundvandets pH forhold er redoxprocesser i grundvandszonen af stor betydning for grundvandets kemiske sammensætning, ikke mindst i forhold til forekomst af nitrat og fosfor. Undergrundens reducerede sedimentter reagerer med oxiderede stoffer i grundvandet, så det strømmende grundvand bevæger sig ind i stadig mere reducerede miljøer, hvor reaktioner med grundvandets opløste mere iltede bestanddele resulterer i en ændret kemisk sammensætning- grundvandet bliver mere reduceret. Samtidig udvikles en stadig mere iltet tilstand i sedimentet.

Successivt reduceres grundvandets indhold af ilt, nitrat og sulfat, under dannelse af en række karakteristiske geokemiske miljøer. Dette kan forsimples til to hovedtyper af geokemiske miljøer i grundvandszonen, det oxiderede og det reducerede. I det oxiderede miljø kan grundvandet indeholde nitrat og ilt, mens det reducerede miljø er nitratfrit, men indeholder opløst jern og mangan. Det betyder i praksis, at nitrat i grundvandet reduceres i en vis dybde, mens sedimentets nitratreduktionskapacitet langsomt opbruges.

Nitratfronten er defineret som dybden til den maksimale udbredelse af nitrat i grundvandet, mens redoxfronten er defineret som grænsen mellem oxiderede og reducerede jordlag.

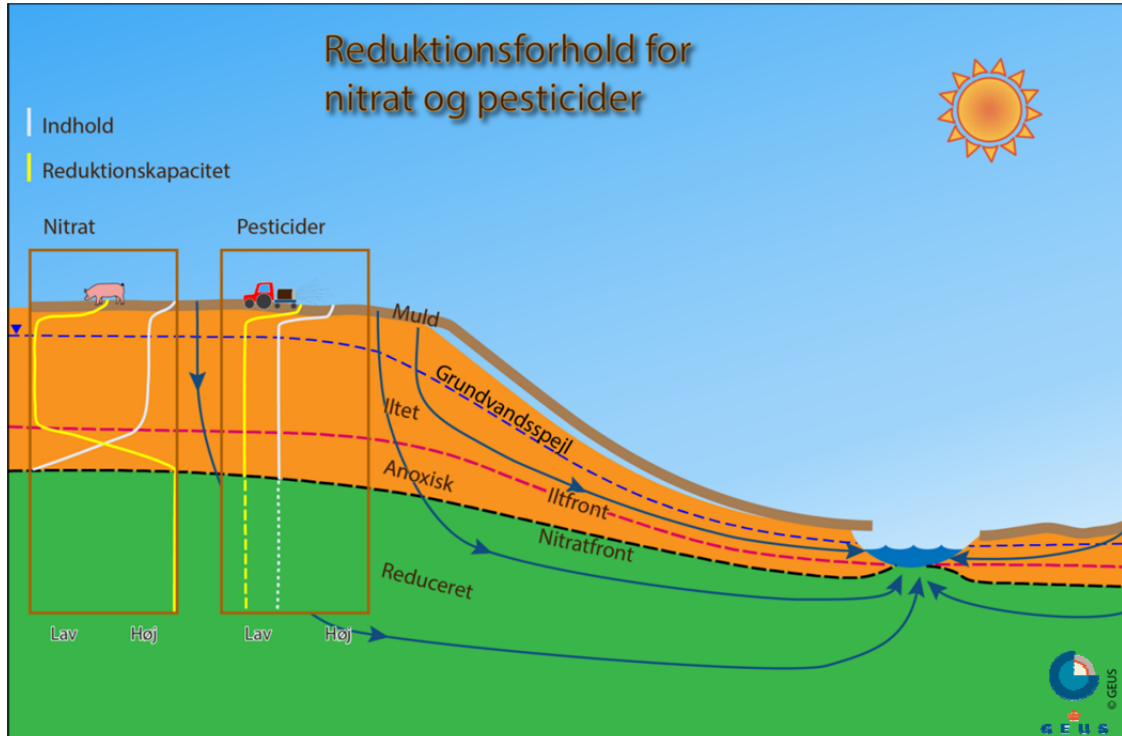
I de tilfælde, hvor der er kemisk ligevægt, vil nitratfronten og redoxfronten være sammenfaldende. Kemisk uligevægt kan dog forekomme, og her vil nitratfronten og redoxfronten ikke være sammenfaldende. Denne situation kan forekomme når grundvandets strømningshastighed er større end reaktionshastigheden ved redoxfronten.

Figur 11 viser et eksempel på en algoritme til at fastlægge grundvandets redoxforhold, gennem en opdeling i fire vandtyper (A, B, C og D) ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt og sulfat samt forvitningsgrad (molforholdet mellem calcium og hydrogenkarbonat) (Hansen m.fl., 2009). I kapitel 5 er denne algoritme anvendt til generelt fastlæggelse af grundvandets redoxforhold. Andre algoritmer anvendes, hvis der fx er prøvetagningstekniske problemer (ilt i LOOP borer) eller færre tilgængelige parametre.



Figur 11. Algoritme til fastlæggelse af vandtyperne A, B, C og D, ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt, sulfat og forvitningsgrad (FG). X angiver, at algoritmen ikke giver noget entydigt svar, og der fx er behov for flere støtteparametre eller, at der er tale om en prøve med blandingsvand (Hansen m.fl., 2009).

Figur 12 viser en principskitse over nitratfrontens beliggenhed i forhold til et vandløb. I de to bokse i figuren vises med hvid signatur en konceptuel model for, hvorledes nitrat og pesticidkoncentrationen kan forventes at ændre sig ned gennem lagene. Nitratreduktionen i grundvandet finder sted mellem iltfronten og nitratfronten. Fordelingen af reduktionskapaciteten for nitrat er omvendt af nitratkoncentrationen dvs. der er lille kapacitet i det iltede miljø og stor kapacitet i det reducerede miljø.



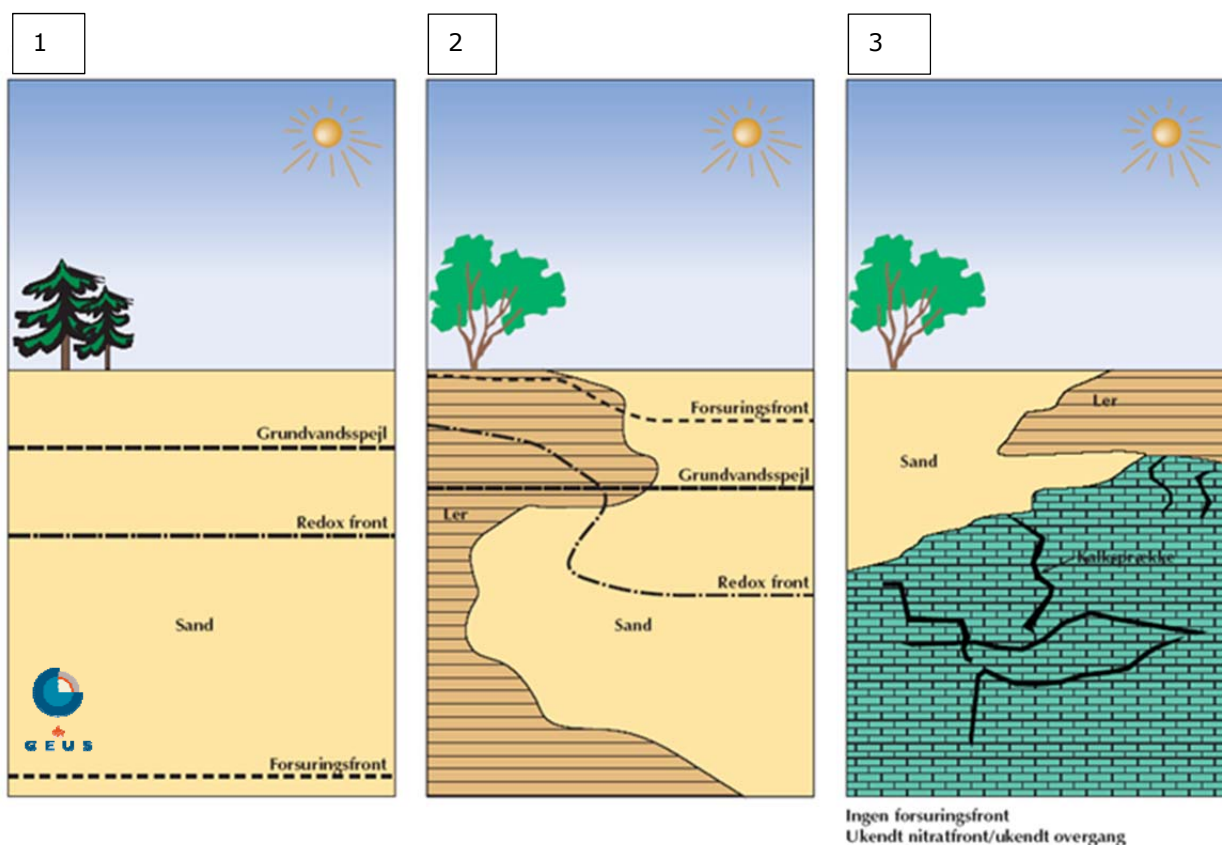
Figur 12. Principskitse over nitratfrontens beliggenhed i forhold til et vandløb, og udbredelse og reduktionsforhold af nitrat og pesticider i undergrunden. De hvide grafer i boksene viser koncentrationer af nitrat og pesticider, mens gule grafer viser potentialet for reduktion af stofferne. Forløbet af pesticidkurven skal illustrere, at i grundvandet nedbrydes nogle pesticider bedst i et reduceret miljø, mens andre nedbrydes bedst i et iltet miljø.

Omsætning af pesticider er ikke på samme måde afhængig af nitratreduktionskapaciteten, men foregår hovedsageligt i de øvre organisk rige jordlag, hvor der er den største reduktionskapacitet over for pesticider (Nygaard, 2004). Da pesticider er kemisk set meget forskellige er pesticidernes nedbrydelighed meget varierende og i forskellig grad følsom over for redoxforhold og pH.

Typiske konceptuelle modeller for geologi og geokemi

Figur 13 viser eksempler på forskellige geologiske miljøer. I Vestjylland (1) er kalkindholdet i sandlagene ofte lavt, og forsurensfronten kan ligge dybt i magasinerne, mens redoxfronten som regel ligger højere. Afhængig af strømningsmønstret vil redoxfronten kunne ligge mange meter under grundvandspejlet. I midten (2) ses en situation med heterogen geologi, som er typisk i Østjylland og nogle steder på Fyn og Sjælland. På grund af det høje kalkindhold i jorden ligger forsurensfronten normalt over grundvandspejlet. Redoxfronten ligger højt i lerede aflejringer og dybere i sandet.

I områder, hvor der er kalk i undergrunden (3), kan der være så meget kalk i de øverste jordlag, at der slet ikke optræder sure forhold. Redoxfronten kan ligge over kalken, svarende til den mellemste figur, eller nå helt ned til kalken. Hvis redoxfronten når helt ned til kalken, således som det ofte ses på Djursland og omkring Ålborg, kan det være vanskeligt at fastsætte en egentlig redoxfront i kalken, da transport og omsætning af nitrat i kalken foregår i et komplekst strømningsmønster i både sprækker og matrix, et såkaldt dobbeltporøst medie (Nielsen og Jørgensen, 2008).



Figur 13. Principskitse over beliggenheden af forsurensfronten og redoxfronten i tre typiske geologiske situationer: 1) Vestdanmark, hvor jordlagene overvejende består af sand, 2) Østjylland, Fyns og Vestsjælland, hvor geologisk heterogenitet med vekslende ler og sand giver store lokale variationer i dybden til fronterne og 3) områder med kalklag, se Figur 8, hvor sprækkedannelser gør fastlæggelse af nitratfronten i selve kalklagene svær at forudsige. Bemærk, at forsurensfronten kan ligge både over og under redoxfronten.

4.2 Grundvandets Opholdstid

Relevans af datering

Tolkning af årsager til ændringer i grundvandets kvalitet kræver kendskab til grundvandets opholdstid (alder) i de enkelte indtag. Opholdstiden er her defineret som det antal år, vandet har strømmet i undergrunden inden det når frem til indtaget, hvorfra vandprøverne er udtaget. Det vil sige, at hvis datering af en vandprøve udtaget i år 2007 viser, at dannelsesårspunktet er 1993, så er grundvandets opholdstid (alder) 14 år. Kendskab til vandets opholdstid gør det muligt at vurdere, om udviklingen i grundvandets kvalitet viser tidsmæssige sammenfald med ændringer i arealanvendelse eller indsatsprogrammer, herunder vandmiljøplaner.

Datering af grundvandet i de enkelte overvågningsboringers indtag er bl.a. en forudsætning for at kunne dokumentere en effekt på grundvandets nitratindhold af ændret landbrugspraksis og nitratudvaskning. Samtidig kan datering af grundvandet bruges til at demonstrere, hvordan udbygningen af stationsnettet i overvågningen med nye boringer og flere indtag påvirker aldersfordelingen af det overvågede vand. Det samme gælder for effektmålinger på pesticidreguleringen, 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.

Datagrundlag

I forbindelse med udbygning af stationsnettet, se kapitel 2, er der behov for datering af de nye indtag. Derudover er en række andre indtag dateret igen (se Thorling m.fl. 2015a). De nye dateringer foretages med tritium/helium ($^3\text{H}/^3\text{He}$) metoden, da den tidligere anvendte CFC-metode ikke er anvendelig til datering af grundvand dannet efter ca. 2000. De første 45 prøver til tritium/helium datering blev udtaget i 2012, og yderligere 92 blev udtaget i 2013. Resultaterne herfra er anvendt i denne rapport. De metodiske forudsætninger for grundvandets datering kan findes i (Laier, 2014, 2014a, og Thorling m.fl. 2015a).

Når dateringer skal anvendes til at fortolke tidsserier eller vise aldersfordelingen/opholdstiden for de aktive indtag i stationsnettet anvendes dateringerne således:

- Hvis der kun er dateret grundvand efter én metode anvendes denne
- Hvis der både er en $^3\text{H}/^3\text{He}$ og CFC datering anvendes
 - CFC dateringen, hvis $^3\text{H}/^3\text{He}$ viser opholdstiden > 15 år
 - $^3\text{H}/^3\text{He}$ dateringen, hvis $^3\text{H}/^3\text{He}$ viser opholdstiden ≤ 15 år.

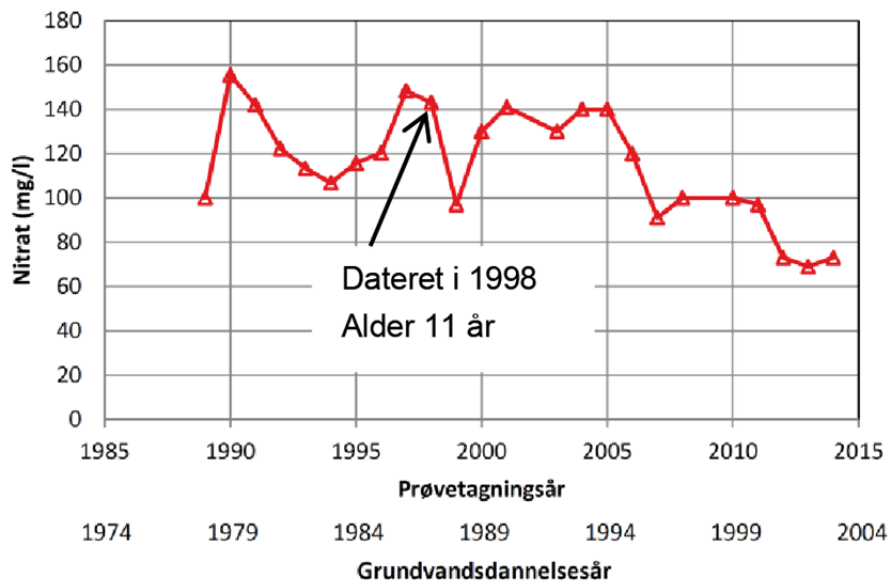
Opholdstiden for det overvågede grundvand.

Det antages som udgangspunkt, at opholdstiden/alderen for grundvandet i et punkt er nogenlunde konstant over tid, skønt den i et vist omfang vil variere med variationer i nedbøren fra år til år og hen over året. Gentagne dateringer og målinger af opholdstider i samme indtag i overvågningsprogrammet har vist, at langt hovedparten af indtagene kan karakteriseres med en opholdstid med en usikkerhed på få år (Laier & Thorling, 2005, Thorling m.fl., 2015a).

Grundvandsdannelsesåret beregnes ud fra dateringen under den antagelse, at opholdstiden er konstant i et givet indtag ved følgende simple formel:

$$\text{Grundvandsdannelsesåret} = \text{Prøvetagningsåret} - \text{grundvandets alder}$$

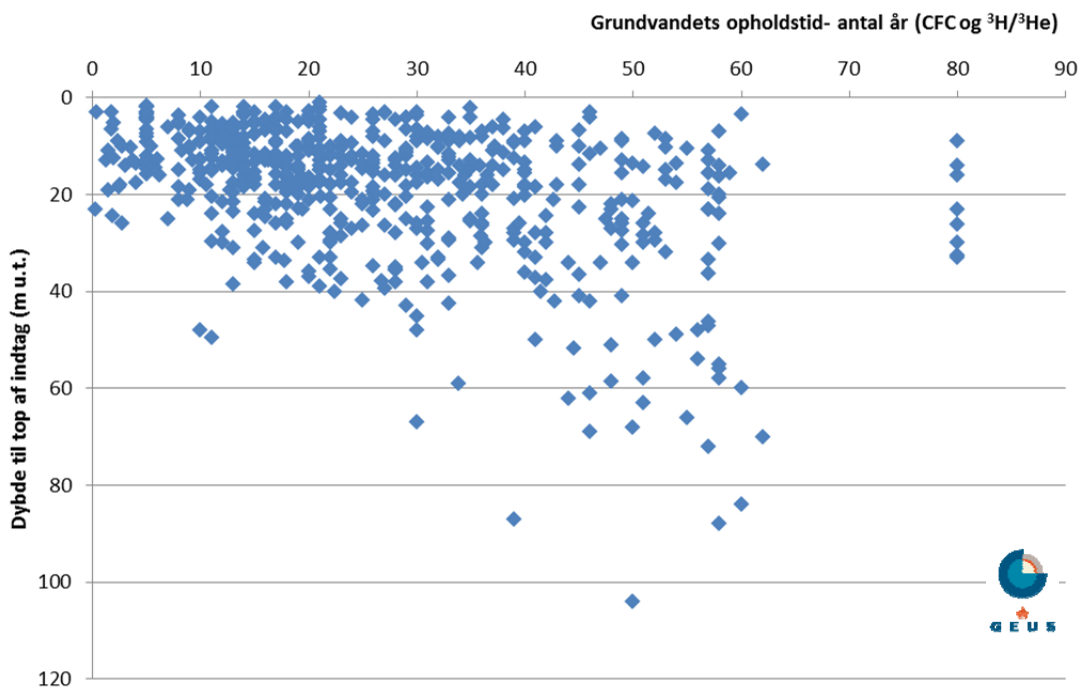
Figur 14 viser et eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag placeret i iltholdigt grundvand. Denne metode er anvendt i kapitel 5.



Figur 14. Eksempel på beregning af grundvandsdannelseåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag (DGU nr. 131.1052) placeret i iltholdigt grundvand.

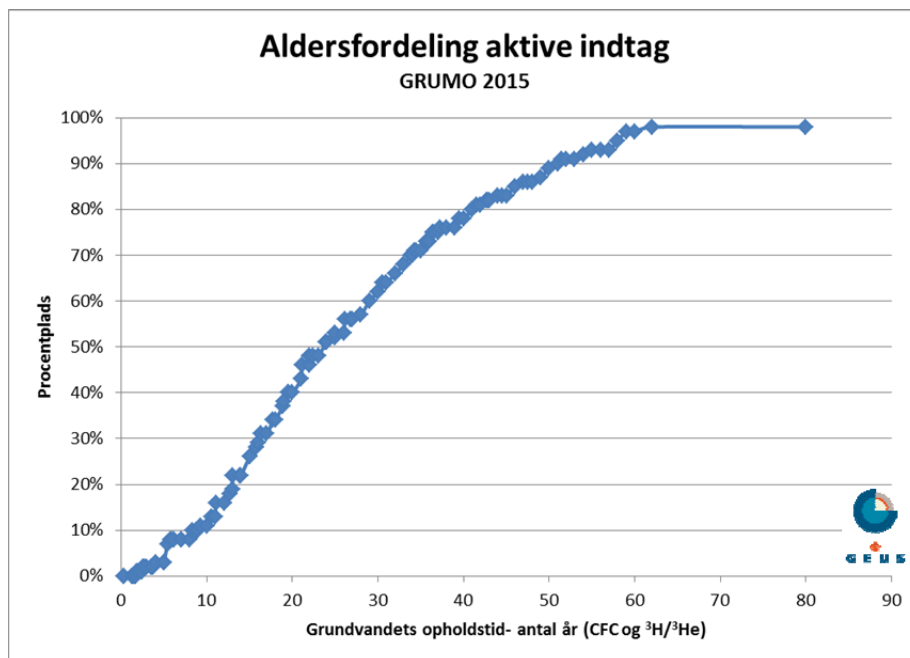
Figur 15 viser grundvandets opholdstid som funktion af dybden for de 581 daterede aktive indtag i 2015 (ca. 77 % af de prøvetagne indtag i 2015). Det fremgår af figuren, at der i de øverste 40 m optræder grundvand med meget forskelligt dannelsesår og dermed opholdstid, og at der i de øverste 20 m ikke er nogen simpel sammenhæng mellem dybde og alder. Det skal dog bemærkes, at gennemsnitsalderen stiger med stigende dybde, da andelen af ungt vand falder med dybden. Årsagen til det billede man ser på Figur 15 er forskelle i grundvandsdannelse, hydrauliske barrierer og andre variationer i de hydrogeologiske strømningsforhold. I udstrømningsområder med opadrettet gradient, kan der træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terræn, se Figur 12.

Opholdstid og dybde, GRUMO 2015



Figur 15. Dybdefordeling af opholdstiden for daterede aktive indtag i GRUMO borer i 2015.

Figur 16 viser aldersfordelingen for de 581 daterede aktive indtag i 2015. I hovedparten (ca. 90 %) af disse indtag har grundvandet en opholdstid under 50 år. Dateringen af grundvandet giver en vigtig parameter i analyse af udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold. I kapitel 5 indgår 340 daterede indtag med iltet grundvand, som har en alder under 50 år, til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på udviklingen i grundvandets indhold af nitrat.



Figur 16. Fordelingen af opholdstiden (alderen) for grundvandet i de daterede overvågningsindtag, der var aktive i 2015, dateret ved $^3\text{H}/^3\text{He}$ eller CFC.

Referencer: Grundvandets strømning og alder

- Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp.
- Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsens V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særdugivelse <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (27-9-16)
- 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.
- Henriksen, H., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, LF & Trolborg, L., 2014, Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding, GEUS rapport 2014/74. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx> (27-9-16)
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvartære Varv-kort.
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Laier, T., 2014: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01
- Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat 05-VA-14-04
- Miljøstyrelsen, 2000b: Zoneringsvejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)
- Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivekridtet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008. <http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (27-9-16)
- Nygaard, E.(red) 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonerings. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (27-9-16)
- 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 (27-9-16)
- Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2013.htm (27-9-16)

Relevante hjemmesider og links

- DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (27-9-16)
- Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: www.geus.dk/DK/water-soil/mapping/groundwater-mapping/Sider/default.aspx (27-9-16)
- GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (27-9-16)

5 Nitrat

Sammenfatning og konklusion

Stort set overalt i Danmark findes der nitrat i den øvre del af grundvandsmagasinerne. Den dybdemæssige udbredelse af nitrat i grundvandsmagasinerne varierer dog meget fra tæt på terræn og ned til mere end 100 m u.t. Mægtigheden af de nitratholdige lag er størst, hvor beskyttelsen af grundvandsmagasiner er ringe, hvilket fx gælder områder i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland.

I både GRUMO og LOOP har omkring 20 % af alle de overvågede indtag et nitratinhold over kravværdien på 50 mg/l, mens det er tilfældet for omkring 1 % af vandværksboringerne fra de almene vandværker. Dette hænger sammen med det forhold, at den nitratholdige del af grundvandet mange steder fravælges af vandforsyningerne, og at indvindingen derfor hovedsagelig baseres på det dybere, reducerede og nitratfrie grundvand. Vandværksboringer med et højt nitratinhold er sandsynligvis lukkede, idet andelen af almene vandværker med nitratfrit drikkevand er steget gennem de sidste tre dekader (Schullehner & Hansen, 2014).

Effekten af vandmiljøhandlingsplanerne på udvaskningen af nitrat til grundvandet kan vurderes ved en analyse af nitratinholdet i det iltholdige grundvand. I 2015 havde omkring 40 % af indtagene i det iltholdige grundvand i GRUMO mere end 50 mg/l nitrat, mens der i det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjorde var et nitratinhold over 50 mg/l i hhv. 54 % og 13 % af prøverne.

Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratinhold undersøges ved hjælp af datering af grundvandet. Dateringen muliggør beregning af grundvandets dannelsesår. Herved kan nitratinholdet i grundvandet sammenholdes med tidspunkter for gennemførelse af tiltagene i vandmiljøhandlingsplanerne og kvælstoftildeling i landbruget.

I dette års rapport er der foretaget en yderligere bearbejdning af de data, der blev præsenteret for første gang i sidste årsrapportering (Thorling m.fl., 2015), og som er publiceret i Hansen & Larsen (2016). Der iagttages en stigning i grundvandets nitratinhold i grundvand, der er dannet mellem 1944 og ca. 1975, dernæst en stagnation for dannelsesår omkring 1975-1985, et tydeligt fald i koncentrationerne for grundvand dannet mellem ca. 1985-1998 og til sidst et spring op i nitratinhold og et faldende niveau frem til 2012 som dannelsesår.

I Danmark har der siden 1940'erne været en tydelig sammenhæng mellem den årlige udvikling i N-overskuddet og nitrat i iltet grundvand på det overordnede nationale niveau (Hansen & Larsen, 2016).

I dette års rapport vises regressionsanalyser af nitratrends i individuelle indtag med iltet grundvand. Der ses en udvikling mod et faldende nitratinhold i iltet grundvand både, når kun indtag med signifikante trends betragtes, og når både indtag med signifikante og non-signifikante trends inddrages. Vurderingen for perioden 1998-2014 bygger på et spinklere grundlag end for de øvrige perioder.

I det terrænnære grundvand i LOOP analyseres udviklingen i det iltholdige grundvand i forhold til prøvetagningstidspunktet. Både i sandjords- og lerjordsoplandene observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i første halvdel af overvågningsperioden frem til henholdsvis 2000 og 2006. I de seneste prøvetagningsår ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat i iltet grundvand i sandjordsoplandene over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration i lerjordsoplandene ligger under kravværdien. I 2015 er det gennemsnitlige nitratinhold på 61 mg/l og 26 mg/l i henholdsvis sand- og leroplandene, dvs. mere end dobbelt så højt i sandjordsoplandene i forhold til lerjordsoplandene.

Indledning

Koncentrationen af nitrat i grundvandet er påvirket af en række faktorer, hvoraf de vigtigste under danske forhold er:

- kvælstofudvaskningen fra landbrugsarealer
- nedbørsoverskuddet (nedbør minus fordampning)
- nitratomsætningen ved redoxprocesser i de geologiske lag
- vandets strømningsveje i de geologiske lag

I dette kapitel fokuserer vi især på nitrat i iltet grundvand. I iltet grundvand er nitraten ikke omsat, og derfor kan nitratkoncentrationen direkte sammenlignes med nitratudvaskning fra rodzonen. Datering af det iltholdige grundvand muliggør, at der kan tages højde for nitratsens transporttid fra rodzonen til det iltede grundvand, og at tidspunktet for udledning af kvælstof fra landbruget dermed direkte kan sammenlignes med de målte nitratkoncentrationer i iltet grundvand. Med denne metode er det dermed muligt at vurdere effekten af de nationale handlingsplaner, som bl.a. har haft til formål at reducere indholdet af nitrat i grundvandet.

Miljømål

Nitrat i grundvandet er uønsket både på grund af drikkevandskvaliteten og på grund af risikoen for påvirkning af det øvrige vandmiljø. Det skyldes, at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering ved udstrømning til overfladevand, og at nitrat i drikkevandet kan være sundhedsskadeligt. Der er i EU's Grundvandsdirektiv og Drikkevandsdirektiv fastsat en kravværdi for indholdet af nitrat i grundvand og drikkevand på 50 mg/l (EU 2006 og EU, 1998). I Danmark er det implementeret i Miljømålsloven (Miljø- og Fødevareministeriet 2016c) og i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet 2016a).

Nitrat i grundvandet stammer fra nitratudvaskningen, som langt overvejende er et resultat af gødningshåndtering og -anvendelse i landbruget. Hensynet til en tilfredsstillende grundvandskvalitet er en af årsagerne til reguleringen af kvælstofanvendelsen i landbruget med nationale handlingsplaner siden 1985, og ved udarbejdelse af kommunale indsatsplaner i forbindelse med Den Nationale Grundvandskortlægning. Hele Danmark er udpeget som et nitratsårbart område i forhold til EU's Nitratdirektiv (EU, 1991), og derudover er der i oktober 2016 udpeget ca. 699.069 ha som nitratfølsomme indvindingsområder svarende til ca. 16 % af Danmarks landareal (Miljø- og Fødevareministeriet 2016e).

Datagrundlag

Tabel 4 viser antallet af prøver analyseret for nitrat i GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer for de seneste tre år og for 1990-2015. Antallet af prøver i 2015 ligger på niveau med de to foregående år for de to grupper af overvågningsdata (GRUMO og LOOP), med undtagelse af GRUMO data fra 2014, hvor der er et større antal prøver analyseret for nitrat på grund af prøvetagning af redoxboringerne. Antallet af prøver analyseret for nitrat fra Vandværksboringer er en anelse lavere i 2015. Dette skyldes muligvis ufuldstændig indberetning til JUPITER af vandværksdata.

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	I alt
2013	721	455	1.761	2.937
2014	1000	485	1.683	3.168
2015	729	449	1.319	2.497
1990-2015	45.584	18.021	36.669	100.274

Tabel 4. Antal prøver analyseret for nitrat, indsamlet i GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer.¹

Nitrat i iltholdigt grundvand i GRUMO og LOOP

Nitrat i iltet grundvand er en indikator for nitratudvaskningen fra rodzonen og er derfor vigtig i forhold til evaluering af responsen i grundvandet af indsatser i Vandmiljøplanerne. I dette afsnit redegøres der for, hvordan iltholdigt grundvand udvælges i GRUMO og LOOP, og antallet af indtag præsenteres.

I Boks 2 ses de tre kriterier, der er brugt til at identificere de prøver fra GRUMO med iltholdigt grundvand, som i Zoneringsvejledningen (Miljøstyrelsen, 2000b) har betegnelsen "Vandtype A".

- | | | |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| 1. NO ₃ > 1 mg/l | 2. Fe < 0,2 mg/l | 3. O ₂ > 1 mg/l |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|

Boks 2. Kriterier til identifikation af iltholdigt grundvand med vandtype A.

¹ Det bemærkes, at der i rapporten fra sidste år (Thorling mfl. 2015) var en sumfejl i denne tabel.

Kriteriet om nitrat > 1 mg/l for iltholdigt grundvand er valgt, da nitratmålingerne vurderes at have større sikkerhed end iltmålingerne, der kan være fejlbehæftede pga. risiko for kontakt med atmosfæren under prøvetagningen (Hansen m.fl., 2009). Det betyder, at en lille andel (nogle få procent af alle prøver) af iltholdigt grundvand med meget lavt nitratinhold fravælges for at øge sikkerheden på bestemmelsen af prøver med iltholdigt grundvand.

I LOOP bygger udvælgelsen af prøver med iltholdigt grundvand på en individuel vurdering af tilgængelige redoxfølsomme parametre og en vurdering af detektionsgrænsen for ilt og dermed ikke på en automatisk udsøgning ved hjælp af kriterierne i Boks 2 (Blicher-Mathiesen m.fl., 2016).

Tabel 5 viser det samlede antal prøver analyseret for nitrat i 2015 og antal indtag med iltholdigt grundvand i 2015 for både LOOP og GRUMO. I 2015 er der fx udtaget én prøve i grundvandet fra hver af de 729 indtag i GRUMO, hvoraf 334 er placeret i iltholdigt grundvand. I parentes er vist, at 301 af disse er dateret.

Program		Antal nitrat prøver i 2015	Prøvetagede indtag i 2015	Indtag fra iltholdigt grundvand 2015
GRUMO		729	729	334 (301)
LOOP		449	91	47
	LOOP 1 (ler)	49	18	2
	LOOP 2 (sand) ¹	94	16	7
	LOOP 3 (ler)	116	20	16
	LOOP 4 (ler)	76	18	7
	LOOP 6 (sand)	114	19	13
¹ Data fra horisontal boring med reduceret grundvand ikke medtaget				

Tabel 5. Antal aktive indtag og antal indtag i iltholdigt grundvand med prøver analyseret for nitrat i grundvandsovervågningen i GRUMO og LOOP i 2015. I parentes er det angivet, hvor mange af de iltholdige indtag, der er dateret.

I LOOP 1 er der et relativt lavt antal prøver med nitratmålinger i 2015 i forhold til de andre LOOP-områder og i forhold til tidligere. Det skyldes, at de mange indtag med reduceret grundvand i LOOP 1, i 2015 kun skulle prøvetages en gang om året, mens alle andre indtag er prøvetaget op til seks gange, hvilket bygger på en anbefaling fra GEUS.

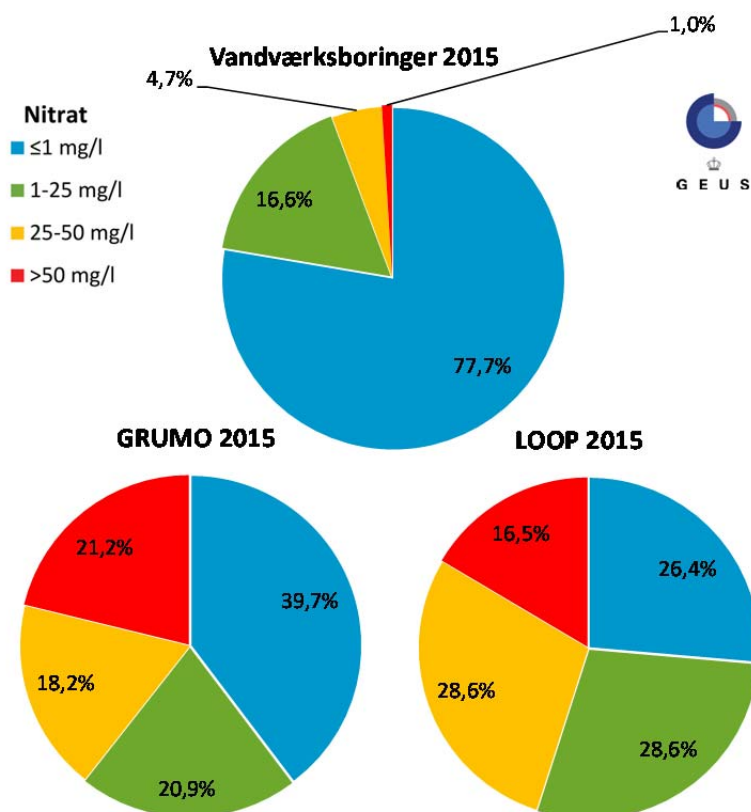
Antallet af indtag i iltholdigt grundvand varierer fra to til 16 indtag per LOOP-opland, og er specielt lavt i det lerede LOOP 1. Der foreligger ikke brugbare dateringer fra LOOP-områderne, da det ikke har været teknisk muligt at gennemføre dateringer i borerne.

I efteråret 2012 er der udført en ny horisontal overvågningsboring i LOOP 2 (Nielsen m.fl., 2014). Resultater fra den horisontale boring i 2014 og 2015 viser, at grundvandet er reduceret og nitratfrit i alle indtagene.

5.1 Tilstand

Fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i 2015 i alle typer af boringer

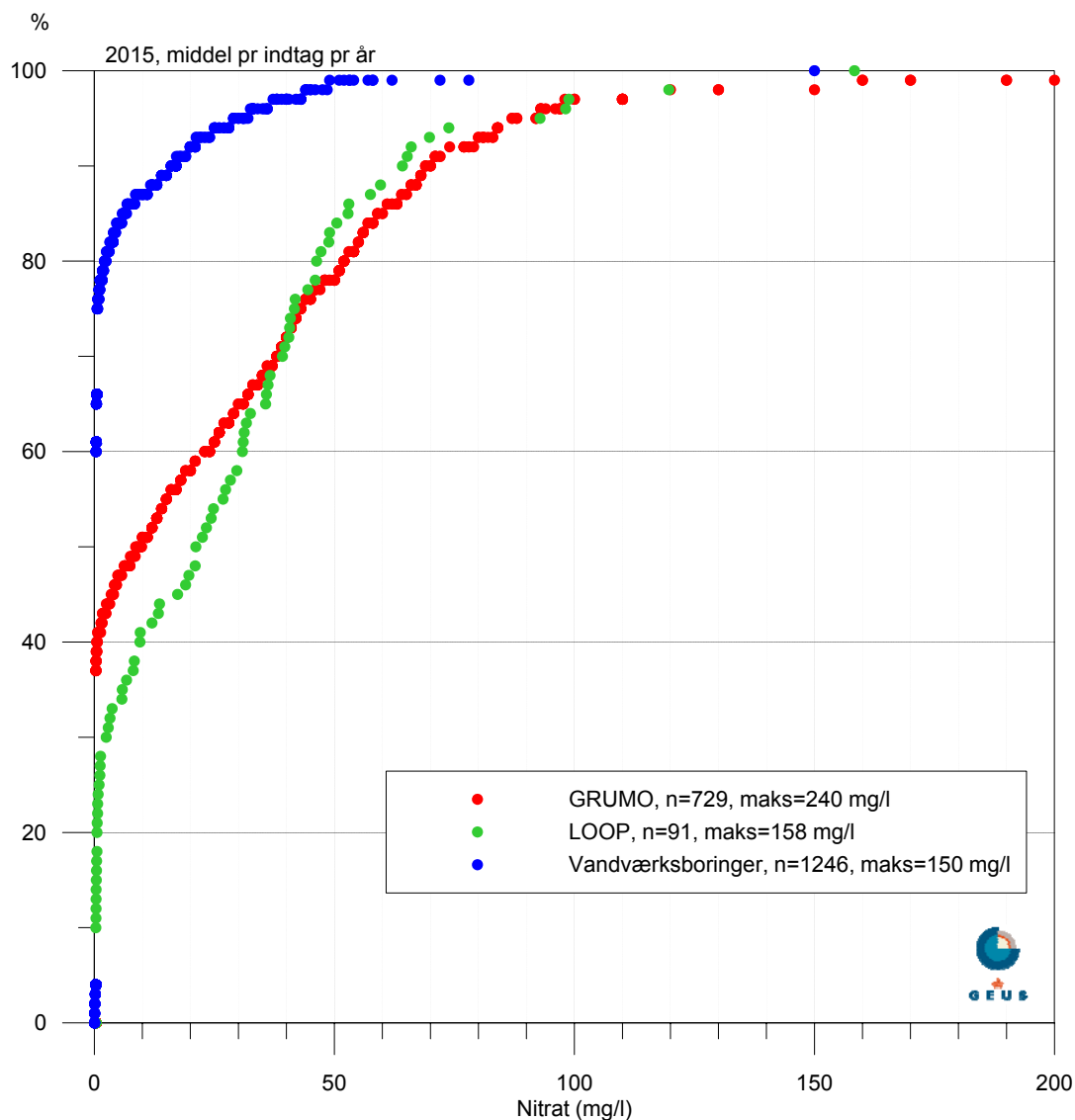
Figur 17 viser det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag analyseret i 2015 for fire koncentrationsintervaller for tre grupper af data: LOOP, GRUMO og i vandværksboringer. Det fremgår, at hhv. 16,5 % og 21,2 % af indtagene i hhv. LOOP og GRUMO har et gennemsnitligt nitratindehold over 50 mg/l. For grundvand i vandværksboringer er den tilsvarende andel 1,0 %. I 2015 er der fundet nitratholdigt grundvand med > 1 mg/l nitrat i henholdsvis 73,6 %, 60,3 % og 22,3 % af indtagene i henholdsvis LOOP, GRUMO og vandværksboringer.



Figur 17. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag analyseret i 2015 for GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer.

Fordeling af nitrat i alle typer boringer i 2015

Figur 18 viser et fraktildiagram af fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold på indtagsniveau i grundvandet i 2015 i hhv. GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer. Formålet med figuren er at illustrere alle årets målte data på én figur, dog med gennemsnit for de indtag, hvor der er mere end én prøve i 2015, hvilket specielt er tilfældet for LOOP.



Figur 18. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i grundvandet i 2015 i alle indtag fra GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer med koncentrationer under 200 mg/l. Antallet af indtag og maks. koncentration af nitrat i hver gruppe fremgår af signaturforklaringen. For indtag med mere end én prøve i 2015 er det årlige gennemsnit benyttet.

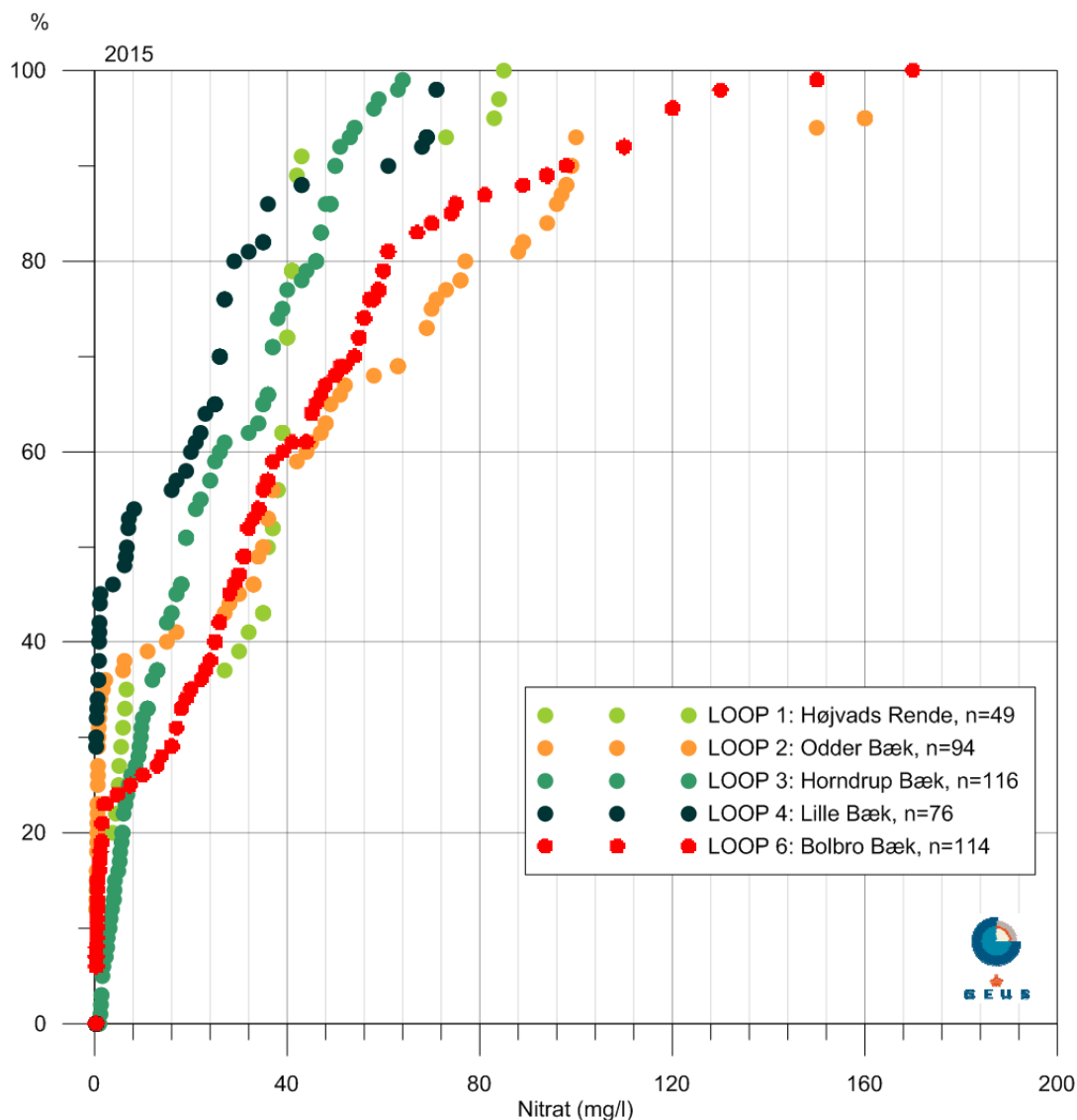
Fordelingerne af nitratkoncentrationer fra hhv. GRUMO og LOOP-indtagene i 2015 er sammenlignelige og sandsynligvis repræsentative for nitratudvaskningen og nitratindholdigt grundvand på landsplan. Dog er der flere nitratindholdige indtag i LOOP end i GRUMO, hvilket skyldes at indtagene er mere terrænnære.

Det ses, at der for hver af de tre datagrupper er nogle få indtag med meget høje nitratkoncentrationer (> 100 mg/l), som sandsynligvis skyldes særlige forhold og ikke almindelig landbrugsmæssig drift.

En anden delpopulation af data kan identificeres, der hvor data skærer y-aksen ved $x=1$ mg/l, og udgør den andel af indtagene, der indeholder nitratfrit grundvand. Nitratfrit grundvand (nitrat < 1 mg/l) findes i 26,4 %, 39,7 % og 77,7 % af indtagene i 2015 for henholdsvis LOOP, GRUMO, og grundvand i aktive vandværksboringer (se Figur 17). Forskellene mellem de tre datasæt er hovedsagelig et udtryk for forskelle i dybden af indtagene i stationsnettene (se Figur 20 og Figur 21).

Fordeling af nitratindholdet i LOOP-områderne i 2015

Figur 19 viser fordelingen af nitratkoncentrationen i alle prøver i 2015 i de fem LOOP-områder. Ligesom på Figur 18 er nitratkoncentrationerne afbilledet i et fraktildiagram. Nitratkoncentrationerne fra de enkelte LOOP-områder ligger noget mere spredt end hele gruppen af nitratkoncentrationer fra LOOP i Figur 18 og udgør kun tilnærmelsesvis hver for sig normalfordelte populationer (Thorling m.fl., 2015b).

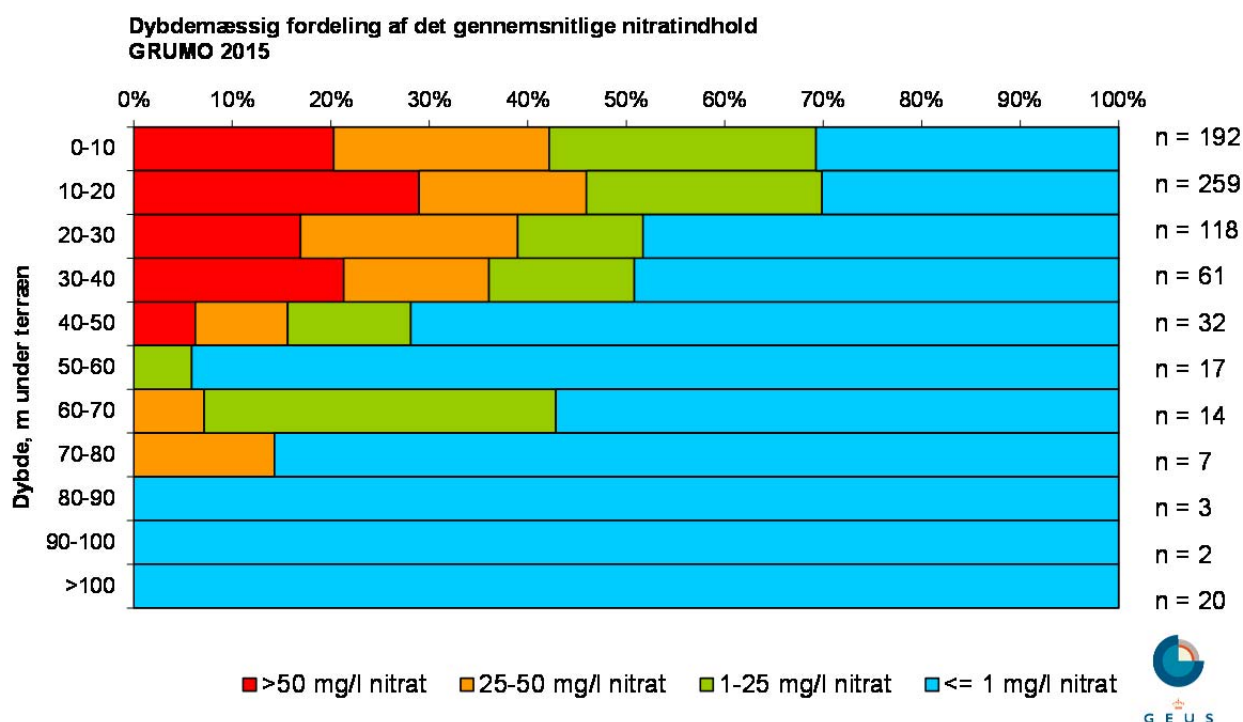


Figur 19. Fordelingen af nitratkoncentrationen fra LOOP i samtlige prøver fra 2015 i de 5 LOOP-områder afbilledet i et fraktildiagram. LOOP 1, 2 og 4 er lerjordsområder (grønne signaturer) og LOOP 2 og 6 er sandjordsområder (røde signaturer).

Generelt er nitratkoncentrationerne højere i sandjordsområderne (LOOP 2 og 6, røde signaturer) end i lerjordsområderne (LOOP 1, 3 og 4, grønne signaturer), og de højeste koncentrationer af nitrat (op til 160-170 mg/l) er målt i LOOP 2 og 6. Det skyldes dels, at nitratudvaskningen ofte er højere på sandjordsområderne end på lerjordene, men også at flest indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand.

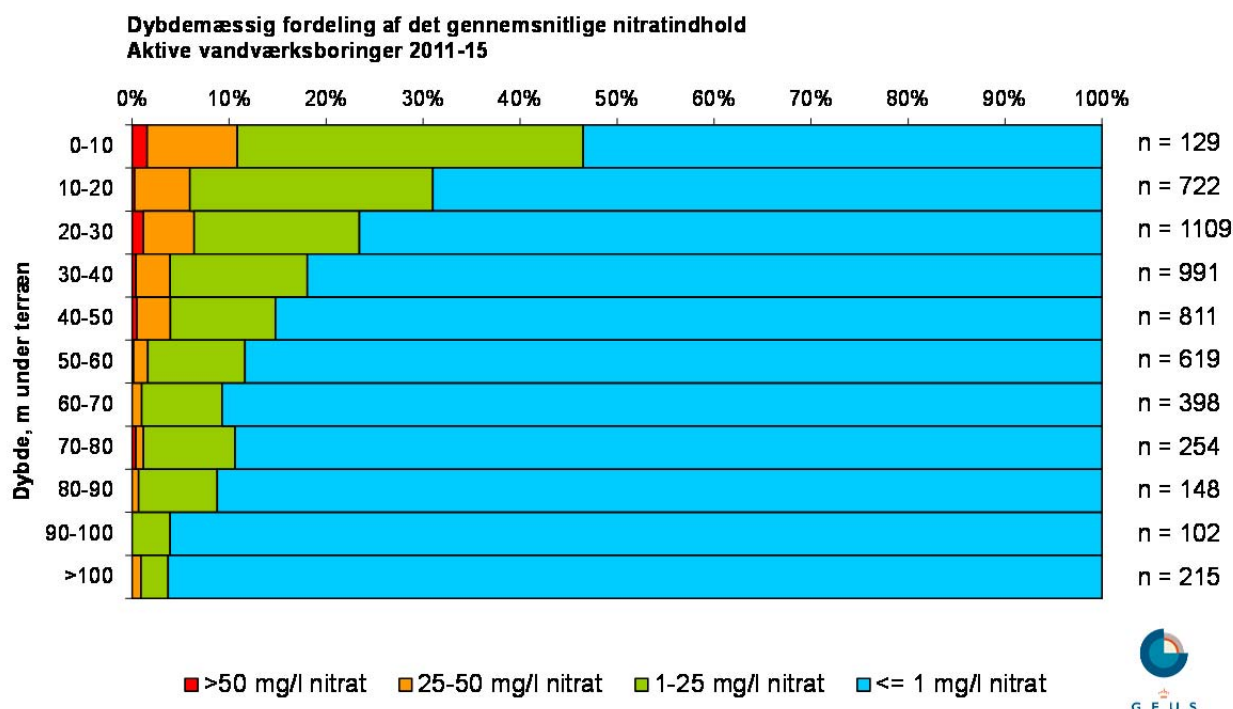
Dybdemæssig fordeling af nitratindholdet i alle type boringer

Figur 20 viser den dybdemæssige fordeling af nitrat i GRUMO indtagene i 2015 opdelt på dybdeintervaller á 10 m og i fire koncentrationsklasser (<1, 1-25, 25-50 og >50 mg/l). Tættest på terræn fra 0 til 10 m u.t. er nitrat påvist i omkring 69 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 20 % af indtagene, mellem 25 og 50 mg/l i omkring 22 % og mellem 1 og 25 mg/l i omkring 27 % af indtagene i 0 til 10 m u.t. Koncentrationerne og fordelingen er omtrent den samme i intervallet fra 10 til 20 m u.t., dog er der flere indtag (ca. 29 %) med koncentrationer over 50 mg/l. Dette kan skyldes flere forhold som fx en variation i de hydrogeologiske forhold eller en effekt af reduceret nitratudvaskning i de senere år fra landbrugets arealanvendelse. Dybere end 20 m ses et gradvist fald i nitratindholdet med dybden, der hovedsageligt må skyldes nitratreduktion i grundvandsmagasinerne. Under 50 m u.t. er der ikke i GRUMO påvist nitrat over 50 mg/l, og fra omkring 80 m u.t. er nitratkoncentrationen generelt under 1 mg/l. Det bemærkes, at antallet af indtag under 50 m's dybde er meget begrænset.



Figur 20. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2015 i forhold til top af indtag i m u.t. i 725 indtag i GRUMO opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Figur 21 viser dybdefordelingen af nitrat i aktive vandværksboringer i 2011-2015. Denne fem-årige periode er valgt, da boringskontrollen gennemføres i en turnus på tre til fem år. Generelt er der lavere koncentrationer af nitrat i vandværkernes indvindingsboringer end i GRUMO indtagene. Dette kan forklares med, at vandværker prøver at undgå indvinding fra den del af grundvandet, der overskrider kravværdien på 50 mg/l (Schullehner & Hansen, 2014). I intervallet fra 0 til 10 m u.t. er der påvist nitrat i omkring 47 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 2 % af indtagene, mellem 25 og 50 mg/l i omkring 9 % og mellem 1 og 25 mg/l i omkring 36 % af indtagene. Der er i 2015 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 70-80 m u.t. Der ses et gradvist fald i den nitratindholdige andel af grundvandet med dybden. Nitrat er dog i få tilfælde fundet i koncentrationer over 25 mg/l i de dybeste indvindingsboringer med top af indtag i en dybde af mere end 100 m u.t. Årsagen til disse dybe fund af nitrat i vandværksboringerne, i forhold til overvågningsboringerne, kan være at indvindingen lokalt trækker nitrat dybt ned i grundvandsmagasinerne, men også det større datagrundlag i de dybere dele af grundvandet.



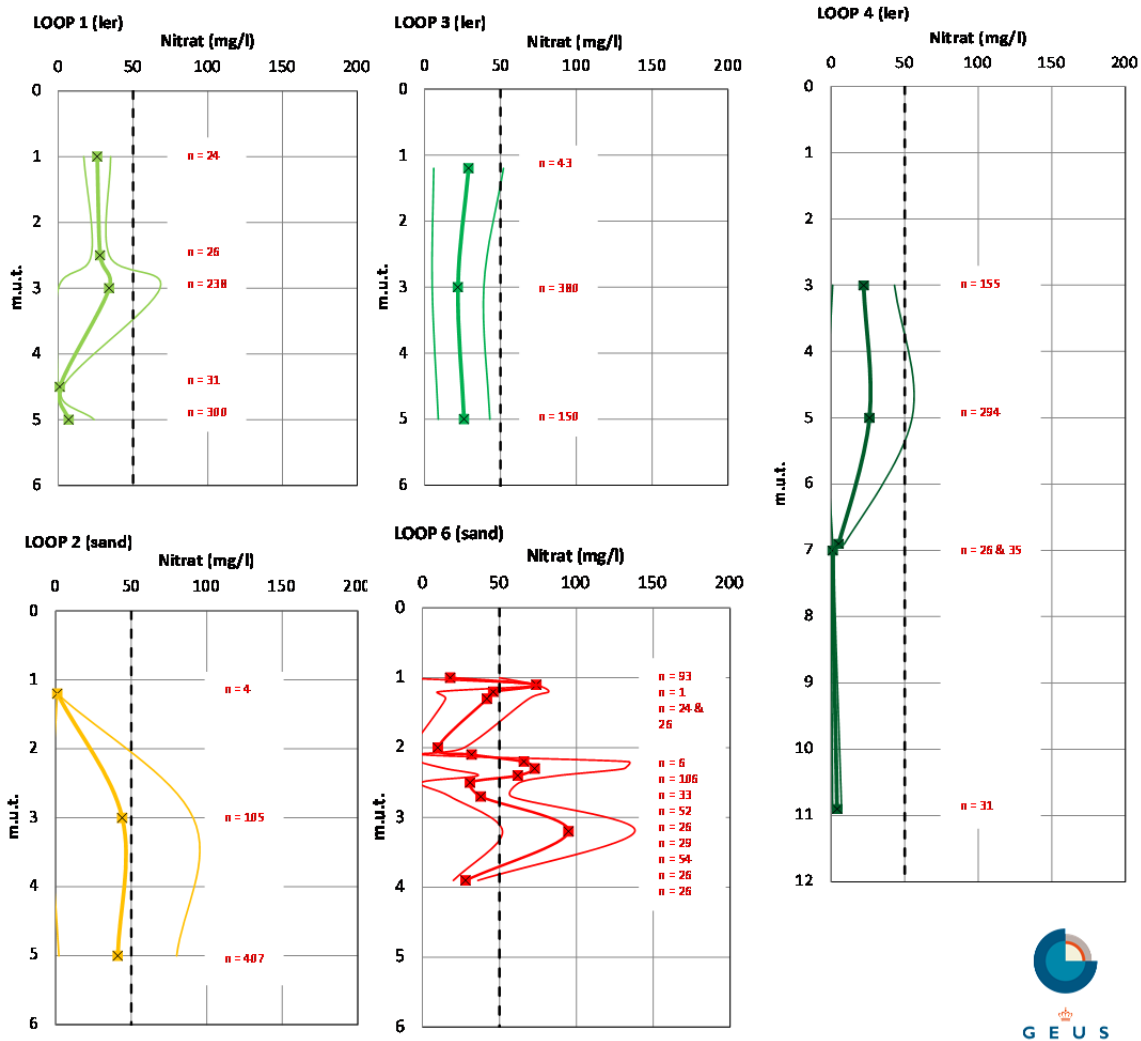
Figur 21. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i 2011-2015 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.498 indtag fra aktive vandværksboringer opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Dybdemæssig fordeling af nitratindeholdet i LOOP

Figur 22 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i LOOP områderne fra 2011-2015. Antallet af prøver, som ligger til grund for de beregnede gennemsnitlige nitratkonzentrationer varierer meget: fra en enkelt prøve (LOOP 6: indtagstop 1,1 m u.t) til 407 prøver (LOOP 2: indtagstop 5 m u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning på den beregnede gennemsnitlige nitratkonzentration, og standardafvigelsen er i visse tilfælde 60-70 mg/l (LOOP 6: indtagstop 2,2 og 2,3 m u.t.).

Figur 22 viser, i overensstemmelse med Figur 19, at nitratkonzentrationerne i sandjordsoplandene er noget højere end i lerjordsoplandene. I to af lerjordsoplandene (LOOP 1 og 4) aftager nitratindeholdet med dybden, hvilket må tilskrives nitratreduktion, og at nitratfronten ligger forholdsvis tæt på terræn. I LOOP 4 (på Fyn) er der målinger til 11 m u.t. Her viser resultaterne, at nitratfronten ligger omkring 7 m u.t., hvorfor grundvandet er nitratfrit under denne dybde.

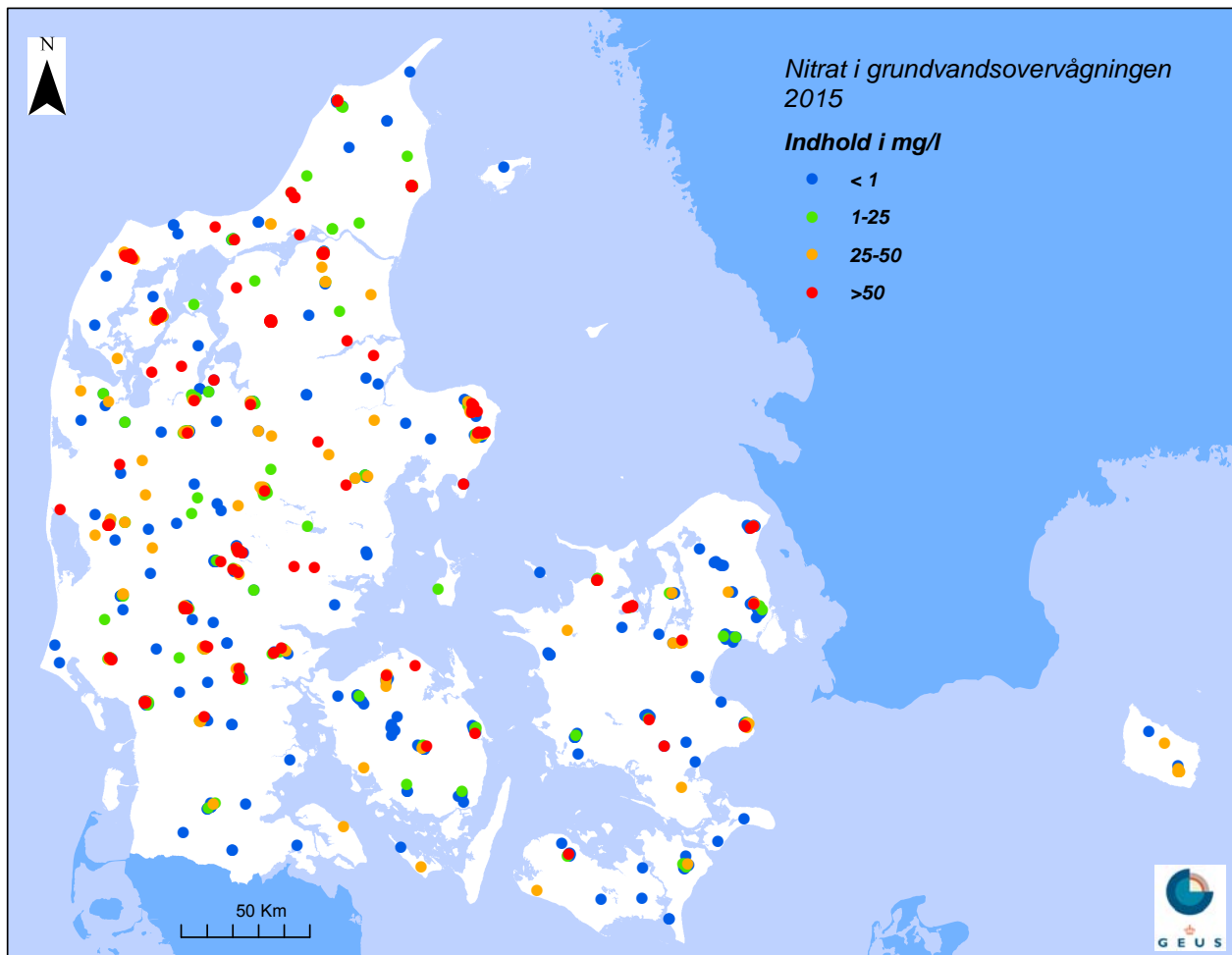
I LOOP 2 og 6 (sandjord) og LOOP 1 (lerjord) er der stor variation i nitratindeholdet med dybden. Fænomenet er særlig udtalt på sandjordene og skyldes sandsynligvis lokale hydrogeologiske forhold og variationer i nitratreduktionskapaciteten med horisontal strømning af nitratholdigt grundvand fra tilstødende marker.



Figur 22. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand i LOOP opgjort på filterdybder (indtagets top) i m u.t. for lerjords- og sandjordsoplandene for perioden 2011-2015. Gennemsnittet er baseret på alle målinger i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med tyndere streg. Antallet af målinger (n) i hver dybde er vist med rødt.

Geografisk fordeling af nitrat i GRUMO i 2015

Figur 23 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 729 indtag i GRUMO i 2015. De nitratholdige indtag og indtagene med overskridelser af kravværdien kan findes stort set overalt i Danmark uden tydelig regional gruppering. På kortet er de højeste værdier vist øverst. Dette er valgt, da der kan være nitrat i det øverste indtag, og nitratfrit grundvand i det nederste indtag i den samme overvågningsboring.

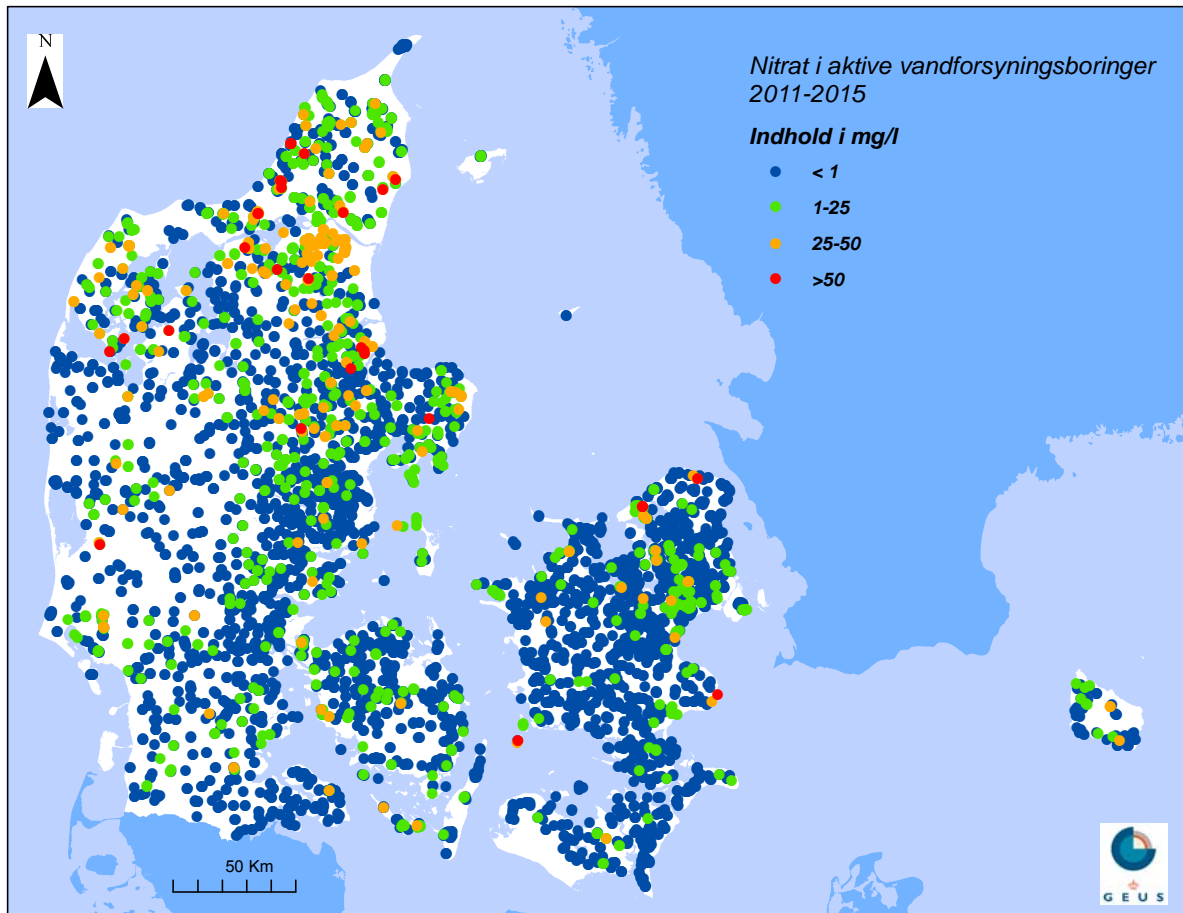


Figur 23. Nitratindholdet i grundvandet i GRUMO 2015. Nitratindholdet i de 729 indtag er opdelt på fire koncentrationsklasser. De højeste værdier er vist øverst.

Geografisk fordeling af nitrat i grundvand i vandværksboringer 2011-2015

Figur 24 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 5.945 vandværksboringer hos aktive vandværker gennem de seneste fem år (2011-2015). Denne femårige periode er udvalgt, da boringskontrollen typisk har en turnus på tre til fem år. Kravværdien for grundvand og drikkevand blev i perioden overskredet i kortere eller længere tid i 32 boringer (se også bilag 11).

Det højeste nitratindhold i perioden var 135 mg/l. Der kan optræde data fra boringer, som er sat ud af drift, men som stadig overvåges. Nitrat i grundvandet i vandværksboringer optræder særligt i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette hænger sammen med at den naturlige beskyttelse af grundvandsmagasinerne i disse områder er ringe på grund af tynde lerdæklag og en relativ dybtliggende nitratfront.



Figur 24. Nitratindholdet i grundvandet i 5.945 aktive vandværksboringer fordelt på fire koncentrationsklasser. Kortet er baseret på gennemsnit per indtag for perioden 2011-2015. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. Der er anvendt data for en 5 års periode, da alle aktive indvindingsboringer skal analyseres mindst én gang hvert 5. år. De højeste gennemsnitsværdier er vist øverst. Et tilsvarende kort, men baseret på den højeste koncentration i tidsperioden, vises i Bilag 11, figur 11.1.

5.2 Udvikling

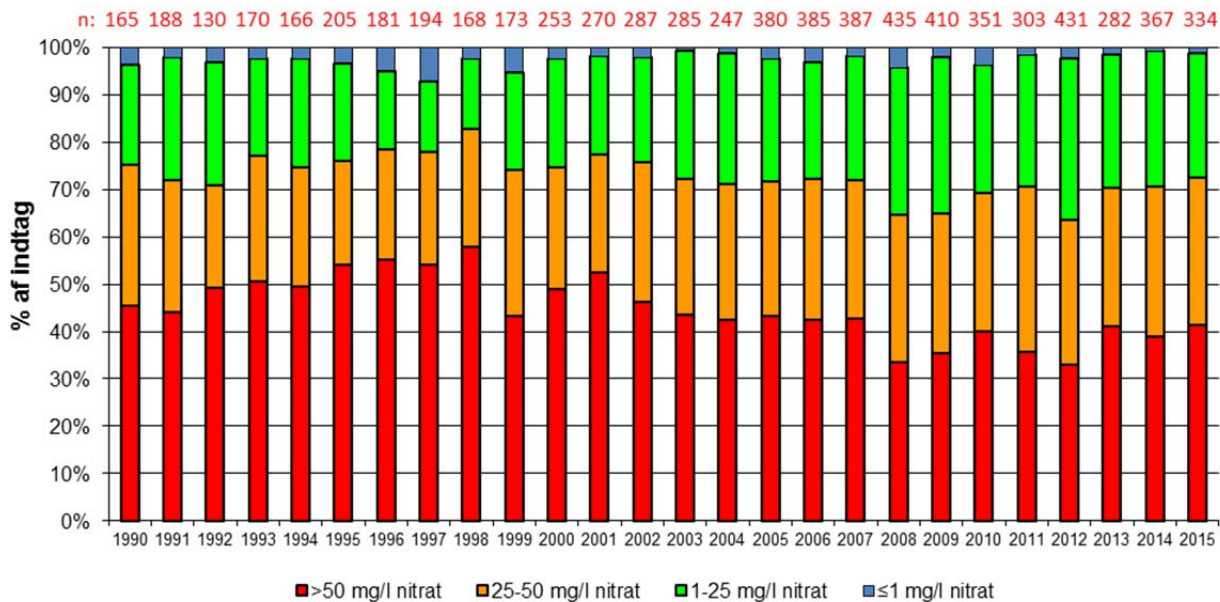
Udviklingen i nitratindholdet i grundvandet er vurderet i iltholdigt grundvand, hvor nitratkoncentrationen direkte kan sammenlignes med nitratudvaskning fra rodzonen. Udviklingen beskrives i forhold til både prøvetagningstidspunktet og grundvandets dannelsesetidspunkt. Datering af det iltholdige grundvand muliggør nemlig, at der kan tages højde for nitrats transporttid fra rodzonen til indtaget i grundvandet, hvor prøven udtages. Dermed kan tidspunktet for udledning af kvælstof fra landbruget direkte sammenlignes med de målte nitratkoncentrationer i iltet grundvand.

Udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand i GRUMO i forhold til prøvetagningsåret

I dette afsnit ses på udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret. De viste udviklinger kan derfor ikke direkte bruges til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på grundvandets nitratindhold. Dette undersøges i næste afsnit ved analyse af nitratindholdet i iltholdigt grundvand i forhold til grundvandets dannelsesår.

Figur 25 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold per indtag per år for det iltholdige grundvand ($\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{O}_2 > 1 \text{ mg/l}$) i grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2015 fordelt på fire koncentrationsklasser (≤ 1 , 1-25, 25-50 og $> 50 \text{ mg/l}$). Da andelen af meget lave nitratkoncentrationer her ønskes illustreret, er kriteriet " $\text{NO}_3^- > 1 \text{ mg/l}$ " i dette tilfælde ikke anvendt til identifikation af iltholdigt grundvand (se Boks 2).

Årlig fordeling af nitrat i iltet grundvand Grundvandsovervågningen 1990-2015

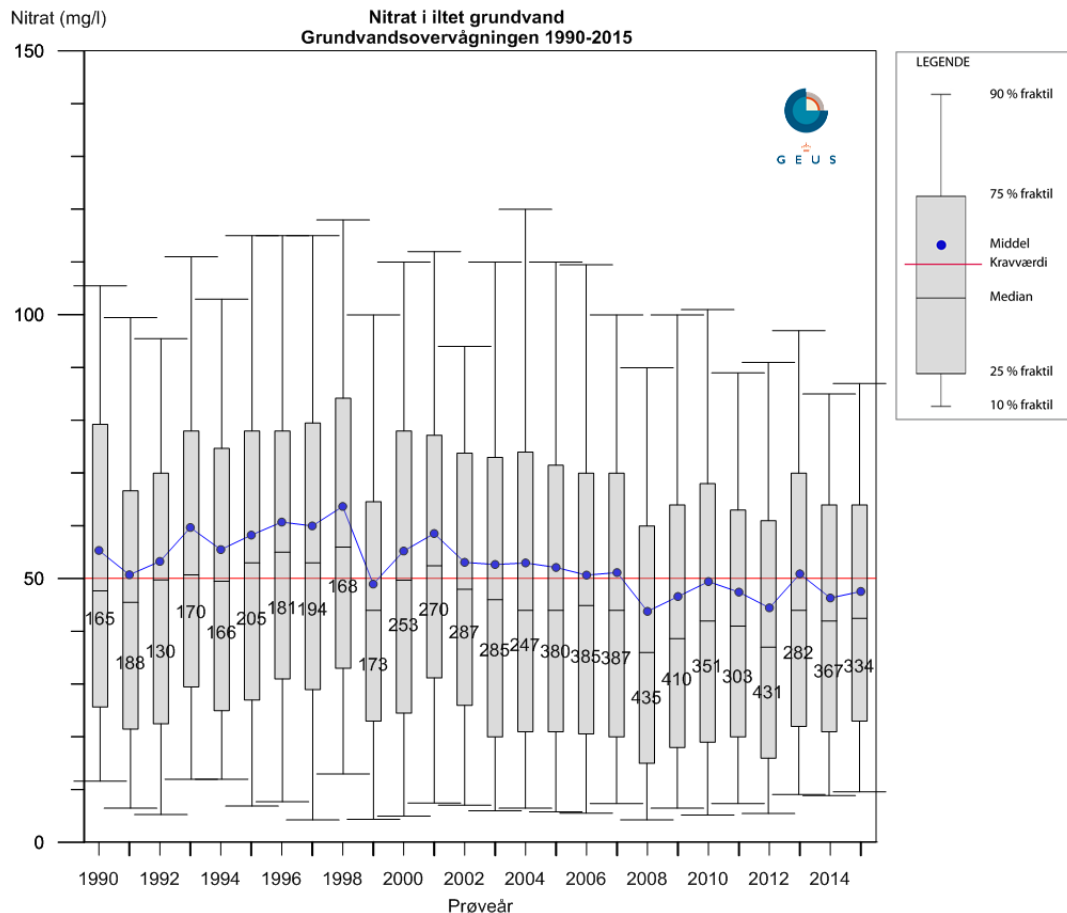


Figur 25. Tidsserie for den procentvise fordeling af nitrat (gennemsnit pr. indtag pr. år) i iltholdigt grundvand ($\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{O}_2 > 1 \text{ mg/l}$) for prøver udtaget i perioden 1990-2015 i GRUMO. Nitratindholdet er opdelt på fire koncentrationsklasser (≤ 1 , 1-25, 25-50 og $> 50 \text{ mg/l}$ nitrat). Antal indtag (n) fra hvert år er anført over figuren.

Der er en tydelig tendens til, at andelen af indtag i det iltholdige grundvand fra GRUMO med nitratkoncentrationer over 50 mg/l er aftaget siden højdepunktet i 1996-1998. Dog er der en tendens til stagnation de seneste otte prøvetagningsår, hvor 35-41 % af indtagene har mere end 50 mg/l nitrat.

Hvert år er der en lille andel af indtagene (ca. 1-7 %), der indeholder grundvand med et meget lavt nitratindhold under 1 mg/l i gennemsnit. Andelen af indtag i det iltholdige grundvand med relativt lave nitratkoncentrationer i intervallet fra 1-25 mg/l har været stigende fra omkring 15 % i 1996-1998 til omkring 30 % de seneste 12 år (2004-2015). Desuden har andelen af indtag med koncentrationer i intervallet fra 25-50 mg/l nitrat været nogenlunde konstant på 25-30 % igennem hele overvågningsperioden.

Figur 26 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO fra 1990-2015 baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindhold per indtag identificeret ved hjælp af kriterierne i boks 2 og vist i tabel 5. Det iltholdige grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktilerne samt gennemsnitsværdi og kravværdi er vist. Nitratindholdet i det iltholdige grundvand udviser alle år en stor spredning. Medianværdien ligger igennem hele prøvetagningsperioden under gennemsnitsværdien, hvilket indikerer, at der forekommer enkelte meget høje nitratværdier. I prøvetagningsårene 1996-1998 optræder de højeste median- og gennemsnitsværdier. Derefter har nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret været faldende, både hvad angår alle de viste fraktilværdier og gennemsnitsværdier. De seneste otte år har gennemsnitsværdien for nitrat i iltholdigt grundvand fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l.

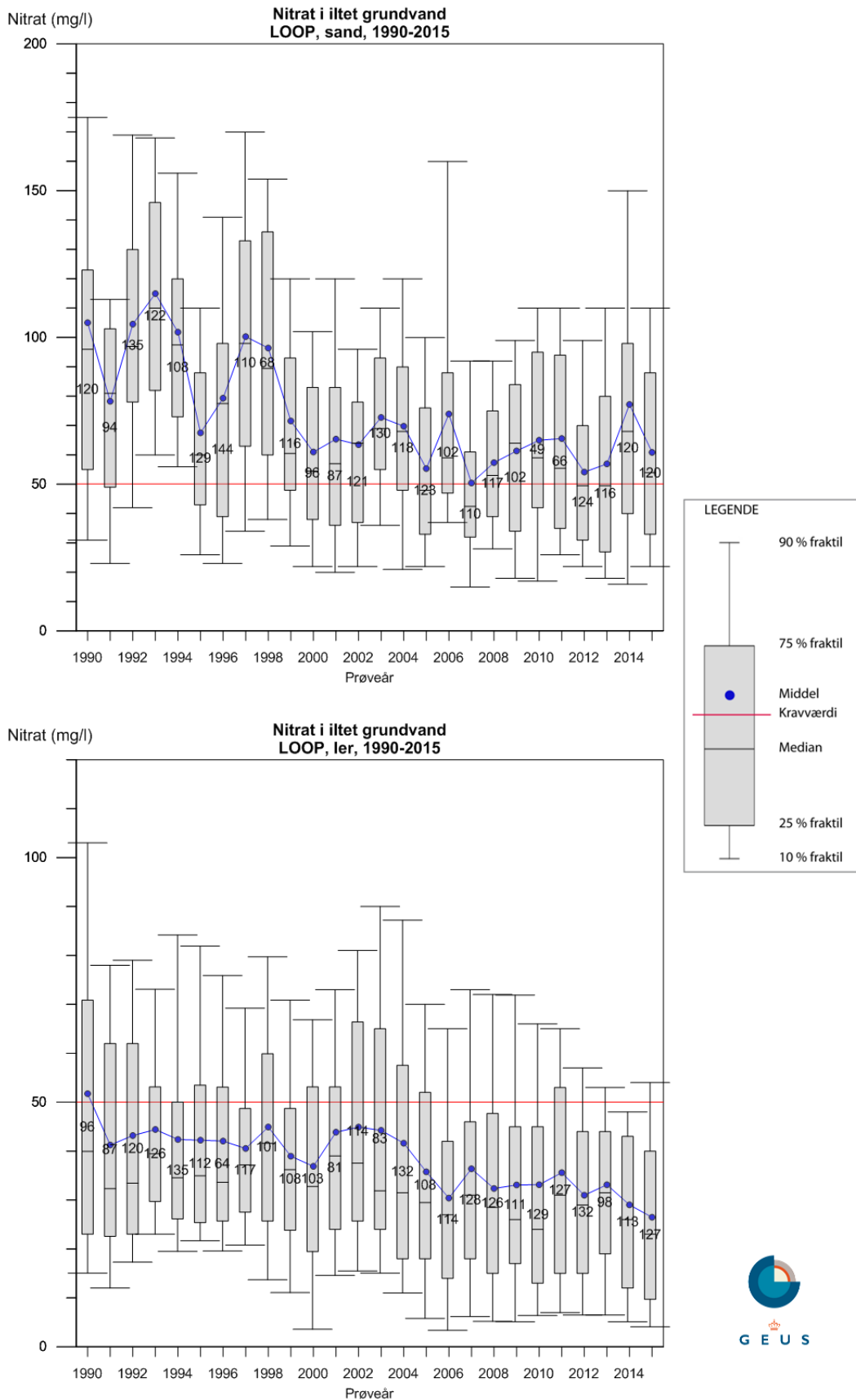


Figur 26. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindehold i GRUMO vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2015. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindehold per indtag per år. Antal af prøver er angivet for hvert år.

Udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand i LOOP i forhold til prøvetagningsåret

I det terrænære grundvand i LOOP analyseres udviklingen i det iltholdige grundvand i forhold til prøvetagningsåret.

Figur 27 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindehold i LOOP for oplandene med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4). LOOP monitorer i alt 20 indtag med iltholdigt grundvand på sand (LOOP 2: 7 indtag og LOOP 6: 13 indtag) og i alt 26 indtag med iltholdigt grundvand på ler (LOOP1: 2 indtag, LOOP 3: 17 indtag og LOOP 4: 7 indtag). Disse indtag prøvetages om muligt seks gange om året (se Tabel 5). Figur 27 er baseret på samtlige målinger af nitrat i hvert indtag i stedet for det gennemsnitlige nitratindehold per indtag, da formålet med figuren også er at vise variationen i det målte nitratindehold i det øverste iltholdige grundvand.



Figur 27. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i LOOP-oplande opdelt på sandjord (LOOP 2 og 6) og lerjord (LOOP 1, 3 og 4) vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2015. Diagrammet er baseret på samtlige prøver udtaget de enkelte år. Antallet af prøver er angivet for hvert år.

Udviklingen i nitratinholdet i det iltholdige grundvand i LOOP er direkte sammenlignelig med nitratudvaskningen fra rodzonen. Ændringer i nitratinholdet kan dermed bruges til at evaluere indsatserne for at nedbringe kvælstoftabet fra landbruget.

Figur 27 viser, at der hvert år er stor spredning i de målte nitratkoncentrationer, og at der er en tendens til, at denne spredning er blevet mindre de seneste 7-10 år, især for lerjord. Generelt er der et højere nitratinhold i grundvandet i sandområderne end i lerområderne, således som det også fremgår af Figur 19 og Figur 22. I det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjorde er der henholdsvis omkring 54 % og 13 % af prøverne i 2015, som ligger over 50 mg/l.

I første halvdel af overvågningsperioden frem til henholdsvis år 2000 og 2006 observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i både sandjords- og lerjordsoplandene. I hele måleperioden ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat på sandjordene over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2015 ligger det gennemsnitlige nitratinhold på 61 mg/l og 26 mg/l i henholdsvis sand- og leroplandene, det vil sige, at nitratinholdet er mere end dobbelt så højt i sandjordsoplandene i forhold til lerjordsoplandene.

Vurdering af effekten af vandmiljøplaner på grundvandets nitratinhold i GRUMO

I dette afsnit vurderes effekten af vandmiljøhandlingsplanernes indsatser for at reducere nitratudvaskningen på nitratinholdet i det iltholdige grundvand i GRUMO. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratinhold undersøges ved hjælp af datering af grundvandet. Dateringen muliggør beregning af grundvandets dannelsesår. Herved kan nitratinholdet i grundvandet sammenholdes med tidspunkter for vandmiljøhandlingsplanerne og kvælstoftildeling i landbruget.

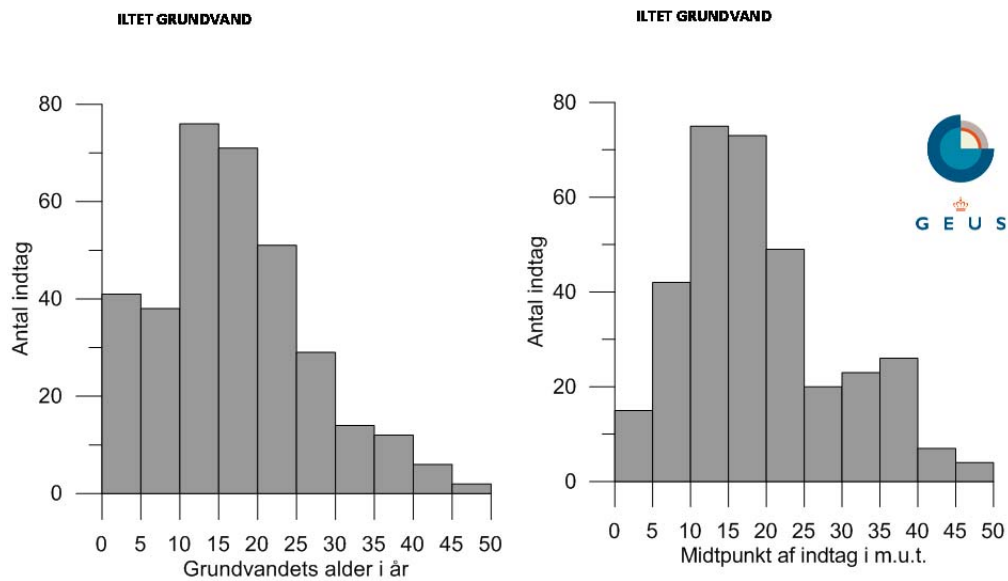
I rapporteringen af grundvand 1989-2008 (Thorling m.fl., 2010a) var der fokus på udviklingen i nitratinholdet i dateret, iltholdigt grundvand på indtagniveau. Yderligere databearbejdningsresultater er publiceret i Hansen m.fl. (2011) og Hansen m.fl. (2012). En statistisk dataanalyse af ca. 20 års overvågningsdata fra hele landet viste, at nitratinholdet og tilførslen af nitrat til iltholdigt grundvand generelt har været faldende siden ca. 1980. Den generelle tendens med et faldende nitratinhold i iltholdigt grundvand stemmer overens med den overordnede tendens for udviklingen i kvælstofoverskuddet i dansk landbrug (Hansen m.fl., 2011 og Dalgaard m.fl., 2014). Ligeledes er det tidligere vist (Hansen m.fl., 2011), at frem til 2003 har det yngste iltholdige grundvand (< 15 år) flere overvågningsindtag med et signifikant faldende nitratinhold (44 %) end det ældste (25-50 år) iltholdige grundvand (9 %).

I dette års rapport er der foretaget en yderligere bearbejdning af data, der blev præsenteret for første gang i sidste årsrapportering (Thorling m.fl., 2015), og som også er publiceret i Hansen & Larsen (2016). Disse resultater vil blive gennemgået i det følgende.

Der er brugt tre kriterier til udvælgelse af data til nærværende analyse. Data stammer fra indtag i grundvandsovervågningen med: 1) iltet grundvand, 2) aldersdateret grundvand og 3) prøver fra mere end otte år per indtag. Databehandlingen baserer sig dermed på 5.506 nitratkoncentrationer fra i alt 340 indtag med iltholdigt grundvand, som er prøvetaget fra 1988-2014, og som repræsenterer grundvand, der er dannet fra perioden 1944-2014. Af de 340 indtag med iltholdigt grundvand er 312 dateret med CFC metoden i perioden 1997-2013, mens 28 er dateret med tritium/helium-metoden i 2013.

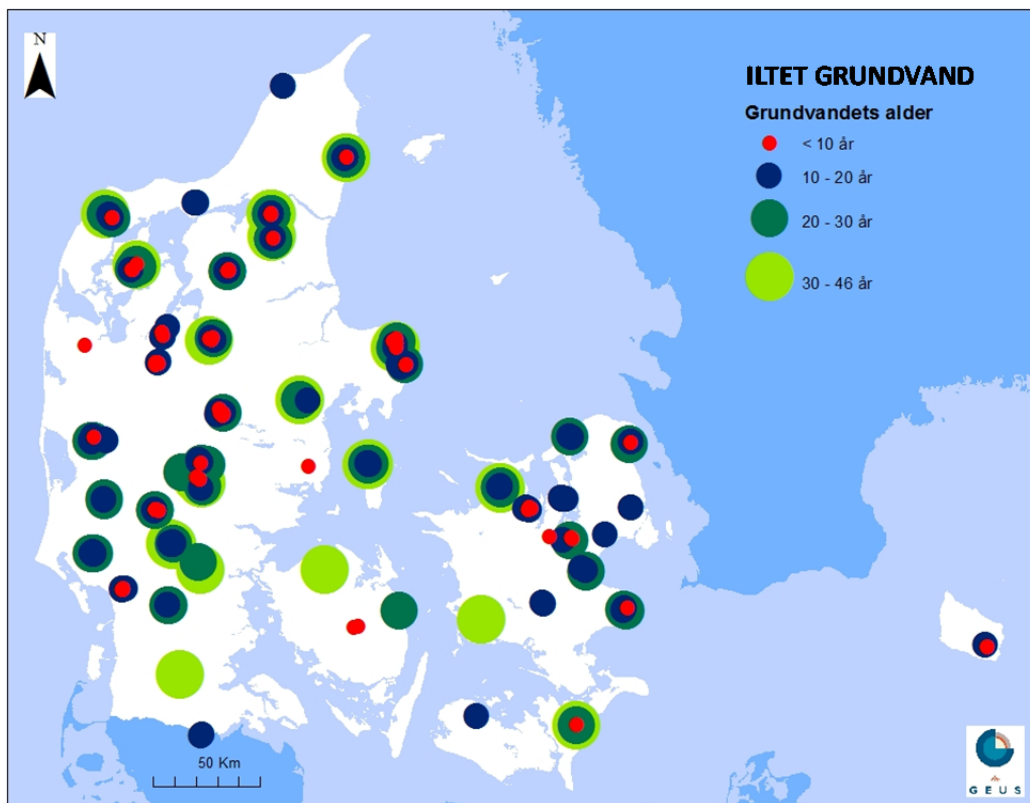
Grundvandets alder i dette datasæt varierer fra 0,3 til 46 år. Gennemsnits- og medianværdien for alderen stort set identiske og er ca. 17 år. Figur 28A viser aldersfordelingen af iltholdigt grundvandet i daterede indtag. Ca. 23 % af indtagene har en alder < 10 år, ca. 44 % en alder fra 10-20 år, ca. 23 % en alder fra 20-30 år og kun ca. 10 % en alder fra 30-50 år. Det vil sige, at den største andel af det iltede grundvand har en alder på 10-30 år.

Figur 28B viser dybdefordelingen til midten af indtaget for de samme indtag som i Figur 28A. Det iltholdige grundvand er i overvågningsprogrammet fundet ned til 50 m u.t. Hovedparten af indtagene med iltholdigt grundvand har midtpunkt af indtaget i 10-20 m u.t. Gennemsnitsværdien for dybden til midtpunkt af indtagene er på ca. 20 m u.t., mens medianværdien er på ca. 18 m u.t.



Figur 28. Iltet grundvand i GRUMO: Fordelingen af grundvandets alder og midtpunkt af indtag i de 340 daterede indtag med iltholdigt grundvand.

Figur 29 viser den geografiske placering af de 340 indtag i iltet grundvand grupperet i forhold til alderen af grundvandet. Det fremgår af figuren, at der ikke er helt den samme geografiske fordeling af indtag med henholdsvis en alder af grundvandet på <10 år, 10-20 år, 20-30 år og 30-46 år, men at landet som helhed er rimeligt dækket med data fra alle aldersgrupper.

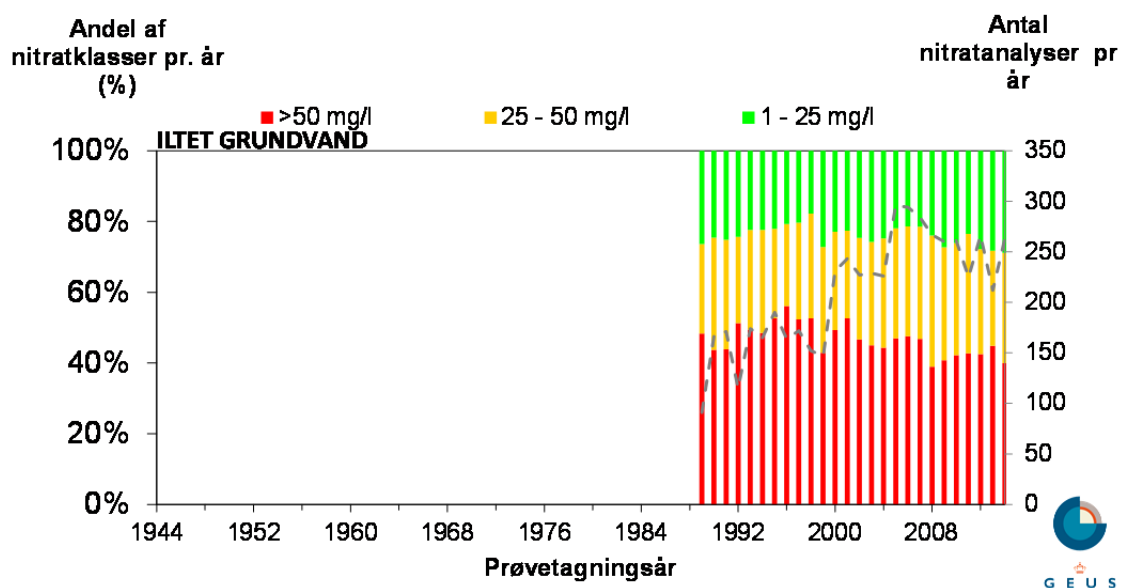


Figur 29. Iltet grundvand i GRUMO: Geografisk placering af 340 indtag grupperet i forhold til alderen af grundvandet.

Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i GRUMO

Figur 30 viser andelen af prøver i tre nitratkoncentrationsklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) pr. prøvetagningsår fra de 340 iltede daterede indtag i grundvandsovervågningen. Antallet af prøver med nitrat pr. prøvetagningsår varierer fra ca. 90 i begyndelsen af overvågningsperioden til omkring 250 i de seneste prøvetagningsår.

Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i forhold til prøvetagningsåret viser en tendens til, at andelen af prøver med nitratkoncentrationer over 50 mg/l i det iltholdige grundvand fra de 340 GRUMO indtag er aftaget siden 1996-98. Dog er der en tendens til stagnation de seneste syv prøvetagningsår, hvor omkring 40 % af indtagene har mere end 50 mg/l nitrat, hvilket er i overensstemmelse med Figur 25.

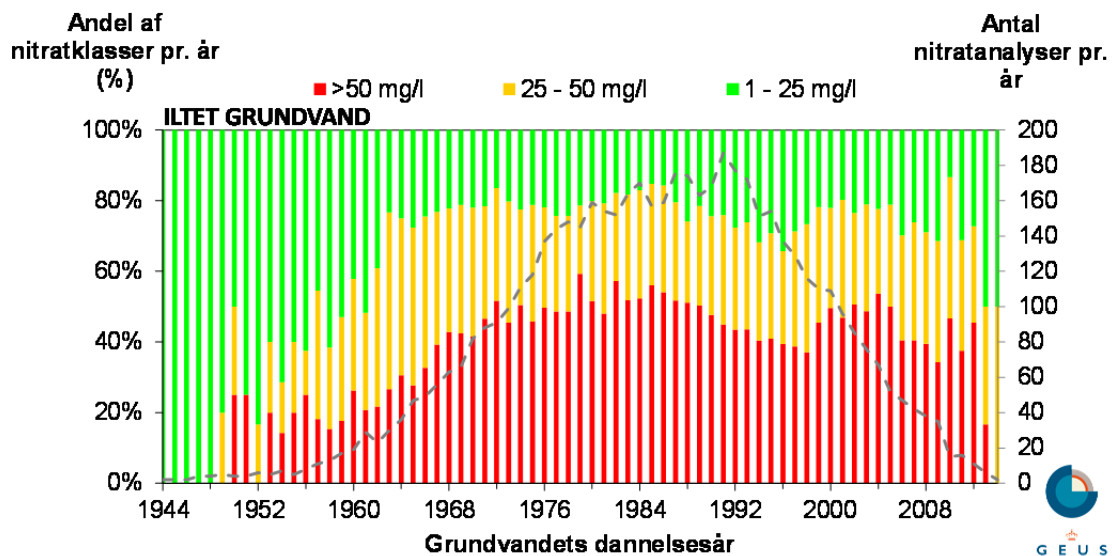


Figur 30. Iltet grundvand i GRUMO: Andel af prøver i tre nitratkoncentrationsklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) pr. prøvetagningsår. Baseret på 5506 prøver fra 340 iltede daterede. Den stiplede linje viser antal prøver pr. prøvetagningsår. Der er valgt samme x-akse i figur 30 - 33.

I Figur 31 er de samme data afbilledet i forhold til grundvandets dannelsesår, idet prøvetagningsåret er omregnet til grundvandets dannelsesår, se Figur 14. Figur 31 viser andelen af prøver i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) for det år, som grundvandet er dannet. Antallet af prøver pr. år varierer fra nogle få i begyndelsen og slutningen af perioden til et relativt højt niveau på omkring 160-190 prøver pr. år i den midterste del fra ca. 1980-1995.

Der iagttages en stigning i grundvandets nitratindhold fra 1944 til ca. 1975, dernæst en stagnation for grundvand dannet omkring 1975-1985, et tydeligt fald i koncentrationerne fra ca. 1985-1998 og til sidst et spring op i nitratindhold og et faldende niveau frem til 2012 som dannelsesår. Stigningen i nitratindholdet fra 1998 som dannelsesår til 1999, kan hænge sammen med det forhold, at der de seneste år er kommet flere overvågningsindtag i ungt iltet grundvand med et relativt højt nitratindhold (se Figur 29).

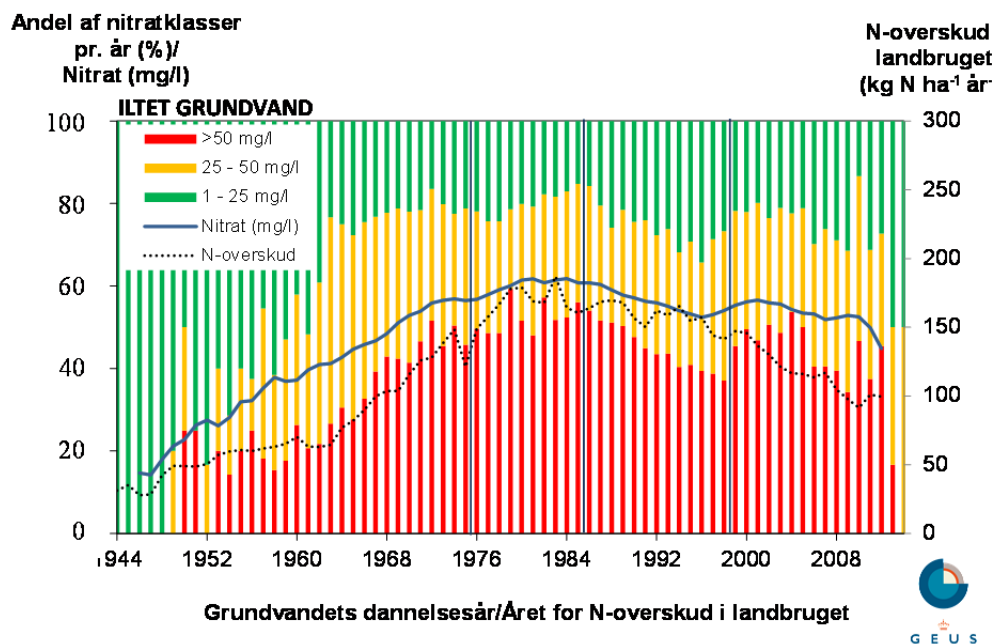
Figur 32 viser 5-års glidende gennemsnit for nitratindholdet i iltet grundvand baseret på de 5.506 prøver fra 340 GRUMO indtag. Det 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand inddeles i fire perioder: 1. periode 1944-1975, 2. periode 1975-1985, 3. periode 1985-1998 og 4. periode 1998-2012. Perioderne er fastlagt på baggrund af den overordnede udvikling i nitratindholdet i iltet grundvand og tidspunktet for igangsættelse af de forskellige miljøhandlingsplaner. I 1. periode er nitratindholdet kraftig stigende og i 2. periode nås et maksimum omkring det tidligere fundne knæpunkt i 1980 (Hansen m.fl., 2011; Hansen m.fl., 2012). I 3. periode blev NPo (1985), VMP I (1987) og Handlingsplan for bæredygtig landbrug (1991) igangsat, mens VMP II (1998), Ammoniak handlingsplanen (2001), VMP III (2004) og Grøn vækst (2009) er initialiseret i 4. periode.



Figur 31. Iltet grundvand i GRUMO: Andel af prøver i tre nitratkoncentrationsklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5506 prøver fra 340 iltede daterede indtag. Den stiplede linje viser antal prøver pr. år, hvor år er grundvandets dannelsesår.

I Figur 32 vises også N-overskuddet i dansk landbrug beregnet på baggrund af data fra Danmarks Statistik. N-overskuddet er den mængde kvælstof, der ikke udnyttes i landbrugsproduktionen, og som dermed potentielt kan tabes til miljøet fx i form af nitratudvaskning til grundvandet. Det ses, at kvælstofoverskuddet har været stigende fra 1940'erne og frem til ca. 1983, hvorefter det har været faldende frem til 2012 til et niveau på omkring 100 kg N/ha/år svarende til 260.000 t N/år.

Der ses en tydelig sammenhæng mellem den årlige udvikling i N-overskuddet og nitrat i iltet grundvand på det overordnede nationale niveau, hvor data fra hele landet indgår (Hansen og Larsen, 2016).



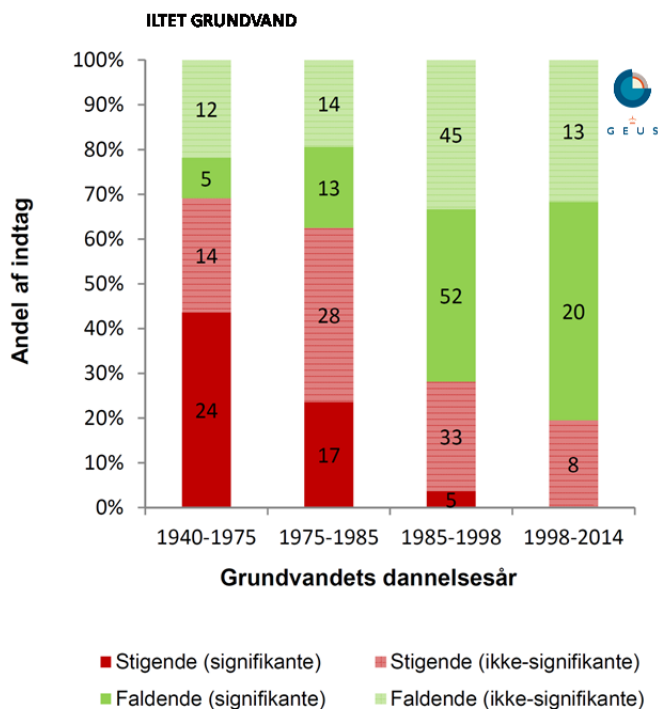
Figur 32. Iltet grundvand i GRUMO: 5-års glidende gennemsnit af nitrat i iltet grundvand (blå linje). Andel af prøver i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5.506 prøver fra 340 iltede daterede indtag. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten.

Udvikling i nitrat i iltet grundvand i GRUMO på boringsniveau

Udviklingen i nitratkoncentrationen i individuelle indtag med iltet grundvand i GRUMO er undersøgt med en lineær regressionsanalyse af nitrat-tidsserier fra de enkelte indtag. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst otte år i de enkelte delperioder. I alt 303 tidsserier indgår i de fire delperioder i Figur 33 (1940-75, 1975-85, 1985-1998 og 1998-2014), hvilket betyder, at nogle af de 250 indtag går igen i flere delperioder.

En nitrat-trend tolkes som stigende, hvis hældningskoefficienten af regressionslinjen gennem målepunkterne er positiv, og faldende, hvis den er negativ. Figur 33 viser det akkumulerede resultat af de 303 beregnede nitrat-trends fordelt på de fire perioder med både signifikante og non-signifikante trends ved et 95 % konfidensniveau.

Figur 33 viser en tydelig udvikling mod et faldende nitratindhold i iltet grundvand både, når kun udviklingen i de signifikante trends betragtes, og når både signifikante og non-signifikante trends undersøges. Det ses, at antallet af prøver for sidste periode (1998-2014) giver et spinklere datagrundlag (41 indtag) end perioden 1975-1985 (135 indtag).



Figur 33. Iltet grundvand: nitrat-trends i 303 overvågningsindtag i iltet grundvand i 4 perioder i forhold til grundvandets dannelsesår. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst 8 år. Tallene inden i søjlerne angiver antallet af indtag. Der er vist både signifikante og ikke-signifikante nitrat-trends på 95 % konfidensniveau.

Referencer: Nitrat

Dansk lovgivning mv.

Miljøstyrelsen, 2000b: Zoneringsvejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016e: Bekendtgørelse om udpegning af drikkevandsressource. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 365 af 19/04/2016.

EU direktiver.

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

Andre henvisninger:

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2016. Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164
<http://dce2.au.dk/pub/SRxxx>

Dalgaard T, Hansen B, Hasler B, Hertel O, Hutchings N, Jacobsen BH, Jensen LS, Kronvang B, Olesen JE, Schjørring JK, Kristensen IS, Graversgaard M, Termansen M, Vejre H (2014) Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. Environmental Research Letters, Environ. Res. Lett. 9 (2014) 115002 (16pp).
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/115002>.

Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsen V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særdugivelse <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (27-09-16)

Hansen, B., Rasmussen, B.B., Sivertsen, J., Sørensen, E., Kristoffersen, V. & Christensen, K.S., 2010. Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP). Særdugivelse 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 no. 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.

Hansen, B & Larsen, F., 2016. Faglig vurdering af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktionen for kvælstof i 2016 -18. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2016/04.

Nielsen, A.M., Hansen, B, Ernstsen, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokaltitet 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport,2014/82.

Schullehner, J. & Hansen, B. (2014): Nitrate exposure from drinking water in Denmark over the last 35 years. Environmental Research Letters 9 095001 [doi:10.1088/1748-9326/9/9/095001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/095001) (27-9-2016)

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012.
www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (27-9-2016)

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 (27-9-2016)

Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Troldborg, L., og Sørensen, B.L., 2015a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2013.aspx (27-9-2016)

Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Troldborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (22-9-16)

6 Uorganiske sporstoffer

Sammenfatning og konklusion

En række uorganiske sporstoffer optræder i dansk grundvand i koncentrationer over kravværdierne. I nogle tilfælde skyldes dette naturlige processer, mens det i andre tilfælde skyldes påvirkninger fra menneskelige aktiviteter.

I overensstemmelse med resultaterne fra tidligere års overvågning, viser resultaterne fra 2015, at det for en række indtag i overvågningsprogrammet gælder, at indholdet af sporstoffer i grundvandet overstiger kravværdierne for drikkevand. Dette gælder især for arsen og nikkel, men også for aluminium og bly. I områder, hvor grundvandet har høje indhold af disse stoffer, kan den simple vandbehandling på vandværkerne og/eller fokus på indvindingsstrategien imidlertid understøtte levering af drikkevand, der overholder kravværdierne.

Der er i 2015 fundet overskridelser af kravværdierne for drikkevand for ét eller flere stoffer i 56 % af de 80 undersøgte indtag i GRUMO og i 13 % af de 1290 undersøgte vandværksboringer. Desuden viser resultaterne fra de undersøgte indtag i GRUMO en samtidig overskridelse på to stoffer (ofte aluminium og nikkel), tre stoffer (ofte aluminium sammen med bly, cadmium, nikkel eller zink) og fire stoffer (aluminium, bly, kobber og zink) i henholdsvis 17 %, 8,8 % og 2,5 % af indtagene.

Resultater fra de undersøgte indtag i GRUMO i perioden 1993-2015 viser fra 2010 en stigning i andelen af indtag med koncentrationer af aluminium over kravværdien, og i 2015 havde næsten hvert tredje undersøgte indtag, i alt 24 indtag ud af 80, koncentrationer af aluminium over kravværdien. Dette hænger sammen med udbygningen af stationsnettet, der i de seneste år især har fundet sted i Vestjylland, hvor indholdet af aluminium som følge af lavere pH-værdier ofte er højere i grundvandet end i resten af landet. I en periode, hvor stationsnettet udbygges, vil særligt mange nye indtag blive prøvetaget i de enkelte år, hvorfor resultaterne fra de enkelte år ikke er repræsentative for landet som helhed.

Indledning

Stofgruppen uorganiske sporstoffer omfatter bl.a. tungmetaller som cadmium og bly, men også letmetaller som aluminium og ikke-metaller som fx arsen og bor. Også den simple kemiske forbindelse cyanid (CN) indgår i gruppen af uorganiske sporstoffer. Uorganiske sporstoffer findes naturligt i grundvandet, typisk i koncentrationer i størrelsesordenen µg/l. De uorganiske sporstoffer har meget forskellige kemiske egenskaber, anvendelser og geologisk forekomst. Fælles for en lang række af sporstofferne gælder det dog, at de målte koncentrationer med stor sandsynlighed rummer bidrag fra både naturlige processer og menneskeskabt aktivitet.

Tabel 6 viser kravværdier for de enkelte sporstoffer i drikkevand, grundvand og overfladevand. Den store variation i kravværdierne fra stof til stof skyldes de vidt forskellige kemiske egenskaber, der igen medfører stor variation i såvel de gavnlige som de toksiske og økotoksikologiske egenskaber.

I forhold til menneskers helbred kan de uorganiske sporstoffer overordnet opdeles i tre grupper:

- de toksiske stoffer, der har sundheds- og miljømæssigt skadelige effekter (humantoxiske og økotoksiske) selv ved lave koncentrationer
- de essentielle stoffer, 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 sundhedsskadeligt eller have økotoksiske effekter, fx aluminium og sølv, hvor de frie ioner er giftige.

De toksiske stoffer omfatter bl.a. antimon, arsen, beryllium, bly, cadmium, kviksølv samt cyanid og mnes i visse tilfælde, fx for arsen, ved længere tids påvirkning ved et bestemt koncentrationsniveau at kunne forårsage kræft hos mennesker (Miljøstyrelsen, 1995).

De essentielle stoffer omfatter bl.a. krom, kobber, zink og selen. For selen er der en relativt lille forskel mellem det nødvendige indtag og det indtag, der har giftvirkning.

Uorganiske sporstoffer	Kravværdier grundvand ^a	Kravværdier drikkevand ^b	Kravværdier for overfladevand (MFM, 2016d)			
			Fersk	Fersk/kort tid	Marin	Marin/kort tid
Aluminium	-	100			-	-
Antimon	-	2	113 ^d	177 ^d	11,3 ^d	177 ^d
Arsen	8	5	4,3 ^d	43 ^d	0,11 ^d	1,1 ^d
Barium	-	700	9,3 ^d	145 ^d	5,8 ^d	145 ^d
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 max 20.000 ^c	2080	94 ^d max 20.000 ^c	2080
Cadmium	0,5	2	-	-	-	-
Kobolt	-	5	0,28 ^d	18 ^d	0,28 ^d	34 ^d
Jod	-	-	10 ^e	10 ^e	10	10
Krom, total	25	20	-	-	-	-
Krom, VI	1	-	3,4 ^d	17 ^d	3,4 ^d	17 ^d
Krom III	-	-	4,9 ^d	124 ^d	3,4 ^d	124 ^d
Cyanider, uorgan.	50	50	-	-	-	-
Cyanider, syreflygtige	-	20	-	-	-	-
Kobber	100	100	1 ^d dog max 12 ^c	2,0 ^d	1 ^d dog max 2,9 ^c	2,0 ^d
Kviksølv	0,1	1/0,1 ^c	-	-	-	-
Litium	-	1000	-	-	-	-
Molybdæn	20	20	67 ^d	587 ^d	6,7 ^d	587 ^d
Nikkel	10	20	2,3 ^d dog max 3 ^c	6,8 ^d	0,23 ^d dog max 3 ^c	6,8 ^d
Selen	-	10	-	-	-	-
Strontium	-	- /10.000 ^b	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	-	-	-	-
Vanadium	-	-	4,1 ^d	57,8 ^d	4,1 ^d	57,8 ^d
Zink	100	100	7,8 ^d	8,4 ^d	7,8 ^d	8,4 ^d
Zink ^e	100	100	3,1 ^d	-	-	-

a)MST: Miljøstyrelsen, 2014b. Grundvandskvalitetskriterierne er udarbejdet til brug for fastsættelsen af krav til grundvandet under forurenede grunde (gamle fabriksgrunde, gamle benzinstationer o.l.) ved offentligt finansierede oprydninger og er således ikke kvalitetskriterier, der kan bruges generelt for grundvand.

b)MFM: Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a. Kravværdier ved indgang til ejendom;

c) Krav/Anbefaling; d) Kravværdien gælder for koncentrationen i opløsning, dvs. den opløste fase af en vandprøve, der er filtreret gennem et 0,45 µm filter eller behandlet tilsvarende;

d) Ved vurdering af overvågningsdata eller beregnede koncentrationer i et vådområde tages der hensyn til den naturlige baggrundskoncentration, hvis den gør det umuligt at overholde miljøkvalitetskravene;

e) Målkvalitetskravet gælder for blødt vand (Hårdhed < 24 mg CaO/l).

Tabel 6. Kvalitetskrav for uorganiske sporstoffer i drikkevand, grundvand og overfladevand.

Restgruppen udgøres bl.a. af aluminium, barium, bromid, bor, jod, litium, molybdæn, strontium og sølv. For nogle stoffer, fx beryllium, er der kun sparsom viden om deres effekter ved de lave koncentrationer, som normalt forekommer opløst i grundvand. Specifikt for bor gælder det, at det normalt ikke findes i koncentrationer over kravværdien i almindeligt fersk grundvand (Adriano, 2001). Bor anvendes bl.a. til trykimprægning af træ og i visse insekticider. Derudover er bor en indikator for saltvandsindtrængning/saltvandspåvirkning.

Datagrundlag

Tabel 7 viser hvilke analyseparametre, der indgår i overvågningsprogrammet for grundvand (GRUMO) for programperioden 2011-2015 samt hvilke parametre, der indgår ved overvågning af grundvandskvaliteten i vandværksboringerne i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a). Prøvetagningsfrekvensen i såvel GRUMO som i vandværksboringerne varierer fra årlige prøver til én prøve hvert 5 år.

Uorganiske sporstoffer	GRUMO	Vandværksboringer
Aluminium (Al)	X	X ^c
Arsen (As)	X	X
Barium (Ba)	X ^a	X
Beryllium (Be)	X	
Bly (Pb)	X	
Bor (B)	X	X
Bromid (Br)	X ^b	
Cadmium (Cd)	X	
Jod (I)	X	
Kobber (Cu)	X	
Kobolt (Co)		X
Kviksølv (Hg)	X ^a	
Nikkel (Ni)	X	X
Strontium (Sr)		X ^d
Zink (Zn)	X	
a) Analyseres kun, hvis der er et behov fra påvirket overfladevand for at kende baggrundskoncentrationer i lokale grundvandsforekomster. b) Analyseres kun hvor der er mistanke om at stigende klorid skyldes vejsalt, eller hvor der er behov for baggrundskoncentrationer i de lokale grundvandsforekomster. c) Analyseres, hvor grundvandets pH-værdi er mindre end 6. d) Analyseres, hvis vandet indvindes fra områder med skrivekridt.		

Tabel 7. Analyseparametre 2011-2015 for uorganiske sporstoffer i grundvandsovervågningen og obligatoriske stoffer i vandværkernes kontrol af indvindingsboringer.

Miljømål

Kravværdierne for drikkevand for sporstoffer er opdelt i to, dels en værdi ved indgang til ejendom og dels en anden (evt. højere) værdi ved forbrugers taphane, med baggrund i risikoen for afsmitning af metaller fra installationer og rør mv. (Miljøministeriet, 2016a).

En række sporstoffer, herunder arsen og nikkel, kan fjernes delvist ved vandbehandlingen, under forudsætning af at grundvandet indeholder de fornødne mængder af jern og mangan. Under iltningen på vandværket udfældes mange af sporstofferne sammen med jern og mangan som okkerslam (Miljøstyrelsen, 1999). Det drikkevand, der leveres ved indgangen til forbrugers ejendom, kan derfor som gennemsnitsbetragtning forventes at have lavere koncentrationer af disse sporstoffer sammenlignet med koncentrationerne af sporstofferne i grundvandet i vandværksboringerne. Indholdet af bor ændres derimod ikke ved almindelig vandbehandling.

6.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)

I 2015 er 80 GRUMO-indtag analyseret for indhold af stofferne aluminium, arsen, bly, bor, beryllium, cadmium, jod, kobber, nikkel og zink.

Tabel 8 viser koncentrationsniveauerne for sporstoffer i de undersøgte GRUMO-indtag i 2015. Tabellen viser gennemsnit og medianværdier samt 10 og 90 % fraktiler, for den del af indtagene, hvor der er fund. Derudover vises antal undersøgte indtag samt antal indtag med overskridelse af kravværdierne i drikkevand ved indgang til ejendom (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a). Overskridelserne er fordelt på 45 indtag, svarende til 56 % af de undersøgte indtag. I 14 indtag (17,5 %) overskrives kravværdien for to stoffer (ofte aluminium og nikkel) og i syv indtag (8,8 %) overskrives kravværdien for tre stoffer (ofte aluminium (6 indtag) med bly (4 indtag), nikkel (4 indtag) eller zink (4 indtag)) og i to indtag (1,5 %) overskrives kravværdien for fire stoffer (aluminium, bly, cadmium, nikkel, kobber eller zink).

Der er i 2015 konstateret overskridelser af de "ved indgangen til forbrugers ejendom" fastsatte kravværdier for syv af de målte stoffer, nemlig aluminium, arsen, bly, cadmium, kobber, nikkel, og zink samt af det anbefalede højeste indhold af bor på 300 µg/l. Det generelle omfang af overskridelser for de vigtigste stoffer samt den tidlige udvikling for perioden 1993-2009 fremgår af Thorling m.fl. (2010b).

I 2015 overskrives kravværdien på 100 µg/l for aluminium i 24 indtag. Dette ses primært i Vest- og Midtjylland i indtag med lav pH-værdi (Haderup, Herborg, Brande og Bramming).

Overskridelser af kravværdien for arsen på 5 µg/l er fundet i fem indtag fordelt over hele landet.

Overskridelser af kravværdien for bly på 5 µg/l og kravværdien for kobber på 100 µg/l forekommer i henholdsvis seks og tre meget terrænnære indtag med grundvand med lav pH-værdi, der alle findes i Midt- og Vestjylland (Brande, Haderup og Finderup). De tre indtag med højt kobberindhold har også et højt indhold af bly på op til 41 µg/l, hvilket er 8 gange højere end kravværdien for drikkevand (jf. Tabel 8).

Tre overskridelser af kravværdien for cadmium på 2 µg/l forekommer i Midt- og Sønderjylland (Bedsted, Ejstrupholm og Finderup).

Kravværdien for nikkel på 20 µg/l overskrives i 26 indtag, der primært er sammenfaldende med de indtag med lav pH-værdi, hvor kravværdien for aluminium overskrives i Midt- og Vestjylland (Haderup, Herborg og Bramming). Derudover findes indtag med overskridelse af kravværdien for nikkel på Østsjælland og i Københavnsområdet i områder, hvor grundvandsspejlet er sænket som følge af kraftig oppumpning af grundvand. Kraftig sænkning af grundvandsspejlet kan medføre iltning af nikkelholdig pyrit i sedimenterne, hvorfor koncentrationen af nikkel i grundvandet i visse tilfælde er steget til 10-20 gange kravværdien for drikkevand.

Overskridelserne af kravværdien for zink på 100 µg/l ses i 11 indtag i Vestjylland, på Østsjælland og på Bornholm.

2015 GRUMO	Detekti- ons- grænse	Krav- værdi	Indtag					Indtag		
			Fund	10 % fraktil	Median	Gennem- snit	90 % fraktil	Antal	Antal	%
			%	µg/l					>KV	>KV
Aluminium	0,5	100	98	0,76	8,60	199	520	79	24	30 %
Arsen	0,03	5	100	0,08	0,43	1,12	2,85	80	5	6 %
Bly	0,03	5	56	0,03	0,22	3,13	7,40	80	6	8 %
Bor	10	1000	100	13	23	30	57	80	0	-
Beryllium	0,02	10	51	0,04	0,33	0,56	1,10	80	0	-
Cadmium	0,004	2	80	0,01	0,08	0,32	0,84	80	3	4 %
Jod	0,03		100	2,15	5,60	7,08	14,5	80	-	-
Kobber	0,04	100	90	0,21	1,65	23,6	29	80	3	4 %
Nikkel	0,03	20	100	0,05	7,45	19,3	47,5	80	26	33 %
Zink	0,5	100	95	2,30	29,5	59,8	130	80	11	14 %

Tabel 8. Sporstoffer GRUMO 2015. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende detektionsgrænse og kravværdi (KV), (Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a). På indtagsniveau er median og gennemsnit samt 10 % og 90% fraktilen beregnet for prøver med indhold over detektionsgrænsen. Bemærk, at 90 % overskrider drikkevandskravene for aluminium, bly, nikkel og zink.

I perioden fra 1993 til 2015 er i alt 25 uorganiske sporstoffer overvåget i kortere eller længere perioder. Tabel 9 viser de helt overordnede resultater af grundvandsovervågningen for de tre stofgrupper i perioden 1993 til 2015. Øverst præsenteres de stoffer, der fortsat overvåges, mens nederste del af tabellen viser stoffer, der ikke længere overvåges efter etablering af en overordnet viden om koncentrationsniveauerne i Dansk grundvand. Der er fastsat kravværdier for drikkevand for 22 af disse sporstoffer. For strontium er drikkevandskravet kun vejledende.

Toksiske sporstoffer			Essentielle sporstoffer			Andre sporstoffer		
	Indtag > KV ^{a)}			Indtag > KV ^{a)}			Indtag > KV ^{a)}	
Stof	Antal	%	Stof	Antal	%	Stof	Antal	%
Arsen	111	10 %	Nikkel	100	9,2 %	Aluminium	183	17 %
Bly	17	1,6 %	Zink	77	7,1 %	Bor, KV ^{b)}	4	0,4%
Cadmium	5	0,5 %	Kobolt	41	6,4 %	Bor, anbefalet	29	2,7 %
Beryllium	0	-	Kobber	11	1,0 %	Barium	2	0,3 %
			Jod/Jodid	-	-	Brom/bromid	-	-
Stof	Antal indtag > KV	Overvåget frem til	Stof	Antal indtag > KV	Overvåget frem til	Stof	Antal indtag > KV	Overvåget frem til
Antimon	1	2006	Selen	2	2006	Strontium	8	2006
Kviksølv	0/8 ^{b)}	2003	Krom, total	0	2006	Sølv	0	2003
Cyanid	0	2003	Litium	0	2003	Tin	0	2003
Tallium	0	2003	Molybdæn	0	2003	Vanadium	0	2003

a) Antal aktive indtag, med mindst en måling er over kravværdien for drikkevand (KV), eksklusive indtag i multifilterboringerne (redoxindtag). Bemærk, hvert stof har sin egen kravværdi, se Tabel 6.

b) For kviksølv og bor findes såvel bådemaximum- og anbefalet indhold. Angivet som "Højest tilladte/anbefalet"

Tabel 9. Overordnede resultater for sporstoffer i grundvandsovervågningen 1993–2015.

Nikkel og Arsen og betydningen af ændringer i stationsnettet over tid

Med afslutningen af programperioden 2011-2015 foreligger der et fuldt måleprogram for seks programperioder (se Tabel 3). Ændringer i stationsnettet gennem tiden har medført variationer i antallet af overvågede indtag og et skiftende omfang af sporstoffer, der indgår i overvågningen. Derudover er der sket ændringer i dybdefordelingen af de indtag, der indgår i overvågningen (se Kapitel 2, Figur 5 og Figur 7).

I Tabel 10 (A-B) og Tabel 11 (A-B) er resultaterne af overvågningen af arsen og nikkel gennem alle programperioderne sammenlignet. Tabellerne er delt i to dele, A og B. Del A omhandler antallet af indtag, hvor ét eller flere måleresultater overskrider kravværdien for drikkevand (Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a). Del B viser de til del A svarende koncentrationsniveauer beregnet dels som gennemsnit og 90 % fraktiler for hhv. indtag med fund og indtag med fund over kravværdien.

Tabellerne er endvidere opdelt i en venstre og en højre "halvdel". Venstre halvdel viser forhold, der beskriver det samlede stationsnet i de forskellige programperioder. Højre halvdel viser forhold, der beskriver de indtag, der er blevet etableret i den pågældende programperiode.

Opgørelserne omfatter alle aktive GRUMO indtag pr. 2015, eksklusive indtag i redoxboringer og Rabis bæk (se Kapitel 2).

Arsen

Arsenindholdet i grundvandet er altovervejende naturligt. Indholdet af arsen i grundvandet afhænger især af grundvandets iltindhold. Vand uden ilt indeholder som hovedregel mere arsen end iltholdigt vand. Arsenindholdet i det overvågede vand afspejler derfor til en hvis grad, hvordan stationsnettets indtag er fordelt i forhold til grundvandets redoxzoner.

I programperioden 2004-2006 blev der etableret i alt ca. 330 nye terrænnære indtag inden for de allerede eksisterende overvågningsområder (se Tabel 3 og Figur 5). Heraf var 252 indtag stadigvæk aktive i 2015 (se Tabel 10A). Andelen af terrænnære, overvejende iltholdige indtag blev således forøget i perioden 2004-2006 i forhold til andelen af dybere, overvejende iltfri indtag. Denne ændring i fordelingen imellem iltholdige og iltfri indtag medførte en ændring i de gennemsnitlige arsenindhold. Dette ses tydeligt i Tabel 10A, hvor andelen af indtag, som samlet set overskrider kravværdien for drikkevand på 5 µg/l falder fra 14 % i 1998-2003 til 7 % i 2004-2006. I overensstemmelse hermed viser Tabel 10B, at koncentrationen af 90%-fraktilen for arsen i indtag med fund falder fra 6,3 µg/l (over kravværdierne) i 1998-2003 til 3,4 µg/l (under kravværdien).

Af Tabel 10A ses det, at der specifikt for indtag etableret i perioden 1993-1997 sker en stigning i antallet af indtag med arsenkoncentrationer over kravværdien. I perioden 1993-1997 var det således 15 % af disse indtag, der havde arsenkoncentrationer over 5 µg/l inden for perioden. I de efterfølgende perioder frem til 2015 stiger andelen af disse indtag med koncentrationer over kravværdien til 28 %. Stigningen skyldes sandsynligvis en række forskellige faktorer, fx indtag som er etableret i slutningen af perioden, men først prøvetaget i den efterfølgende periode, indtag hvis indhold svinger omkring 5 µg/l, indberetningsfejl mv. En lignende tendens kan ikke ses for indtag etableret i de øvrige programperioder.

Samlet set viser gennemgangen af arsen i de forskellige programperioder, at det billede som overvågningen giver af tilstand og udvikling for redoxfølsomme stoffer som arsen i væsentlig grad påvirkes af dybdefordelingen af stationerne i stationsnettet. Hvis den gennemsnitlige dybde af indtag stiger gennem etablering af nye dybe indtag med iltfrit vand, så vil der være større sandsynlighed for, at arsenindholdet i de undersøgte indtag stiger. Der er dog mange andre faktorer, fx grundvandsmagasinet tykkelse og sedimenternes indhold af jernoxider og reaktivt organisk materiale, der også har indflydelse på det resulterende indhold af arsen i grundvandet (Larsen m.fl., 2009).

Tabel 10 A: Opløst arsen i grundvand –indtag

Program- periode	Prøvetagede indtag ^{a)}	Indtag > 5 µg/l		Indtag etable- ret i perioden	Indtag etableret i perioden > 5 µg/l					
		Antal	Antal		%	Antal	Antal	Antal	%	%
							I perioden	I perioden og frem	I perioden	I perioden og frem
1988-1992			b)		-					
1993-1997	472	53	11 %	62	9	17	15 %	28 %		
1998- 2003	570	78	14 %	80	7	7	9 %	9 %		
2004- 2006 ^{c)}	649	49	7 % ^{c)}	252	9	11	4 %	4 %		
2007- 2010	820	68	8 %	8	0	0	-	-		
2011- 2015	794	47	6 %	153	10	-	7 %	-		
1988-2015 ^{a)}	1007	111	11 %	-	-	-	-	-		

Tabel 10 B: Opløst arsen i grundvand – koncentrationer

Program- periode	Indtag							Indtag Etableret i perioden								
	Prøver	Med Fund			> 5 µg/l			Prøver	Indtag med Fund			Indtag > 5 µg/l				
		Antal	Antal	Gns.	90 % fraktil	Antal	Gns.		90 % fraktil	Antal	Antal	Gns.	90 % fraktil	Antal	Gns.	90 % fraktil
1988-1992		b)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1993-1997	472	413	2,2	6,3	53	10	17	62	45	3,2	10	9	14	46		
1998-2003	570	567	2,0	6,3	78	10	22	80	78	1,8	4,7	7	11	21		
2004-2006 ^{c)}	649	641	1,5	3,4	49	9,3	16	252	187	1,0	2,5	9	7,3	12		
2007-2010	820	810	1,5	4,0	68	9,9	21	8	6	0,6	1,9	0	-	-		
2011-2015	794	765	1,5	3,3	47	11	23	153	152	1,9	4,0	9	13	31		
1988-2015 ^{a)}	1007	1005	1,7	5,1	111	10	22	-	-	-	-	-	-	-		

a) Aktive indtag ved udgangen af 2015 med resultater fra 1993-2015, bortset fra indtag i redoxboringer.

b) Resultater for perioden 1989-1992 anvendes, da der ikke er oplyst om prøven er filtreret eller ej.

c) Etablering af ca. 330 terrænnære indtag, hvoraf 252 stadigvæk var aktive i 2015.

Tabel 10A og B. Overordnede resultater af overvågningen af opløst arsen i grundvand fordelt på programperioder i GRUMO målestationer. Kravværdi for drikkevand for arsen er 5 µg/l. Tabellens indhold og opbygning er forklaret først i dette afsnit om arsen og nikkel.

Nikkel

Indholdet af nikkel i grundvandet afhænger altovervejende af indholdet af nikkelholdige sulfidminerale (pyrit, bravoit og andre) i de sedimenter, grundvandet gennemstrømmer. Nikkel frigives til grundvandet, når disse mineraler iltes. Iltningen kan skyldes sænkning af grundvandspejlet, så der introduceres adgang for atmosfærisk luft til sedimenterne (barometerånding), eller nedsivning af ilt- og nitratholdigt vand. Det er særligt i førstnævnte tilfælde, at meget høje nikkelkoncentrationer opstår i grundvandet (Jensen m.fl., 2003).

Forsuring af grundvandet kan også være årsag til forhøjede koncentrationer af nikkel i grundvand. I dette tilfælde er det frigivelse fra sedimenterne i grundvandsmagasinet ved desorption eller øget opløselighed, der betinger forøgelsen af indholdet af nikkel i grundvandet.

Grundvandets indhold af nikkel stammer kun i begrænset omfang fra direkte tilførsel til grundvandet fra punktkilder som fx depoter og forurenede grunde.

Af de 23 terrænnære indtag, som er etableret i perioden 2004-2006, og hvor en eller flere målinger af nikkelindholdet er højere end kravværdien for drikkevand på 20 µg/l, er der en distinkt etableringseffekt i ni indtag, hvor det kun er i første (i få tilfælde de to første prøver), at nikkelindholdet er højt.

Figur 34. Eksempel på etableringseffekt i nikkelindholdet i DGU nr. 190. 282.

Figur 35. Eksempel på etableringseffekt for nikkel og sulfatindholdet (mulig forbigående oxidation af sulfidminerale) i DGU nr. 174. 281.

viser et eksempel på, hvorledes der efter den høje første nikkelværdi i de efterfølgende prøver er nikkelindhold, der er faldet til et niveau på størrelse med den naturlige baggrundsværdi. I fem indtag ses også etableringseffekt på indholdet af zink og bly. I otte indtag viser associerede høje, men faldende, indhold af sulfat i de første tre til seks år, at der er sket en iltning af sulfidminerale i forbindelse med etableringen af boringen, men at et reducerende redox miljø atter bliver etableret, hvorefter nikkelindholdet bliver faldende, se Figur 35.

Det fremgår af Tabel 11A, at der ikke er sket væsentlige ændringer i resultaterne for grundvand indhold af nikkel vurderet ud fra andelen af indtag, som overskrider kravværdien for drikkevand på 20 µg/l. Andelen af indtag med indtag med nikkelindhold over kravværdien varierer således mellem 5-8 % i alle programperioder. Tabel 11B, viser ligeledes, at nikkelindholdet i overvågningsindtag hvor indholdet ligger over kravværdien på 20 µg/l indhold er forholdsvist stabilt og ligger omkring 2-3 gange kravværdien som gennemsnit og omkring 4-6 gange kravværdien angivet som 90 % fraktil.

Sammenlignet med arsen har etableringen af de mange nye indtag i perioden 2004-2006 ingen indflydelse på det billede, som overvågningen giver af tilstand og udvikling for nikkel. Dette skyldes, at de processer, der forårsager forhøjede indhold af henholdsvis arsen og nikkel i grundvandet er forskellige. Forhøjede arsenkoncentrationer opstår således typisk som følge af reducerende forhold i grundvandet (Larsen m.fl. 2009), mens forhøjede nikkelindhold hovedsageligt skyldes oxidation af nikkelholdige sulfidminerale og derfor som udgangspunkt ikke vil optræde i reduceret grundvand. I tilfælde, hvor forhøjede indhold af nikkel skyldes grundvandsforsuring, må dette også forventes at være i ungt iltholdigt grundvand, da det er i det øvre grundvand, at grundvandsforsuringen forekommer (Kjøller m.fl., 2004).

Tabel 11A. Opløst nikkel i grundvand – indtag

Programperiode	Prøvetagede indtag ^{a)}	Indtag > 20 µg/l		Indtag etableret i perioden	Indtag etableret i perioden > 20 µg/l			
		Antal	Antal		%	Antal	Antal	Antal
					I perioden	I perioden og frem	I perioden	I perioden og frem
1970-1992	395	b)	-	-	-	-	-	-
1993-1997	472	21	5 %	51	3	4	6 %	8 %
1998-2003	569	47	8 %	77	6	7	8 %	11 %
2004-2006	653	38	6 %	192	23 ^{c)}	36/19 ^{d)}	12 %	14 % / 10 % ^{d)}
2007-2010	820	55	7 %	6	0	0	-	-
2011-2015	794	43	5 %	153	5	-	3 %	-
1988-2015 ^{a)}	1007	96	10 %	-	-	-	-	-

Tabel 11B. Opløst nikkel i grundvand – koncentrationer

Programperiode	Indtag							Indtag etableret i perioden								
	Prøver	Med Fund				> 20 µg/l			Prøver	Indtag med Fund (> DG)				Indtag > 20 µg/l		
		Antal	Antal	Gns.	90 % fraktil	Antal	Gns.	90 % fraktil		Antal	Antal	Gns.	90 % fraktil	Antal	Gns.	90 % fraktil
			µg/l	µg/l		µg/l	µg/l			µg/l	µg/l		µg/l	µg/l		
1970-1992	395	b)														
1993-1997	472	400	5,3	10	21	63	110	51	39	4,6	14	3	43	50		
1998-2003	569	537	4,8	16	47	48	98	77	74	3,5	17	6	29	62		
2004-2006 ^{c)}	653	589	7,0	13	38	68	130	192	188	10	25	23	56/26 ^{d)}	130/28 ^{d)}		
2007-2010	820	814	5,3	14	55	55	120	6	0			0	-	-		
2011-2015	794	762	5,1	12	43	48	84	153	143	2,8	8,0	5	26	38		
1988-2015^{a)}	1007	997	4,8	16	96	46	120	-	-	-	-	-	-	-		

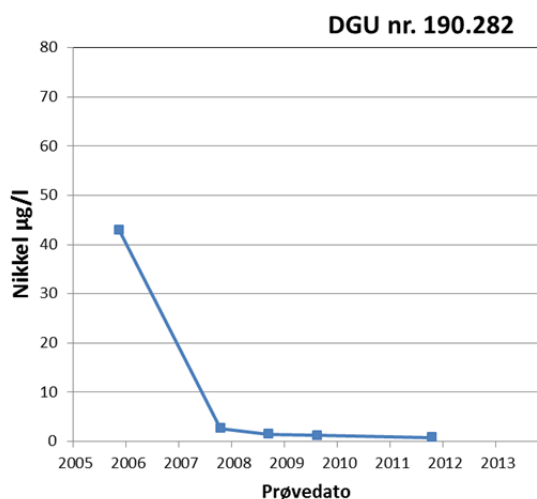
a) Aktive indtag ved udgangen af 2015 med resultater fra 1993-2015, bortset fra indtag i redoxboringer.

b) Resultater for perioden 1989-1992 anvendes, da der ikke er oplyst om prøven er filtreret eller ej.

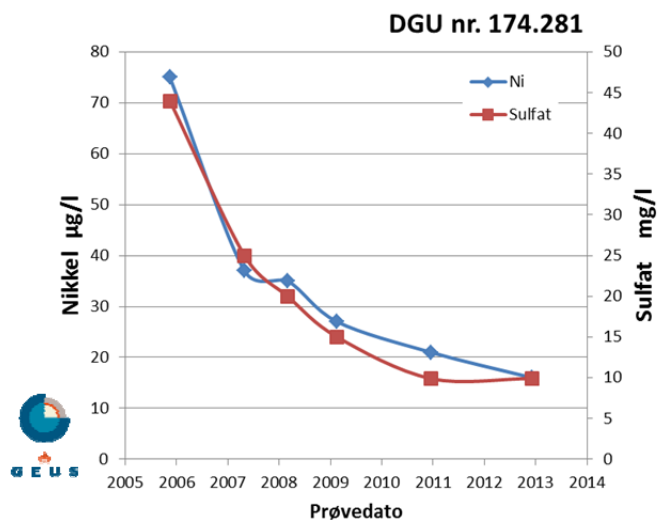
c) Etablering af 252 terrænnære indtag. Se tekst for yderligere forklaring.

d) Korrigeret for etableringseffekt. Angivet som "Før/efter" korrektion

Tabel 11A og B. Overordnede resultater af overvågningen af opløst nikkel i grundvand fordelt på programperioder i GRUMO indtag. Kravværdi for drikkevand for nikkel er 20 µg/l. Tabellens indhold og opbygning er forklaret først i dette afsnit om arsen og nikkel.



Figur 34. Eksempel på etableringseffekt i nikkelindholdet i DGU nr. 190. 282.



Figur 35. Eksempel på etableringseffekt for nikkel og sulfatindholdet (mulig forbigående oxidation af sulfidminerale) i DGU nr. 174. 281.

6.2 Grundvand i vandværksboringer

For 2015 er der indberettet i alt 1419 prøver af uorganiske sporstoffer fra grundvand i vandværksboringer, fordelt på 1290 indtag. Hovedparten af indtagene er analyseret for de obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel. Ud af de 1290 indtag er der fundet overskridelse af drikkevandskravene for ét eller flere stoffer i 166 indtag, svarende til 13 %. I 38 indtag overskrives det anbefalede højeste indhold på 300 µg bor/l, og i 13 indtag overskrives det anbefalede højeste indhold på 10.000 µg strontium/l. Medregnes disse indtag, overskrives kravværdierne i 211 indtag svarende til 16 %. En samtidig overskridelse på to stoffer (nikkel med arsen eller kobolt) og tre stoffer (bor, kobolt og nikkel) forekommer i henholdsvis 12 % og 0,06 % af indtagene. Overskridelse af indholdet af kobolt ses ofte i gamle boringer.

Tabel 12 viser fund og overskridelser af kravværdien for drikkevand for de målte sporstoffer i vandværkernes egenkontrol i 2015. Tabellen viser gennemsnit og medianværdier samt 10 og 90 % fraktiler, for den del af prøverne, hvor der er fund.

I 2015 er kravværdien for arsen (5 µg/l) overskredet i 131 boringer fordelt over hele landet. Overskridelser ses især i Århus Kommune (15 indtag, 48 % af undersøgte indtag), Horsens Kommune (13 indtag, 59 % af undersøgte indtag), Middelfart Kommune (11 indtag, 58 % af undersøgte indtag) og Kalundborg Kommune (10 indtag, 46 % af undersøgte indtag). De høje indhold af arsen kan som udgangspunkt forventes at være naturligt betingede (Larsen & Larsen, 2003), og styret af lokale geokemiske forhold, som beskrevet ovenfor. Under specielle geologiske og hydrauliske forhold kan indholdet af arsen i det oppumpede vand påvirkes af den valgte pumpestrategi, hvor magasinet er tyndt (Larsen m.fl., 2009).

I 2015 er indholdet af nikkel over 20 µg/l i 31 boringer, der primært er placeret nord, vest og syd for København. Disse overskridelser af kravværdien er hovedsageligt forårsaget af en kraftig indvinding af grundvand med deraf følgende ændringer i grundvandsspejlet (Jensen m.fl., 2003).

Den anbefalede højeste værdi for bor på 300 µg/l er overskredet i 54 indtag. Overskridelserne ses i 28 kommuner og især i Århus Kommune (5 indtag, 15 %), Kalundborg (4 indtag, 18 %) og Slagelse Kommune (4 indtag, 36 %). Høje indhold af bor ses ofte sammen med høje indhold af klorid og er et tegn på, at der trækkes havvand eller dybereliggende salt grundvand ind i indvindingsboringerne på grund af kraftig oppumpning.

Vandværksboringer	DG ^{a)}	Kravværdi	Prøver					Indtag		
			Prøver	Fund	Median	Gns.	90 % fraktil	Antal	Antal	%
									Antal	%
Aluminium *	7	100	48	34	1,10	2,68	4,30	47	0	-
Arsen *	0,3	5	1310	93	0,90	2,33	5,90	1239	131	10,6
Barium *	1	700	1278	100	50,0	72,2	160	1220	0	-
Bly	0,03	5	9	33	0,09	0,13	0,21	9	0	-
Bor *	50	1000 / 300 ^{b)}	1288	98	46	88	200	1223	3/54	0,3/4,4
Bromid	4	-	19	100	86	95	130	-	-	-
Cadmium	0,004	2	23	18	0,01	0,01	0,03	22	0	-
Krom	0,04	20	3	0	-	-	-	3	-	-
Cyanid	1,0	50	20	5	1,10	1,10	1,10	19	0	-
Kobber	0,04	100	17	88	0,36	1,28	6,20	16	0	-
Kobolt *	2	5	1272	43	0,13	0,61	1,20	1211	11	0,9
Kviksølv	0,002	1 / 0,1 ^{b)}	4	0	-	-	-	4	-	-
Nikkel *	0,03	20	1370	85	0,68	3,45	8,50	1255	31	2,5
Strontium *	-	10.000 ^{c)}	361	100	1300	2555	4790	309	13	4,2
Zink	0,5	100	12	60	3,10	4,24	12	10	0	-

Stoffer som er obligatoriske er markeret med *. Se Drikkevandsbekendtgørelsen, Miljø- og Fødevareministeriet, 2016

a) DG er detektionsgrænsen

b) For bor og kviksølv findes såvel en højst tilladte som en anbefalet værdi. Angivet som højst/anbefalet.

c) Værdien for strontium er vejledende.

Tabel 12. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer i 2015. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende detektionsgrænse (DG) og kravværdi for drikkevand (KV).

Tidslig udvikling

Vandværksboringerne overvåges mindst én gang i en 5-årig turnus (jf. kapitel 2). Tabel 13 viser antal undersøgte indtag og indtag med overskridelser af kravværdien for drikkevand for indeværende og foregående 5-års periode, henholdsvis 2006-2010 og 2011-2015. Der ses ingen nævneværdige forskelle eller tidsmæssig udvikling i kvaliteten af det grundvand som vandværkerne indvinder.

Uorganisk sporstof	Kravværdi	Indtag 2011-15			Indtag 2006-10		
	[µg /l]	Antal	Antal >KV	% >KV	Antal	Antal >KV	% >KV
Aluminium	100	415	5	1 %	127	1	1 %
Antimon	2	39	0	-	42	0	
Arsen	5	5919	682	11 %	5122	659	13 %
Barium	700	5016	5	< 1 %	5098	6	< 1 %
Bly	5	197	1	< 1 %	279	2	< 1 %
Bor,	1000	5926	19	< 1 %	5101	15	< 1 %
Bor, anbefalet højst	300	5926	376	6 %	5101	347	7 %
Brom	-	143	0	-	230	-	
Cadmium	2	187	0	-	270	0	-
Krom	20	130	0	-	130	0	-
Krom VI	1	5	0	-	0	0	-
Cyanid, total	50	123	0	-	130	0	-
Cyanid, syreflyg.	20	11	0	-	15	0	-
Kobber	100	138	0	-	132	0	-
Kobolt	5	5326	5	<1	11	0	-
Kviksølv	1	125	0	-	117	0	-
Kviksølv, anbefalet højst	0,1	125	0	-	117	0	-
Litium	1000	0	-	-	38	0	-
Nikkel	20	5952	104	2 %	5136	113	2 %
Selen	10	46	0	-	42	0	-
Strontium	10.000 ^{a)}	869	46	1 %	19	0	-
Sølv	10	2	0	-	3	0	-
Zink	100	190	0	-	275	3	1 %

a) Kravværdien for strontium er vejledende

Tabel 13. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer for perioden 2006-2010 og 2011-2015. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende kravværdi (KV).

Referencer: Uorganiske sporstoffer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

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

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

Miljøstyrelsen, 1999. Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 17.

Miljøstyrelsen, 2014b. "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". Opdateret maj 2014.

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016d: Bekendtgørelse om krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. Bekendtgørelse nr. 921 af 27/06/2016.

EU- direktiver mv.

EU, 2000: Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. (Vandrammedirektivet)

EU, 2006: Europa-Parlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. (Grundvandsdirektivet)

Andre referencer og litteratur i øvrigt

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

Jensen, T.F., Larsen, F., Kjølter, C., Larsen, J.W. 2003. Nikkefrigtivelse ved pyritoxidation forårsaget af barometerånding-pumpning. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 5.

Kjølter, C., Postma, D. & Larsen, F., 2004. Groundwater acidification and the mobilization of trace metals in a sandy aquifer. Environ. Sci. Technol., 38, 2829-2835.

Larsen, F., Kjølter, C. og Gram, M. 2009. Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 1: Arsen i dansk grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.

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

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

Links

GEUS http://www.geus.dk/DK/popular-geology/edu/viden_om/grundvand/Sider/vogv-dk.aspx (22.9.2016)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: <http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/index.html> (22.9.2016)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (22.9.2016)

NOVANA hjemmeside: <http://svana.dk/overvaagning/> (22.9.2016)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://svana.dk/vand/vandomraadeplaner/> (22.9.2016)

7 Organiske mikroforureninger

Sammenfatning og konklusion

I 2015 blev der i Drikkevandsbekendtgørelsen som noget nyt stillet krav til vandforsyningerne om at kontrollere råvandet og drikkevandet for perfluorforbindelser, PFC, når der i oplandet er kendskab til grunde, som er eller kan være forurenede med disse stoffer (Miljø- og Fødevareministeriet, 2015). I praksis analyseres der for den delmængde af de perfluorerede stoffer, der går under betegnelsen perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser). I de 116 prøver, vandværkerne udtog i 2015 og indberettede til JUPITER, er der ikke fundet overskridelser af sumkoncentrationen på 0,1 µg/l. Højeste sum er 0,0557 µg/l.

Indledning

Når der er grund til at antage, at der findes stoffer i vandet, som kan udgøre en potentiel fare for sundheden, skal kommunalbestyrelsen træffe beslutning herom, jf. Drikkevandsbekendtgørelsens § 7, stk. 4. Der har fra politisk side dog været et særligt ønske om at undersøge om perfluorforbindelser, PFC, optræder i grundvandet i Danmark. Derfor blev der i løbet af 2015 fastsat krav i Drikkevandsbekendtgørelsen om analyse for disse stoffer, når der i indvindingsoplandet vides at være arealer, som er eller kan være kilde til forurening. Undtagelse herfra er borer i områder, hvor stofferne vurderes ikke at udgøre en trussel for grundvandet (jf. bilag 7, Miljø- og Fødevareministeriet 2016a). I praksis analyseres der for den delmængde af de perfluorerede stoffer, der går under betegnelsen perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser). I 2015 blev der, derfor fastsat en kravværdi for denne stofgruppe på 0,1 µg/l beregnet som sum af 12 perfluorerede alkylsyreforbindelser, PFAS-forbindelser.

Datagrundlag

Vandværkerne har i 2015 undersøgt for perfluorforbindelser i 116 prøver fordelt på 19 kommuner og i alt 29 anlæg. De ældste analyser for denne stofgruppe stammer fra juni 2013. Sammenlagt er der anvendt data fra perioden juni 2013 til d. 1. marts 2016.

Resultater

Tabel 14 viser samtlige resultater for de 23 forskellige PFC-forbindelser, der er analyseret i grundvand i vandværkernes indvindingsboringer indtil d. 1. marts 2016.

Tabel 14 viser, at for langt den overvejende del af indtagene er stofferne ikke påvist. 8 stoffer, PFBA, PFHxS, PFOS, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFOSA og PFBS blev påvist i 1-15 indtag i koncentrationer over detektionsgrænsen, DG, hvoraf indholdet af fem stoffer, PFBA, PFHxS, PFOS, PFHxA, og PFOA ligger over kvantifikationsgrænsen ($LQ=3*DG$) i 2-3 indtag.

Stof nr.	Navn	DG	Total	>DG og <= LQ	>LQ. ^{b)}
Stan- dat		µg/l	Antal	Antal	Antal
2266	Perflourbutansyre (PFBA)*	0,002	44	4	2
2267	Perfluorhexansulfonsyre PFHxS)*	0,001	64	9	3
2268	Perfluoroktansulfonsyre (PFOS)*	0,001	70	5	3
2269	Perfluordecansulfonsyre (PFDS)	0,002	44	0	-
2270	Perfluorohexansyre (PFHxA)*	0,005	65	4	3
2271	Perfluoroheptansyre (PFHpA)*	0,004	64 ^{a)}	3 ^{a)}	0
2272	Perfluoroktansyre (PFOA)*	0,002	72	15	2
2273	Perfluorononansyre (PFNA)*	0,001	57	0	-
2274	Perfluoroktansulfonamid (PFOSA)*	0,001	64	1	0
2275	Perfluorodecansyre (PFDA)*	0,002	43	0	-
2276	Perfluoroundecansyre (PFUnA)	0,002	16	0	-
2277	Perfluordodecansyre ((PFDoA)	0,005	7	0	-
2278	Perfluorotridecansyre (PFTrA)	0,005	5	0	-
2280	Perfluortetradecansyre (PFTA)	0,005	5	0	-
2281	Perflourbutansulfonsyre (PFBS)*	0,001	49	3	0
2282	Perfluorheptansulfonsyre (PFHpS)	0,0075	5	0	-
2283	Perfluorpentansyre (PFPeA)*	0,005	34	0	-
2284	Perfluor-3,7-dimethyl-oktansyre (PF-3,7 DMOA)	0,01	3	0	-
2285	7H-Perfluorheptansyre (HPFHpA)	0,01	3	0	-
2286	2H,2H-Perfluor-dekansyre (H2PFDA)	0,01	3	0	-
2290	1H,1H,2H,2H-Perfluor-hexansulfonsyre (PFHxS)	0,01	3	0	-
2293	1H,1H,2H,2H-Perfluor-oktanol (6:2 FTOH)	7,5c)	3	0	-
2294	1H,1H,2H,2H-Perfluor-decanol (8:2 FTOH)	10,0d)	3	0	-
a) DGU nr. 208.1560 er udeladt med undtagelse af PFHxA					
b) Kvantifikationsgrænsen LQ er lig med 3x DG (detektionsgrænsen)					
c) DGU nr. 207.1335: antageligt en fejlindberetning, Der er udtaget 2 samtidige prøver d. 29. oktober 2014. I begge er de samme 7 PFC-stoffer angivet med koncentrationen 0,01 µg/l tilsyneladende svarende til detektionsgrænsen, men udeladt "<". PFHxA er i den ene prøve angivet til 0,01 µg/l og i den anden til 0,018 µg/l.					
d) DGU nr. 207.1513: antageligt en fejlindberetning.					

Tabel 14. PFC-forbindelser i vandværkernes egenkontrol i 2013-1.marts 2016. Detektionsgrænsen (DG) er beregnet som medianværdien for hver af de enkelte PFC-forbindelsers detektionsgrænser. Antal indtag med fund over og under kvantifikationsgrænsen (LQ=3*DG). Der var ingen overskridelser af sumkoncentrationen på 0,1 µg/l. Højeste sum er 0,0557 µg/l. De PFAS-forbindelser, der er optaget i drikkevandbekendtgørelsens sumkoncentration er angivet med * i tabellen.

Tabel 15 viser for de borer, hvor der er påvist mindst et stof over kvantifikationsgrænsen, antal prøver med fund, antal fundne stoffer, højeste koncentration for hvert stof samt højeste sum af PFC i indtag med fund af et eller flere stoffer over LQ. Sumkoncentrationen for PFC ligger under kravværdien for sumkoncentrationen på 0,1 µg/l i alle indtag.

Boring	Antal prøver	Antal stoffer	Fund af PFC-forbindelser							
			PFBA 2266	PFHxS 2267	PFOS 2268	PFHxA 2270	PFOA 2272	PFOSA 2274	PFBS 2281	Sum Koncentration ^{b)}
DGU nr.			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
200.5600	2	3	-	0,0007	0,0087	-	0,0030	-	-	0,0087
200. 5601	1	3	-	0,0014	0,0072	-	0,0034	-	-	0,0120
207. 1335	3	3	-	-	0,0041	-	0,0034	0,0028	-	0,0082
207. 1513	3	2	-	-	0,0028	-	0,0011	-	-	0,0039
207. 2964	2	2	-	0,0014	-	-	0,0044	-	-	0,0044
207. 2696	2	1	-	-	-	-	0,0015	-	-	0,0015
207. 2701	1	1	-	-	-	-	0,0017	-	-	0,0017
207. 2702	2	3	-	0,0024	-	-	0,0074	-	-	0,0112
207. 2703	2	1	-	-	-	-	0,0047	-	-	0,0047
207. 2704	2	2	0,0044	-	-	-	0,0033	-	-	0,0077
207. 2705	2	1	-	-	-	-	0,0035	-	-	0,0035
208. 1525	1	1	-	-	-	-	0,0041	-	-	0,0041
208. 1526	2	2	-	0,0023	-	-	0,0023	-	-	0,0046
208. 1560 ^{a)}	1	1	-	-	-	0,0180	-	-	-	0,0180
208.1572	3	7	0,0130	0,0190	0,0012	0,0220	0,0140	-	0,0026	0,0557
208. 4105	5	4	0,0080	0,0018	-	0,0067	-	-	0,0024	0,0095
208.4116	5	6	0,0024	0,0100	-	0,0092	0,0021	-	0,0030	0,0170
208. 4351	3	1	-	0,0035	-	-	-	-	-	0,0035

a) Det formodes, at der foreligger en indberetningsfejl. Der er udtaget 2 samtidige prøver d. 29. oktober 2014. I begge er de samme 7 PFC-stoffer angivet med koncentrationen 0,01 µg/l tilsyneladende svarende til detektionsgrænsen, men udeladt "<". PFHxA er i den ene prøve angivet til 0,01 µg/l og i den anden til 0,018 µg/l.

b) Bemærk, at der i optælling af fundne stoffer (kolonne 3) og i opgørelsen af "Sum koncentration" kan indgå stoffer, hvor højeste koncentration har været mindre end LQ og derfor ikke fremgår af denne tabel og, at sumkoncentration beregnes for den enkelte prøve. Summen er derfor ikke nødvendigvis summen af de øvrige kolonner. Eksempelvis er de to fundne stoffer i DGU nr. 207. 2964 fundet i to forskellige prøver.

"-" angiver at resultatet i alle prøver ligger under LQ.

Tabel 15. Vandværksboringer med fund af PFC-forbindelser 2013-1.marts 2016. Højeste koncentrationer af de otte stoffer, som er fundet i koncentrationer over LQ samt højeste summerede indhold på enkelprøveniveau (sum koncentration) er angivet. Sumkoncentrationen ligger i alle tilfælde under kravværdien på 0,1 µg/l.

Tabel 16 viser vandværksboringer, hvor der er gjort flere fund af samme PFC-stof i samme boring gennem tiden. Den tidlige udvikling i koncentration er indikeret.

I indtag med flere fund af samme stof forekommer der otte tilfælde, hvor koncentrationen falder med tiden, fem tilfælde, hvor koncentrationen stiger med tiden og seks tilfælde, hvor koncentrationen varierer.

Boring	Antal		PFC-forbindelser							Sum Koncentration
	Prøver	Stoffer	PFBA 2266	PFHxS 2267	PFOS 2268	PFHxA 2270	PFOA 2272	PFOSA 2274	PFBS 2281	
DGU nr.										µg/l
200.5600	2	3	-	-	F	-	-	-	-	0,0087
207. 1335	3	3	-	-	F	-	F	-	-	0,0082
207. 1513	3	2	-	-	S	-	F	-	-	0,0039
207. 2696	2	1	-	-	-	-	F	-	-	0,0015
207. 2702	2	3	-	-	-	-	S	-	-	0,0112
207. 2703	2	1	-	-	-	-	F	-	-	0,0047
207. 2704	2	2	-	-	-	-	S	-	-	0,0077
207. 2705	2	1	-	-	-	-	F	-	-	0,0035
208. 1526	2	2	-	S	-	-	-	-	-	0,0046
208.1572	3	7	S	F	-	-	V	V	-	0,0557
208. 4105	5	4	-	V	-	-	-	-	F	0,0095
208.4116	5	6	-	V	-	V	-	-	-	0,0170
208. 4351	3	1	-	V	-	-	-	-	-	0,0035

Tabel 16. Tidlig udvikling i koncentrationen af PFC i indtag med flere prøver.

F = fald, S = stigning, V = varierende koncentration. "-" angiver at der enten ikke er enkeltfund eller genfund.

Referencer: Organiske mikroforureninger

Miljø- og Fødevarerministeriet 2015d: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 1310 af 25/11/2015.

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

8 Pesticider (opdateret den 17. marts, 2017 ifølge rettelsesblad)

Sammenfatning og konklusion

Pesticider i grundvandsovervågningen (GRUMO)

I 2015 blev der i GRUMO påvist pesticider i 36 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet i 9,4 % af indtagene. I perioden 2013-2015, hvor næsten alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang, blev der mindst én gang i perioden påvist pesticider i 43,1 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien var overskredet mindst én gang i 12,9 % af de undersøgte indtag. I de senere år har der i det øvre grundvand (0-20 m u.t.) været en faldende andel af indtag med pesticider over kravværdien. Dette peger på, at reguleringen af pesticiders anvendelse nu reflekteres i det øverste og yngste grundvand. Faldet i andelen af indtag over kravværdien i det øvre grundvand kan betyde, at pesticidudvaskningen har toppet. I lag dybere end 20 m u.t. stiger fundandelene fortsat.

Pesticider kan inddeles i tre grupper i forhold til den administrative status: godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til grundvandet. I analyseprogrammet har der siden 2011 indgået i alt 31 stoffer, hvoraf de 21 er forbudte pesticider eller deres nedbrydningsprodukter, fem er regulerede og fem er tilladte. I 2013-2015 blev der fundet godkendte stoffer i 2,2 % af de undersøgte indtag (0,4 % >0,1 µg/l), mens regulerede stoffer blev fundet i 5,2 % (2,1 % >0,1 µg/l) og forbudte stoffer i 39 % (10,5 % >0,1 µg/l). Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat det hyppigste stof med fund i 16 % af de undersøgte indtag (9,4 % >0,1 µg/l) i 2015. Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat det hyppigste stof med fund i 16 % af de undersøgte indtag (9,4 % >0,1 µg/l) i 2015.

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer (boringskontrollen)

Andelen af aktive vandværksboringer med pesticider eller nedbrydningsprodukter har siden 2003 stabiliseret sig omkring 23-26 % baseret på årlige opgørelser, dog med en svagt stigende tendens inden for de seneste fem år. I 2015 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 27 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kravværdien på 0,1 µg/l (kravværdien for drikkevand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,6 % af boringerne. I perioden 2012-2015 blev pesticider fundet mindst én gang i ca. 20 % af de undersøgte boringer, hvor 2,7 % af de undersøgte boringer havde mindst én overskridelse af kravværdien. Opgørelsen for perioden 2012-2015 viser en mindre fundandel sammenlignet med enkeltårene, hvilket sandsynligvis skyldes, at boringer med fund analyseres oftere end boringer uden fund. Nedbrydningsproduktet BAM fra det forbudte pesticid dichlobenil udgør fortsat langt det hyppigste stof med fund i 20 % af de undersøgte vandværksboringer (2,2 % >0,1 µg/l) i 2015.

Fra januar 2012 er det obligatoriske analyseprogram for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne ændret, idet 21 "nye" stoffer er tilføjet og otte andre udgået af programmet, fordi de ikke blev fundet. De hyppigst fundne "nye" stoffer i perioden 2012-2015 var CGA108906 (1,7 %), DEIA (1,6%) og 2,6-dichlorbenzoesyre (1,1 %), hvor CGA108906 også viste den største andel med overskridelse af kravværdien (0,4 %). CGA108906 er et nedbrydningsprodukt fra det forbudte pesticid metalaxyl-m.

Mindst ét forbudt stof forekom mindst én gang i 2012-2015 i ca. 17 % af de undersøgte vandværksboringer, med mindst én overskridelse af kravværdien i 2,2 % af de undersøgte boringer. De regulerede stoffer forekom mindst én gang i perioden i 3,7 %, mens kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte vandværksboringer. De godkendte stoffer forekom i perioden mindst én gang i 0,4 %, mens kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,1 % af de undersøgte boringer.

Indledning

I grundvand kan pesticider og deres nedbrydningsprodukter stamme fra erhvervs-mæssig brug af pesticider i skov- og jordbrug, fra virksomheders og privates anvendelse i haver og anlæg samt fra ukrudtsbekæmpelse på befæstede arealer. Dertil kommer udvaskning fra spild og punktkilder fx vaskepladser, der håndteres særskilt af regionerne i forbindelse med Jordforureningsloven (MST, 2014). Ifølge Drikke-

vandsdirektivet og Grundvandsdirektivet er kravværdien for pesticidindholdet i drikkevand og grundvand på 0,1 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l (EU, 1980 og 2006). Erfaringen viser, at hvis "sum-kriteriet" overskrides i et indtag, vil også kriteriet for mindst et enkeltstof være overskredet i indtaget. Pesticidkapitlet er opdelt i to hovedafsnit: først grundvandsovervågningsprogrammet (GRUMO) og dernæst de almene vandværkers lovpligtige overvågning af vandværksboringerne (boringskontrollen).

8.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)

Datagrundlag

Der anvendes i dette afsnit pesticidanalyser fra grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2015. Grundvandsovervågningens stationsnet har gennemgået omfattende ændringer i denne periode for at dække forskellige forvaltningsmæssige behov herunder en gradvis tilpasning til kravene i Vandrammedirektivet. Derfor er nogle indtag udgået fra stationsnettet over årene og andre er kommet til, se kapitel 2 Tabel 3.

Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet. Udviklingen i analyseteknikker har muliggjort opbygningen af et dynamisk program, hvor nye pesticider og nedbrydningsprodukter inddrages, når programperioderne revideres. Samtidig udgår stoffer, der kun sjældent eller aldrig påvises i grundvandet. En fuldstændig oversigt over analyseprogrammerne er givet i Bilag 7. Tabel 17 viser de 31 pesticider og nedbrydningsprodukter, der i indeværende programperiode (2011-2015) indgår i grundvandsovervågningen.

Siden 2007 har den programlagte prøvetagningsfrekvens været afhængig af det enkelte indtags pesticidindhold. Dette skyldes blandt andet, at overvågningen er blevet tilpasset Vandrammedirektivet, se kapitel 2. Ifølge programbeskrivelsen er indtag, hvor der ikke tidligere er påvist pesticider, prøvetaget to gange i hver af programperioderne 2007-2010 og 2011-2015. Indtag, hvor der tidligere er påvist pesticider, er prøvetaget hvert år. Ifølge programbeskrivelsen skal nye indtag i overvågningen undersøges for pesticider det første år og derefter med en frekvens, der afhænger af analyseresultatet. I løbet af tre år bliver der således udtaget mindst én prøve fra alle aktive indtag, bortset fra ca. 55 indtag i naturområder, som ifølge programbeskrivelsen kun er prøvetaget én gang i den nuværende programperiode 2011-2015. Der er derfor anvendt en tidsperiode på tre år i mange af rapportens opgørelser for at reducere effekterne af de varierende prøvetagningsfrekvenser.

Metoder

Variationen i antal indtag, der prøvetages pr. år, og variationerne i prøvetagningsfrekvensen betyder, at rapporteringen giver et billede af tilstanden i de indtag, der prøvetages de enkelte år og perioder. Denne variation betyder også, at det er kompliceret at opstille meningsfulde generelle tidsserier. Det helt centrale i vores opgørelser er, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i tre koncentrationsintervaller (<0,01 µg/l; 0,01-0,1 µg/l; >0,1 µg/l), selv om der har været udtaget flere vandprøver med fund eller der er påvist flere stoffer i samme prøve, se kapitel 3.2.

Rapporteringen af pesticidpåvirkningen af grundvandet har i GEUS rapportererne altid taget udgangspunkt i en metode, hvor der på indtagsniveau opgøres i, hvor stor en andel af indtagene, der i en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller overskridelse af kravværdien. Det optælles ikke, hvor mange stoffer der har været påvist, eller hvor mange stoffer der har overskredet kravværdien. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kravværdien, tælles derfor kun med én gang. Omvendt betyder metoden, at hvis der er udtaget flere vandprøver fra samme indtag over en periode, og der ikke er fund i alle prøver i perioden, men der dog er mindst ét fund, bliver indtaget talt med i kategorien med fund. Denne metode er hidtil blevet betegnet den kumulative metode, men da denne betegnelse er misvisende, vil den fremover betegnes som "periodeopgørelsen", idet formålet med opgørelsen er at karakterisere pesticidpåvirkningen af grundvandet inden for en given periode.

Periodeopgørelser for enkeltstoffer eller stofgrupper (fx godkendte og regulerede pesticider) kan kun laves således, at det enkelte indtag indgår for flere stoffer eller stofgrupper samtidig, da der i en vandprøve

ve eller et indtag, kan være fund af flere stoffer på én gang. Sådanne opgørelser kan derfor ikke summeres på indtagsniveau på tværs af stofferne eller på tværs af stoffernes administrative status, se fx Tabel 21. Ved opgørelser over en tidsperiode på fx tre år opgør vi, om der i løbet af de tre år har været mindst ét fund af pesticider eller mindst én overskridelse af kvalitetskravet i et indtag.

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Status	Bemærkning
Aminomethylphosphonsyre (AMPA)*	Godkendt	Nedbrydningsprodukt fra glyphosat
Atrazin	Forbudt	
Bentazon	Reguleret	
4-CPP*	Reguleret	Urenhed i dichlorprop og mechlorprop, sandsynligvis også nedbrydningsprodukt fra dichlorprop og mechlorprop.
2,6 DCPP*	Reguleret	Urenhed fra nogle phenoxysyrer fx dichlorprop og mechlorprop.
Deamino diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Deethyl atrazin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra bl.a. atrazin.
Deethyldeisopropyl atrazin* (DEIA)	Forbudt	Nedbrydningsprodukt, fra atrazin, terbuthylazin, simazin og formentlig andre triaziner
Deisopropyl atrazin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre triaziner
Deethyl-hydroxy-atrazin ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre triaziner.
Deisopropyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre triaziner
Didealkyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre triaziner
2-hydroxyterbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin
Dichlobenil	Forbudt	
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
2,6-Dichlorbenzoylsyre*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
Dichlorprop	Reguleret	
Diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Glyphosat	Godkendt	
Hexazinon	Forbudt	
Mechlorprop	Reguleret	
Metribuzin	Forbudt	
4-Nitrophenol*	Forbudt	Urenhed eller nedbrydningsprodukt fra parathion. Kan også være urenhed i andre midler og fra industrikemikalier
Simazin	Forbudt.	
Trikloredikesyre (TCA)	Forbudt	
CYPM ^{nyt*}	Godkendt	Nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin
Picolinafen ^{nyt}	Godkendt	
CL153815 ^{nyt*}	Godkendt	Nedbrydningsprodukt fra picolinafen
2-Hydroxy-deethyl terbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin
PPU ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron
PPU deamino ^{nyt*}	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron

Tabel 17. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter der indgår i analyseprogrammet i perioden 2011-2015. Nedbrydningsprodukter er markeret med *. Stoffer, der ikke har indgået i tidligere programmer, er markeret med ^{nyt}. Den administrative status er pr. 23. maj 2016, for nedbrydningsprodukter gælder status for moderstoffet.

Sammenligning med andre opgørelsesmetoder

Opgørelse for 2013-2015	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Gennemsnit per indtag	735	(735)	82	(100,0)	11,2
Periodeopgørelsen per indtag	735	317	95	43,1	12,9
Seneste-analyse per indtag	735	280	79	38,1	10,7

Tabel 18. GRUMO. Sammenligning af tre beregningsmetoder til opgørelse af pesticidbelastningen over en periode på tre år (2013-2015). Gennemsnitsmetoden opgør fund og fundandele ud fra gennemsnitskoncentrationen for hvert indtag. Periodeopgørelsen er baseret på fund og overskridelser og opgør fund og fundandele ud fra, om der har været mindst ét fund eller mindst én overskridelse af kravværdien i de enkelte indtag. Seneste-analyse metoden opgør fund og fundandele ud fra den seneste prøve med en pesticidanalyse for hvert indtag.

Ved beregningen af gennemsnittet for et indtag skal alle prøver medtages, også hvis der ikke er påvist pesticider i en prøve (<0,01 µg/l). Analysedirektivet (EU, 2009) foreskriver, at sådanne prøver tildeles en arbitrær værdi på halvdelen af kvantifikationsgrænsen, svarende til 1,5 gange detektionsgrænsen eller en værdi på 0,015 µg/l. Det ses af Tabel 18, at gennemsnitsmetoden ikke kan anvendes til at opgøre fundandele, idet alle prøver uden pesticidfund tildeles denne arbitrære værdi, og fundandelen derfor er 100 %. Den grundlæggende problemstilling er, at pesticider ikke har et naturligt baggrundsniveau, og derfor opgøres pesticidindholdet i rapporten som påvist/ikke-påvist.

Seneste-analyse metoden giver lavere fundandele, end hvis man opgør, om der har været mindst ét fund eller én overskridelse af kravværdien, dels fordi koncentrationen af pesticider i nogle indtag varierer lige omkring detektionsgrænsen eller kravværdien, dels fordi fx bentazon kan udvaskes i kortvarige pulse. Kun en mindre del af det faktiske datasæt indgår i beregningerne i seneste-analyse metoden. Ved opgørelser for en 3-års periode bruger man således ned til 1/3 af de tilgængelige data, hvis der højst er én prøve/indtag/år. Er der flere prøver vil en endnu mindre del af datasættet indgå. Ved opgørelser over hele programmets løbetid (fx i bilagene) ville man bruge ned til 1/25 af de tilgængelige data. Seneste-analyse metoden giver samtidig en skæv repræsentation af en periode, hvor de seneste år vil være repræsenteret langt hyppigere end de første år. Dette er specielt en ulempe i beskrivelsen af tidlige udviklinger, hvor vi netop ikke ønsker at skævvride fordelingen af data, der repræsenterer de enkelte perioder.

Endelig er der indberettet data for langt flere end de 31-34 stoffer, der p.t. indgår i analyseprogrammerne, men ikke alle stoffer indgår i alle analysepakker/-runder, hvorfor seneste-analyse metoden er bedst egnet til enkeltstoffer. I rapportens datasæt for GRUMO indgår data for 150 forskellige stoffer, og for Boringskontrollen indgår data for 178 stoffer. "Den seneste analyse" fra et indtag afhænger derfor af, hvilke af de mange stoffer, man vil lave en opgørelse for. Metoden vil derfor også være praktisk talt umulig at implementere på en meningsfuld måde, når det gælder grupper af stoffer.

Ved at bruge periodeopgørelsen, således som ovenfor beskrevet, opnår vi en konsistent karakterisering af data over tid, der er uafhængig af prøvetagningsfrekvenserne, og har samtidig mulighed for at give en præcis karakterisering af den bias som opgørelsesmetoden kan medføre.

Justering af databehandlingen i forhold til tidligere

Vi har fra i år ændret kriteriet for overskridelse af kravværdien fra $\geq 0,1$ µg/l til $> 0,1$ µg/l for at opnå større overensstemmelse med Drikkevandsbekendtgørelsen og Vandrammedirektivet. Forskellen mellem de to kriterier var for prøver fra 2015 tre indtag med overskridelse for mindst ét pesticid. Tidsserier er genberegnet med det nye kriterium, hvor det har været teknisk muligt.

I Boringskontrollen har vandværkerne over årene analyseret for flere stoffer end angivet i de obligatoriske analysepakker, idet kontrollen også skal omfatte andre pesticider, som vides at være anvendt i oplandet, og som vurderes at kunne udgøre en trussel for grundvandet (Miljø og Fødevarerministeriet

2016a). I GRUMO har der indgået mindre temaundersøgelser, fx en screening af udbredelsen af metalaxyl-m og dets nedbrydningsprodukter i 2013. Alle analyserede pesticider er derfor medtaget i de generelle opgørelser af pesticidbelastningen, også data for pesticider, der ikke har indgået i analyseprogrammerne. Denne praksis er nu stringent gennemført, hvor data er genberegnet, for både GRUMO og Boringskontrollen. Som udgangspunkt indgår alle godkendte data i Jupiter i de genberegnete tidsserier, herunder nu også glyphosat og AMPA data fra Homåboringen (DGU nr. 71.483). Eneste undtagelser er, hvis vi tilfældigvis finder data, som er indlysende fejlindberettede (hvis fx samtlige pesticider i en prøve er indberettet med værdien 0,01 µg/l i stedet for <0,01 µg/l) og som en særlig undtagelse Tabel 22, hvor data for en kraftig punktforurening med dichlorprop (se bilag 1), er udeladt.

Ved de årlige rapporteringer anvendes data, der er indberettet til Jupiter og godkendt inden 1. april det pågældende år. Når tidsserier genberegnes, indgår imidlertid alle indberettede og godkendte data, dvs. også data fra tidligere år som blev godkendt eller indberettet efter 1. april de pågældende år. Denne effekt er størst ved genberegning af data for Boringskontrollen. Samlet set vil de genberegnete data derfor afvige en smule mht. antal analyser og antal indtag/boringer sammenlignet med tidligere opgørelser. De samlede opgørelser fra grundvandsovervågningen i 2015 fremgår af bilag 4, mens opgørelser for hele monitoringsperioden 1990-2015 fremgår af bilag 5.

Grundvandets tilstand for GRUMO

Tabel 19 viser, at der i 2015 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i ca. 36 % af de prøvetagede indtag, og kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i ca. 9 % af de prøvetagede indtag. Resultaterne for de enkelte år afhænger af hvilke indtag, der er prøvetaget det pågældende år, da ikke alle indtag prøvetages hvert år. Tabel 19 viser også en samlet opgørelse for perioden 2013-2015, hvor alle indtag er prøvetaget mindst én gang. Indtag med fund af pesticider blev i perioden 2013-2015 gennemsnitligt prøvetaget 2,5 gange, hvilket svarer til frekvensen for alle aktive indtag i perioden. Opgørelsen for 2013-2015 viser, at der i perioden er påvist pesticider mindst én gang i ca. 43 % af indtagene, og mindst én gang over kravværdien i ca. 13 % af indtagene.

Periodeopgørelsen for 2013-2015 viser en større andel af fund end i de enkelte år, hvilket blandt andet skyldes, at koncentrationen i nogle indtag kan variere lige omkring detektionsgrænsen eller kravværdien, eller at nogle stoffer kan udvaskes i kortvarige pulse. I disse tilfælde er det en mulighed, at påviste stoffer i et enkeltår ikke altid påvises i efterfølgende eller forudgående prøver i en given periode. Indtag, hvor dette er tilfældet, vil alle indgå i optællingen for perioden 2013-2015, men kun i nogle af optællingerne for de enkelte år. Et eksempel på en kortvarig puls af bentazon er vist i bilag 2.

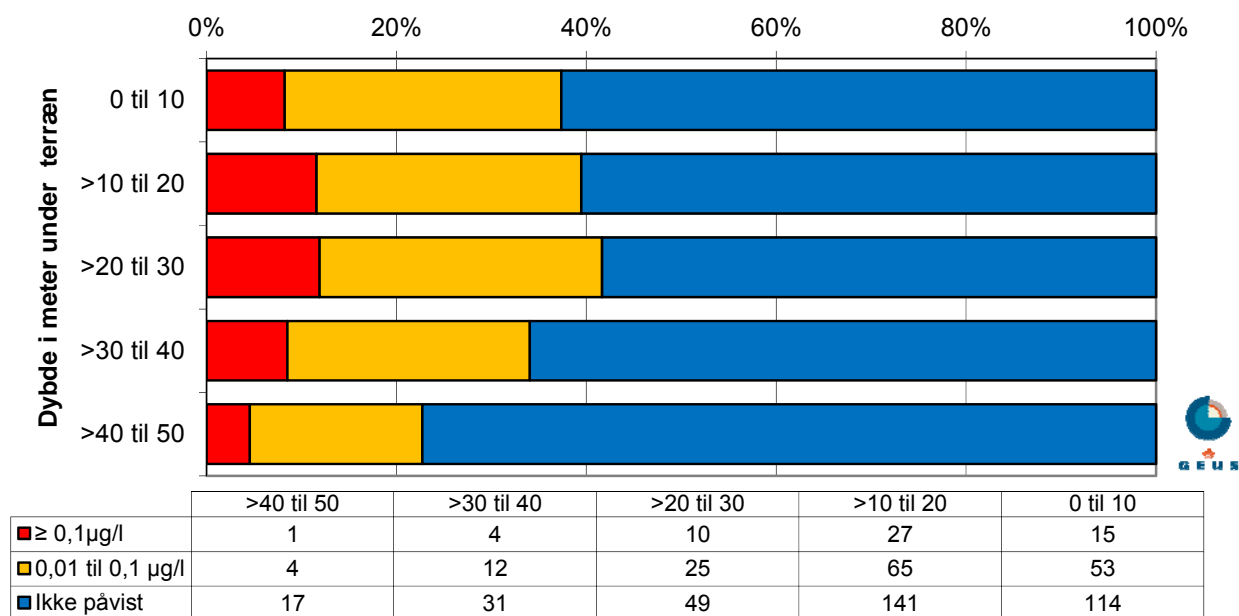
GRUMO	Analyser antal	Indtag antal			Ind tag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2015	617	617	220	58	35,7	9,4
2014	675	672	255	73	37,9	10,9
2013	552	530	196	52	37,0	9,8
2013-2015	1844	735	317	95	43,1	12,9

Tabel 19. Pesticidfund i GRUMO vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år og for perioden 2013-2015, hvor alle indtag er analyseret mindst én gang.

For perioden 2013-2015 gælder endelig, at 114 nye indtag, etableret i perioden, er blevet prøvetaget, heraf var der fund af pesticider i 22 indtag (19 %).

Figur 36 viser dybdefordelingen af indtag med fund af pesticider ned til 50 m u.t. I 2015 blev der inden for hver af de anvendte dybdeintervaller påvist pesticider i 23-42 % af de undersøgte indtag med en svag tendens til stigende andele af fund indtil 30 m u.t og derefter en faldende tendens. For indtag under 50 m u.t. er der for få analyser til en meningsfuld fordeling på de tre koncentrationsklasser.

Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter, 2015



Antal indtag

Figur 36. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider i indtag, der er analyseret i 2015. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget.

Ti "nye" stoffer i GRUMOs analyseprogram

Der er i 2011-2015 undersøgt for ti "nye" stoffer, som ikke tidligere har indgået i analyseprogrammet for GRUMO. Tabel 20 viser opgørelser for disse stoffer for perioden 2013-2015, hvor alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang.

Det hyppigst fundne "nye" stof er nedbrydningsproduktet didealkyl-hydroxyatrazin, som stammer fra forbudte triazin-herbicider, se Tabel 17, men også PPU (N-(4,6-dimethoxy-2-pyrimidiny)-N-(3-(ethylsulfonyl)-2-pyridinyl)urea), som er et nedbrydningsprodukt fra det forbudte stof rimsulfuron, blev påvist over kravværdien. Fire stoffer blev ikke påvist i perioden 2013-2015, heriblandt det godkendte stof picolinafen og dets nedbrydningsprodukt CL153815. De nye stoffer blev fundet enkeltvis i indtagene bortset fra ét indtag der indeholdt to nye stoffer.

10 "nye" stoffer i 2013-2015	Analyser an-	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Didealkyl-hydroxyatrazin	1809	730	29	7	4,0	1,0
PPU	1811	730	6	2	0,8	0,3
Deethyl-hydroxy-atrazin	1811	730	4	0	0,5	0
2-Hydroxy-deethylterbutylazin	1811	730	2	0	0,3	0
Hydroxyterbutylazin	1811	730	1	0	0,1	0
CYPM	1811	730	1	0	0,1	0
Deisopropyl-hydroxyatrazin	1811	730	0	0	0	0
Picolinafen	1811	730	0	0	0	0
CL153815	1811	730	0	0	0	0
PPU-desamino	1811	730	0	0	0	0
10 "nye", samlet opgørelse	1811	730	42	9	5,8	1,2

Tabel 20. GRUMO. 10 "nye" stoffer i perioden 2013-2015. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) i perioden 2013-2015, hvor alle aktive indtag er analyseret mindst én gang.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer i GRUMO

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte, se Tabel 17. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen for at beskytte grundvandet.

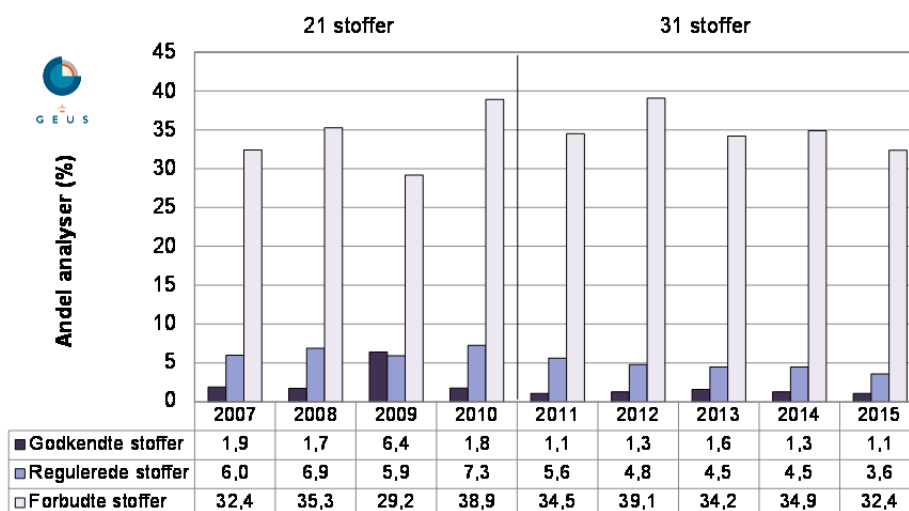
Tabel 21 viser fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer opgjort for perioden 2013-2015. I 2013-2015 blev mindst ét godkendt stof fundet mindst én gang i 2,2 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 0,4 % af indtagene. Forbudte pesticider og deres nedbrydningsprodukter blev fundet mindst én gang i 39 % af indtagene med en overskridelse af kravværdien i ca. 11 %. Forbudte stoffer blev dermed fundet langt hyppigere end de regulerede og godkendte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør den største andel i analyseprogrammet. Da mere end 75 % af det overvågede grundvand med kendt alder er ældre end 15 år (se Figur 16, kapitel 4) vil den største del af fundene af de regulerede stoffer i grundvandet kunne stamme fra anvendelse af moderstofferne, før disse blev reguleret. I bilag 6 kan man finde opgørelser for de enkelte år i perioden 2007-2015.

2013-2015	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	≥0,1 µg/l
Forbudte stoffer	730	285	77	39,0	10,5
Regulerede stoffer	730	38	15	5,2	2,1
Godkendte stoffer	730	16	3	2,2	0,4

Tabel 21. GRUMO. Forekomst af godkendte, regulerede og forbudte pesticide i perioden 2013-2015. Et indtag kan indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i flere af de tre kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

Figur 37 viser den tidlige udvikling i fund af godkendte, regulerede og forbudte stoffer for de enkelte år med udgangspunkt i den administrative status i Tabel 17. Opgørelserne er baseret på analyser pr. år, fordi der kun i enkelte tilfælde i denne periode er udtaget mere end én vandprøve pr. år per indtag. Det

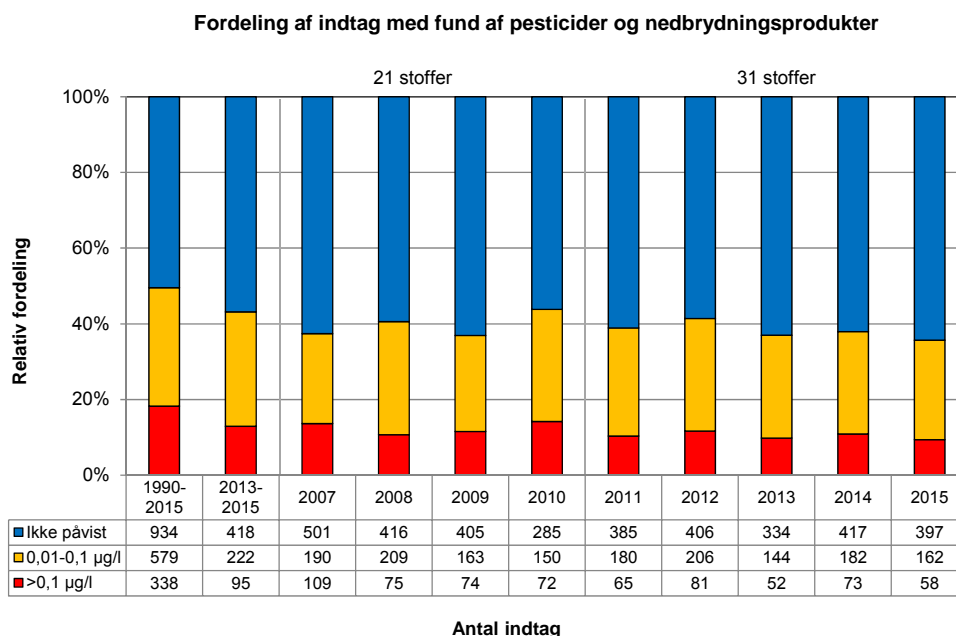
fremgår, at der overvejende påvises forbudte og regulerede stoffer. De regulerede stoffer har siden 2010 vist en faldende tendens. Andelen af godkendte stoffer har været stabil, bortset fra 2009, hvor der var relativt mange fund af glyphosat og AMPA.



Figur 37. GRUMO. Fordeling af godkendte, regulerede og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter, beregnet som andel analyser med fund pr. år for de tre stofgrupper. Programperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal stoffer i analyseprogrammet i hver periode er angivet over figuren.

Udviklingstendenser i GRUMO

Figur 38 viser, hvor stor en del af det overvågede grundvand, der er eller har været påvirket af pesticider. Andelen af prøvetagede indtag med pesticidfund, over eller under kravværdien, har været nogenlunde konstant i enkeltårsopførelserne fra 2007 til 2015.



Figur 38. Tidlig fordeling af pesticider i GRUMO indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år samt for perioderne 1990-2015 og 2013-2015. Antal indtag i hver kategori er anført under de enkelte år og perioder. Programperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal stoffer i analyseprogrammerne i hver periode er angivet over figuren.

Til sammenligning med enkeltårene er periodeopgørelser 1990-2015 og 2013-2015 også vist. I hele overvågningsperioden 1990-2015 er der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 50 % af de undersøgte indtag, hvoraf der i 18 % var mindst én overskridelse af kravværdien på 0,1 µg/l.

Tabel 22 viser udviklingstendenser for seks udvalgte pesticider og nedbrydningsprodukter med lange tidsserier. De udvalgte pesticider har været anvendt i stor mængde og repræsenterer både forbudte, regulerede og godkendte stoffer:

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

GRUMO		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Analyser																						
BAM	Antal analyser	113	430	527	830	833	853	801	798	795	644	828	860	800	709	641	509	639	691	514	670	617
	Antal ≥0,01 µg/l	27	70	94	130	126	123	124	105	116	93	120	147	125	127	110	103	121	119	87	108	103
	Antal >0,1 µg/l	15	36	32	41	31	28	33	34	37	40	41	50	46	39	32	34	30	39	26	39	29
	Andel ≥0,01 µg/l	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	16,9	16,1	16,7
	Andel >0,1 µg/l	13,3	8,4	6,1	4,9	3,7	3,3	4,1	4,3	4,7	6,2	5,0	5,8	5,8	5,5	5,0	6,7	4,7	5,6	5,1	5,8	4,7
DEIA	Antal analyser				166	626	823	776	785	762	625	811	847	800	704	640	509	638	691	514	670	617
	Antal ≥0,01 µg/l				13	29	32	47	55	42	66	88	96	115	112	84	82	70	97	67	95	80
	Antal >0,1 µg/l				3	8	12	11	10	14	22	18	23	30	20	15	12	10	18	9	4	6
	Andel ≥0,01 µg/l				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	13,0	14,2	13,0
	Andel >0,1 µg/l				1,8	1,3	1,5	1,4	1,3	1,8	3,5	2,2	2,7	3,8	2,8	2,3	2,4	1,6	2,6	1,8	0,6	1,0
bentazon	Antal analyser	103	301	517	824	829	853	797	796	787	645	827	860	799	709	641	509	639	691	514	670	617
	Antal ≥0,01 µg/l	7	12	18	23	10	12	16	20	14	12	23	29	25	27	25	25	22	24	14	21	14
	Antal >0,1 µg/l	1	7	5	5	2	3	2	4	2	1	3	6	6	5	6	8	2	3	3	5	4
	Andel ≥0,01 µg/l	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	2,7	3,1	2,3
	Andel >0,1 µg/l	1,0	2,3	1,0	0,6	0,2	0,4	0,3	0,5	0,3	0,2	0,4	0,7	0,8	0,7	0,9	1,6	0,3	0,4	0,6	0,7	0,6
dichlorprop	Antal analyser	711	698	680	819	823	851	793	789	782	640	827	857	798	708	638	509	638	691	514	670	617
	Antal ≥0,01 µg/l	9	22	19	20	12	11	14	14	15	12	9	13	19	13	10	8	14	10	10	10	11
	Antal >0,1 µg/l	3	7	9	6	3	3	6	5	3	1	1	2	3	4	2	2	2	1	1	1	2
	Andel ≥0,01 µg/l	1,3	3,2	2,8	2,4	1,5	1,3	1,8	1,8	1,9	1,9	1,1	1,5	2,4	1,8	1,6	1,6	2,2	1,4	1,9	1,5	1,8
	Andel >0,1 µg/l	0,4	1,0	1,3	0,7	0,4	0,4	0,8	0,6	0,4	0,2	0,1	0,2	0,4	0,6	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3
glyphosat	Antal analyser			46	204	721	837	779	787	771	631	815	847	806	706	650	509	638	699	521	673	616
	Antal ≥0,01 µg/l			0	0	0	8	5	6	9	3	13	8	14	10	28	8	5	6	5	4	2
	Antal >0,1 µg/l			0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5	2	9	3	2	2	1	0	0
	Andel ≥0,01 µg/l			0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	0,8	1,2	0,5	1,6	0,9	1,7	1,4	4,3	1,6	0,8	0,9	1,0	0,6	0,3
	Andel >0,1 µg/l			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	1,4	0,6	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0
AMPA	Antal analyser			46	204	721	824	779	788	773	631	815	847	805	706	650	509	638	699	521	673	617
	Antal ≥0,01 µg/l			0	0	0	13	9	6	7	1	4	5	3	8	25	2	4	7	4	8	6
	Antal >0,1 µg/l			0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	1	2	7	1	2	2	0	2	1
	Andel ≥0,01 µg/l			0,0	0,0	0,0	1,6	1,2	0,8	0,9	0,2	0,5	0,6	0,4	1,1	3,8	0,4	0,6	1,0	0,8	1,2	1,0
	Andel >0,1 µg/l			0,0	0,0	0,0	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	0,0	0,3	0,2

Tabel 22. GRUMO. Tidlig udvikling i fund af nedbrydningsprodukter fra forbudte stoffer (BAM og DEIA), regulerede stoffer (bentazon og dichlorprop) og det godkendte stof glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Opgørelserne bygger på antal analyser med fund (typisk ≥0,01 µg/l) og antal analyser over kravværdien (>0,1 µg/l). Alle andele er angivet som % af alle undersøgte indtag for et stof i et givet år. For dichlorprop indgår der ikke data fra overvågningsboring DGU nr. 201.3933 pga. en kraftig punktforurening, se bilag 1.

BAM blev i 2015 påvist i 16,7 % af indtagene, selv om moderstoffet dichlobenil blev taget af markedet i 1996. Ud fra dichlobenils fysiske egenskaber kan det forventes, at der i rodzonen stadig er bundet en betydelig pulje, som langsomt omdannes til BAM og udvaskes. For BAM har fundandelen ($\geq 0,01 \mu\text{g/l}$) været svagt stigende fra 2003 indtil 2010 og derefter svagt faldende. Der har ikke været nogen nævneværdig tidlig udvikling i andelen af indtag over kravværdien ($> 0,1 \mu\text{g/l}$) de seneste 15 år.

DEIA blev i 2015 påvist i 13,0 % af indtagene. DEIA kan dannes ved nedbrydning af flere nu forbudte triazin herbicider, og fundene kan derfor ikke henføres til enkelte pesticider. Terbutylazin er det senest regulerede, hvor anvendelse blev forbudt i 2009. Andelen af DEIA fund var kraftigt stigende indtil 2010, hvorefter fundandelen stagnerede. Andelen af fund over kravværdien har været faldende siden 2007.

Bentazon blev i 2015 påvist i 2,3 % af indtagene. Bentazon udviser en stor stigning i fundandele fra 1999 til 2010 efterfulgt af faldende fundandele. Bentazon blev reguleret i 1995-1997. Dateringer viser, at grundvandet i ca. 60 % af GRUMO-indtagene i 2015 var dannet før reguleringen fandt sted, og reguleringen kan derfor kun forventes at have en begrænset indflydelse på tidsserien. Syv bentazon fund er indberettet til Jupiterdatabasen med præcis værdien $0,1 \mu\text{g/l}$, disse fremgår ikke længere som overskridelser ($> 0,1 \mu\text{g/l}$).

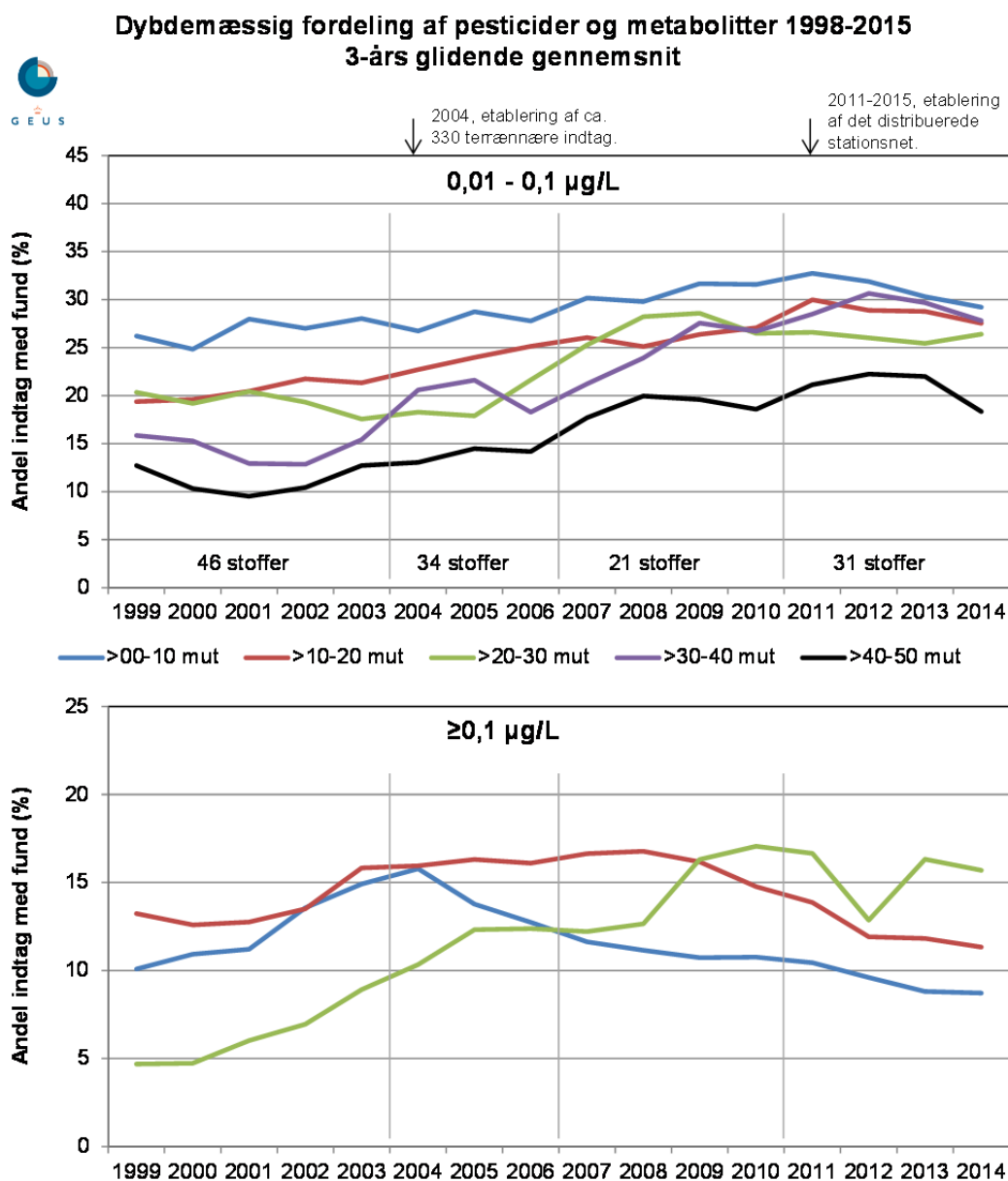
Dichlorprop blev i 2015 påvist i 1,8 % af indtagene, selvom anvendelsen blev reguleret i 1997, og stoffet nu kun anvendes til plænerens. Andelen af fund for dichlorprop har gennem hele måleperioden været stort set uændret, hvorimod andelen af fund over kravværdien har været faldende. Pga. det lave antal indtag over kravværdien er det svært at afgøre om faldet skyldes reguleringen eller de tidlige ændringer i stationsnettets sammensætning. Tidligere opgørelser har været påvirkede af data fra tre indtag i boring DGU nr. 201.3933 Nørrebroparken med kraftigt forhøjede koncentrationer fra en punktfurening. Udviklingen i dichlorpropkoncentrationen i denne boring kan ses i bilag 1. Data fra denne boring indgår ikke længere i de genberegnete opgørelser i Tabel 21.

Glyphosat blev i 2015 påvist i 0,3 % af indtagene og glyphosats nedbrydningsprodukt **AMPA** blev påvist i 1,0 % af indtagene, heraf blev AMPA påvist over kravværdien i kun et enkelt indtag. Generelt er der for begge stoffer tale om få analyser med fund, som derfor er påvirket af fund fra indtagene i boringen DGU nr. 71.483 (Homå), hvor der har været rejst tvivl om de tekniske forhold. Forløbene er derfor ikke repræsentative for grundvandet som sådan og kan derfor ikke anvendes til at vurdere det generelle udviklingsforløb i grundvandet for tilladte stoffer.

Overvågningsfrekvensen har siden 2007 varieret afhængig af pesticidkoncentrationen i de enkelte indtag samtidig med, at der fra 2004 har indgået flere ny-etablerede, terrænnære indtag, hvorefter der efter 2011 igen er etableret flere dybere indtag (se kapitel 2, Figur 5 og bilag 3). Dette betyder, at indikatorstofferne tidsserier ikke giver et fuldstændigt repræsentativt og dækkende billede af udviklingen i grundvandets generelle tilstand. Usikkerhederne pga. af ændringerne i indtagenes dybdefordeling kan mindskes ved at analysere forekomsten af indtag med fund i afgrænsede dybdeintervaller.

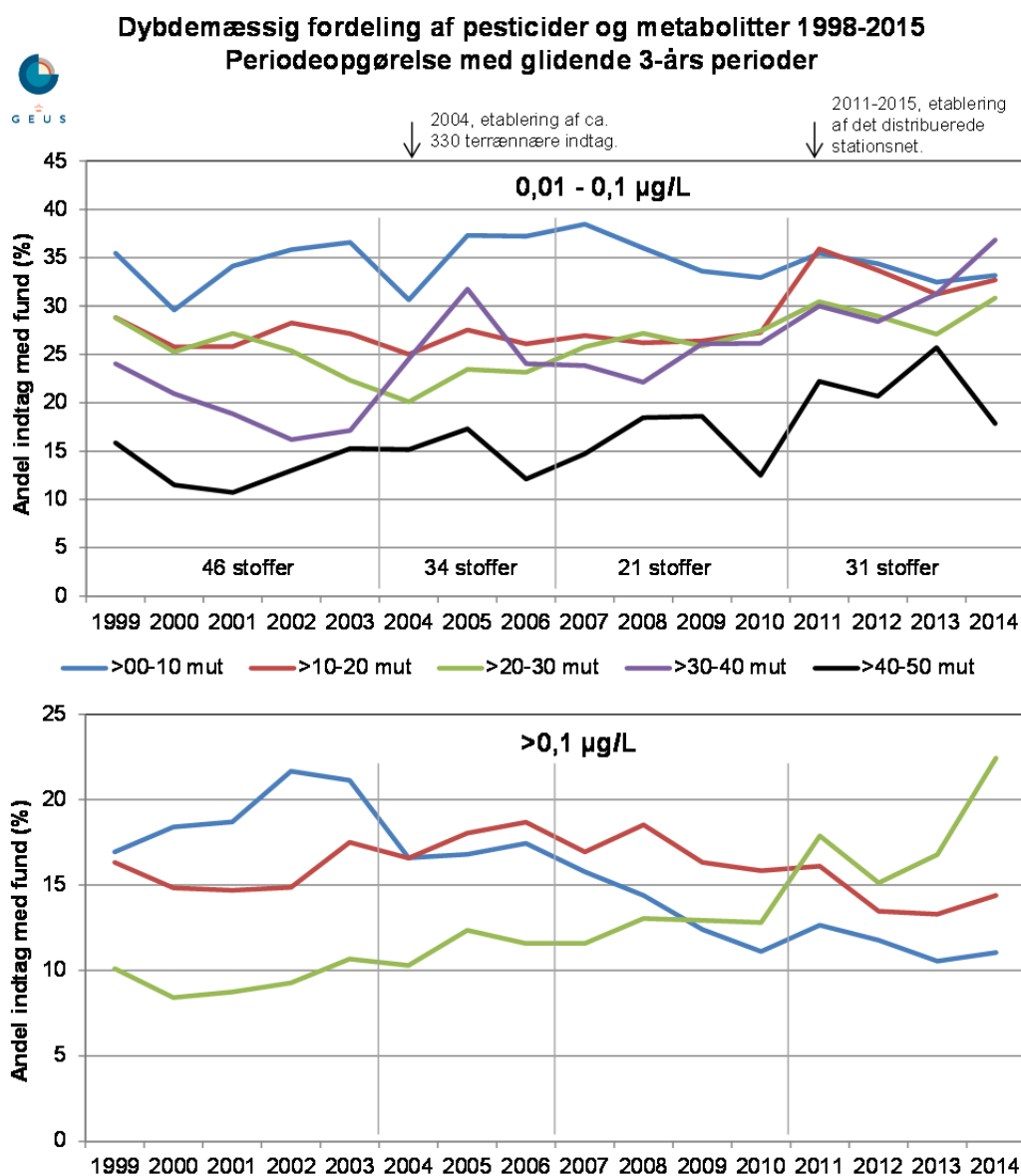
Tidslig udvikling i forskellige dybder

I de to foregående rapporter anvendte vi glidende 3-års gennemsnit for at vise udviklingen i forskellige dybder. En opdateret version af denne datafremstilling er vist i Figur 39. Glidende gennemsnit udjævner variationen fra år til år, så den tidlige udvikling bliver tydeligere, men da denne metode er baseret på opgørelser for enkeltår, tager glidende gennemsnit ikke højde for, at prøvetagningsfrekvenserne har været forskellige for indtag med fund og indtag uden fund. Indtag med fund kan derfor være overrepræsenterede eller underrepræsenterede i opgørelser for de enkelte år afhængig af om indtag med fund er prøvetaget oftere eller sjældnere end gennemsnittet.



Figur 39. Tidslig udvikling i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i 10-m dybdeintervaller. Hvert år repræsenterer 3-årige gennemsnit af andelen af indtag, hvor mindst et stof er påvist mindst én gang. Øverste figur viser udviklingen i indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Nederste figur viser udviklingen i indtag med fund over kravværdien (≥0,1µg/l), så den er fuldt sammenlignelig med sidste års figur. Dybderne angiver afstand fra terræn til top af indtag. Programperioder er angivet med lodrette linjer.

Systematiske fejl i opgørelserne, der stammer fra de varierende prøvetagningsfrekvenser, kan som der er redegjort for i metodeafsnittet af dette kapitel, mindskes ved at lave samlede opgørelser for tre-årsperioder, hvor alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang, og hvor indtag kun tæller med som værende påvirket af pesticider, hvis der mindst én gang enten har været fund over detektionsgrænsen eller over kravværdien i tre-års perioden. Denne tilgang er anvendt i Figur 40, som derfor i forhold til Figur 39 viser udviklingen i de forskellige dybder korrigeret for varierende prøvetagningsfrekvens. Med denne metode er fundandelene lidt højere end for glidende gennemsnit anvendt i Figur 39, hvilket skyldes forskellen på periodeopgørelser og enkeltår, som beskrevet for Tabel 18. Hvert år repræsenterer opgørelser for en tre-årsperiode (foregående, aktuelle og efterfølgende år). Bemærk der er brugt samme datasæt og signaturer i Figur 39 og Figur 40.



Figur 40. GRUMO. Tidlig udvikling i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i 10-m dybdeintervaller. Hvert år repræsenterer opgørelser af andelen af indtag, hvor mindst ét stof er påvist mindst én gang indenfor en treårs periode. Øverste figur viser udviklingen i indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Nederste figur viser udviklingen i indtag med fund over kravværdien (>0,1µg/l). Dybderne angiver afstand fra terræn til top af indtag. Programperioder er angivet med lodrette linjer.

Figur 40, øverste del, viser andele af indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Der er kun medtaget indtag indtil 50 m u.t. for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybdeinterval. Fundandelen under kravværdien viser ikke nogen tidslig udvikling i dybden 0-10 m u.t. (lineær regression: $R^2 = 0,00$). Fra 10 til 30 m u.t. er der en svag tendens til stigende koncentrationer (lineære regressioner for 10-20 m u.t. og 20-30 m u.t.: $R^2 = 0,40$ og $0,29$), og fra 30 til 50 m u.t. ses en tydelig stigning over tid i andelen med fund (lineære regressioner for 30-40 m u.t. og 40-50 m u.t.: $R^2 = 0,56$ og $0,61$).

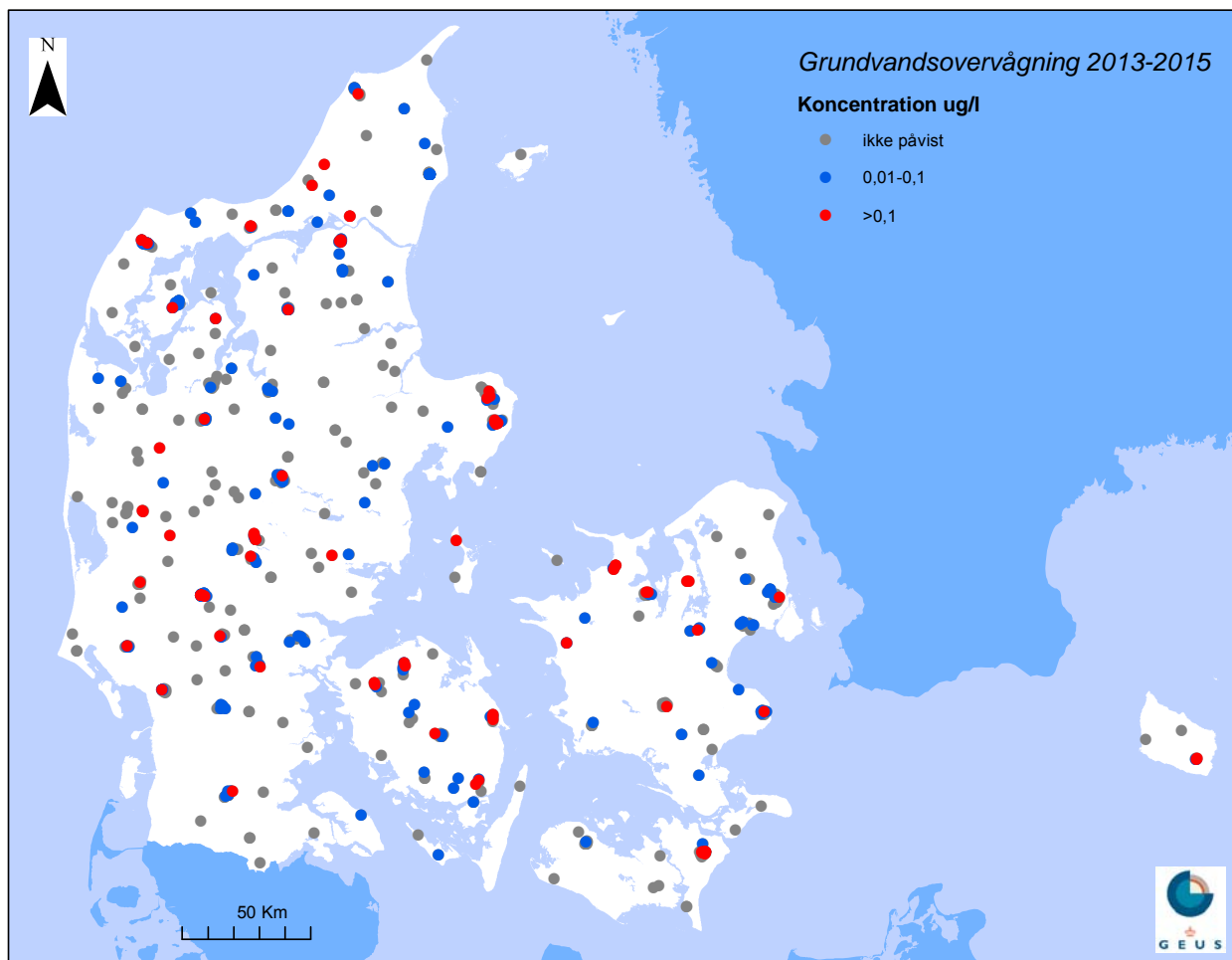
Figur 40 nederste del, viser andelen af indtag med fund over kravværdien (>0,1 µg/l). For fund over kravværdien er der kun tilstrækkelige data ned til 30 m u.t. I det øverste grundvand 0-10 m u.t. er der omkring år 2002 et skift fra stigende til faldende andele over kravværdien (lineær regression for 2002-2014: $R^2 = 0,88$). I intervallet 10-20 m u.t. indtrådte skiftet fra stigende til faldende andele over kravværdien omkring 2006-2008 (lineær regression for 2008-2014: $R^2 = 0,76$). Faldet i andelen af indtag over kravværdien i det øvre grundvand (0-20 m u.t.) kan således betyde, at den samlede udvaskning af pesticider har toppet. I intervallet 20-30 m u.t. stiger fundandelen over kravværdien fortsat (lineær regression for 1999-2014: $R^2 = 0,78$). Der er en bemærkelsesværdig stor afvigelse mellem Figur 39 og Figur 40 for fund over kravværdien i 20-30 m u.t. i perioden 2013-2015 (sidste punkt på kurverne). Dette skyldes, at indtag med fund over kravværdien i perioden blev prøvetaget i gennemsnit 2,7 gange i dybderne 0-10 og 10-20 m u.t., men kun i gennemsnit 2,0 gange for 20-30 m u.t. Indtag med overskridelser af kravværdien i dybden 20-30 m u.t. er derfor underrepræsenterede i de opgørelser for enkeltår i perioden, som det glidende gennemsnit er baseret på i Figur 39.

Figur 40 viser også, at når man korrigerer for dybde og varierende prøvetagningsfrekvens, er tidsserien i tidsrummet 1998-2010 generelt ikke påvirket af store udsving, når der skiftes fra den ene programperiode til den næste - på trods af varierende analyseprogrammer i de forskellige programperioder. Dette skyldes sandsynligvis, at kun stoffer, som sjældent blev fundet, er taget ud af analyseprogrammet. Der er dog et tydeligt spring for alle dybder fra 2010 til 2011 i kurverne for fund under kravværdien (Figur 40, øverst). Det skyldes sandsynligvis, at analyseprogrammet her blev udvidet fra 21 til 31 stoffer, men derudover kan omlægningen af stationsnettet også have haft en effekt.

Når indtagene opdeles på dybdeintervaller, reduceres den usikkerhed, der ligger i varierende dybdefordeling. På den anden side stiger den statistiske usikkerhed, da der indgår færre indtag i hvert dybdeinterval. Dette ses ved forholdsvis store udsving på kurverne for 30-40 m u.t. og 40-50 m u.t., idet der er færrest indtag i disse dybder, samt mindst udsving på kurverne for 10-20 m u.t. og 20-30 m u.t., hvor de fleste indtag findes. Efter 2004 steg antallet af terrænnære indtag og reducerede den statistiske usikkerhed på dybdeintervallet 0-10 m u.t. Idet fundandele er opgjort som fund eller overskridelse af kravværdien for mindst ét stof, er udviklingerne domineret af de hyppigst påviste stoffer, dvs. nedbrydningsprodukterne BAM og DEIA.

Geografisk fordeling af pesticider i GRUMO

Figur 41 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag i perioden 2013-2015, hvor alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang. Da ikke alle indtag overvåges hvert år, er der ikke vist et kort alene for 2015. Figur 41 viser, at der er påvist pesticider jævnt fordelt i hele landet. De største koncentrationer er udtegnet sidst og ligger derfor øverst. I bilag 12, kan man se et kort for hver af de tre koncentrationsintervaller, således alle data i hvert koncentrationsinterval for sig er anskueliggjort. Dybe indtag kan indeholde vand, som er infiltreret mange km fra boringen; de fundne koncentrationer skyldes derfor ikke nødvendigvis anvendelse af pesticider præcis ved boringerne.



Figur 41. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen i perioden 2013-2015 (735 indtag). Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist. De højeste koncentrationer er udtegnet sidst.

8.2 Grundvand i vandværksboringer

Datagrundlag

I dette afsnit rapporteres pesticidanalyser fra de almene vandværkers vandværksboringer for perioden 1992-2015. Tilstanden i grundvandet fra vandværksboringerne illustrerer tilstanden i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand og dermed udfordringen for vandværkerne med at sikre drikkevandskvaliteten for forbrugerne. Da vandværkerne løbende nedlægger og etablerer boringer, afspejler udviklingen i fund pr. år kun i ringe grad effekten af handleplaner rettet mod at forbedre tilstanden i grundvandsmagasinerne, men derimod vandværkernes håndtering af problemerne med pesticider i de boringer, hvorfra der indvindes grundvand.

I hvert års opgørelser indgår kun data fra aktive vandværksboringer, dvs boringer hvorfra der er indrapporteret data indenfor de seneste fem år. Det betyder, at omfanget og antallet af boringer, og dermed datasættet, varierer fra år til år, fordi data fra inaktive boringer løbende udgår af datasættet. Eneste undtagelse er tidsserien i Figur 44, som viser hvordan opgørelserne så ud i de enkelte år, og således også data fra boringer, der siden er lukkede. Boringer, som for en periode har været uden oppumpning, kan senere inddrages igen i vandforyningen og dermed igen indgå i datasættet, se kapitel 2. I 2015 udgjorde private fælles vandforsyningsanlæg, som forsyner mere end ni husstande, 61 % af analyserne i datasættet, mens analyser fra offentlige fælles vandforsyningsanlæg, som forsyner mere end 9 husstande udgjorde ca. 37 %. Derudover var der et lille bidrag på 1,7 % fra andre kategorier såsom institutioner, levnedsmiddelindustri og boringer, der forsyner 3-9 husstande.

Grundvandet i vandværksboringer skal som minimum analyseres for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der fremgår af Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a). Analyseprogrammet omfatter såvel nyere som ældre stoffer samt godkendte, regulerede og forbudte stoffer. Analyseprogrammet blev pr. 1. jan. 2012 udbygget med 18 stoffer og otte andre udgik fra programmet (Miljøministeriet, 2011). Pr. 1. april 2014 blev programmet udbygget med yderligere tre stoffer: metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter CGA62826 og CGA108906 (Miljøministeriet, 2014).

Pesticid/nedbrydningsprodukt	Administrativ status
Glyphosat ^{nyt}	Godkendt
AMPA* ^{nyt}	Godkendt
Bentazon	Reguleret
Simazin	Forbudt
Hexazinon	Forbudt
Atrazin	Forbudt
Desethylatrazin*	Forbudt
Desethylhydroxyatrazin* ^{nyt}	Forbudt
Desethyldeisopropylatrazin (DEIA)* ^{nyt}	Forbudt
Desethylterbuthylazin* ^{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,
4-CPP* ^{nyt}	Reguleret
Dichlobenil	Forbudt
2,6-Dichlorbenzoesyre* ^{nyt}	Forbudt
BAM (2,6-dichlorbenzamid)*	Forbudt
4-Nitrophenol* ^{nyt}	Forbudt
Metalaxyl-M ^{nyt}	Forbudt
CGA62826* ^{nyt}	Forbudt, nedbrydningsprodukt fra metalaxyl-M
CGA108906* ^{nyt}	Forbudt, nedbrydningsprodukt fra metalaxyl-M
Diuron ^{nyt}	Forbudt
Ethylthiourea (ETU)* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte (maneb, zineb), andre regulerede (mancozeb)
Metribuzin ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-diketo* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino-diketo* ^{nyt}	Forbudt

Tabel 23. Administrativ status pr. 23. maj. 2016 for de 34 pesticider og nedbrydningsprodukter, som indgår i analysepakken for vandværksboringerne i 2015 jf. drikkevandsbekendtgørelsen. Ud over disse 34 stoffer indgår også to chlorphenoler, der dog også kan have andre oprindelser end pesticider. De 21 stoffer markeret med ^{nyt} er tilføjet analyseprogrammet i 2012 eller 2014. Nedbrydningsprodukter er markeret med *.

Det obligatoriske analyseprogram har således været nogenlunde ensartet i perioden 2012-2015. Tabel 23 viser de stoffer, der var obligatoriske i 2015 (Miljøministeriet, 2014), herunder 2,4-D som udgik fra programmet per 28/11-2015 (Miljøministeriet, 2015). Alle pesticidanalyser medtages i de generelle opgørelser af pesticidbelastningen, også data for pesticider der ikke er en del af det obligatoriske analyseprogram.

For de mindste vandværker skal vandværksboringerne analyseres mindst én gang i løbet af en 5-års periode, hvorfor de nye stoffer endnu ikke er analyseret for alle vandværksboringer. I analyseprogrammet indgår også to chlorphenoler, som ikke medtages i pesticidopgørelserne, da de kan stamme fra andre kilder end pesticider. Ud over de obligatoriske stoffer gennemfører en del vandværker også analyser for en række andre stoffer. Disse stoffer indgår i de generelle opgørelser, hvis der i 1992-2015 er foretaget mindst 10 analyser. Bilag 8 og 9 viser en samlet oversigt over stoffer, som indgår i beregningerne, samt deres forekomst i vandværksboringer, der var aktive i 2015.

Tilstand, grundvand i vandværksboringer

Tabel 24 viser den seneste udvikling i fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i grundvand fra vandværksboringer. Opgørelsen viser fundandele for de boringer, der var aktive de enkelte år, samt en samlet periodeopgørelse for 2012-2015 for boringer, der var aktive i 2015. Der blev i 2015 fundet mindst et pesticid i 27 % af de undersøgte vandværksboringer, hvor 3,6 % af de undersøgte boringer havde en overskridelse af kravværdien. Bilag 8 viser opgørelser for de enkelte stoffer for 2015. I perioden 2012-2015 blev pesticider fundet mindst én gang i ca. 20 % af de undersøgte boringer, hvor 2,7 % af de undersøgte boringer havde mindst én overskridelse af kravværdien. Analyseprogrammet har i denne periode være nogenlunde ensartet.

Opgørelsen for perioden 2012-2015 viser en mindre fundandel sammenlignet med enkeltårene, hvilket sandsynligvis skyldes, at boringer med fund analyseres oftere end boringer uden fund. Boringer med fund blev således prøvetaget gennemsnitligt 2,8 gange i perioden 2012-2015, hvorimod gennemsnittet for alle aktive boringer var 1,5 gange i perioden.

Borings-kontrollen	Analyser antal	Boringer antal			Boringer andel (%)	
		I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2015	1581	1370	372	50	27,2	3,6
2014	1888	1629	427	63*	26,2	3,9*
2013	1986	1717	431	60*	25,1	3,5*
2012	1915	1685	403	66*	23,9	3,9*
2012-2015	7969	5264	1031	142	19,6	2,7

Tabel 24. Boringskontrollen. Pesticidfund i aktive vandværksboringer vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte boringer. Boringerne er opdelt i boringer med mindst ét fund og boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år og for perioden 2012-2015. Opgørelser markeret med * er ≥0,1 µg/l.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer i grundvandet i vandværksboringer

Tabel 25 viser en opgørelse over fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer for de 31-34 stoffer, der indgik i analyseprogrammerne i perioden 2012-2015. Hvis et nedbrydningsprodukt kan dannes fra både regulerede og forbudte pesticider (fx ETU) medtages det som et reguleret stof. Mindst ét af de forbudte stoffer forekom mindst én gang i 17 % af de undersøgte vandværksboringer, hvoraf 2,2 % mindst én gang overskred kravværdien på 0,1 µg/l. Mindst ét af de regulerede stoffer forekom mindst én gang i 3,7 % af de undersøgte boringer, mens kravværdien var overskredet mindst én gang i 0,4 %. Kun to godkendte stoffer (glyphosat og AMPA) indgår i analysepakken, og af disse forekom mindst ét stof mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte boringer, heraf 0,1 % over kravværdien. Det skal bemærkes, at

et indtag kan indeholde såvel forbudte som regulerede eller godkendte stoffer. Det enkelte indtag kan derfor optræde i flere af de tre kategorier, og summen af grupperne kan derfor ikke anvendes som mål for den samlede fundprocent.

2012-2015	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Forbudte stoffer	5147	890	113	17,3	2,2
Regulerede stoffer	5184	193	23	3,7	0,4
Godkendte stoffer	5154	23	4	0,4	0,1

Tabel 25. Boringskontrollen. Periodeopgørelse 2012-2015 for forekomst af godkendte, regulerede og forbudte pesticider i aktive vandværksboringer. En boring kan indeholde såvel forbudte som regulerede eller godkendte stoffer, og den enkelte boring kan derfor optræde i flere af de tre kategorier.

De hyppigst fundne pesticider og nedbrydningsprodukter i aktive vandværksboringer er generelt forbudte stoffer eller stoffer pålagt regulering i form af anvendelses-begrænsninger. Dannelses-tidspunktet er ikke kendt for grundvandet i de aktive vandværksboringer, og disse forhold kan derfor ikke kvantificeres. Fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan derfor stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen. Ofte er der tale om lange filtre, der opblander vand med forskellige aldre fra forskellige dybder i magasinet. Den lave fundandel for godkendte stoffer kan til dels skyldes, at vandværkerne kun skal analysere for to godkendte stoffer.

"Nye" stoffer i boringskontrollens analyseprogram

Analyseprogrammet blev pr. 1. januar 2012 udbygget med 18 "nye" stoffer og per 1. april 2014 med yderligere 3 stoffer (metalaxyl-M og to nedbrydningsprodukter herfra). Tabel 26 viser en oversigt over analysereultaterne for de 21 "nye" stoffer for perioden 2012-2015. Metalaxyl M og dets nedbrydningsprodukter (CGA62826 og CGA108906) er kun analyseret i ni måneder af 2014 samt i 2015 og er derfor analyseret i et mindre antal boringer end de øvrige stoffer. Metalaxyl-M og dets nedbrydningsprodukter kan desuden udgå af analysepakken for oplande, hvor der i årtier ikke har været kartoffelavl (Drikkevandsbekendtgørelsen, bilag 7, Miljø og Fødevareministeriet 2016a). Diuron kan ligeledes udgå for oplande, hvor der i årtier ikke har været planteskoler eller dyrkning af pyntegrønt, juletræer, frugttræer eller frugtbuske.

Samlet set blev mindst et af de 21 stoffer i 2012-2015 fundet mindst én gang i 5,9 % af de undersøgte boringer, og kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte boringer. De hyppigst fundne "nye" stoffer var CGA108906, DEIA og 2,6-dichlorbenzoesyre, hvor CGA108906 også viste den støtste andel med overskridelse af kravværdien (0,4 %). CGA108906 er et nedbrydningsprodukt fra det forbudte pesticid metalaxyl-M.

21 "nye" stoffer 2012-2015	Analyser antal	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
CGA108906	1802	1623	27	6	1,7	0,4
DEIA	6412	5147	82	5	1,6	0,1
2,6-Dichlorbenzoesyre	6030	4867	53	0	1,1	0,0
Metribuzin-desamino-diketo	5511	4516	38	1	0,8	0,0
4-CPP	6637	5159	41	3	0,8	0,1
CGA 62826	1789	1618	9	1	0,6	0,1
4-Nitrophenol	6397	5151	26	0	0,5	0,0
Glyphosat	6453	5154	18	3	0,3	0,1
Didealkyl-hydroxy-atrazin	6072	4910	17	1	0,3	0,0
2,6-DCPP	5984	4837	16	0	0,3	0,0
Ethylthiourea	6188	5035	9	1	0,2	0,0
Diuron	5976	4873	7	0	0,1	0,0
AMPA	6429	5153	7	1	0,1	0,0
Simazin, hydroxy	6395	5147	5	1	0,1	0,0
Deethyl-hydroxy-atrazin	6010	4859	4	0	0,1	0,0
Deisopropyl-hydroxyatrazin	6014	4863	3	0	0,1	0,0
Terbutylazin,desethyl	6415	5150	3	0	0,1	0,0
Metribuzin-desamino	5449	4476	1	0	0,0	0,0
Metribuzin-diketo	5507	4521	1	0	0,0	0,0
Metribuzin	5790	4748	0	0	0,0	0,0
Metalaxyl-M	1326	1193	0	0	0,0	0,0
21 "nye", samlet opgørelse	6823	5193	307	23	5,9	0,4

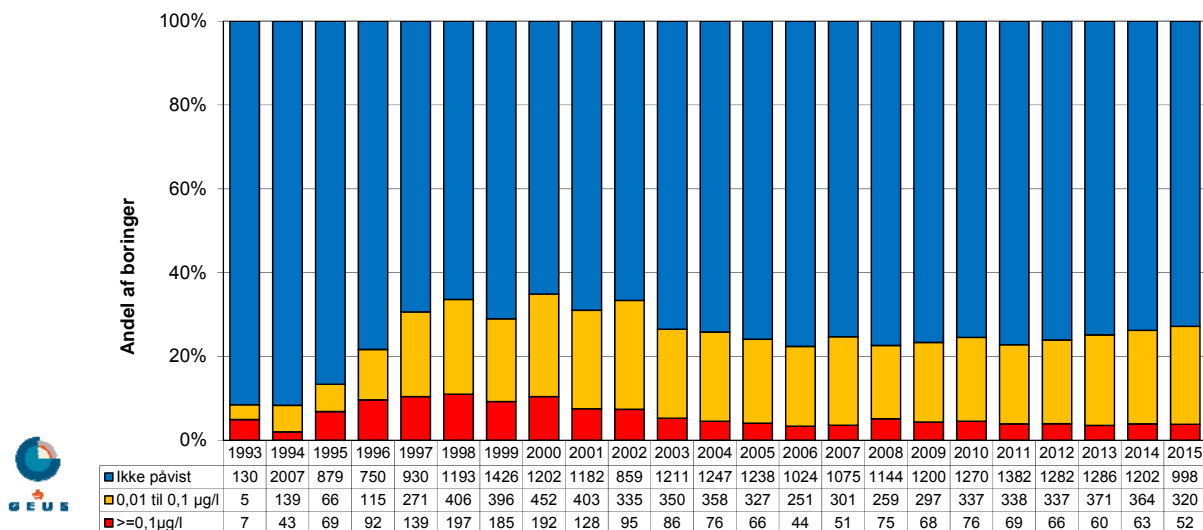
Tabel 26. Boringskontrollen. Forekomst af 21 "nye" stoffer i grundvandet i aktive vandværksboringer i perioden 2012-2015. Boringerne er opdelt i andel boringer med mindst ét fund og mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

Tidslig udvikling i grundvandet i vandværksboringer

Figur 42 viser udviklingen i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i 1993-2015. For hvert år er fundandelene angivet for de vandværksboringer, der var aktive i det pågældende år. Figuren viser således også data fra boringer, der siden er lukkede. Et stabilt forløb over en årrække indikerer derfor ikke nødvendigvis, at tilstanden i grundvandet var uændret, det kan lige så vel være et udtryk for, at vandværkerne har været i stand til at etablere nye uforurenede boringer, når ældre boringer blev lukket.

Den stigende andel af boringer med fund op gennem 90'erne skyldes sandsynligvis, at analyseprogrammerne gradvist omfattede flere og flere stoffer. Fra omkring år 2000 til 2006 faldt andelen af boringer med fund, og andelen har siden 2006 stabiliseret sig omkring 23-26 %, dog med en svagt stigende tendens indenfor de seneste fem år. Alderen af det vand, som vandværkerne indvinder til drikkevand, er oftest mere end 15 år, og faldet fra 2000 til 2006 afspejler derfor mest sandsynligt vandværkernes evne til at etablere nye boringer uden pesticidforurening fx dybere boringer og boringer i naturområder. Faldet kan derimod ikke tolkes som en forbedring af den generelle grundvandskvalitet mht. pesticider, idet fund i denne periode oftest vil stamme fra anvedelse af moderstoffer inden disse blev reguleret.

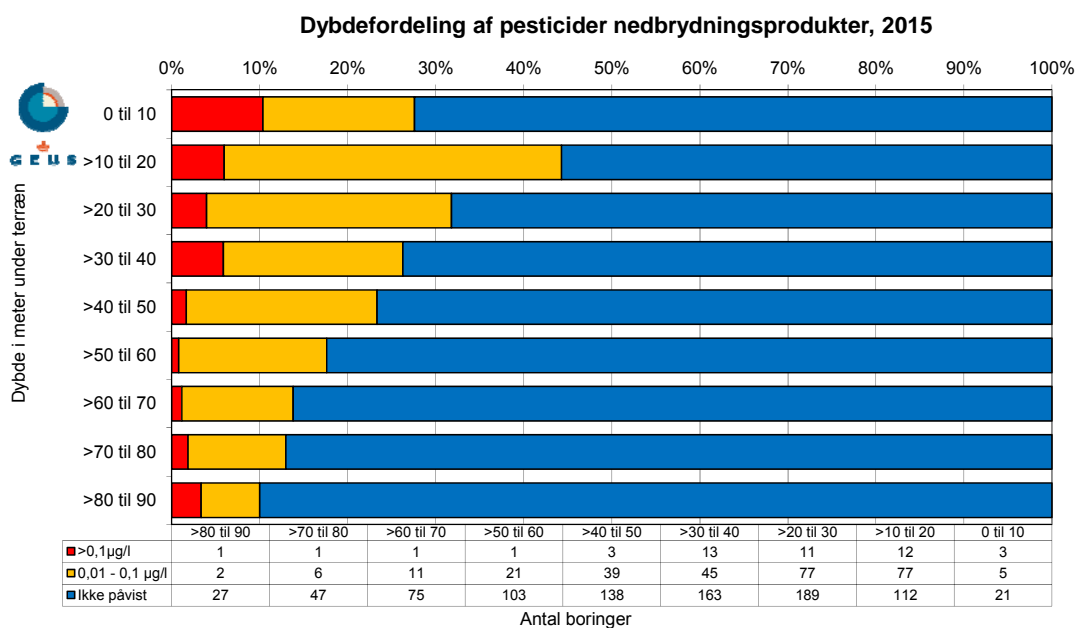
Fordeling af boringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter



Figur 42. Boringskontrollen. Fordeling af pesticidindholdet i aktive vandværksboringer 1993-2015. Figuren viser status for de vandværksboringer, der var aktive hvert af de viste år. Figuren indeholder ikke de samme boringer fra år til år, da disse analyseres i en turnus på op til fem år, og der løbende lukkes eller etableres nye vandværksboringer. Hvert år bygger på data fra årsspecifikke udtræk fra JUPITER, anvendt i den løbende rapportering. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $0,01\text{-}0,1 \mu\text{g/l}$, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk $< 0,01\mu\text{g/l}$). Antal boringer i hver kategori er anført under de enkelte år.

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

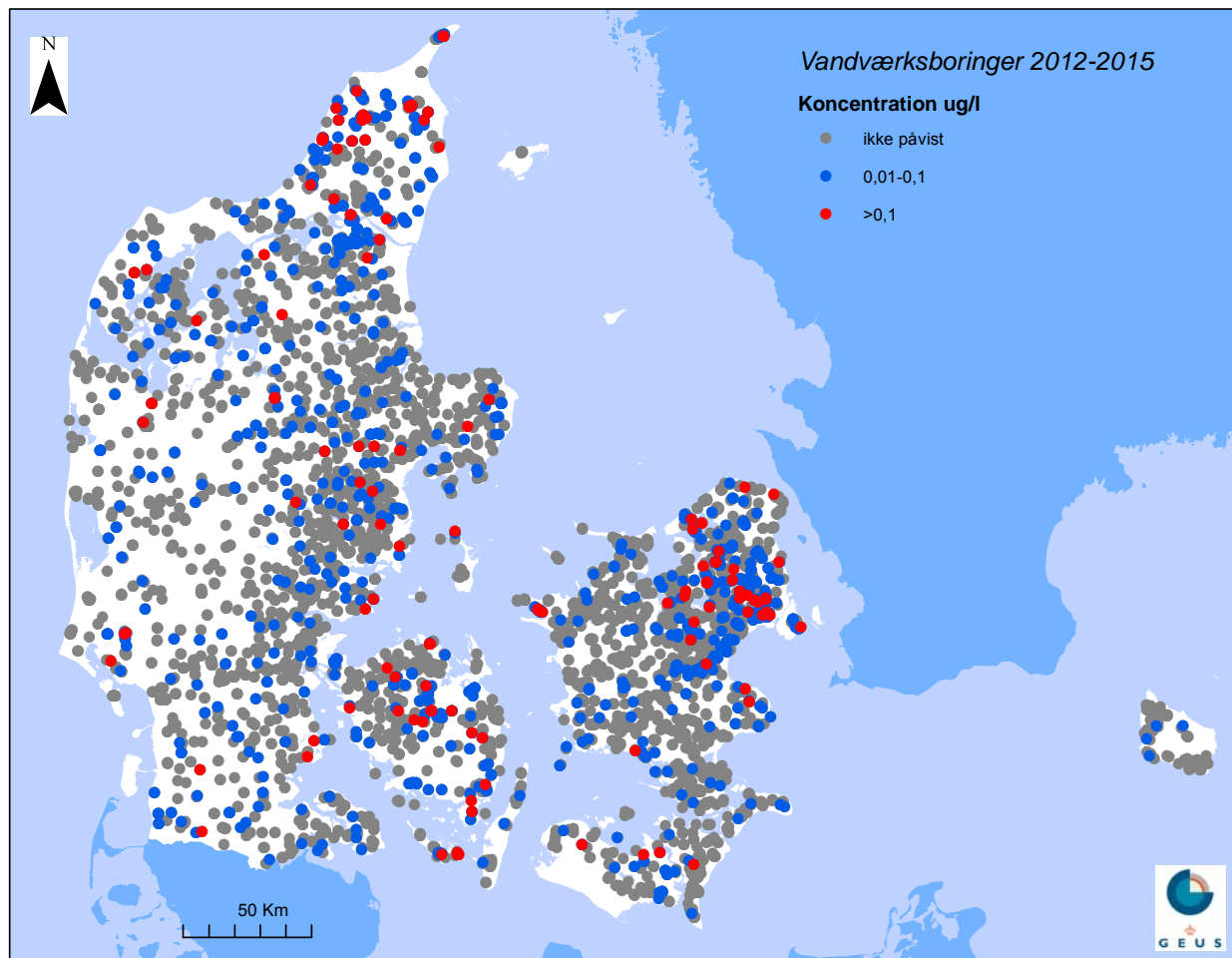
Figur 43 viser andelen af pesticidfund i 2015 i vandværksboringer mod dybden målt som afstanden fra terræn til toppen af aktive bornings indtag. Antallet af undersøgte indtag i intervallet 0 til 10 m u.t. og 80-90 m u.t. er lavt, og derfor har opgørelserne for disse dybder en større statistisk usikkerhed. Det store fald i andelen af indtag med fund i 0-10 m u.t. sammenlignet med opgørelsen for 2014 (49 % med fund) skyldes derfor nærmere statistisk usikkerhed end et stort fald i pesticidforekomsten i det øverste grundvand. Det ses af tabellen under Figur 43, at de fleste undersøgte boringer havde top af indtag mellem 20 og 50 m u.t., se også Figur 6. I 2015 blev der påvist pesticider i 28 % af boringerne i dette interval, heraf 4,1 % over kravværdien.



Figur 43. Boringskontrollen. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer, der var aktive i 2015. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af filteret.

Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 44 viser den geografiske fordeling af grundvandets pesticidindhold i aktive vandværksboringer i perioden 2012-2015, hvor det obligatoriske analyseprogram har været nogenlunde ensartet. Der foreligger ikke koordinater for alle aktive boringer, og kortene viser derfor ikke alle undersøgte boringer. Kortet viser, at der i hovedstadsområdet findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter (fortrinsvis BAM fra det forbudte aktivstof dichlobenil), men også, at der er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i lerede områder i den østlige del af Danmark, hvor der også findes den største befolkningstæthed (Brüsch og Villholt, 2011). Dybe indtag kan vise vand, som er infiltreret mange km fra boringerne, de fundne koncentrationer skyldes derfor ikke nødvendigvis anvendelse af pesticider præcis ved boringerne. I bilag 13 kan man se et kort for hver af de tre koncentrationsintervaller, således alle data i hvert koncentrationsinterval for sig er anskueliggjort.



Figur 44. Boringskontrollen. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i 5264 aktive vandværksboringer i fireårsperioden 2012-2015. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist. Fireårsperioden er valgt, da det obligatoriske analyseprogram har været nogenlunde ensartet i denne periode. De højeste koncentrationer er udtegnet sidst.

8.3 GRUMO og boringskontrol: sammenligning af de hyppigst fundne stoffer i de to overvågningsprogrammer.

Tabel 27 viser for året 2015 de 20 hyppigst fundne pesticider i GRUMO og vandværkernes boringskontrol. Tabel 28 viser til sammenligning hvilke 20 stoffer, der hyppigst er fundet over de sidste ca. 25 år. Stofferne er listet med faldende relativ hyppighed indenfor hvert program. Bilagene 4 og 5 viser opgørelser for alle stoffer i GRUMO med mindst 10 analyser, også stoffer uden fund. Tilsvarende viser bilagene 8 og 9 alle stoffer indrapporteret for vandværksboringer, der var aktive i 2015.

BAM var det hyppigst fundne stof i begge programmer. Det gælder både opgørelserne for 2015 og for de samlede opgørelser for de sidste 25 år.

Bentazon var det hyppigst fundne aktivstof, bortset fra GRUMO i 2015, hvor det var det andet hyppigste aktivstof. Man kan finde en grundig gennemgang af bentazons anvendelse, regulering og udvaskning i en orientering fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2013b).

Triazinernerne, og de tilhørende nedbrydningsprodukter, forekom med stor hyppighed relativt til størstedelen af de øvrige stoffer. DEIA blev fx fundet i 1,7 % af de undersøgte vandværksboringer i 2015 og i 13 % af indtagene i GRUMO. Dette svarer stort set til den samlede hyppighed i hele perioden, hvor DEIA

blev fundet mindst én gang i 1,6 % af de undersøgte vandværksboringer og 15 % af GRUMO indtagene. Metribuzin er et nu forbudt aktivstof i svampemidler til kartoffelplanter. I 2015 blev nedbrydningsproduktet metribuzin-desamino-diketo påvist i 4,2 % af indtagene i GRUMO og 1,2 % af de undersøgte vandværksboringer. Nedbrydningsprodukterne fra triaziner var generelt blandt de hyppigst fundne stoffer både i opgørelserne for 2015 og for hele monitoringsperioden.

Phenoxysyre-herbiciderne mechlorprop og dichlorprop var blandt de hyppigst fundne pesticider i de undersøgte indtag/boringer i hele perioden, mens de i 2015 var mindre udbredte i både GRUMO og aktive vandværksboringer.

Metalaxyl-M. To nedbrydningsprodukter fra metalaxyl-M (CGA 108906 og CGA 62826) er blandt de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol, selvom stofferne kun har indgået i den obligatoriske analysepakke siden 1. april 2014. Det hyppigste er CGA 108906 som blev påvist i 1,6 % af de undersøgte vandværksboringer, heraf 0,4 % over kravværdien. Datagrundlaget for disse stoffer i GRUMO er yderst sparsomt.

Azoxystrobin er ikke er omfattet af den obligatoriske analysepakke på hverken GRUMO eller vandværkerne, se Tabel 17 og Tabel 23, men er alligevel analyseret i ca. 200 vandværksboringer de sidste par år. Stoffet er forholdsvist nyt i Danmark, og pga. det lave antal boringer er stoffet ikke medtaget i Tabel 27. Azoxystrobin er på nuværende tidspunkt påvist i 2,0 % af de undersøgte vandværksboringer, dog i alle fire boringer under kravværdien.

Grundvandsovervågning 2015			Vandværksboringer 2015		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
Alle pesticider, samlet opgørelse	35,7	9,4	Alle pesticider, samlet opgørelse	27,2	3,6
BAM	16,7	4,7	BAM	19,9	2,2
DEIA	13,0	1,0	2C6MPP*	6,7	0,0
Atrazin, desisopropyl-	8,9	0,8	Bentazon	3,0	0,6
Atrazin, desethyl-	4,5	0,6	DEIA	1,7	0,0
Metribuzin-desamino-diketo	4,2	1,0	CGA 108906	1,6	0,1
Metribuzin-diketo	2,9	0,0	Dichlorprop	1,3	0,4
Didealkyl-hydroxy-atrazin	2,9	0,6	4-CPP	1,3	0,0
Atrazin	2,9	0,5	Metribuzin-desamino-diketo	1,2	0,0
Bentazon	2,3	0,6	Hexazinon	1,2	0,2
Dichlorprop	1,8	0,3	Mechlorprop	1,2	0,1
2,6-Dichlorbenzoesyre	1,6	0,0	2,6-Dichlorbenzoesyre	1,2	0,0
Mechlorprop	1,5	0,6	Atrazin, desethyl-	1,1	0,0
Hexazinon	1,3	0,2	2,6-DCPP	0,8	0,0
Simazin	1,3	0,0	CGA 62826	0,8	0,1
2,6-DCPP	1,0	0,2	Atrazin	0,7	0,0
AMPA	1,0	0,2	Atrazin, desisopropyl	0,6	0,0
PPU (IN70941)	1,0	0,0	Atrazin, hydroxy-	0,6	0,0
4-CPP	0,8	0,3	Glyphosat	0,5	0,1
Metribuzin	0,5	0,0	4-Nitrophenol	0,3	0,0
Glyphosat	0,3	0,0	Simazin, hydroxy	0,3	0,1

Tabel 27. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO indtag og vandværksboringer, der var aktive i 2015. Indtag/boringerne er opdelt i andel med mindst ét fund og indtag/boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). I tabellen indgår kun stoffer med mindst 10 analyser. * Kun analyseret i 15 boringer. Se også bilag 4 og 8.

Grundvandsovervågning 1990-2015			Vandværksboringer 1992-2015		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
Alle pesticider, samlet opgørelse	49,5	18,3	Alle pesticider, samlet opgørelse	28,5	5,3
BAM	20,3	7,8	BAM	19,7	3,7
DEIA	14,8	3,5	Bentazon	3,3	0,5
Atrazin, desisopropyl-	11,1	1,7	Mechlorprop	2,4	0,2
4-Nitrophenol	8,2	0,6	Dichlorprop	2,1	0,2
Didealkyl-hydroxy-atrazin	7,9	1,4	Azoxystrobin*	2,0	0,0
Atrazin, desethyl-	7,3	1,4	Atrazin	1,9	0,1
Bentazon	6,8	1,9	Atrazin, desethyl-	1,7	0,1
Glyphosat	6,2	1,3	Hexazinon	1,7	0,2
Atrazin	5,3	1,1	DEIA	1,6	0,1
Metribuzin-desamino-diketo	5,2	1,7	CGA108906	1,6	0,4
Trichloreddikesyre	4,6	1,1	Atrazin, desisopropyl	1,5	0,0
Dichlorprop	4,5	1,3	4-CPP	1,2	0,1
AMPA	4,4	1,1	2,6-Dichlorbenzoesyre	1,1	0,0
Mechlorprop	3,8	1,0	Simazin	0,9	0,0
Metribuzin-diketo	3,6	1,2	Metribuzin-desamino-diketo	0,9	0,0
Deisopropyl-hydroxyatrazin	3,6	0,2	MCPA	0,8	0,1
2,6-Dichlorbenzoesyre	2,8	0,3	Dichlobenil	0,7	0,0
Simazin	2,7	0,4	2C6MPP**	0,7	0,0
4-CPP	2,4	0,8	4-Nitrophenol	0,7	0,0
Ethylenthiourea	2,3	0,3	Atrazin, hydroxy-	0,6	0,1

Tabel 28. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO indtag (1990-2015) og aktive vandværksboringer (1992-2015). Indtag/boringerne er opdelt i andel med mindst ét fund og boringer/indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). I tabellen indgår kun stoffer med mere end 200 analyser. * Kun analyseret i 199 boringer. **Kun analyseret i 143 boringer. Se også bilag 5 og 9.

Referencer: Pesticider

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet 2011, BEK nr. 1024 af 31/10/2011, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

Miljøministeriet 2014, BEK nr. 292 af 26/03/2014, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

Miljø- og Fødevareministeriet 2015d: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 1310 af 25/11/2015.

Miljø og Fødevareministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016. (gældende drikkevandsbekendtgørelse).

Miljø og Fødevareministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljøstyrelsen, 2014a: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.

Miljøstyrelsen, 2013b: Bentazon, anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.

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)

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 2000/60/EF (Analysekvalitetsdirektivet)

Andre referencer

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

Links

Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (27-9-2016)

9 Vandindvinding

Sammenfatning og konklusion

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) har en svagt faldende tendens i perioden 1990-2006 fra ca. 700 mio. m³/år til ca. 500 mio. m³/år. Den samlede oppumpede vandmængde (uden markvanding) for 2015 er opgjort til 463 mio. m³/år. På grund af manglende indberetninger, kan den seneste værdi for den samlede oppumpning dog være større og faldet i oppumpningen derfor potentielt være mindre.

Indvinding af grundvand til erhvervsvanding (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år. I 2015 var denne del af indvindingen på 269 mio. m³, hvilket svarer til 40 % af den samlede grundvandsindvinding for dette år, mens den i 2003 blot var på 123 mio. m³, svarende til ca. 20 %.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding har en svagt faldende tendens i perioden 1990-2013 fra ca. 60 mio. m³/år til ca. 40 mio. m³/år. Indberetningerne for 2015 er opgjort til 37 mio. m³.

Indvindingen af overfladevand er i størrelsesorden 10 mio. m³/år, hvilket blot udgør 2 % af den samlede indvinding uden markvanding. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

I alt er der i 2015 indberettet indvindinger på 668 mio. m³, når markvandingen medregnes.

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse og er uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandplanarbejdet. For at muliggøre en optimal vurdering af udnyttelsesgraden af 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, jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016a).

Indledning

Drikkevandsforsyningen i Danmark er udelukkende baseret på oppumpning af grundvand. Kun på Christiansø sker forsyningen via afsaltning af havvand suppleret med oppumpning af grundvand. Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral struktur med godt 2600 almene vandværker (jf. indberetningerne af oppumpede vandmængder), hvoraf ca. 330 er offentligt ejede (Sørensen, 2013). De offentligt ejede forsyninger står for ca. 55 % af indvindingen, mens de privat ejede står for ca. 45 %. Derudover indvindes der fra en række lokale vandforsyninger til institutioner og enkeltvandforsyninger, som hver forsyner 2-9 husstande. Endelig er der i Danmark registreret ca. 50.000 anlæg i JUPITER, som er angivet med formålet "egen vandforsyning til enkelthusholdninger", hvoraf ca. 1.600 anlæg med indberettet vandindvinding mindst en gang siden 1989. For 2015 er der indberettet vandindvinding på ca. 300 af disse anlæg.

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 grundvand til en lang række forskellige formål inden for industri, institutioner, gartneri og dambrug. Den største enkelte indvinding af overfladevand, der udpumpes med drikkevandskvalitet finder sted ved Kalundborg Forsyning, der indvinder små 4 mio. m³ til lokale virksomheder.

Med det stigende fokus på klimaets betydning for den fremtidige vandindvinding er det af hensyn til forsyningssikkerheden og miljøpåvirkninger væsentligt, at man kender mængden og udviklingen af de vandmængder, der årligt oppumpes. Det skyldes, at grundvand 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. Derved kan der blive behov for en ny afvejning af de tilladte oppumpede vandmængder i forhold til behovet for vandføring i vandløb, vandstanden i moser, 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 på såvel lokal, regional som på national skala.

Målsætning

I Miljømålsloven (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016c og Miljø- og Fødevareministeriet, 2015a) 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 (Vandområdeplanernes 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. Den miljømæssige påvirkning af den samlede indvinding i hvert hovedopland vurderes i Vandområdeplanerne hvert 6. år (Vandområdeplanernes hjemmeside).

Datagrundlag

En række kommuner har de forløbne år rettet ældre, fejlbehæftede data. Der har især været tale om at nedkorrigere for store indberetninger. Dette betyder, at data i Tabel 29 fra tidligere år ikke vil være helt identiske med tidligere rapporterede data fx (Thorling mfl., 2015).

Ni kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2015 inden tidsfristen 1. april 2016. Det er ikke usædvanligt med manglende indberetninger indenfor tidsfristen, og da det sjældent er de samme kommuner, der mangler indberetninger af indvindinger fra år til år, laves der til denne rapport en vurdering af manglende indberetning på baggrund af de samme kommuners indberetninger de foregående år. Samlet set vurderes der på denne baggrund at mangle indberetning af omkring 26 mio. m³ for 2016, hvilket er på niveau med de seneste år.

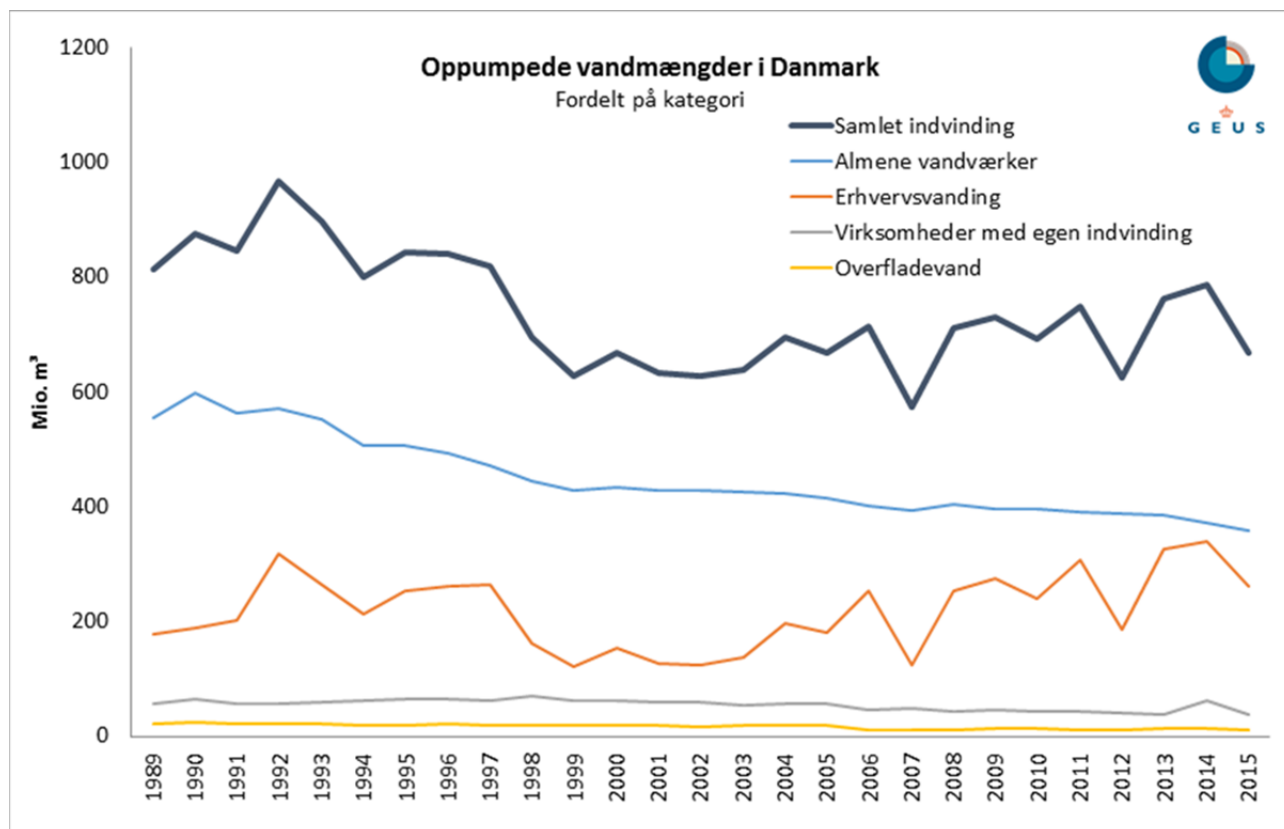
Til denne rapportering er der udført en manuel justering af niveauet i forhold til de indberettede data, som følge af udeladelse af enkelte indberetninger med væsentlige afvigelser fra normalen. Fx er der justeret på en konkret erhvervsvandingsindberetning for 2014 på 85,8 mio. m³ mod normalt 3.000-6.000 m³.

9.1 Tilstand og udvikling

Indvindingen fordelt på kategorier

Figur 45 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier for perioden 1989-2015. Kategorierne er:

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



Figur 45. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2015 opdelt på almene vandværker, erhvervs vand, industri og overfladevand. Med en fed blå linje er den samlede indberettede oppumpning vist. Bemærk, hvorledes den varierer med markvandingen.

Tabel 29 viser de data, der ligger til grund for Figur 45. For kategorien almene vandværker ses et fald i oppumpede vandmængder gennem 90'erne fra godt 600 mio. m³ til et niveau omkring 400 mio. m³. De sidste ca. 15 år har de oppumpede vandmængder til kategorien almene vandværker ligget på nogenlunde konstant niveau, med en svagt faldende tendens. Indvindingen af overfladevand på 10 mio. m³ er vanskelig at erkende i figuren og er ikke meget forskellig fra de foregående år. For hele perioden er dambrug medtaget i opgørelsen med maksimalt 1 mio. m³/år. Indberetningerne fra dambrug vurderes at være behæftet med stor usikkerhed, og den varierer betydeligt fra år til år. For de sidste 10 år er forskellen på største og mindste overfladevandsindvinding til dambrug opgjort til 224 mio. m³. Overordnet antages det, at dambrugenes anvendelse af overfladevandet ikke ændrer nævneværdigt på vandbalancen eller på vandføringen i vandløbene, idet vandet ledes tilbage til vandløbet efter gennemløb i dambruget.

I alt er der i 2015 indberettet indvindinger på 668 mio. m³, når markvandingen medregnes.

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "Erhvervs vand") er for 2015 opgjort til 262 mio. m³/år, hvilket ligger over medianen (210 mio. m³/år) for hele perioden. Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding udviser en svagt faldende tendens fra 1989 til 2013, og tilsyneladende ses en stigning i forbruget for 2014, mens indvindingen for 2015 er tilbage på niveauet for 2013.

Det skal bemærkes at specielt tallene for 2015 er behæftet med nogen usikkerhed som følge af manglende indberetninger. En gennemgang af de årlige GRUMO opgørelserne viser, at også tallene de seneste 5-10 år, specielt for kategorien almene vandværker, vil være behæftet med nogen om end mindre usikkerhed.

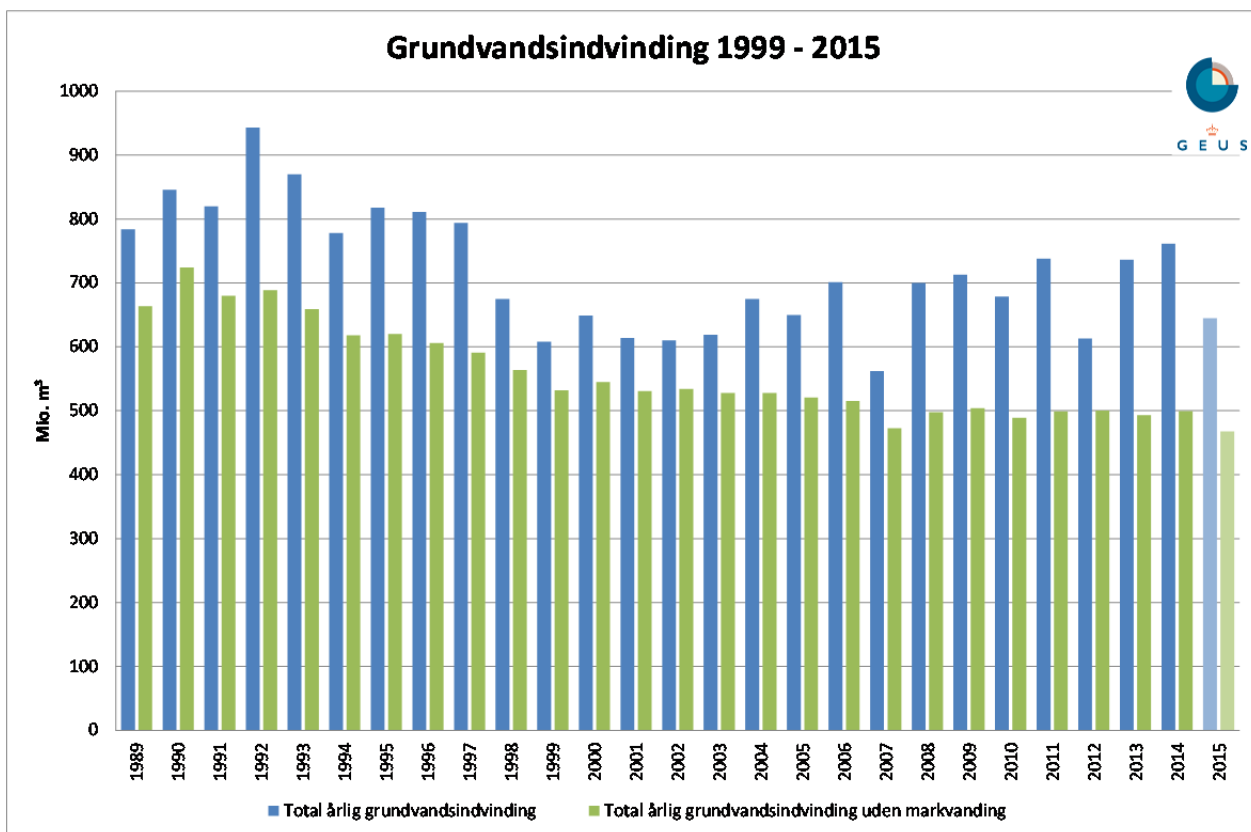
<i>Årstal</i>	<i>Almene vandværker</i>	<i>Erhvervsvanding</i>	<i>Virksomheder med egen indvinding</i>	<i>Overfladevand</i>
	Mio. m³/år	Mio. m³/år	Mio. m³/år	Mio. m³/år
1989	555	177	57	23
1990	598	188	65	25
1991	564	202	58	22
1992	570	318	58	22
1993	552	265	59	21
1994	506	213	62	18
1995	506	253	64	19
1996	492	261	64	23
1997	471	265	62	20
1998	445	162	69	18
1999	427	122	61	18
2000	434	154	61	19
2001	429	126	59	18
2002	427	123	60	17
2003	426	138	55	18
2004	423	196	56	20
2005	414	180	56	18
2006	401	254	46	12
2007	392	123	48	12
2008	403	254	44	11
2009	395	275	45	14
2010	397	239	44	13
2011	390	306	43	11
2012	387	187	40	10
2013	384	325	39	14
2014	372	340	61	14
2015	359	262	37	10

Tabel 29. Oppumpede vandvandsmængder i Danmark fordelt på fire kategorier i mio. m³/år. Bemærk: kommunerne har i nogle tilfælde opdateret ældre data siden sidste rapportering (Thorling mfl., 2015). Dertil kommer, at enkelte helt usandsynlige data er justeret i forhold til det indberettede.

Samlet status og udvikling

Figur 46 viser de totale oppumpede vandmængder for perioden 1989-2015 med blå søjler, mens de grønne søjler viser de totale oppumpede vandmængder uden markvanding.

Udviklingen i de oppumpede vandmængder i Danmark (uden markvanding) viser en svagt faldende tendens. Fra 1990 og frem til og med 1999 oppumpes der mindre og mindre grundvand, mens der fra 1999 og frem er en relativ konstant oppumpning, dog med en svag om end generelt faldende tendens. Fra 2008 og frem til 2014 er forskellen på største og mindste oppumpning opgjort uden markvanding på 15 mio. m³. Markvandingen udgør 25-30 % af de samlede oppumpede vandmængder i Danmark. Hvis den medregnes i den samlede indvinding slører den eventuelle udviklingstendenser betinget af konjunkturer og miljøpolitiske tiltag.



Figur 46. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2014) baseret på indberettede data. Data fra 2015 vurderes at være ukomplette.

Der er som nævnt usikkerhed på 2015 data, og de er derfor vist med nedtonede farver i Figur 46. Det er ikke umiddelbart muligt for GEUS at afgøre, om der er nogen systematiske fejl i indberetningen fra kommunerne, der giver et skævt billede af udviklingen i vandindvindingen til almen vandforsyning.

GEUS har i to rapporter gennemført en analyse af de indberettede data for markvanding for perioden 1990-2012 (Henriksen m.fl., 2014 og 2015). Analysen viser, at der er betydelige variationer i kvaliteten af dataindberetningen fra kommune til kommune, specielt i den første del af perioden samt i perioden omkring kommunalreformen (2006-2008).

Uanset problemer med indberetningskvaliteten er markvandingen naturligt stærkt varierende primært som følge af variationer i vejret. Det fremgår bl.a., at 2007 var et år med særligt lavt forbrug af vand til markvandingsformål. Beregninger (Hvid, 2011, se også Thorling m.fl., 2011) viser imidlertid, at der var et markant mindre vandingsbehov i 2007 end årene før og efter. Beregningerne illustrerer, at vandingsbehovet kan variere med adskillige hundrede procent fra år til år og i nogle år udgøre meget betragtelige andele af oppumpningen på såvel lokal som national skala.

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

Referencer: Vandindvinding

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

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

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015a: BEK nr.1070 af 09/09/2015: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvand og grundvand.

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015c: Lov vandforsyning mv. LBK nr. 1584 af 10/12/2015 (Vandforsyningsloven)

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen,

<http://www.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalens%20bilag%203%20om%20grundvand%20-%20revideret%20marts%202015.%20PDF.pdf> (22-09-2016)

Andre referencer:

Henriksen, H., Rasmussen, J. Olsen, M, He, X, Jørgensen, LF & Troldborg, L, 2014, Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding, GEUS rapport 2014/74. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx>

Henriksen, H., Stisen, S, Troldborg, L, He, X & Jørgensen, LF. 2015,Analyse af øget indvinding til markvanding, GEUS rapport 2015/29. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Analyse-oeget-markvanding.aspx>

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

Sørensen, B.L., 2013: Hvor mange vandværker er der i Danmark og hvor meget grundvand indvinder de? Foredrag på Dansk Vand Konference 19. nov. 2013, Århus.

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 (22-9-16)

Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Troldborg, L. 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. . <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/g-o-2014.pdf> (22-9-16)

Links:

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://svana.dk/vand/vandomraadeplaner/> (04.10.2016)

10 Det Nationale Pejleprogram

Sammenfatning og konklusion

På baggrund af de 148 pejlestationer, som udgjorde Det Nationale Pejleprogram i 2015, overvåges grundvandsstanden over hele landet i indtag med forskellige dybder.

Stationsnettet bliver i indeværende programperiode revideret og udbygget, således at stationsnettet fremover bedre kan repræsentere og dække relevante grundvandsforekomster og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet (EU, 2000).

De seneste 100 år har nedbørsmængderne i Danmark været stigende, hvilket må forventes at afspejles i grundvandsstanden; dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige årlige nedbør er steget med 4,4 % fra 712 mm i perioden 1961-1990 til 745 mm i 1991-2015, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år.

GEUS har vurderet fem lange pejleserier i terrænnære indtag, der vurderes at være repræsentative for forskellige dele af landet. Herudfra er noteret følgende tendenser:

- Året 2015: Vandstanden i 2015 ligger hen over året for hovedparten af de udvalgte pejleserier højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1990 og 1991-2014, se også Figur 54.
- Langsigtet udvikling: Flere, men ikke alle lange pejletidsserier, viser en svag stigning i grundvandsstand, i overensstemmelse med en generelt stigende nedbør.
- Årsvariation: Tidsserierne viser årsvariationer i grundvandsstanden på op til 6 m.
- Påvirkning fra den stigende nedbør siden 2000: Viser sig som et op til 1-2 m højere beliggende vandspejl.
- Påvirkning fra tørre perioder: I den observerede periode har der været to nedbørsfattige hændelser i henholdsvis 1975-76 og 1996. Disse tørre perioder slår i flere tidsserier tydeligst igennem i de følgende 3-4 år for de regionale og dybe grundvandsforekomster, hvor grundvandsstanden falder op til 3 m og/eller ikke - som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.

SVANA og GEUS har haft og vil fortsat have fokus på datakvalitet og søge at strømlinje procedurer for indberetning og kvalitetskontrol for fremadrettet at få bedre udnyttelse af de indsamlede pejledata, blandt andet gennem en ny teknisk anvisning for dataarbejdet (Thorling m.fl., 2014).

Indledning

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

Målsætning og relevans

Vandrammedirektivet (EU, 2000) foreskriver, at der skal være en overvågning af grundvandsstanden i tilknytning til vandplanarbejdet. "Overvågningsnettet udformes således, at det giver en pålidelig vurdering af den kvantitative tilstand for alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster, herunder vurdering af den tilgængelige grundvandsressource."

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 enge, moser, vandløb og søer mv. Derudover anvendes pejledata i forbindelse med risikovurderinger og planlægningsformål for fx oversvømmelser i bebyggede områder.

Datagrundlag

I 2015 indgik i alt 148 pejlestationer/indtag i Det Nationale Pejleprogram, se Figur 1. Beliggenheden af grundvandsstanden registreres dagligt i de fuldt udbyggede overvågningspunkter med dataloggere, som dagligt registrerer grundvandsstanden. Tidligere - før dataloggerens tid - er vandstanden registreret manuelt og færre gange, hvilket i bedste fald er 1 gang månedligt. Det vil sige, at serierne fra denne periode udgøres af betydeligt færre datapunkter.

Kvalitetsvurdering af pejletidsserier

Det er en udfordring at fastholde en ensartet og sammenlignelig indsamling af data til pejletidsserier i hele overvågningsperioden. Måleaktiviteterne og pejlingerne finder sted gennem mange årtier og kvaliteten af de indsamlede data er meget følsomme over for ændringer i fx målepunkter, personale og måleteknologier.

Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejlenet har et forløb, der indikerer, at fejl i data er opstået ved fx 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 ny-indmåling af målepunktet).

Det er ikke altid muligt at korrigere fejlene i de ældre pejletidsserier, fordi dokumentationen i de oprindelige målebøger, lokaliseringsskemaer og målepunkter ikke bliver gemt.

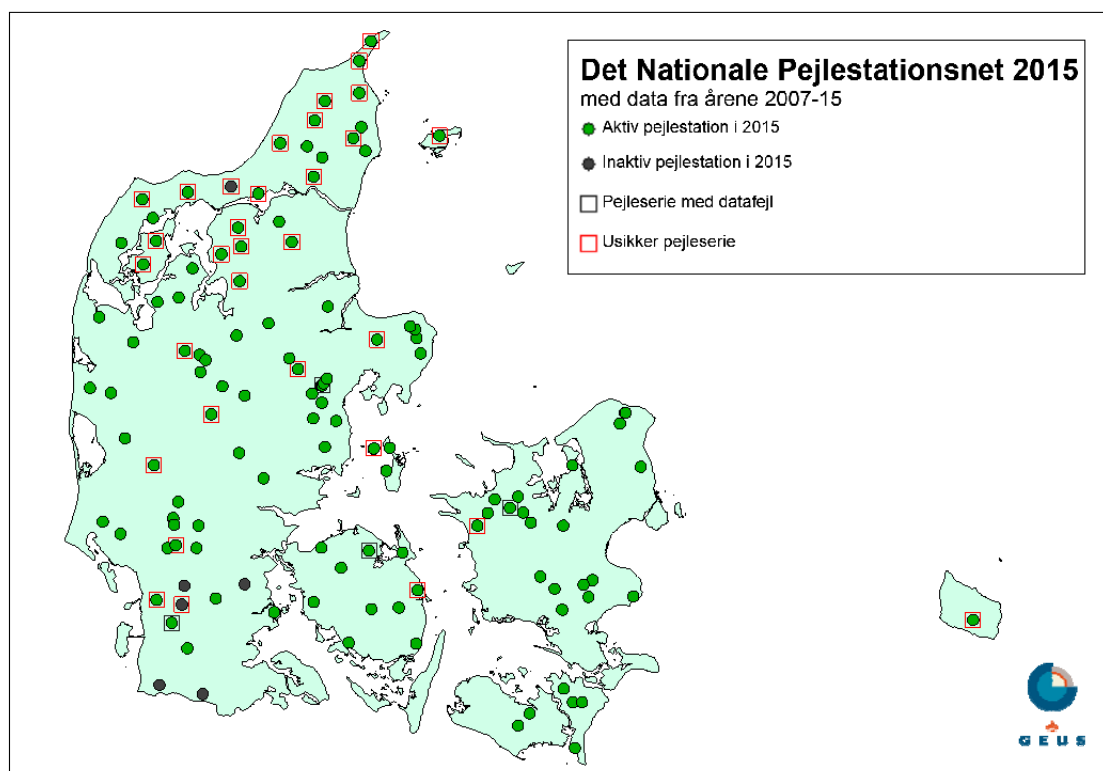
I indeværende programperiode er der fortsat fokus på, at fejl og mangler udbedres. De tekniske anvisninger for indsamling af pejledata i felten og håndtering af data efterfølgende, skulle gerne forbedre datakvaliteten fremover (Thorling, 2012a og Thorling, 2014), men kan naturligvis ikke udbedre alle fortidens fejl i data.

I de senere år er der i forbindelse med afrapporteringen optegnet tidsserier af samtlige pejleserier. På grundlag heraf er der gennemført en visuel kontrol af, om der er åbenbare datafejl, der bør rettes op, og om tidsserien er konsistent. I den visuelle vurdering af kvaliteten er en pejleserie klassificeret som "usikker", hvis serien indeholder spring eller "outliers", som gør, at der ikke direkte kan estimeres en retvisende udvikling, eller "med datafejl", hvis serien indeholder enkelte meningsforstyrrende datapunkter.

I denne rapport er kvaliteten af pejleserierne vurderet for tre perioder:

- pejledata målt i perioden 2007-2015,
- pejledata målt i en væsentlig del af overvågningsperioden fra før år 2000
- lange pejleserier, hvor der indgår pejledata fra før år 1980.

Figur 47 til Figur 49 viser den geografiske fordeling af stationerne og kvalitetsvurderingen heraf. Flere detaljer fremgår af bilag 11.

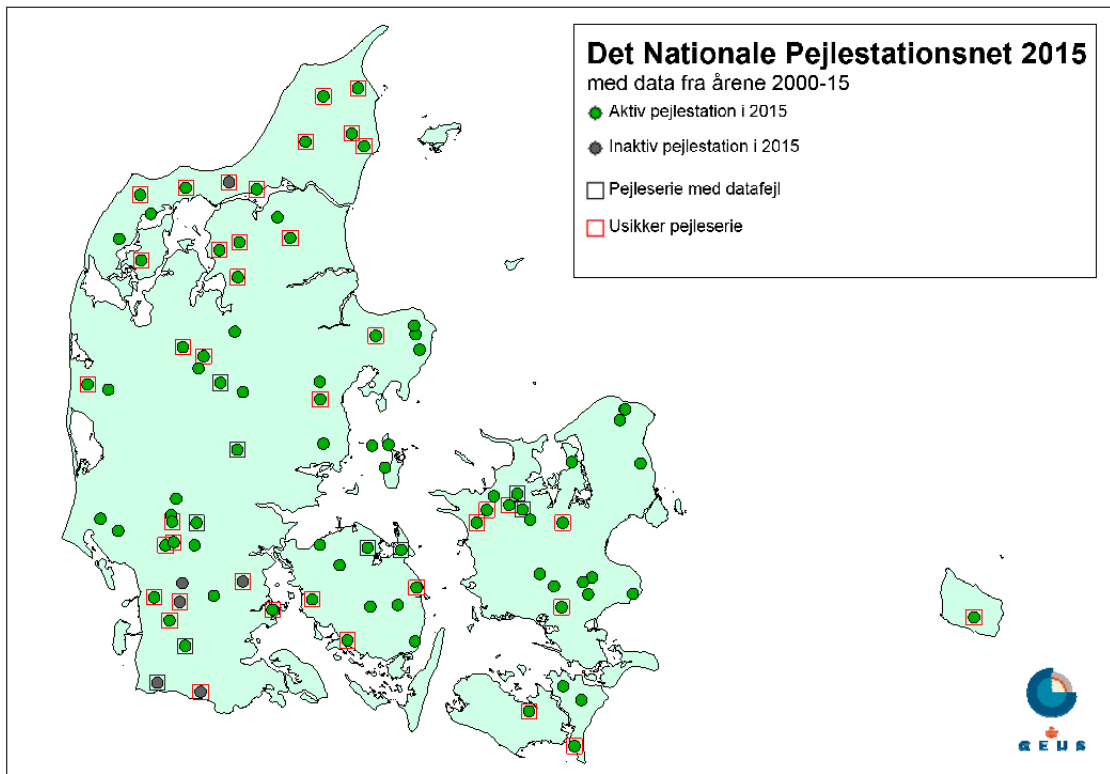


Figur 47. Det Nationale Pejleprogram. Tidsserier fra 2007-2015 er angivet med aktuell status for aktive og inaktive stationer i 2015. Signaturer med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.

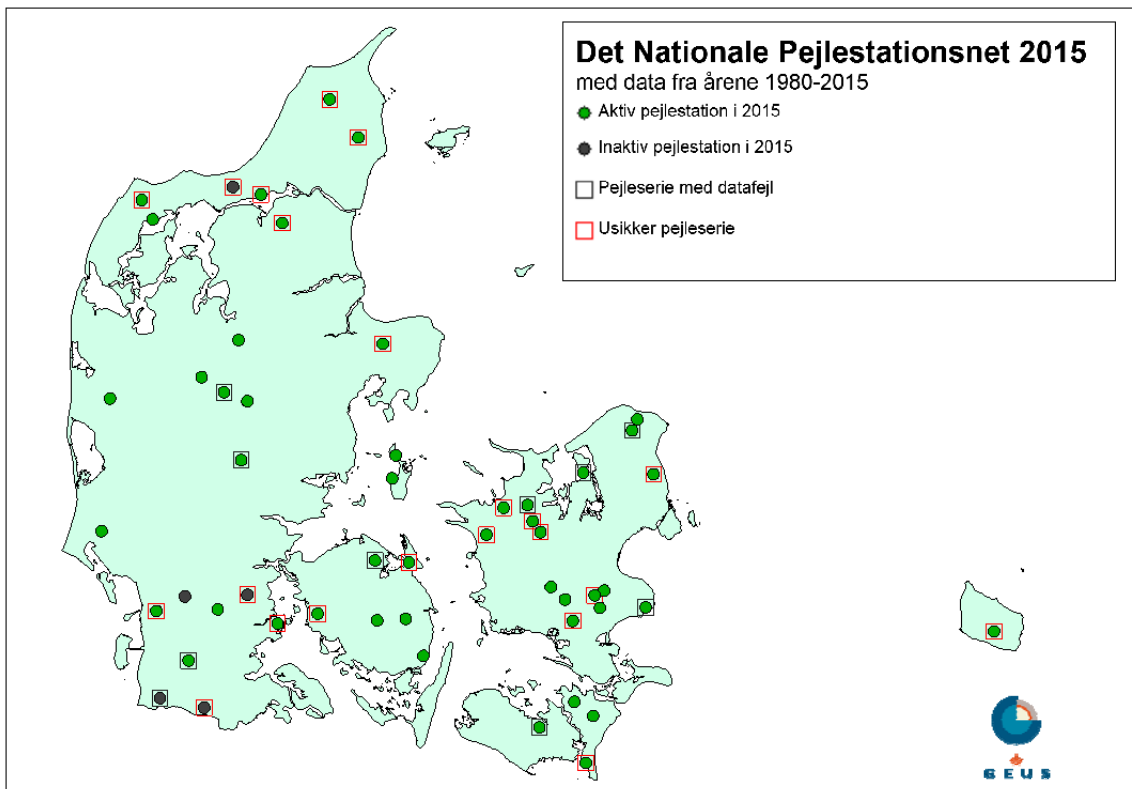
Af vurderingen fremgår, at:

- 139 af de 148 pejlestationer indeholder målinger i 2015. Det er en lille reduktion i forhold til antallet i det foregående år.
- Der findes 133 pejleserier i perioden 2007-2015, og af disse vurderes 96 af høj kvalitet, svarende til 72 %
- Der findes 95 pejleserier med målinger før år 2000, og af disse vurderes 45 af høj kvalitet, svarende til godt 47 %
- Der findes 52 pejleserier med målinger før år 1980, og af disse vurderes 20 af høj kvalitet, svarende til godt 38 %.

I forhold til år 2014 spores der en lille fremgang i pejleserier med høj kvalitet (jf. ovenstående definition).



Figur 48. Det Nationale Pejleprogram. Tidsserier med peyledata i perioden 2000-2015 er angivet med aktive og inaktive stationer i 2015. Signaturerne med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.



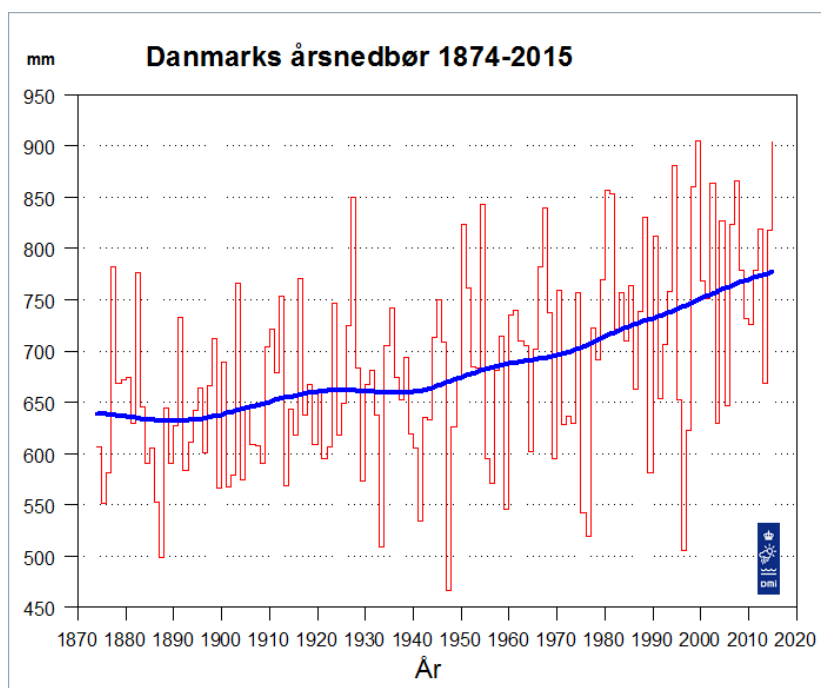
Figur 49. Det Nationale Pejleprogram. Tidsserier med peyledata siden 1980 er opdelt i aktive og inaktive stationer i 2015. Signaturerne med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.

Nedbørens betydning

Af DMI's hjemmeside (DMI, 2016) fremgår, at den gennemsnitlige årlige nedbør de sidste ca. 20 år i det centrale Jylland er over 900 mm, mens den over Kattegat og Bornholm er blot ca. 500 mm. Figur 50 viser, at nedbørsmængden i Danmark har været stigende de sidste 100 år. Den gennemsnitlige årsnedbør for klimanormalperioden 1961-1990 er beregnet til 712 mm. I perioden fra 1990-2015 har årsnedbøren ligget omkring 745 mm, dvs. der har været en stigning på 33 mm svarende til 4,4 %. Temperaturen og antallet af solskinstimer er ligeledes steget i perioden.

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 (især om vinteren), og noget fordamper som følge af højere temperaturer (især om sommeren), hvorfor kun en del af nedbøren siver ned til grundvandet, som nettonedbør, se kapitel 4, Figur 10.

Stigningen i grundvandsstanden som følge af 100 mm ekstra årsnedbør kan skønsmæssigt beregnes til 0,3 m, forudsat at der er en porøsitet på 30 % i sedimentet. En sådan stigning vil typisk forekomme, hvor der er frie magasiner i nedslivningsområderne. 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 forekommer dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.



Figur 50. Danmarks årsnedbør siden 1874. Landsgennemsnit beregnet på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er ni års Gaussfilterede værdier (DMI's hjemmeside, 2016).

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.

På trods af den generelt stigende årlige nedbør har der også været to markante nedbørfattige hændelser siden pejleserierne påbegyndtes, hvor årsnedbøren var under 2/3 af det normale, nemlig i 1975-1976 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 pejletidsserier udvikler sig og reagerer over tid. I de viste tidsserier over grundvandsstanden er det relevant at kigge ef-

ter den landsdækkende konsekvens af stigende nedbør generelt og efter år 2000, og den landsdækkende konsekvens af de ekstremt tørre perioder i 1975-1976 og i 1996.

Betydning af vandindvinding

Udviklingen i vandindvindingen er beskrevet kapitel 9. Det generelle fald i den samlede indvinding må 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., 2012) vist, at der er en tydelig påvirkning af grundvandsstanden fra vandindvinding i en pejleboring på Sjælland. Denne pejleboring er oprindeligt etableret af et af de større vandselskaber, og forløbet af vandspejlet er et tydeligt eksempel på hvorledes ændringer i vandforbrug afspejles i grundvandsspejlets beliggenhed. Pejlingerne reflekterer således stigningen af det danske vandforbrug fra starten af 1970'erne hvor vandspejlet faldt, frem til det efterfølgende faldende forbrug i 1990'erne - hvor øget miljøbevidsthed og indførelse af vandafgifter ændrede forbruget og vandspejlet atter steg.

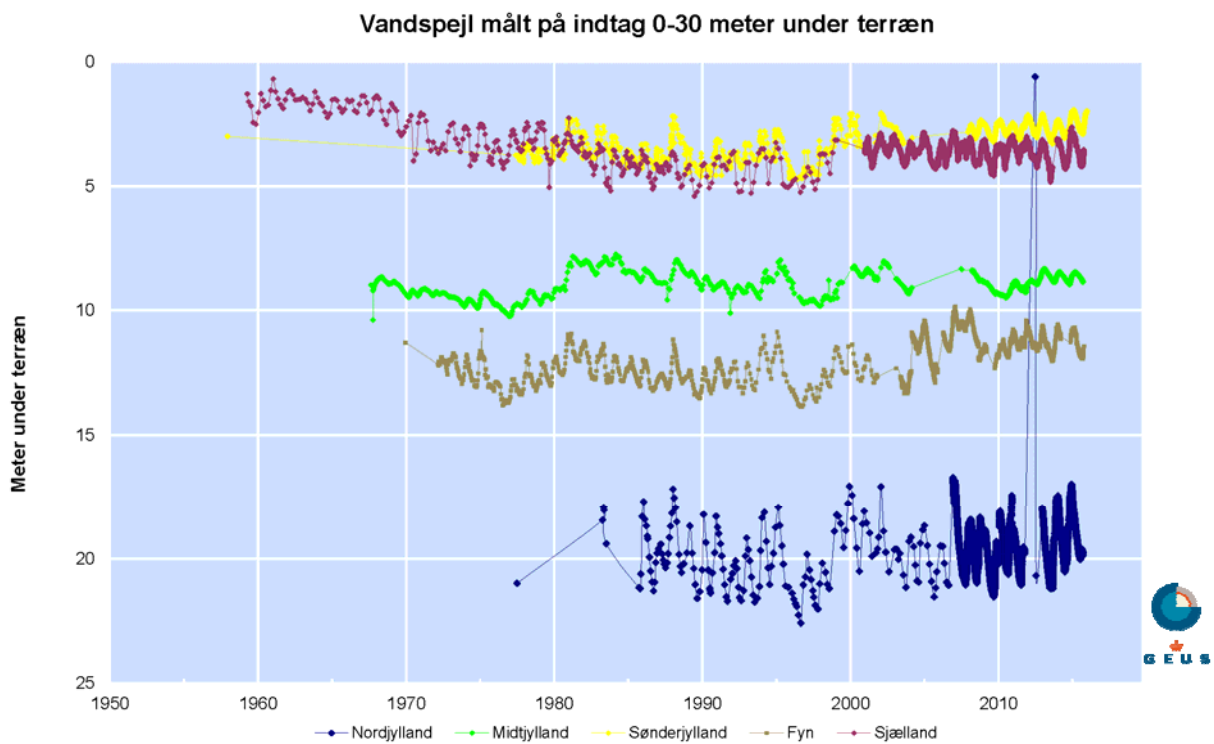
10.1 Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag

På baggrund af analysen af pejleseriernes kvalitet er der udpeget repræsentative tidsserier for terrænnære indtag. Udviklingen i grundvandspejlets beliggenhed i boringer med relativt terrænnære indtag (0-30 m u.t.) er præsenteret ved følgende fem pejleserier:

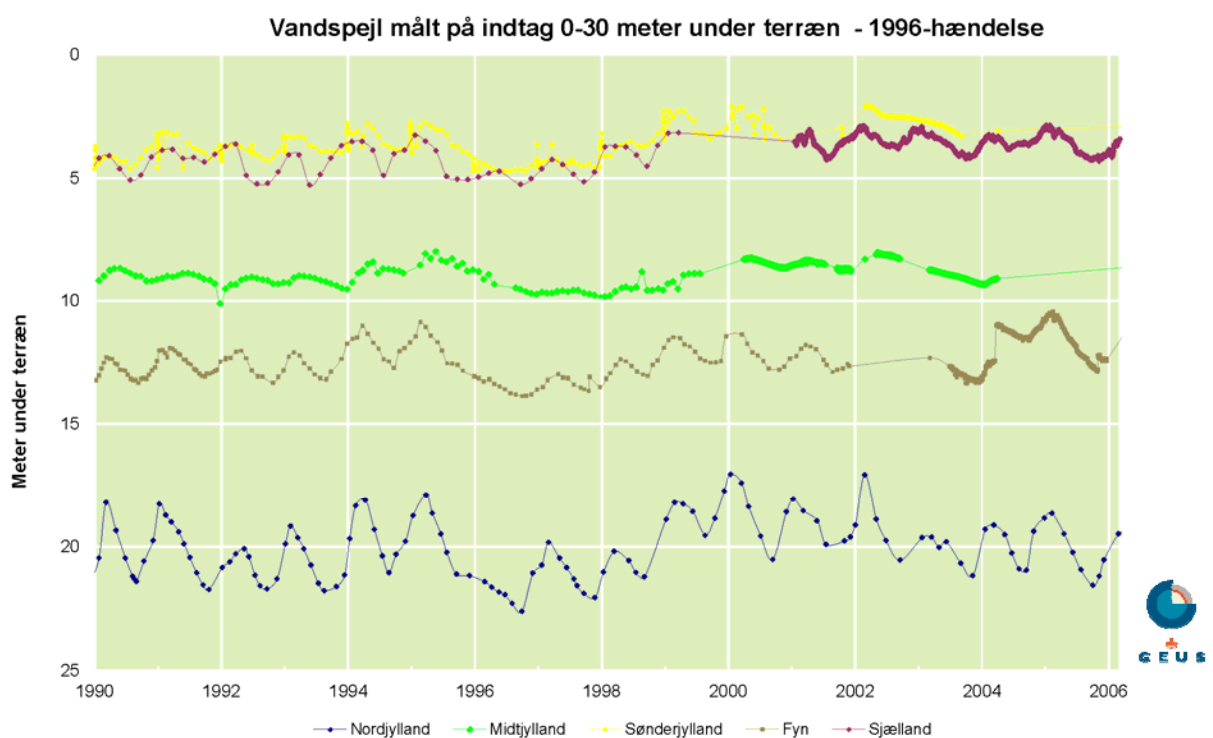
- Nordjylland DGU nr. 22.368 indtag 1 (Kalk/kridt, frit magasin).
- Midtjylland DGU nr. 76.853 indtag 1 (Kvartært sand, frit magasin).
- Sønderjylland DGU nr. 166.485 indtag 1 (Sand, frit magasin)
- Fyn DGU nr. 155.184 indtag 1 (Sand, spændt magasin)
- Sjælland DGU nr. 216.272 indtag 1 (Kalk/kridt, spændt magasin).

Figur 51 viser pejleserier for perioden 1950-2015. De viste pejleserier er målt i såvel kvartære som prækvartære magasiner. Grundvandsstanden ligger ned til 22 m u.t. Det fynske og sjællandske indtag er sat i spændte magasiner.

Figur 52 indeholder et udsnit af pejleserierne (måleperiode 1990-2006), der illustrerer effekten af tørkeperioden i 1996.



Figur 51. Pejletidsserier (vandstand m u. t.) for terrænnære indtag, top af indtag 0- 30 m u.t.



Figur 52. Pejletidsserier (vandstand m u. t.) for 5 terrænnære indtag. Figuren er et udsnit (1990-2006) af Figur 51 og fremhæver påvirkningen fra den tørre periode i 1996.

Disse pejletidsserier anvendes i det efterfølgende til at vurdere tendenser i udviklingen af grundvandsstanden samt størrelsesordener på konsekvenser af påvirkninger fra klimaudvikling, større vejrmæssige hændelser og udefrakommende faktorer:

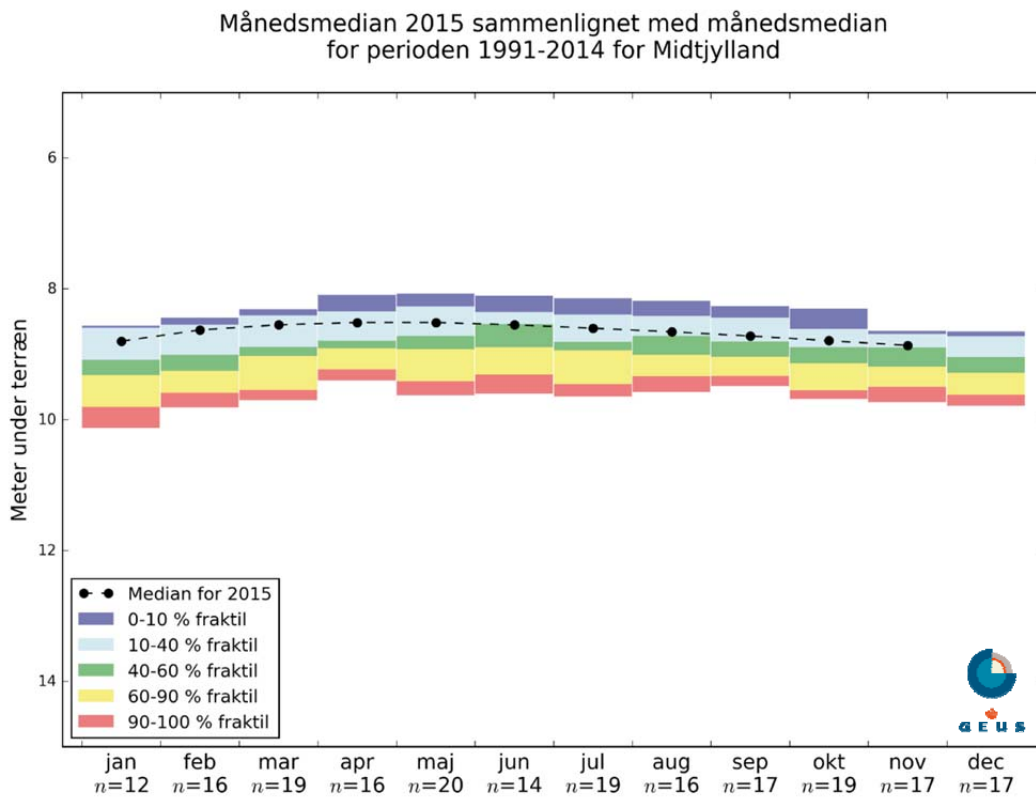
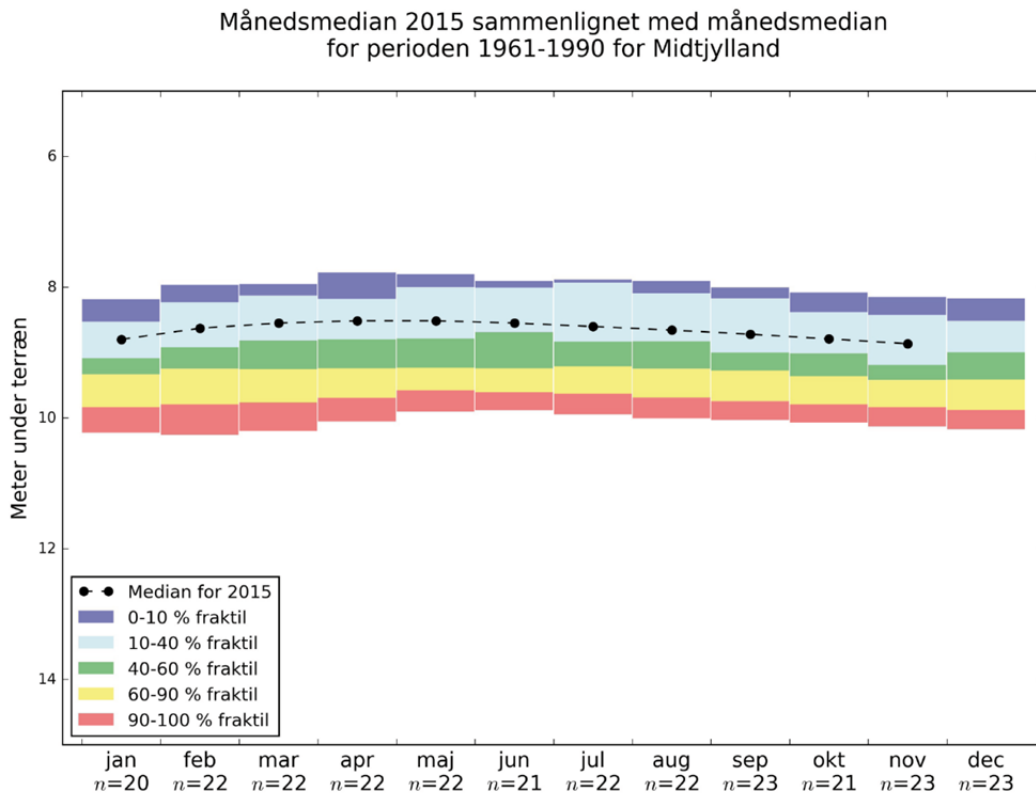
- Langsigtet udvikling: Den midtjyske, sønderjyske og fynske pejletidsserie viser samme overordnede forløb og stor overensstemmelse. Den sjællandske pejleserie har faldende vandstand frem til midten af 1990'erne.. Niveaueet på grundvandsstanden varierer inden for 2-3 m i perioden.
- Årsvariationen for den nordjyske serie har et udsving på op til 6 m, mens de øvrige serier typisk ligger inden for 2 m.
- Påvirkning fra den stigende nedbør siden år 2000 viser sig som en hævnning af grundvandsstanden på op til 1-2 m.
- Påvirkning fra tørre perioder ses i 1975-1976 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).

Året 2015

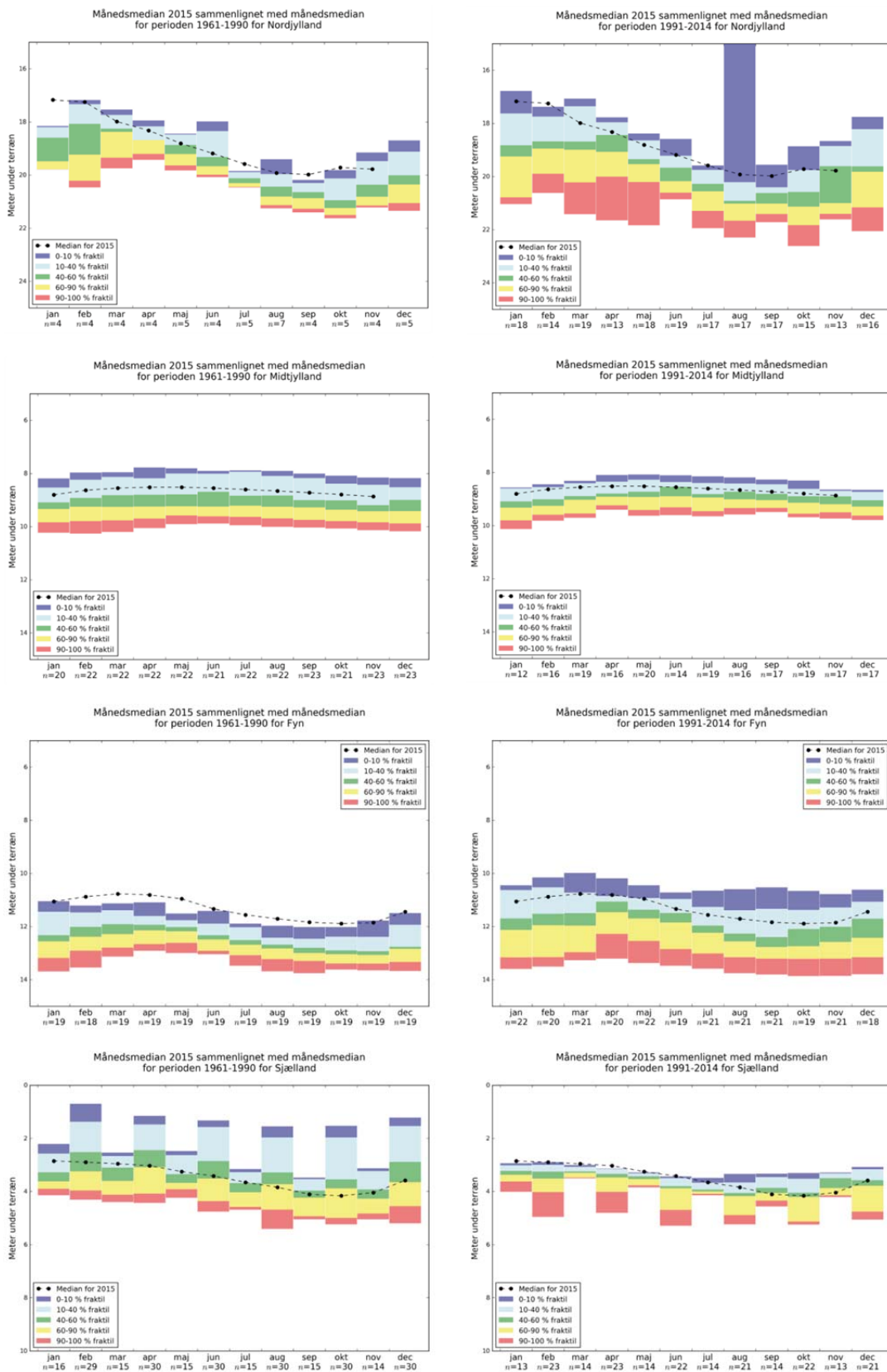
Figur 53 viser, hvordan vandstanden i Midtjylland i DGU nr. 76.853 har udviklet sig i 2015 hen over de enkelte måneder i året i forhold til tidligere år. Analysen er fremkommet ved for hver måned i 2015 at beregne medianværdien af alle pejlinger. For at kunne sammenligne med tidligere tidsperioder er der for hver måned i perioden 1961-1990 (den såkaldte klima-normal-periode) og de seneste 2 dekader (1991-2014) beregnet fordelingen af grundvandsstanden i 5 grupper, således at man kan se, hvordan vandstanden tidligere har fordelt sig hen over året. De 5 grupper er 0-10, 10-40, 40-60, 60-90 og 90-100 % fraktilerne, der er vist med hver sin farve. De røde og gule farver repræsenterer lave grundvandsstande, mens de blå farver viser værdier for høj grundvandsstand i indtagene.

Figur 54 giver et overblik over udviklingen i 2015 for 4 af de 5 pejleindtag anvendt i Figur 51 og Figur 52 (den 5. pejleserie for Sønderjylland blev først afrapporteret sent). Der er mange detaljer, som ikke kan aflæses, hvorfor alle figurerne er vist i samme format som Figur 53 i bilag 10.

Sammenlignes vandstanden hen over året 2015 med tidligere perioder, ses det at vandstanden for hovedparten af indtagene i år 2015 i de udvalgte pejleserier er højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1990 og 1991-2014. En nærmere analyse af den tidlige udvikling af årsudsving i de relevante indtag og deres årsag udestår endnu.



Figur 53. Pejleserie (vandstand i m u.t.) for året 2015, sammenstillet med månedsværdier for henholdsvis 1961-1990 og 1991-2015. DGU nr. 76.853, Midtjylland.



Figur 54. Pejleserie (vandstand i m u.t.) for året 2015, for de 4 indtag Figur 51, sammenstillet med månedsværdier for henholdsvis 1961-1990 og 1991-2014. Se bilag 10 for flere detaljer.

Referencer: Det Nationale Pejleprogram

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.. (Vandrammedirektivet)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015b: Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder. LBK nr. 1531 af 08/12/2015 (Miljømålsloven)

Andre referencer

DMI, 2015: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (07.06.2016)

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (27-9-16)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, 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 (27-9-16)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/dTA-PEJL-endelig.pdf> (27-9-16)

Links

NOVANA hjemmeside <http://svana.dk/overvaagning/> (22.9.2016)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://svana.dk/vand/vandomraadeplaner/> (22.9.2016)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (07.06.2016)

11 Referencer

Dansk lovgivning mv.

- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015a: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvand og grundvand, nr.1070 af 09/09/2015.
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015b: Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder. LBK nr. 1531 af 08/12/2015 (Miljømålsloven)
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2015c: Lov vandforsyning mv. LBK nr. 1584 af 10/12/2015 (Vandforsyningsloven)
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2015d: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 1310 af 25/11/2015.
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016 (Drikkevandsbekendtgørelsen).
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2016b: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger nr. 914 af 27/06/2016. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2016c: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand nr. 439 af 19/05/2016 (Miljømålsloven).
- Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016d: Bekendtgørelse om krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. Bekendtgørelse nr. 921 af 27/06/2016.
- Miljø- og Fødevarerministeriet 2016e: Bekendtgørelse om udpegning af drikkevandsressource. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 365 af 19/04/2016.
- Miljøministeriet 2011, BEK nr. 1024 af 31/10/2011, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Miljøministeriet 2014, BEK nr. 292 af 26/03/2014, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, <http://www.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalens%20bilag%203%20om%20grundvand%20-%20revideret%20marts%202015.%20PDF.pdf> (22-09-2016)
- Miljøstyrelsen, 1988: Sammenstilling af det totale overvågningsprogram i henhold til vandmiljøplanen, okt. 1988.
- Miljøstyrelsen, 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115, Miljøstyrelsen 1989.
- Miljøstyrelsen, 1990: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.
- Miljøstyrelsen, 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr.2/1993, Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen, 1995: Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og vand - Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 12.
- Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6.
- Miljøstyrelsen, 1999. Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Arbejds- rapport fra Miljøstyrelsen nr. 17.
- Miljøstyrelsen 2000a: NOVA-2003. Redegørelse nr. 1, 2000, Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen, 2000b: Zonerings. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)
- Miljøstyrelsen, 2013a: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the period 2008-2011. (83 pp).
- Miljøstyrelsen, 2013b: Bentazon, anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.
- Miljøstyrelsen, 2014a: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.
- Miljøstyrelsen, 2014b. "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". Opdateret maj 2014.
- Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <http://svana.dk/overvaagning/novana-program/> (22-9-2016)
- Naturstyrelsen, 2014: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning. Bilag A opdateret 2016.
- Naturstyrelsen, 2015: NOVANA 2016, Programbeskrivelse.
- REFLAB, 2015: M68. Metodetablade for Perfluorerede alkylylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand.

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. (Vandrammedirektivet)
- EU, 2006: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelser. (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. (Analysekvalitetsdirektivet)
- KOMMISSIONENS FORORDNING (EF) Nr. 552/2009 af 22. juni 2009 om ændring af bilag XVII til Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1907/2006 om registrering, vurdering og godkendelse af samt begrænsninger for kemikalier (REACH) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:164:0007:0031:da:PDF> (11. august 2015).

Andre referencer

- Adriano, D. C., 2001. Trace elements in terrestrial environments (2. edition). Springer Verlag.
- Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp
- Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2016. Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164
<http://dce2.au.dk/pub/SRxxx>
- Brüsch W. & Villholt, K. G., 2011: Punktkilders påvirkning af grundvandsressourcens kvalitet. Miljøprojekt Nr. 1395 2011, Miljøstyrelsen
- Dalgaard T, Hansen B, Hasler B, Hertel O, Hutchings N, Jacobsen BH, Jensen LS, Kronvang B, Olesen JE, Schjørring JK, Kristensen IS, Graversgaard M, Termansen M, Vejre H (2014) Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. Environmental Research Letters, Environ. Res. Lett. 9 (2014) 115002 (16pp).
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/115002>.
- DMI, 2015: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (07.06.2016)
- DMU, 2004: NOVANA, Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse. Faglig rapport fra DMU nr. 495.
- 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, 2007: Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse 2007-2009. Faglig rapport fra DMU nr. 615, 2007.
- DMU, 2010a: Program NOVANA 2010. Opdatering af faglig rapport nr. 615 fra DMU – Programbeskrivelse for NOVANA del 2. NOTAT, 31. maj 2010.
- DMU, 2010b: DEVANO 2010. Decentral Vand og Naturovervågning. NOTAT, 31. maj 2010.
- 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.
- Hansen, B & Larsen, F., 2016. Faglig vurdering af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktionen for kvælstof i 2016 -18. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse Rapport 2016/04.
- 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-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (27-09-16)
- 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.
- Henriksen, H., Rasmussen, J, Olsen, M, He, X, Jørgensen, LF & Trolborg, L, 2014, Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delforprojekt: Effekt af vandindvinding. GEUS rapport 2014/74. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx> (27-9-16)
- Henriksen, H., Stisen, S, Trolborg, L, He, X & Jørgensen, LF. 2015, Analyse af øget indvinding til markvanding, GEUS rapport 2015/29. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Analyse-oeget-markvanding.aspx>
- Hvid, S. Kolind, 2011, Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (5-11-13)
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvaltære Varv-kort.
- Jensen, T.F., Larsen, F., Kjølner, C., Larsen, J.W. 2003. Nikkelfrigivelse ved pyritoxidation forårsaget af barometerånding-pumpning. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 5.

- Larsen, F., Kjøller, C. og Gram, M. 2009. Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 1: Arsen i dansk grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.
- Larsen, C.L. og Larsen, F. 2003. Arsen i danske sedimenter og grundvand. Vand og Jord, 10. årgang nr. 4, side 147-151.
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Laier, T., 2014: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01
- Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat 05-VA-14-04
- Nielsen, A.M., Hansen, B., Ernstsens, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokaltitet 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport,2014/82.
- Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivetridtet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008. <http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (27-9-16)
- Nygaard, E.(red) 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonerings. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (27-9-16)
- Postma, D., Boesen, C., Kristiansen, H. & Larsen, F. (1991): Nitrate Reduction in An Unconfined Sandy Aquifer - Water Chemistry, Reduction Processes, and Geochemical Modelling. Water Resour.Res. 1991, 27 (8), 2027–2045.
- Qevauviller, P., 2005: Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs. J. environmental monitoring, 2005, vol 7 pp 89-102.
- Schullehner, J. & Hansen, B. (2014): Nitrate exposure from drinking water in Denmark over the last 35 years. Environmental Research Letters 9 095001 [doi:10.1088/1748-9326/9/9/095001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/095001) (27-9-2016)
- Stockmarr, J. (red) 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/g-o-2001-indl.pdf>
- Sørensen, B.L., 2013: Hvor mange vandværker er der i Danmark og hvor meget grundvand indvinder de? Foredrag på Dansk Vand Konference 19. nov. 2013, Århus.
- Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (22.9.2016)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (22.9.2016)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, 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 (22.9.2016)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, 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 (22.9.2016)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, 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 (22.9.2016)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, 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 (22.9.2016)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, 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 (22.9.2016)
- Thorling, L., Brusch, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Troldborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (22.9.2016)
- Thorling, L., Brusch, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Troldborg, L., og Sørensen, B.L., 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2013.htm (22.9.2016)
- Thorling, L., Ernstsens, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Troldborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (22-9-16)
- Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/dTA-PEJL-endelig.pdf>
- Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/78 http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/grundvand_kemiske_tilstand.aspx (22.9.2016)
- Troldborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrensning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Documents/GEUS_Rapport_58_2014_Final_web.pdf (22.9.2016)

Links og hjemmesider:

DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (22.9.2016)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (07.06.2016)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (22.9.2016)

GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (25.08.2014)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://svana.dk/vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (22.9.2016)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: <http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/index.html> (22.9.2016)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (22.9.2016)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videntcenter for Miljø og ressourcer, <http://miljoeogressourcer.dk/> (22.9.2016)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (22.9.2016)

NOVANA hjemmeside <http://svana.dk/overvaagning/novana-program/> (22.9.2016)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (22.9.2016)

NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (22.9.2016)

NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (22.9.2016)

STANDAT og STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (22.9.2016)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://svana.dk/vand/vandomraadeplaner/> (22.9.2016)

Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (22.9.2016)

