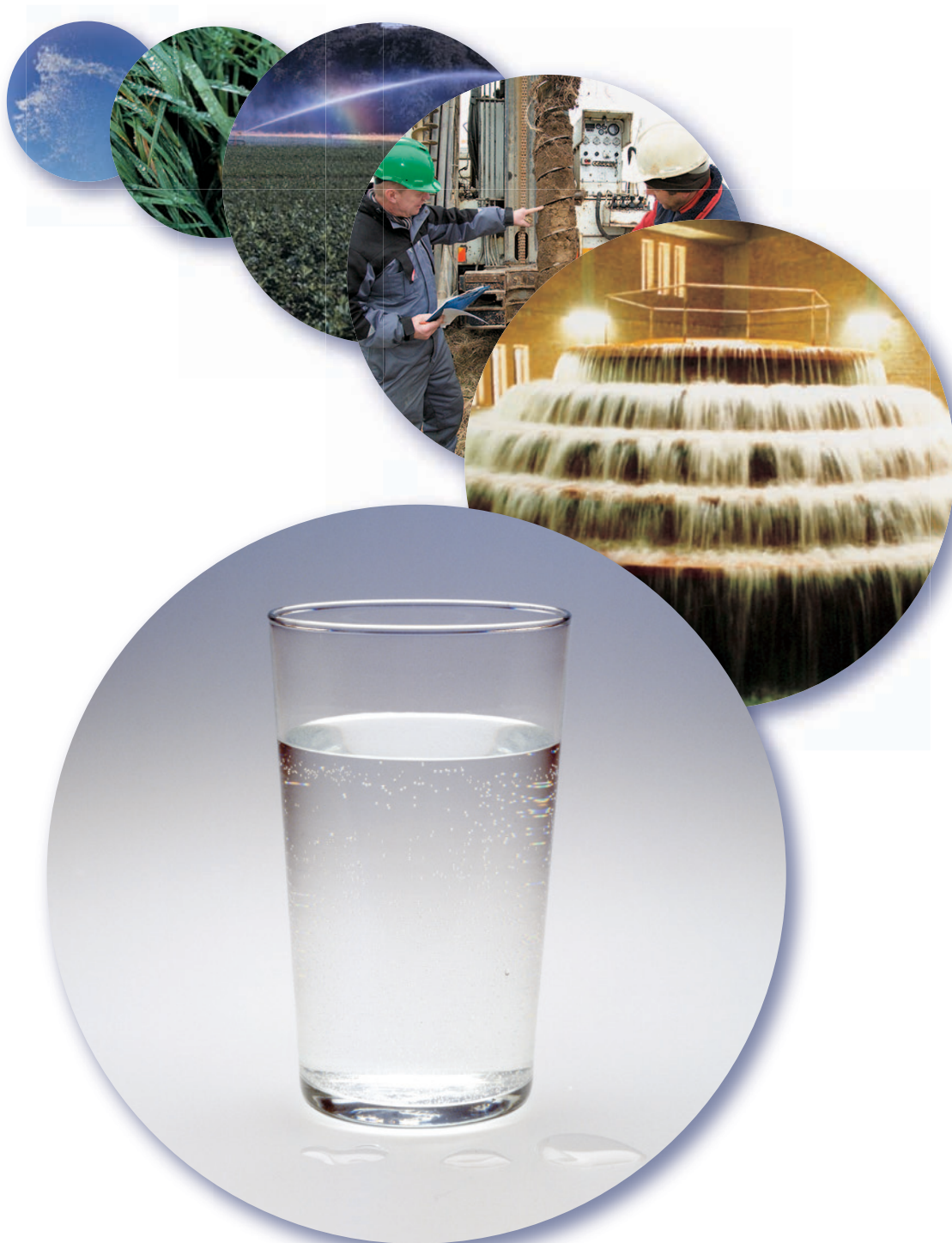


GRUNDVANDSOVERVÅGNING

1989-2014



Grundvand

Status og udvikling 1989 – 2014

GEUS 2015

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling

Vibeke Ernstsén

Birgitte Hansen

Anders R. Johnsen

Flemming Larsen

Susie Mielby

Lars Trolldborg

Dato 3. december. 2015

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets tilstand og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2014 som led i den nationale grundvandsovervågning (GRUMO) og landovervågning (LOOP). Fra de almene vandværker præsenteres data fra egenkontrollen af grundvandsvandkvaliteten i vandværksboringerne. Der er ligeledes i et vist omfang inddraget kemiske analyser af grundvand fra andre grundvandsundersøgelser, fx i forbindelse med kortlægningen af grundvandet i områder med særlige drikkevandsinteresser. Fra indvindere af grundvand og overfladevand; vandværker, industrier, markvandere mv. rapporteres indberettede oplysninger om vandindvindingens størrelse.

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 nye dateringsdata til vurdering af udviklingen i grundvandets nitratindhold. Kapitlet "uorganiske sporstoffer" indgår ikke hvert år og er ikke med i dette års rapport.

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

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

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

Grundvandets Strømning og Alder	Flemming Larsen og Lærke Thorling
Nitrat og andre hovedbestanddele	Birgitte Hansen og Lærke Thorling
Uorganiske Sporstoffer	(rapporteres ikke her)
Organiske Mikroforureninger	Vibeke Ernstsens
Pesticider	Anders R. Johnsen
Vandindvinding	Lars Troldborg
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., Ernstsens, 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.

ISBN 978-87-7871-416-9

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning	4
1 Summary in English (ikke opdateret pr. 7.sept. 2015)	11
2 Formål og stationsnet	19
2.1 Formål	19
2.2 Overvågningsdesign og stationsnet, GRUMO	22
2.3 Vandværkernes indvindingsboringer	28
3 Datagrundlag og metoder	32
3.1 Analyseindsats og dataindsamling	32
3.2 Metoder til databehandling	35
4 Grundvandets strømning og opholdstid	40
4.1 Grundvandets Hydrogeologi	40
4.2 Tidsmæssige variationer i redoxzonernes dybde og tykkelse	47
4.3 Grundvandets Opholdstid	57
5 Nitrat	61
5.1 Tilstand	64
5.2 Udvikling	71
6 Fosfor	80
6.1 Fosfor i grundvandsovervågningen	83
6.2 Fosfor, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer	88
6.3 Fosfor i øvre terrænnært grundvand (LOOP)	89
7 Organiske mikroforureninger	91
7.1 Organiske mikroforureninger, Grundvandsovervågning	94
7.2 Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer	97
7.3 Perfluorforbindelser	98
8 Pesticider	105
8.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)	106
8.2 Grundvand i vandværksboringer	118
8.3 Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet	125
9 Vandindvinding	130
9.1 Tilstand og udvikling	131
10 Det Nationale Pejleprogram	136
10.1 Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag	141
11 Referencer	147

1 Sammenfatning

Overvågningen af grundvandet (GRUMO) og det øvrige vandmiljø, har fundet sted i 25 år, med en systematisk dataindsamling og rapportering siden 1989. Dette års grundvandsovervågningsrapport præsenterer resultaterne for perioden 1989-2014. 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 præsenterer den forvaltningsmæssige ramme for grundvandsovervågningen, giver kapitel 4 således den faglige baggrund for de fortolkninger, der præsenteres i de øvrige kapitler, 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.)

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 den fællesoffentlige database 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, og at fortrolige oplysninger mv. håndteres korrekt.

Alle relevante data om grundvand og drikkevand skal i henhold til "Dataansvarsaftalen" være tilgængelige i JUPITER.

GEUS modtager løbende opdaterede oplysninger fra kommunerne om vandværkernes oppumpede vandmængder og om forkerte eller mangelfulde data for perioden 2007-2014. Der er sket væsentlige forbedringer i indberetningerne i de senere år. Det samlede overblik over antallet af aktive vandværker og indvindingsboringer er dog fortsat ikke helt opdateret for alle vandværker. Dette betyder at der er risiko for, at der medtages vandværksboringer, der ikke aktuelt anvendes til drikkevandsproduktion i databehandlingen. Tilsvarende vil der være aktive vandværksboringer, der ikke indgår i databehandlingen. Det vurderes imidlertid ikke, at disse forhold har væsentlig betydning for den samlede landsdækkende vurdering af grundvandet.

Der blev i 2014 udtaget vandprøver fra i alt 836 indtag til grundvandsovervågning, heraf er 697 "gamle" indtag fordelt på 62 af de oprindelige GRUMO-områder og 139 "nye" indtag fra det di-

stribuerede GRUMO-stationsnet, der er etableret efter 2007. Endvidere er der analyser fra 91 indtag fra fem LOOP-områder i landovervågningsprogrammet.

Det nationale pejleprogram har siden 2007 været en del af grundvandsovervågningen med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand. Det Nationale Pejleprogram gennemførtes i 2014 i 150 indtag.

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

Udbygning af stationsnet

Et vigtigt indsatsområde for grundvandsovervågningen er at justere 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 grundvands kemiske tilstand i hvert vandløbsopland, og således at langsigtede, menneskeskabte tendenser til stigning i forekomsten af forurenende stoffer kan registreres", jf. EU's Vandrammedirektiv. Samtidig skal der overvåges hyppigere, hvis grundvandet er i risiko for at være i ringe tilstand på grund af påvirkning fra menneskelige aktiviteter.

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 denne programperiode (2011-2015) inddrages nye overvågningsindtag, mens nogle af de oprindelige overvågningsindtag lukkes eller indgår med lavere prøvetagningsfrekvens. Der har i 2011-2014 været fokus på at inddrage eksisterende borer fra den statslige grundvandskortlægning som supplement til at bore nye overvågningsboringer. I denne programperiode er 137 indtag pr. 1. jan. 2015 inddraget til fortsat overvågning, heraf 67 indtag fra grundvandskortlægningen.

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. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data fra flere 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 indtag beregnes middelværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler.

En kumulativ metode er udviklet til at give et billede af den samlede påvirkning over en periode blandt andet for at kunne håndtere indtagenes forskellige prøvetagningshyppigheder og aktive perioder.

Nitratfrontens stabilitet

Overvågning i 5 særlige multifilterboringer, de såkaldte redoxboringer, viser, at der i måleperioden er variationer i såvel dybden til ilt/nitratfronten som af nitratindholdet i grundvandet i de enkelte indtag. I de første 2-3 år efter boringerne blev etableret kunne variationerne opfattes som etableringseffekter i forbindelse med borearbejdet. En lignende effekt er tidligere set i forbindelse med etablering af overvågningsboringer. Efter 15 års overvågning peger resultaterne på at den forventede stabilisering ikke indtræder, og at forholdene omkring redoxgrænsen er mere komplicerede end forventet. Især ses det, at nitrat i perioder på op til flere år kan trænge dybere ned for atter at forsvinde. Svingninger på omkring 5 m af såvel ilt- som nitratfronten observeres. På den korte tidsskala (nogle år) kan der forventes udsving som følge af variationer i vinternedbøren og oppumpning fra nærliggende indvindingsboringer mm. Redoxboringerne kan således ud over de langsigtede udviklinger også karakterisere korttidsvariationer over nogle år i tid og rum.

Nitrat

Nitrat er kun til stede i grundvandsmagasinerne over nitratfronten og kan der findes stort set overalt i Danmark. Dog er mægtigheden af de nitratholdige lag størst og beskyttelsen af grundvandsmagasiner mindst i særligt Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland.

I både GRUMO og LOOP har omkring 20 % af alle de overvågede indtag et nitratindhold over kravværdien på 50 mg/l, mens det er under 1 % af vandværksboringerne fra de almene vandværker, som indeholder nitrat over kravværdien. Dette hænger sammen med det forhold, at den nitratholdige del af grundvandet mange steder er blevet fravalgt af vandforsyningen, idet boringer med et højt nitratindhold er blevet lukket og erstattet af dybere boringer.

Effekten af vandmiljøhandlingsplanerne kan vurderes i det iltholdige grundvand. I 2014 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 hhv. 68 og 11 % af analyserne over 50 mg/l nitrat.

Udviklingen i det iltholdige grundvands nitrathold undersøges ved hjælp af datering af grundvandet. Dateringen muliggør beregning af grundvandets dannelsesår. Herved kan nitratindholdet i grundvandet sammenholdes med tidspunkter for vandmiljøhandlingsplanerne og kvælstofildeling i landbruget. I dette års rapportering er udviklingen i nitratindholdet i iltholdigt grundvand i GRUMO karakteriseret i forhold til dannelsesåret for grundvand i 4 perioder bl.a. baseret på nye dateringer af grundvandet i 2013. Det ses tydeligt, at koncentrationsfordelingen af nitrat i iltholdigt grundvand i den første periode (1940-1970) ligger på et lavt niveau, mens den i periode 2 (1970-1987) ligger på et relativt højt niveau. Nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i periode 3 (1987-1998) har en faldende tendens i forhold til den forudgående periode 2 (1970-87). I sidste og 4. periode (1998-2014) er der en tendens til stagnation i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand.

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 på sandjordene lige over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2014 er der imidlertid fundet et højere gennemsnitligt nitratindhold på ca. 77 mg/l i sandjordsoplandene, som skyldes at der i

nogle tilfælde ikke anvendes afgrøder med høj kvælstofoptagelse efter ompløjning af flere årig græs, og der måles også høje nitratkoncentrationer efter dyrkning af majs.

I de seneste rapporter fra GRUMO er det konkluderet, at det overordnet set går den rigtige vej med hensyn til at nedbringe nitratindholdet i grundvandet, men at der flere steder fortsat kan konstateres stigninger, herunder også i det helt unge grundvand dannet efter vandmiljøplanernes ikrafttræden. De nye data for udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand og de nye dateringer i grundvandsovervågningen antyder, at nitratindholdet i det yngste grundvand er stagnerende.

Fosfor

Siden 2011 er der i GRUMO systematisk analyseret for orthofosfat (uorganisk fosfor) sammen med den traditionelle analyse for totalfosfor i grundvandsovervågningen. Overvågningen viser overraskende, at koncentrationsfordelingen af indholdet af orthofosfat i grundvandet tilsyneladende er uafhængigt af såvel dybde som redoxforhold. Derimod er grundvandets indhold af organisk bundet fosfor (differencen mellem total fosfor og orthofosfat) afhængig af dybde og redoxforhold, idet der er et langt højere indhold af organisk fosfor i reduceret grundvand end i oxideret grundvand.

Det har tidligere været anbefalet at måle totalfosfor og orthofosfat for at undersøge om der var påvirkning med spildevand, idet det var opfattelsen, at det overvejende var orthofosfat, der var naturligt forekommende (MST, 1999).

Der er ligeledes stor forskel på forskellige geologiske aflejrings indhold af fosfor. Der er indikationer på at marine aflejringer giver anledning til højere indhold af orthofosfat, mens lerede aflejringer giver anledning til højere organisk fosfor. De laveste fosforindhold ses i kalken og de faste bjergarter på Bornholm.

Resultaterne af overvågningen indikerer samlet set, at de højeste fosfor indhold i grundvandet hovedsagelig skyldes geokemiske processer i selve grundvandsmagasinerne og i mindre grad udvaskning fra landbrugsarealer. Vi kan ikke med disse resultater afvise, at landbruget har en udvaskning til grundvandet, der påvirker overfladevandet. Forholdet mellem den geologiske fosforfrigivelse og landbrugets fosforpåvirkning af overfladevand via grundvandet, kræver imidlertid en hydrologisk vurdering af transporten af stofmængder, idet der er forskel på koncentrationer og den samlede stofmængde der føres med grundvandet til overfladevand fra de forskellige geologiske lag.

Organiske mikroforureninger GRUMO

I grundvandsovervågningen er der i perioden 2011-2014 anvendt en analysepakke med 19 organiske stoffer, fordelt på grupperne hormonforstyrrende stoffer inkl. phthalater, detergenter, aromatiske kulbrinter, halogenerede alifatiske kulbrinter og phenoler og chlorphenoler. I perioden er vandprøver fra 815 indtag blevet analyseret. Indholdet af organiske mikroforureninger i hovedparten af prøverne er lavt, under detektionsgrænsen.

Enkeltstoffer i stofgrupperne phthalater (og hormonforstyrrende stoffer), aromatiske kulbrinter og halogenerede alifatiske kulbrinter er fundet i koncentrationer over kvantifikationsgrænsen (kvantifikationsgrænsen=3*detektionsgrænsen). Disse stoffer er fundet nogenlunde jævnt fordelt hen over Danmark. Op til 1,1 % af indtagene har indhold af enkeltstoffer over drikkevandskravet.

Flere fund af kloroform i koncentrationer over drikkevandskravet i indtag under skov eller plantager kan skyldes naturligt forekommende kloroform.

I 2014 gennemførtes i GRUMO en screening for 11 perfluorerede forbindelser (PFC) i 40 indtag. Indholdet af syv af de perfluorerede forbindelser lå i alle prøver under detektionsgrænsen. De øvrige fire PFC-forbindelser (PFHxS, PFOA, PFOS og PFHpA) blev påvist i 6 forskellige indtag i hhv. Bedsted, Ejstrupholm, Frøslev Plantage, Haderup, Værløse og Store Heddinge. Sumkoncentrationen for PFAS forbindelser i Frøslev Plantage var højere end drikkevandskravet på 0,1 µg/l.

Organiske mikroforureninger i grundvandet i vandværksboringer

I grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer er der i perioden 2010-2014 gennemført analyser af 158 forskellige stoffer, i et meget forskelligt antal indtag. For perioden 2010-2014 var indholdet af organiske mikroforureninger i langt den overvejende del af boringerne (ca. 95 %) under detektionsgrænsen (DG).

De hyppigst fundne stoffer i grundvandet i vandindvindingsboringer er cis-1,2-dichlorethyl (6,5 %), anioniske detergenter (3,4 %), 1,1-dichlorethan (3,1 %) og vinylklorid (2,7 %). Overskridelser af drikkevandskravene for organiske mikroforureninger optræder for enkeltstoffer i op til 0,8 % af boringerne.

I boringskontrollen er der fundet af de samme fire PFC-stoffer i grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer som i grundvandsovervågningen, samt fund af yderligere en PFC-forbindelse (PFHxS, PFOA, PFOS og PFHpA samt PFBA). Sumkoncentrationen er i alle indvindingsboringer under drikkevandskravet.

Pesticider i grundvandsovervågningen

I 2014 blev der i Grundvandsovervågningen (GRUMO) påvist pesticider i 38 % af indtagene, mens kvalitetskravet (grænseværdien) på 0,1 µg/l var overskredet i 12 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirkede af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det dybere og ældre grundvand er mindre.

I de senere år har der i det øvre grundvand (0-30 m u.t.) været tegn på, at der er en faldende andel af indtag med pesticider med koncentrationer over kvalitetskravet. Dette peger på, at den gennemførte regulering af anvendelsen af pesticider nu reflekteres i det øverste og yngste grundvand. Faldet i andelen af indtag over kvalitetskravet, i det øvre grundvand, kan betyde, at den samlede udvaskning af pesticider muligvis har toppet.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status pr. 1. aug. 2015. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. I analyseprogrammet har der siden 2011 indgået i alt 31 stoffer i analyseprogrammet, hvoraf de 21 stammer fra forbudte pesticider, mens fem er fra regulerede og fem er fra tilladte. I 2014 blev der fundet godkendte stoffer mindst én gang i 1,3 % af de undersøgte indtag (0,3 % \geq 0,1 µg/l), mens regulerede stoffer blev fundet mindst én gang i 4,5 % (1,6 % \geq 0,1 µg/l) og forbudte stoffer mindst én gang i 35 % (10 % \geq 0,1 µg/l).

Siden 2011 er der analyseret for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De tre hyppigst fundne stoffer er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner. Således er didealkylhydroxy-atrazin påvist mindst én gang i 7,2 % af de undersøgte indtag i 2011-14 (0,8 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$), deisopropylhydroxyatrazin blev påvist mindst én gang i 3,5 % af indtagene (0,1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) og deethylhydroxyatrazin mindst én gang i 1,5 % af indtagene (ingen \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$). Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid rimsulfuron er påvist mindst én gang i 0,7 % af de undersøgte indtag (0,2 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$). De resterende seks stoffer er kun påvist i et eller to indtag, eller slet ikke påvist. For de 3 godkendte stoffer er der ingen fund over 0,1 $\mu\text{g/l}$.

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer

Andelen af aktive vandværksboringer, hvor grundvandet indeholder pesticider, er de sidste ti år stabiliseret på ca. 25 %. I 2014 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 26 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 $\mu\text{g/l}$ (grænseværdien for drikkevand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,9 % af boringerne. Nedbrydningsproduktet BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 19 % (2,6 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) af de undersøgte vandværksboringer i 2014.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af det obligatoriske analyseprogram for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne, "Boringskontrollen", hvor der blev tilføjet 18 "nye" stoffer (MiM, 2014b) og fjernet otte andre. Af disse "nye" stoffer er nedbrydningsproduktet DEIA fra triazin herbicider fundet mindst én gang i 1,7 % (0,1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) af de undersøgte boringer i 2012-2014, mens de øvrige "nye" stoffer kun er fundet i ca. 1 % eller færre af de undersøgte boringer. Der er kun få fund over kvalitetskravet. Glyphosat er i 2012-2014 fundet mindst én gang i 0,3 % (0,1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) af de undersøgte vandværksboringer.

Mindst ét af de forbudte pesticider forekom mindst én gang i 2012-2014 i 18 % af de undersøgte vandværksboringer, hvoraf 2,5 % mindst én gang overskred kvalitetskravet på 0,1 $\mu\text{g/l}$. De regulerede stoffer forekom mindst én gang i 3,5 %, mens kvalitetskravet er overskredet mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte vandværksboringer. De godkendte stoffer forekom i perioden mindst én gang i 0,3 % af de undersøgte boringer, heraf 0,1 % over kvalitetskravet.

Metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter (CGA 108906 og CGA 62826) blev per 1. april 2014 føjet til vandværkernes obligatoriske analyseprogram. CGA 108906 blev i 2014 påvist i 2,6 % af de ca. 690 undersøgte vandværksboringer, heraf 0,6 % over kvalitetskravet. CGA 62826 blev i 2014 påvist i 0,6 % af de undersøgte vandværksboringer, heraf 0,3 % over kvalitetskravet. Begge metabolitter er dermed repræsenteret på listen over de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol. Moderstoffet metalaxyl-M blev trukket fra markedet i 2013 efter fund af metabolit- og moderstofudvaskning på sandjord med kartoffeldyrkning i Varslingssystemet for udvaskning af pesticider til Grundvandet (VAP).

Vandindvinding

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) har en svagt faldende tendens i perioden 1999-2014 fra ca. 500 mio. $\text{m}^3/\text{år}$ til ca. 425 mio. $\text{m}^3/\text{år}$. På grund af manglende indberetninger, kan den seneste værdi for den samlede oppumpning dog være større og faldet i oppumpningen være mindre.

Indvinding af grundvand til erhvervsvanding (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år. I 2014 nåede denne del af indvindingen op på 309 mio. m^3 , hvilket svarede til

ca. 40 % af den samlede grundvandsindvinding for dette år, mens den i 2012 blot var på 187 mio. m³, svarende til ca. 25 %.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding har en svagt faldende tendens fra 1990 og frem til 2012. Indberetningerne for 2014 er opgjort til 58 mio. m³, hvilket svarer til medianen for perioden 1990-2013.

Indvindingen af overfladevand ligger på 12 mio. m³/år, hvilket blot udgør et par procent af den samlede indvinding. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

Det Nationale pejleprogram

På baggrund af de 150 pejlestationer, som udgjorde Det Nationale Pejleprogram i 2014, overvåges og følges grundvandsstanden over hele landet i indtag med forskellige dybder.

Stationsnettet bliver i denne 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.

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 nedbør er steget 4,4 % fra 1961-1990 til 1991-2010, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år på 30 år.

GEUS har vurderet repræsentative lange pejleserier indenfor fem geografisk definerede områder i terrænære indtag. Herudfra er noteret følgende tendenser:

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 i 1980'erne: Viser sig som et op til 2 m højere beliggende vandspejl.

Påvirkning fra tørre perioder: I den observerede periode har der været to nedbørsfattige hændelser i 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 nogle steder falder op til 3 m og andre steder ikke - som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.

Året 2014: Vandstanden i 2014 ligger hen over året for hovedparten af de udvalgte pejleserier højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1989 og 1990-2013.

1 Summary in English

In Denmark, groundwater monitoring (GRUMO) and monitoring of the remaining aquatic environment has now been in place for 25 years. As from 1989, monitoring has included systematic data collection and reporting. This year's groundwater monitoring report presents results from the 1989-2014 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 presents the administrative framework for groundwater monitoring, Chapter 4 outlines the professional basis for the interpretations that are presented in the remaining chapters 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 ff.)
- The Agricultural Catchment Monitoring Programme, LOOP (1989 ff.)
- The Waterworks' Well Monitoring Programme (1989 ff.)
- Quantities of water abstracted at waterworks, by industry, for irrigation, etc. (approx. 1980 ff.)

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 the joint public database 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, ensures a well-defined quality along with correct handling of confidential information, etc.

In pursuance of the Danish Data Responsibility Agreement (in Danish: Dataansvarsaftalen), relevant data on groundwater and drinking water shall be made available in JUPITER.

GEUS regularly receives updated information from the municipalities on the amounts abstracted by the waterworks and about any incorrect or lacking data relating to the 2007-2014 period. Considerable improvements have been observed in the reports made in recent years. Nevertheless, the total number of active waterworks and abstraction wells still is not fully updated for all water works. Therefore, there is a risk that some water quality data from waterworks wells are included in the data processing even though these wells currently are not used to drinking-water production. Correspondingly, data from some currently active waterworks wells may not

have been included in the data processing. Nevertheless, it is our assessment that these factors have little impact on the overall nation-wide assessment of the groundwater.

In 2014, water samples were taken from a total of 836 groundwater monitoring points, including 697 "old" monitoring points in 62 of the original GRUMO areas and 139 "new" monitoring points from the distributed GRUMO station net, which was established after 2007. Furthermore, analyses were included from 91 monitoring points from 5 LOOP areas of the agricultural catchment monitoring programme.

Since 2007, the National Groundwater Level Monitoring Programme has formed part of the groundwater monitoring initiative with a view to monitor groundwater quantities. In 2014, the National Groundwater Level Monitoring Programme comprised 150 monitoring points.

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

Expansion of the net of monitoring stations

An important focus area of the groundwater monitoring initiative is the adjustment and expansion of the net of monitoring stations to inform and underpin the river basin management plans and the EU's Water Framework Directive. The river basin management plans shall be based on monitoring data collected from a "monitoring network shall be designed so as to provide a coherent and comprehensive overview of groundwater chemical status within each river basin and to detect the presence of long-term anthropogenically induced upward trends in pollutants.", cf. the EU's Water Framework Directive". Furthermore, monitoring shall be intensified if the groundwater is at risk of deteriorating due to human activities.

Over the years, the programme has been revised repeatedly to accommodate developing administrative needs. Since 2007, several initiatives have been implemented to adapt the station net to the monitoring requirements of the Water Framework Directive. Therefore, the current programme period (2011-2015) is witnessing the inclusion of new monitoring points, whereas some of the original monitoring points are discontinued or included, but at a lower sampling frequency. The 2011-2014 period has focussed on including existing wells from the national groundwater mapping initiative as a supplement to drilling new monitoring wells. As per 1 January 2015, the current programme period has seen the inclusion of a total of 137 monitoring points for continued monitoring, including 67 wells from the groundwater mapping initiative.

Methods

The present report employs a range of indicators and reporting methods to describe the occurrence of each substance in the groundwater. 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 the focus is on the distribution of concentrations. 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 quality standards and detection limits. Where mean values are calculated based on several monitoring points, the median and range are also provided.

A cumulative method has been developed to provide an image of the overall impact in the course of a period, among others to handle the different sampling frequencies and active periods of the monitoring points.

Stability of the nitrate penetration depth (the nitrate cline)

Monitoring in 5 special multi-filter wells (alias redox wells) shows that within the measurement period variations are found in both the depth to the oxygen/nitrate cline as well as in the nitrate content in the groundwater at individual monitoring points. In the first 2-3 years after the monitoring points were established, the variations might be considered a consequence of the drilling process needed to establish the points. A similar effect was previously observed in connection with the establishment of monitoring points. After 15 years of monitoring, results indicate that the expected stabilisation will not appear, and that the conditions around the redox cline are more complicated than previously expected. Particularly, it was observed that in periods lasting several years, nitrate may penetrate deeper down, only to disappear later. Oscillations of approx. 5 m in both the oxygen and the nitrate cline are observed. In the short term (some years), fluctuations may be expected due to variations in winter precipitations and abstraction from nearby abstraction well, etc. In addition to long-term trends, the redox monitoring points may thus also characterise short-term variations lasting some years in time and space.

Nitrate

Nitrate is only present in the aquifers above the nitrate cline; and above this level it is found in nearly all parts of Denmark. Nevertheless, the thicknesses of the nitrate-containing layers are greater and the natural protection of aquifers is more limited in 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 less than 1% of the waterworks wells from public waterworks exceed the nitrate threshold value. This is so because in many locations, the nitrate-containing part of the groundwater has been excluded from the water supply as wells with a excessive nitrate content have been discontinued and replaced by deeper wells.

The effect of the action plans for the aquatic environment can be assessed by reference to the oxic groundwater. In 2014, about 40% of the wells in the oxic groundwater in the GRUMO contained more than 50 mg/l of nitrate, whereas the corresponding shares for oxic upper groundwater in the LOOP on sandy and clayey soils were 68% and 11%, 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 action plans for the aquatic environment were implemented and with the agricultural nitrogen quota. In this year's report, the development in the nitrate content in oxic groundwater in the GRUMO is described in relation to the groundwater formation year by dividing the data into 4 periods based on the new 2013 dating of the groundwater. It is clear that the distribution of the nitrate concentration in oxic groundwater in the first period (1940-1970) is at a low level, whereas the second period (1970-1987) is at a relatively high level. The nitrate concentrations in oxic groundwater in the third period (1987-1998) follow a decreasing trend with respect to the previous (second) period (1970-1987). In the fourth and final period (1998-2014), the nitrate concentration in oxic groundwater tends stagnate.

In the terrain-near 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 is observed in oxic groundwater in the first half of the monitoring period, before 2000 and 2006, respectively. In the latest sampling years, the annual mean nitrate concentration in sandy soils just exceeds the threshold value of 50 mg/l, whereas the annual mean concentration in clayey soils falls below 50 mg/l. Nevertheless, 2014 saw a higher mean nitrate content of approx. 77 mg/l in sandy soil catchment areas because in some cases crops with a high nitrogen uptake are not used after reploughing of perennial grass; furthermore, high nitrate concentrations are also measured following maize production.

Based on the latest GRUMO report, we conclude that the overall trend with regard to reducing the groundwater nitrate content is generally positive, but several locations still record increases. This includes some of the most recently created groundwater, which was formed after the water environment action plans came into force. The latest data on the development of nitrate in oxic groundwater and the most recent datings in the groundwater monitoring initiative indicate that the nitrate content in the youngest groundwater remains stable.

Phosphorus

As from 2011, systematic analysis for orthophosphate (inorganic phosphorus) was performed in conjunction with the traditional total phosphorus analysis in the groundwater monitoring initiative. Surprisingly, monitoring shows that the orthophosphate content of the groundwater is seemingly independent of both depth and redox. In contrast hereto, the groundwater's content of organically bound phosphorus (the difference between total phosphorus and orthophosphate) depends on the depths and on redox conditions as a far higher content of organic phosphorus is found in reduced groundwater than in oxidised groundwater.

Previously, it was recommended to measure total phosphorus and orthophosphorus to determine any wastewater effects as it was assumed that orthophosphate was the main naturally occurring type (MST, 1999).

There is also considerable difference between the phosphorus content of various geological sediments. There are indications that marine sediments lead to a higher orthophosphate content, whereas clayey sediments lead to higher levels of organic phosphorus. The lowest phosphorus content is seen in the chalk and the hardened rock in the island of Bornholm.

Overall, monitoring results indicate that the highest phosphorus content in groundwater is mainly associated with geochemical processes in the aquifers and less with leaching from agricultural areas. These results do not dispel that agricultural leaching to the groundwater affects the surface water. Nevertheless, the relationship between the geological release of phosphorus and agriculture's impact on surface water through the groundwater can be determined only through a modelled hydrological assessment of the transport of substance quantities because the different hydrological layers differ in terms of concentration and water fluxes.

Organic micro-pollutions in GRUMO

In the 2011-2014 period, an analysis package was employed in the groundwater monitoring initiative with 19 organic substances divided into the following groups: hormone-disrupting substance, including phthalates, detergents, aromatic hydrocarbons, halogenated aliphatic hydrocarbons and phenols, and chlorophenols. In the period, water samples from 815 wells were

analysed. The content of organic micro-pollution is low in the majority of the samples taken; below the detection threshold.

Individual substances in the substance groups of phthalates (hormone-disrupting substances), aromatic hydrocarbons and halogenated aliphatic hydrocarbons were detected in concentrations exceeding the quantification threshold (quantification threshold = 3* the detection threshold). These substances were found to be more or less equally distributed across Denmark. Up to 1.1% of the wells contain individual substances in quantities exceeding the drinking water standards.

Several findings of chloroform in concentrations exceeding the drinking water standards in wells below woods or plantations may be due to naturally occurring chloroform.

In 2014, as part of the GRUMO, a screening for 11 perfluorinated compounds (PFC) was performed in 40 wells. The content of 7 of the perfluorinated compounds was below the detection limit in all samples. The remaining four PFCs (PFHxS, PFOA, PFOS and PFHpA) were detected in 6 different wells, in Bedsted, Ejstrupholm, Frøslev Plantage, Haderup, Værløse and Store Heddinge, respectively. The sum concentration of PFAS compounds in Frøslev Plantage exceeded the 0.1 µg/l drinking water standard.

Organic micro-pollution in the groundwater in waterworks wells

In the groundwater of the waterworks' abstraction wells, analyses were performed in the 2010-2014 period of 158 substances, in a widely varying number of wells. For the 2010-2014 period, the content of organic micro-pollutions was below the detection limit in the overwhelming share of the wells (approx. 95%)

The most frequently detected substances in the groundwater in abstraction wells are cis-1,2-dichlorethylene (6.5%), anionic detergents (3.4%), 1,1 dichloethane (3.1%) and vinyl chloride (2.7%). Values for individual substances exceed the drinking water standards for organic micro-pollution in up to 0.8% of the wells.

The Waterworks' Well Monitoring Programme has found the same four PFC substances in the groundwater in the waterworks' abstraction wells as were found in the groundwater monitoring initiative. Furthermore, the Waterworks' Well Monitoring Programme has also found one additional PFC compound (PFHxS, PFOA, PFOS, PFHpA and FPBA). The sum concentration is below the drinking water standards in all abstraction wells.

Pesticides in groundwater monitoring

In 2014, the groundwater monitoring initiative (GRUMO) identified pesticides in 38% of monitoring points, and the quality standard of 0.1 µg/l was exceeded in 12% of monitoring points. Particularly the upper aquifers carry pesticides and their metabolites, whereas the pesticide content of deeper and older groundwater is lower.

In recent years, the upper groundwater (0-30 meters below surface) has shown indications of a decreasing share of wells with pesticides in concentrations exceeding the quality standards. This indicates that the implemented regulation of the use of pesticides is now reflected in the upper groundwater and younger groundwater. The decrease in wells exceeding the quality

standards in the upper groundwater may mean that the total washout of pesticides has now peaked.

Pesticides may be divided into three groups: approved, regulated and banned, in pursuance of their administrative status as per 1 August 2015. In this context, regulated pesticides are substances which, after their initial approval, have been subjected to restrictions with a view to protecting the groundwater. Since 2011, the analysis programme comprises a total of 31 substances, including 21 substances associated with banned pesticides; five are from regulated and five from approved pesticides. In 2014, approved substances were found at least once in 1.3% of the sampled monitoring points (0.3% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$), while regulated substances were identified in 4.5% (1.6% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$) of monitoring points and banned substances were found at least once in 35% (10% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$).

As from 2011, analyses have been performed for ten substances which had not previously formed part of the monitoring efforts. The three most frequently detected substances are metabolites from banned triazines. Thus, didealkylhydroxy-atrazine was detected at least once in 7.2% of the tested wells in 2011-14 (0.8% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$), deisopropyl hydroxyatrazine was found in 3.5% of the wells (0.1% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$) and deethyl-hydroxyatrazine was found at least once in 1.5% of the wells (none \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$). The metabolite PPU from the banned pesticide rimsulfuron was detected once or more in 0.7% of the tested wells (0.2% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$). The remaining 6 substances were detected only in 1 or 2 wells or were not detected at all. For the 3 approved substances, no findings above 0.1 $\mu\text{g/l}$ were recorded.

Pesticides in the groundwater in waterworks wells

The share of active abstraction wells where the groundwater contains pesticides has stabilised at 25% in the course of the past 10 years. In 2014, pesticides were detected in groundwater in 26% of the sampled abstraction wells, whereas the quality standard of 0.1 $\mu\text{g/l}$ (for drinking water and groundwater) was exceeded in 3.9% of the wells. The metabolite BAM remains the most frequently detected substance and was found in 19% (2.6% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$) of the tested abstraction wells in 2014.

As from January 2012, an amendment was introduced to the analysis programme for pesticides in groundwater from waterworks wells, the "Waterworks' Well Monitoring Programme", as 18 substances were added to the mandatory analysis programme (MiM, 2014b) and 8 other substances were removed. One of these new substances is DEIA, a metabolite of the banned substance atrazine, which was found at least once in 1.7% (0.1% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$) of the samples analysed in 2012-2014, while the remaining "new" substances were detected in only 1% or fewer of the tested wells. Only few of the findings exceeded the quality standard. In 2012-2014, glyphosate was detected at least once in 0.3% (0.1% \geq 0.1 $\mu\text{g/l}$) of the detected waterworks wells.

At least one of the banned pesticides occurred a minimum of once in the 2012-2014 period in 18% of the tested waterworks wells. In 2.5% of these wells, the 0.1 $\mu\text{g/l}$ quality standard was exceeded at least once. The regulated substances occurred at least once in 3.5%, whereas the quality standard was exceeded at least once in 0.4% of the tested waterworks wells. In the period, the approved substances were found at least once in 0.3% of the tested wells, including 0.1% exceeding the quality standard.

Metalaxyl-M and its two metabolites (CGA 108906 and CGA 62826) were added to the waterworks' mandatory analysis programme on April 2014. In 2014, CGA 108906 was detected in 2.6% of the approx. 690 tested waterworks wells, including 0.6% above the quality standard. In 2014, CGA 62826 was detected in 0.6% of the tested waterworks wells, including 0.3% above the quality standard. Both metabolites have thereby entered the list of the 20 most frequently found substances in the waterworks' well control. The parent substance, metalaxyl-M, was withdrawn from the market in 2013 following findings of metabolite and parent substance washout on sandy soil used for potato production in the Warning System for Pesticide washout to the groundwater (VAP).

Water abstraction

The total abstracted water quantity in Denmark (not including irrigation) displays a slightly decreasing trend in the 1999-2014 period, from approx. 500m m³/year to approx. 425m m³/year. Due to lacking reporting, the latest aggregate abstraction value may be greater than 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 2014 this part of the abstracted water reached 309 million m³, corresponding to approx. 40% of the total amount of abstracted water in Denmark, whereas in 2012 the amount abstracted for these purposes was a modest 187 million m³, corresponding to approx. 25%

The water abstractions in companies with their own abstraction wells, follows a slightly decreasing trend from 1990 to 2012. The 2014 reports have been calculated to 58m m³, corresponding to the median for the 1090-2013 period.

Abstraction of surface water amounts to 12m m³/year, corresponding to only a few percent of the annual amount of water abstracted. Surface water is not used for drinking water in Denmark, but is primarily used for industrial purposes, gravel washing in primary industries and for irrigation.

The national groundwater table monitoring programme

On the basis of the 150 monitoring points at various depths that comprised The National Groundwater Level Monitoring Programme in 2014, the groundwater level is monitored in all of Denmark.

In the current programme period, the net of monitoring points will be revised and extended to ensure that the monitoring network may better represent and cover relevant groundwater bodies in the future and thereby meet the requirements for quantitative monitoring specified in the Water Framework Directive.

For the past 100 years, the precipitation in Denmark have followed an increasing trend which may be reflected in the groundwater table, partly through an increased groundwater resource, partly as swamping of low-lying areas. Average precipitation has increased by 4.4% from the 1961-1990 period to the 1991-2010 period, which is equivalent to a 33 mm/year increase of the average annual precipitation over a 30-year period.

GEUS has assessed representative long groundwater table data series in five geographically different areas in terrain-near monitoring points. On this basis, the following trends were recorded:

Long-term trends: Several, but not all long groundwater table time series present a slight increase in the groundwater table in accordance with the generally increasing precipitation amount.

Annual variation: The time series shows an annual variation in the groundwater table of up to 6 m.

Impact of increasing precipitation in the 1980s: Reflected in up to 2 meters increase in the water table.

Impact of dry periods. The observed period saw two low-precipitation events in 1975-76 and 1996. These dry periods are more clearly reflected in several time series during the following 3-4 years in the regional and deep groundwater bodies where the groundwater table decreases by up to 3 m in some locations and does not increase (as they normally would) in the subsequent winter period.

The year 2014: Throughout 2014, the majority of the selected groundwater table data series exceed both those of the 1961-1989 and the 1990-2013 period.

2 Formål og stationsnet

Sammenfatning og konklusion

Grundvandsovervågningen har i mere end 25 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 stoffer 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 vand og natur: 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 denne programperiode (2011-2015) og i 2016 inddrages nye overvågningsindtag, mens nogle af de oprindelige overvågningsindtag lukkes eller indgår med lavere prøvetagningsfrekvens. Der har i 2011-2014 været fokus på at inddrage eksisterende borer fra den statslige grundvandskortlægning som supplement til at bore nye overvågningsboringer. I denne programperiode (2011-2015) er 137 nye indtag pr. 1 jan 2015 inddraget til fortsat overvågning, heraf 67 indtag fra grundvandskortlægningen.

Der blev i 2014 udtaget vandprøver fra i alt 836 indtag til grundvandsovervågning, heraf 697 i "gamle" indtag fordelt på 62 GRUMO-områder og 139 "nye" indtag, der er inddraget i perioden 2007-2014 i det såkaldte distribuerede GRUMO-stationsnet. Endvidere er der analyser fra 91 indtag fra fem LOOP-områder.

Det Nationale Pejleprogram har siden 2007 været en del af grundvandsovervågningen med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand. Det Nationale Pejleprogram gennemførtes i 2014 i 150 indtag.

Grundvandsovervågningen sikrer et datamateriale, der er uafhængigt af udviklingen i vandindvindingsstrukturen, mens analyserne fra grundvandet i vandværksboringerne giver et billede af vandkvaliteten i det grundvand, som indvindes af vandværkerne. Tilsammen giver disse to datasæt et generelt billede af grundvandets tilstand i områder, der overvejende er påvirket af diffuse forureningskilder.

2.1 Formål

Det nationale overvågningsprogram, NOVANA

Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af det Nationale Overvågningsprogram for vand og natur: NOVANA.

Det fremgår af programbeskrivelsen (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011), at formålet med grundvandsovervågningen er, 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 grundvandsressorens 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 materiale typer 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.”

Grundvandsovervågningen sikrer et datamateriale, der er uafhængigt af udviklingen i vandindvindingsstrukturen, mens analyserne fra grundvandet i vandværksboringerne giver et billede af vandkvaliteten i det grundvand, som indvindes af vandværkerne. Tilsammen giver disse to datasæt et generelt billede af grundvandets tilstand i områder, der overvejende er påvirket af diffuse forureningskilder.

Historik for Grundvandsovervågningen, GRUMO

De Nationale Overvågningsprogrammer, i dag NOVANA, 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 (MST, 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.

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. Vandrammedirektivets krav til prøvetagningsfrekvens afhænger af om

grundvandsforekomsten vurderes at være i risiko for ikke at kunne opfylde miljømålet ved udløbet af planperioden.

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 filtersatte interval af boringen, hvor vandet strømmer ind, se også 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 arbejdes der med en kumulativ metode, se 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, også tilpasset kravene til grundvandsovervågning i Vandrammedirektivet og Grundvandsdirektivet (EU 2000 og 2006).

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 (Trolborg 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 ”kontrol-” 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. Data fra kontrolovervågningen og den operationelle overvågning skal bl.a. anvendes til at opgøre grundvandsforekomsternes tilstand, og disse tilstandsvurderinger skal efter Vandrammedirektivet indgå i vandområdeplanerne, der som nævnt skal udarbejdes hvert 6. år.

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

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 (grundvandsovervågningens hjemmeside). Nærværende rapport bygger på data indsamlet til og med 2014.

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 generelle, landsdækkende karakter. Med udgangspunkt heri suppleres der med relevante figurer og diskussioner. Nogle emner rapporteres ikke hvert år, og uorganiske sporstoffer indgår derfor ikke i dette års rapport. 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). Overvågningen af grundvandets nitratindhold i overvågningsboringerne for GRUMO rapporteres desuden hvert 4. år i en selvstændig rapport til EU kommissionen, som led i en særlig rapportering tilknyttet Nitratdirektivet (EU, 1991). Den seneste rapportering i henhold til Nitratdirektivet er fra 2013 (MST, 2013).

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 i fx vandforsyningsboringer være et åbentstående hul i kalken. En boring kan have flere indtag i forskellig dybde, se fx Figur 14. Almindeligvis har en overvågningsboring 1-3 indtag.

Når der i denne rapport og i andre sammenhænge, hvor der anvendes data fra JUPITER, tales om indtag, er der således som regel tale om den filtersatte del af en boring. Begrebet er defineret i GRUMO-rapporten fra 2001 (Stockmarr, 2001).

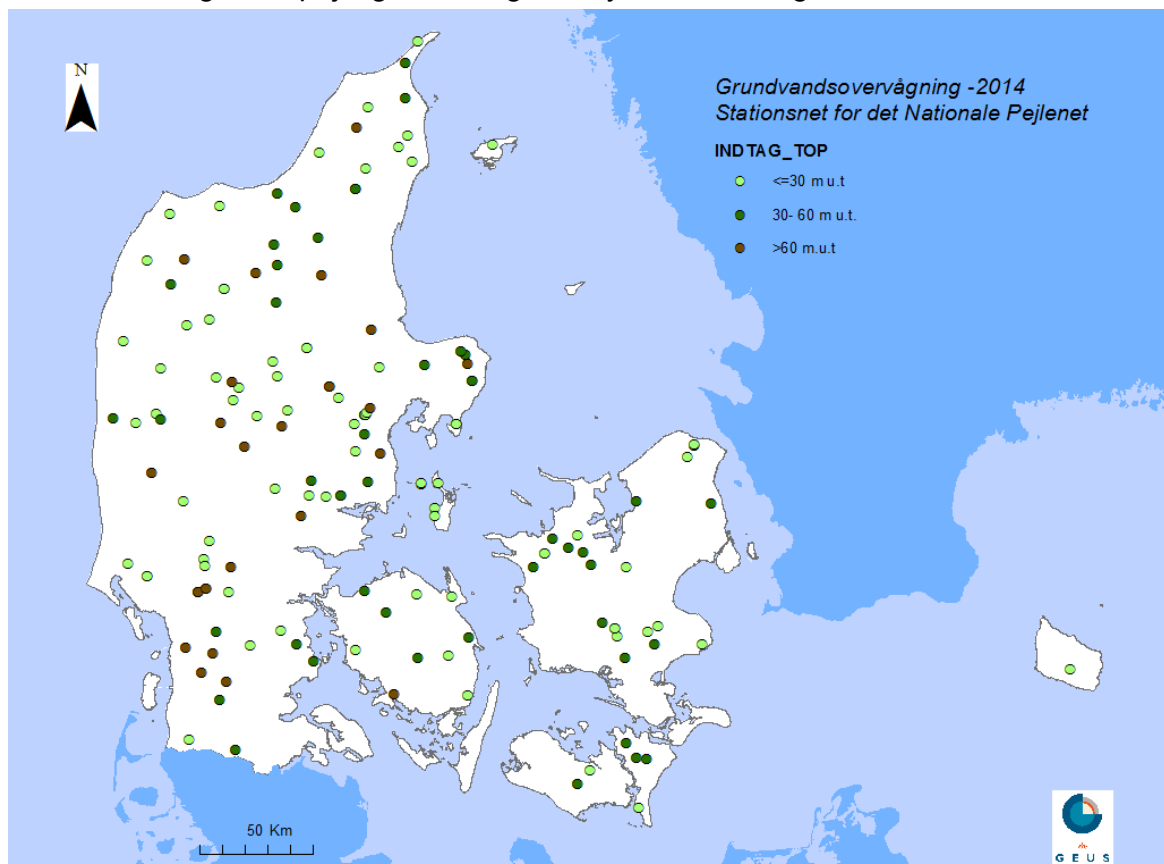
Tabel 1 giver et overblik over aspekter af overvågningen af grundvandet i Danmark. De forskellige aspekter af tabellen diskuteres gennem dette kapitel.

Hvad	GRUMO	LOOP	Nationale pejlenet	Vandværker	Punktkilder
Hvor	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Indvindingsboringer	Overvågningsboringer mm.
Hvorfor	NOVANA	NOVANA	NOVANA	Drikkevandsbekendtgørelsen	Jordforureningsloven
Hvem	NST/GEUS	NST/DCE/GEUS	NST/GEUS	Vandværker/kommuner	Regioner
Hvor mange	I alt ca. 2000 2014: 836	I alt ca. 100 2014: 99	I alt ca. 160 2014: 150	I alt ca. 8.000 2014: ca. 1.500	>15.000 punktkilder
Rapport	GEUS	GEUS/DCE	GEUS	GEUS	Region /rådgivere

Tabel 1. Oversigt over bidrag til og aspekter af overvågningen af grundvand i Danmark, herunder omfang af bidrag til datagrundlaget for afrapportering.

Det Nationale Pejleprogram

Figur 1 viser den geografiske fordeling af de 150 indtag, der i 2014 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.

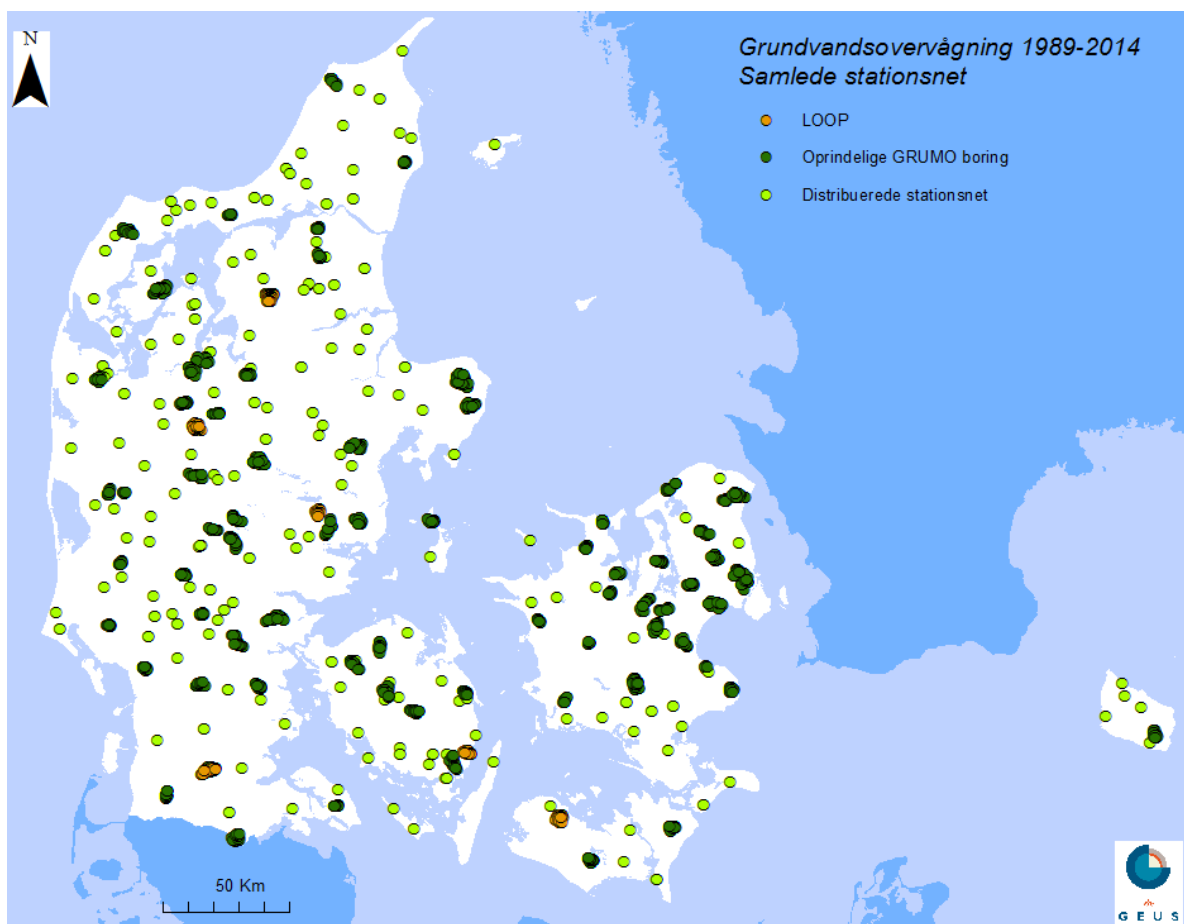


Figur 1. Stationsnet for det Nationale Pejleprogram i 2014 med fordelingen på henholdsvis terrænnære (< 30 m u.t.), middel dybde (30-60 m u.t.) og dybe indtag (> 60 m u.t.).

Pejleprogrammet bliver i denne programperiode (2011-2015) samt i 2016 tilpasset de overvågningsbehov, der er identificeret i vandområdeplanerne, således at stationsnettet udbygges med nye indtag, der dækker alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster. I 2014 er pejlestationsnettet justeret, og der er såvel nedlagt, som oprettet stationer, for at forbedre kvaliteten af stationsnettet og målrette overvågningen mod vandrammedirektivets krav.

Grundvandsovervågning, stationsnet for vandkvalitet, historik og status

Figur 2 viser det samlede stationsnet anvendt i grundvandsovervågningen i perioden 1989-2014. Boringerne er opdelt i de oprindelige GRUMO-boringer (der ligger i de gamle grundvandsovervågningsområder), indtag 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 grundvandets kvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2014.

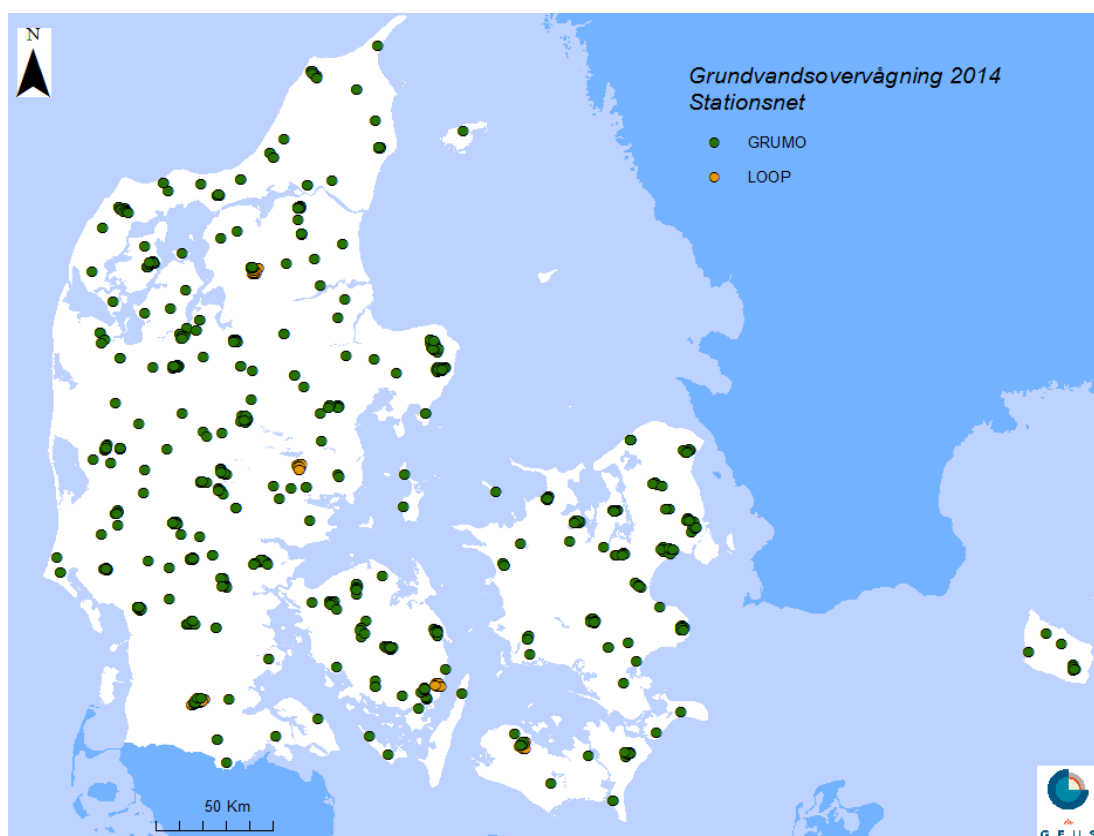


Figur 2. Det samlede stationsnet for grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1989-2014. Kortet viser det oprindelige stationsnets boringer fordelt på 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO-områder) og seks landovervågningsoplande (LOOP), hvoraf et ved Herning er lukket i dag. Ligeledes ses overvågningsboringerne i det distribuerede stationsnet, som er under udbygning uden for de oprindelige GRUMO-områder

Grundvandsovervågningen bestod oprindeligt af 73 grundvandsovervågningsområder, som i årene op til 2007 blev udbygget til at omfatte ca. 1400 almindelige overvågningsindtag. Derudover var der fra programmets start inddraget 112 meget korte indtag (længde 5 cm) i en række multifilterboringer til overvågning af grundvandets 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), se kapitel 4.2.

Stationsnettet blev i 2002-2004, og igen 2007-2009, suppleret med en række terrænnære indtag, der er inddraget med det formål at forbedre overvågningen af det yngste grundvand. Indtagene fra 2007-2009 var særligt rettet mod grundvandets påvirkning af overfladevand, og blev placeret i områder uden grundvandsovervågning. En stor del af disse indtag indgår i dag det distribuerede stationsnet.

I de fem aktive 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.) under 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. (2015).



Figur 3. Stationsnet for grundvandsovervågningen i 2014. Overvågning af grundvandets kvalitet i grundvandsovervågningsboringer i de oprindelige GRUMO-områder og i det distribuerede stationsnet samt i de boringer, der indgår i LOOP.

Figur 3 viser det stationsnet, der i 2014 er anvendt i overvågningen af grundvandets kemiske tilstand i 2014. Der blev i 2014 udtaget vandprøver fra i alt 836 indtag til grundvandsovervågning, heraf 697 i "gamle" indtag fordelt på 62 GRUMO-områder og 139 "nye" indtag fra det distribuerede stationsnet. Endvidere indgår der analyser fra 91 indtag fra fem LOOP-områder. Selve analyseprogrammet præsenteres i kapitel 3.

Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2016

For at tilpasse stationsnettet til kravene om overvågning i Vandrammedirektivet udbygges det oprindelige stationsnet i GRUMO områderne i 2011-2016 med etablering eller inddragelse af en række enkeltstående boringer. Boringerne har indtag i grundvandsforekomster i risiko (for ikke at kunne overholde miljømålene jf. vandplanerne for perioden 2009-2015)). Disse nye boringer er i programbeskrivelsen betegnet "det distribuerede stationsnet" (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011). I den forbindelse er der i 2011-2014 i stort omfang inddraget relevante indtag i kortlægningsboringer fra den Nationale Grundvandskortlægning.

I forlængelse heraf blev 261 indtag omklassificeret til hvilende. Disse indtag var aktive i det hidtidige stationsnet for grundvandsovervågning, men 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 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. Resultaterne herfra kan med fordel anvendes til etablering af konceptuelle modeller for grundvandets kemiske tilstand i vandområdeplanerne, selv når der kun udtages prøver hvert 10. år eller sjældnere.

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.

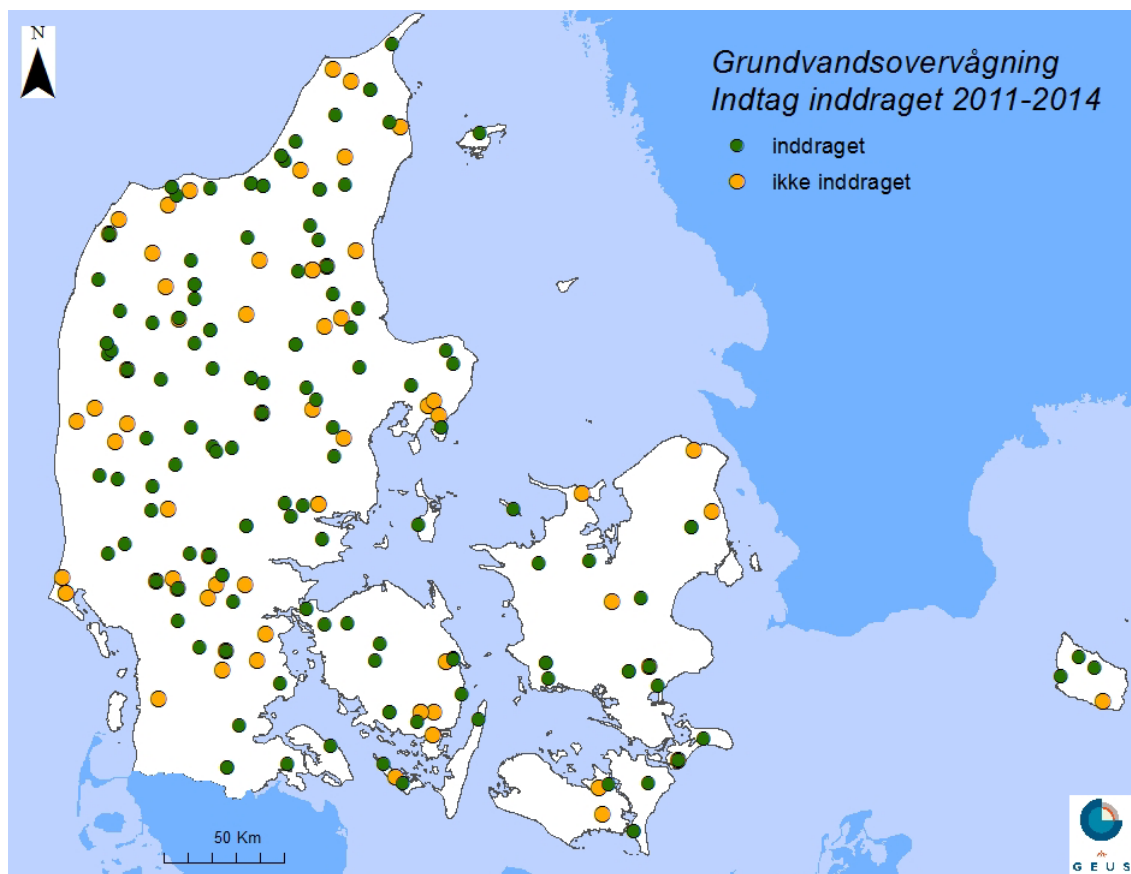
Figur 4 viser lokaliseringen af boringsindtag, der i denne programperiode (2011-2015), har været inddraget med henblik på at skabe det distribuerede stationsnet. Der har været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra Grundvandskortlægningen.

I perioden 2011-2014 har 201 indtag været i betragtning, hvoraf 137 er vurderet egnet til fortsat overvågning pr. 1. januar 2015.

I perioden 2007-2014 er der sammenlagt inddraget 226 indtag i det distribuerede stationsnet. Disse indtag skal indgå i det fremtidige overvågningsprogram.

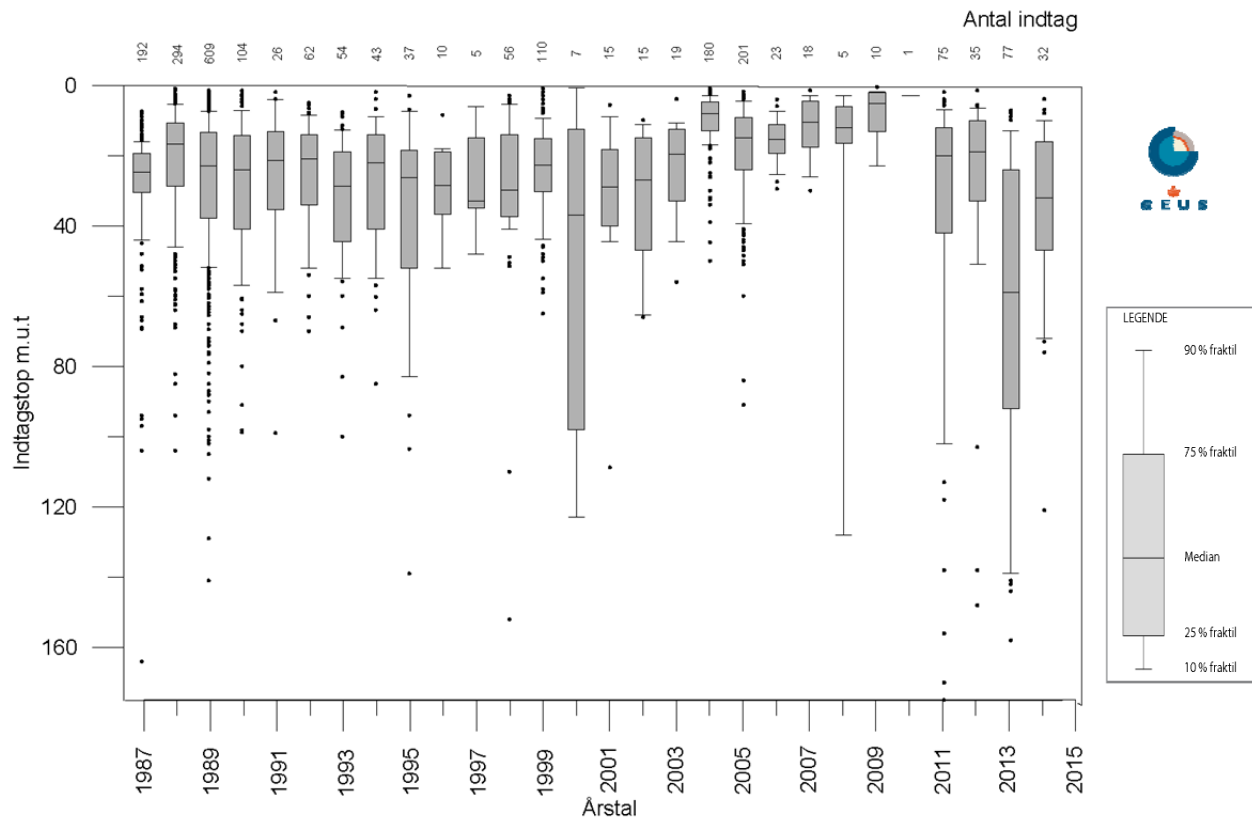
Figur 5 viser dybdefordelingen, hvor dybden er fastlagt som top af indtag, for de nye indtag, der de enkelte år gennem hele overvågningsperioden 1987-2014, er inddraget. Etablering af boringer begyndte året før de første prøvetagninger blev igangsat i 1988. Med en vandret streg vises medianværdien. For hvert år er det angivet, hvor mange indtag der er oprettet. Det fremgår fx, at der blev inddraget 192 indtag i 1987 og blot 7 i 2000.

Figur 5 viser, at der frem til ca. 2009 blev inddraget stadig mere terrænnære indtag. I peioden 2011-2014, er der inddraget mange indtag, som er blevet etableret i forbindelse med den Nationale Grundvandskortlægning. Derfor ses en større andel af indtag i dybere dele af grundvandet i de seneste år. I 2013 var halvdelen af de 77 nye indtag dybere end ca. 60 m u.t., hvilket er ganske dybt sammenlignet med 2004, hvor medianværdien lå omkring 10 m u.t. for 180 nye indtag.



Figur 4. Udbygning af stationsnettet i programperioden 2011-2015: Samtlige 201 overvågningsindtag er prøvetaget i 2011-2014. I alt 137 af indtagene er inddraget i det distribuerede stationsnet pr. 1. jan 2015. Indtag der ikke inddrages er indtegnes nederst, så boringer med flere indtag, viser det indtag som inddrages.

Dybden af nyetablerede indtag GRUMO



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 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. Øverst er angivet antal nye indtag for hvert enkelt år.

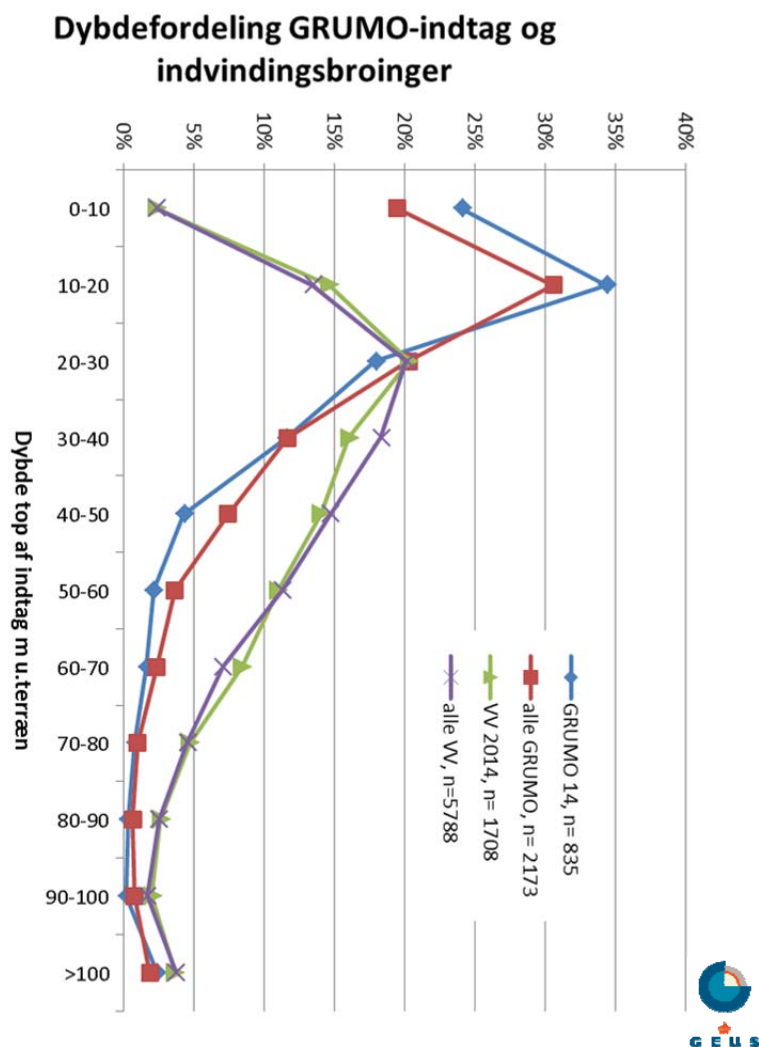
2.3 Vandværkernes indvindingsboringer

I Miljøministeriets bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, den såkaldte Drikkevandsbekendtgørelse (MiM, 2014b), 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 (Sørensen, 2013) var der godt 2.600 almene vandværker, hvoraf ca. 330 er offentligt ejet. Værkerne indvinder fra ca. 7.800 boringer, men har yderligere ca. 5.700 boringer til pejling, monitorering og reserve. Heraf bliver der indberettet data til JUPITER fra ca. 8.000 boringer. Endelig har der de seneste årtier været en udvikling mod færre vandværker i Danmark, se kapitel 9.

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. Indvindingsboringerne er fordelt over hele Danmark og fremgår af fx Figur 30, der viser nitratindholdet i indvindingsboringer prøvetaget i perioden 2009-2014, hvor man kan forvente, at alle aktive vandværksboringer er prøvetaget mindst én gang.

Figur 6 viser dybdefordelingen til toppen af indtaget for GRUMO og vandværksboringer, hvorfra der er analyseresultater i form af en boringskontrolanalyse. Figur 6 viser dels fordelingen af samtlige indtag i år 2014, og i hele perioden 1990-2014. Det ses, at dybdefordelingen af vandværksboringerne er den samme i 2014 som for hele perioden, mens der er flere indtag fra GRUMO i højtliggende grundvand i 2014 end for hele perioden. Samtidig fremgår det af Figur 6, at kun ca. 30 % af vandværksboringerne har overkanten 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 vandværksboringer (VV) og indtag, hvorfra der er udtaget prøver for hhv. en boringskontrol og hovedbestanddele i forbindelse med overvågningen. Fordelingen er vist for perioden (1990-2014) og for 2014. Det fremgår, at vandværksboringerne havde den samme dybdefordeling i 2014 som i perioden 1990-2014, 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

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

Miljøministeriet, 2013: LBK nr. 1199 af 30.09.2013 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)

Miljøministeriet, 2014a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 231, 5 marts 2014 (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

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

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

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

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

Miljøstyrelsen, 2013: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the period 2008-20011. (83 pp)

Miljøstyrelsen, 2014: 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 www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)

EU direktiver.

Nitratdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF

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

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

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

Analysekvalitetsdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2009/90/EF

Andre henvisninger:

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L., 2015: Landovervågningsoplade 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164.

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

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/publications/grundvandsovervaagning/1989_2013.htm (20-08-15)

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 (19.03.15)

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 (19.03.15)

Relevante hjemmesider og links

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (19-8-2014)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos naturstyrelsen: www.naturstyrelsen.dk/vandmiljoe/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/ (19.8.2014)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: www.geus.dk/DK/water-soil/mapping/groundwater-mapping/Sider/default.aspx (3.2.2015)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.08.2014)

Jordforurening, hjemmeside, www.jordforurening.info (19.08.2014)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.08.2014)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.08.14)

DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (25.08.2014)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19-8-2014)

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 Overvågningsprogram, GRUMO's særlige overvågningsboringer og i vandværkernes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol.

Analyseprogrammerne for de miljøfremmede stoffer har både for GRUMO og Boringskontrollen udviklet sig gennem tid, bl.a. i takt med fund af nye stoffer i grundvandet og udviklingen af analysemetoder har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser. 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 Retsinformations historiske database. Analyseprogrammerne for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne, (NOVANA-hjemmesiden hos NST).

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 (MST, 2014). En mindre del af disse data er indberettet til JUPITER og vil indgå i datasættet "Andre Boringer." Data fra er jordforureningsområdet 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. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data fra flere forskellige indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskrav og detektionsgrænser. I det omfang, der beregnes middelværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler, se nedenfor kapitel 3.2.

En kumulativ metode er udviklet til at give et billede af det samlede resultat over en periode, blandt andet for at kunne håndtere indtagenes forskellige prøvetagningshyppigheder og aktive perioder.

3.1 Analyseindsats og dataindsamling

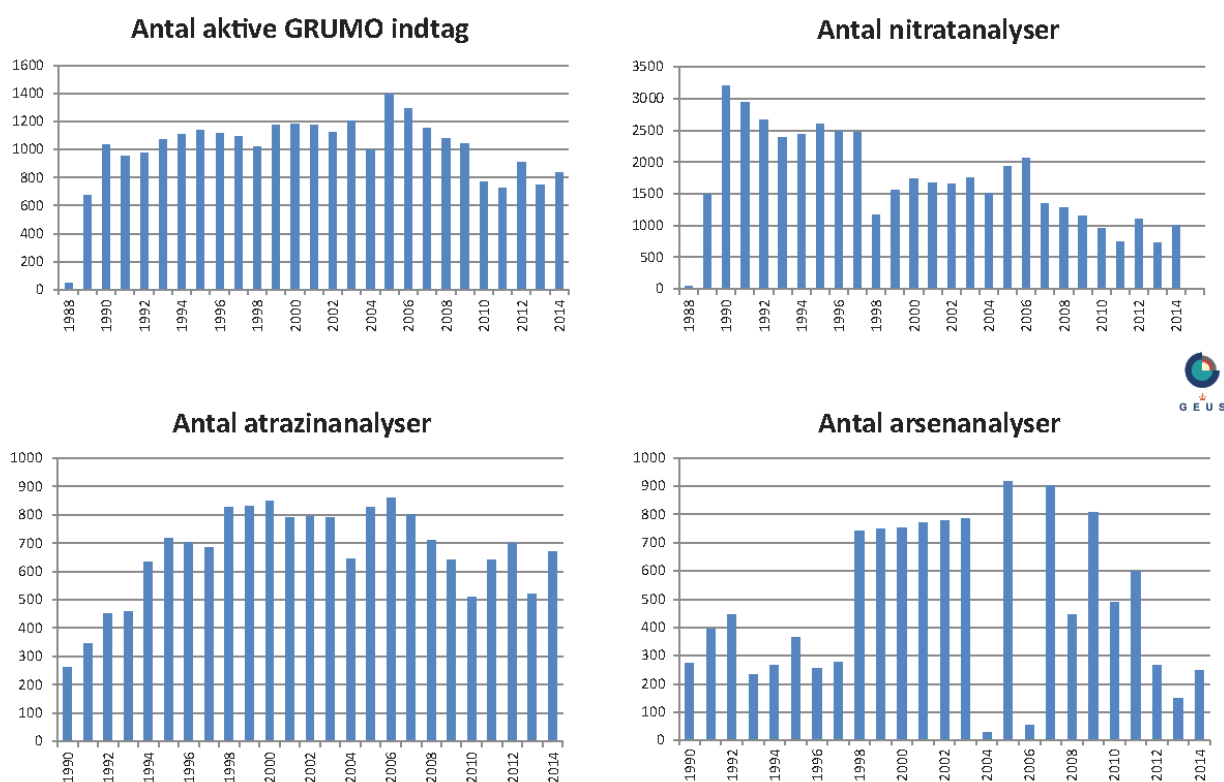
Analyseindsats vedr. grundvandskvalitet

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 Overvågningsprogram's særlige overvågningsboringer og i vandværkernes 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 miljøfremmede stoffer og sporstoffer med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser. Undervejs er stoffer, der kun sjældent eller aldrig findes, udgået af programmerne. Analyseprogrammerne fremgår af programbeskrivelserne (NST, DMU og GEUS, 2011)(NOVANA-hjemmesiden hos NST). Analyseprogrammerne for Boringskontrollen fremgår af de forskellige versioner af Drikkevandsbekendtgørelsen (senest MIM, 2014b). De aktuelle analyseprogrammer for nuværende programperiode fremgår i de kapitler, hvor stofferne præsenteres.

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 Boringskontrollen, se også kapitel 7 og 8. I bilagene præsenteres resultater fra samtlige pesticidanalyser og organiske mikroforureninger i grundvand, opdelt på grundvandsovervågning, boringskontrol og andre boringer, i det omfang de ligger i JUPTIER.

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. Analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2014. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

Det fremgår af Figur 7, at mens der har været et fald i omfanget af analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider ligget mere konstant i hele overvågningsperioden. I denne programperiode er der normalt 1 prøve/år i hvert indtag, bortset fra i redoxboringerne, der kun indgår to gange i programperioden, men da med 4 prøver/år/indtag.

Faldet i antallet af nitratanalyser pr. år er især begrundet i det forhold, at analysefrekvensen/år for hovedbestanddele er faldet gennem tiden, mens analysefrekvensen for pesticider til sammenligning ikke har varieret meget. Det større antal analyser for nitrat i 2012 og 2014 end 2013 viser, at der i 2012 og 2014 blev udtaget prøver i de 89 indtag i redoxboringerne, der ikke prøvetages hvert år, se kapitel 4.2. Hvad angår sporstofferne har prøvetagningshyppighederne og omfanget af analyser varieret betragteligt

Omlægningen af stationsnettet, som beskrevet i kapitel 2, fremgår også af antallet af aktive GRUMO-indtag, idet der er en indkøringsfase op til 1990, efterfulgt af 15 år med kun få ændringer, hvorefter der ses en stigning omkring 2004 og derefter et faldende antal indtag efter 2006. Denne udvikling vendte i 2011, og i løbet af programperioden 2011-2015 er det planlagt at etablere 200-300 nye indtag i områder med grundvandsforekomster med udækkede overvågningsbehov.

Oppumpede vandmængder

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. I henhold til Vandforsyningsloven (MiM, 2013) og Drikkevandsbekendtgørelsen (MiM, 2014b) skal alle almene indvindinger indberette indvindingen til kommunerne. Ikke-almene indvindinger indberettes dog kun, såfremt kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne skal sikre, at indberetningerne til JUPITER er korrekte.

Anden overvågning af grundvandet "andre boringer"

Kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af Regionerne i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteredes årligt indtil 2014 af Miljøstyrelsen (MST, 2014). 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 JUPITER, er så vidt muligt søgt adskilt fra de øvrige data, der indgår i denne rapportering. Generelt indberettes regionernes grundvandsdata ikke til JUPITER, men i det omfang data er indlæst i JUPITER, vil disse indgå i datasættet "Andre boringer".

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. Generelt er analyser fra boringer, som ikke stammer fra aktive vandværker eller aktive overvågningsboringer fra NOVANA-programmet, kategoriseret som "Andre boringer" i rapporteringerne fra overvågningen. Denne kategori vil typisk indeholde data fra undersøgelsesboringer, pejleboringer, private boringer eller brønde, der forsyner enkelte husstande i det åbne land, afværgeboringer, lukkede indvindingsboringer mv.

Datagrundlag for rapportering

Indberetningen af vandanalyser fra såvel grundvandsovervågningen som Boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af analyselaboratorier direkte til JUPITER databasen. Efterfølgende godkender kommunerne eller Naturstyrelsen data jf. Dataansvarsaftalen (MiM, Danske regioner og KL, 2007) og Drikkevandsbekendtgørelsen (senest MIM, 2014b), før de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen.

De 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. På samme måde forventes datamaterialet derfor 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 og enheder håndteres.

Før udtrækket foretages, gennemfører GEUS en kvalitetskontrol af de data, som Naturstyrelsen har indsamlet. Det kan dreje sig om forkert brug af koder, og andre datatekniske forhold. Derudover producerer GEUS plot af alle pejletidsserier, som giver NST 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 pr. 20. maj 2014 foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de vandmængder som kommunerne (tidligere, amterne), har indberettet til JUPITER for perioden 1989 frem til og med 2013.

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 indtagsniveau. Hvis der inden for en periode er udtaget flere prøver i samme indtag, aggregeres målingerne som beskrevet nedenfor.

Statistiske metoder

Det bærende princip for hovedparten af figurene er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig. Der er fokus på hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskravet og detektionsgrænsen. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit for data fra flere forskellige indtag, men det kan fx være relevant i et

subset af data med fælles egenskaber. I det omfang, der beregnes middelværdier, præsenteres også medianer. Stoffernes tilstand illustreres gennem fraktildiagrammer, beregning af medianer og 25 og 75 % fraktiler mv., der samtidig illustrerer spredningen, se fx Figur 5.

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 stoffer med lave fundprocenter er fundprocenten i sig selv en vigtig parameter.

Da der normalt kun er analyseret én prøve om året, normeres alle data til aritmetiske gennemsnitsværdier på indtagniveau, pr. år, når grundvandets kemiske tilstand skal beskrives. Dette gøres IKKE i forbindelse med tidsserieanalyser på indtagniveau.

Koncentrationsklasser.

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

Rapporten tager derfor afsæt i disse tre koncentrationsklasser:

- ip: ikke påvist/ "NonDetects" værdier (x) under detektionsgrænsen ($< DG$).
- $\leq KV$: Målte talværdier under kravværdien dvs. $DG \leq x \leq KV$
- $> KV$: Værdier hvor kravværdien er overskrevet, $x > KV$

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 med detektionsgrænse. I Danmark implementeres brugen af kvantifikationsgrænsen med bekendtgørelse 902 af 17/8/2011 (MiM, 2011).

Som udgangspunkt i GRUMO-rapporten anvendes detektionsgrænsen (DG). Hvis koncentrationer er $< DG$ (ikke påvist) anvendes den numeriske værdi af DG ved beregning af middelværdier. Hvis alle værdier er under DG, skal gennemsnit og median osv. naturligvis opgives som mindre end den største DG. Dette gælder især, hvis gennemsnittet er mindre end den højeste DG. 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 detektionsgrænse.

Valget af den numeriske værdi af DG som substitut for analyser med indhold under DG ved beregninger er begrundet i at 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, mens naturligt forekommende stoffer normalt har en DG, der er meget mindre end kravværdien.

Kvantifikationsgrænsen anvendes almindeligvis ikke i GRUMO rapporten. Den er dog inddraget, når det vurderes, der er særlig stor usikkerhed på målinger omkring detektionsgrænsen. Dette er især tilfældet for organiske mikroforureninger.

Ved beregning af trends på stoffer med indhold tæt ved DG er der særlige problemer knyttet til den store analytiske usikkerhed på måleresultater under kvantifikationsgrænsen. Derfor anvendes $\frac{1}{2}$ kvantifikationsgrænse for alle værdier under kvantifikationsgrænsen, når der skal beregnes trends. Dette er især relevant for pesticider, hvor mange stoffer optræder meget tæt på detektionsgrænsen, 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 kvantifikationsgrænsen. Trendberegninger indgår normalt kun i forbindelse med temarapportering.

Databehandling

Fraktildiagrammer, hvor alle målinger indgår, anvendes til at præsentere stoffernes koncentrationsfordelinger. Det er nemt at aflæse median og vurdere spredningen på resultaterne.

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

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

Når data fra indtag med forskellig analysefrekvens skal sammenlignes, må opgørelser baseres på en samlet periode af en vis længde. For samtidig at undgå at indtag eller stoffer, som analyseres med høj frekvens, skævvrider billedet for den valgte periode, bliver der anvendt en såkaldt kumulativ tilgang: Det helt centrale er, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i et koncentrationsinterval, selv om der har været udtaget flere vandprøver med fund.

Den kumulative metode finder anvendelse både på enkeltstoffer og på alle analyserede stoffer.

Boks 1: Principper for en kumulativ opgørelse

I en kumulativ opgørelse tæller hvert indtag kun med én gang i en 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 seneste værdi, middelværdi i perioden eller om der er mindst ét stof eller mindst ét indtag der i perioden over detektionsgrænse eller kravværdi.

I rapportens kapitler for forskellige stofgrupper er anført, hvilke af ovenstående muligheder, der er brugt i kumulative opgørelser.

For naturligt forekommende stoffer anvendes periodegennemsnit, da værdierne normalt er relativt konstante. For MFS er der ofte meget store variationer fra prøvetagning til prøvetagning. Da der er særlig stor risiko for kontaminering af prøverne, anvendes seneste værdi og data vurderes i forhold til kvantifikationsgrænsen.

For pesticider anvendes den kumulative metode, således at det opgøres, hvor stor en andel af indtagene, der i en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over DG eller kravværdien. Det optælles ikke, hvor mange stoffer i en analyse, der har været påvist eller hvor mange stoffer, der har overskredet kravværdien. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kravværdien tælles kun med én gang.

Opgørelser på stofniveau, eller for grupper af stoffer (fx godkendte og regulerede pesticider) kan kun laves således, at det enkelte indtag indgår for flere stoffer eller grupperne af stoffer samtidig, da der i en vandanalyse eller et indtag, kan være fund af flere stoffer, evt. fra flere stofgrupper, på én gang. Sådanne opgørelser kan derfor IKKE summeres på indtagsniveau på tværs af stofferne, se fx Tabel 18.

Dybdefordelinger mm.

Fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet illustreres som Figur 27. Her er dybden opdelt i intervaller typisk af 10 m.

Dybdefordelingen bliver, som ovenfor beskrevet i status, præsenteret ved stoffernes procentvise fordeling, typisk i mindst tre koncentrationsintervaller:

- under detektionsgrænsen,
- mellem detektionsgrænsen og kravværdien
- over kvalitetskravet

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 31. Tidsserier, hvor alle målinger (evt. for en bestemt veldefineret delmængde af data) fra hvert år indgår, er præsenteret i ”box and whiskers” diagrammer, er især nyttige for stoffer med høje fundprocenter. Her vises både middelværdi og median sammen med 10, 25, 75 og 90 % fraktillerne, se fx Figur 32.

Egentlige statistiske analyser af tidsserier ligger uden for rammerne af den årlige normalrapportering, men kan udføres i forbindelse med temarapportering. Her inddrages også resultaterne fra dateringerne (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 35.

Pejledata og oppumpede vandmængder

Pejledata og oppumpede vandmængder behandles ikke som de kemiske parametre.

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.

Oppumpede vandmængder præsenteres alene som tidsserier opdelt på indvindingskategorier.

Referencer: Datagrundlag og metoder

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

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

EU, 2009: Kommissionens direktiv 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 200/60/EF. P1-36. (Analysekvalitetsdirektivet)

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2007: Dataansvarsaftalen, <http://internet.miljoportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalen%20Bilag%203%20Grundvand.pdf> (26-08-2014)

MIM, 2011: Miljøministeriet, Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om fastsættelse af miljømål for vandløb, søer, kystvand, overgangsvande og grundvand, nr. 902 af 17/8/2011

MiM, 2013: Miljøministeriet, LBK nr. 1199 af 30.09.2013 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)

MiM, 2014b: Miljøministeriet, Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

MST, 2014: 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 www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)

Relevante hjemmesider og links

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos naturstyrelsen: www.naturstyrelsen.dk/vandmiljoe/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/ (19.8.2014)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: www.geus.dk/DK/water-soil/mapping/groundwater-mapping/Sider/default.aspx (3.2.2015)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19-8-2014)

Jordforurening, hjemmeside, www.jordforurening.info (19-8-2014)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19-8-2014)

NOVANA hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19-8-2014)

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 denne rapport. 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 vid omfang referencer til dette kapitel i relation diskussionen af de indsamlede data.

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

4.1 Grundvandets Hydrogeologi

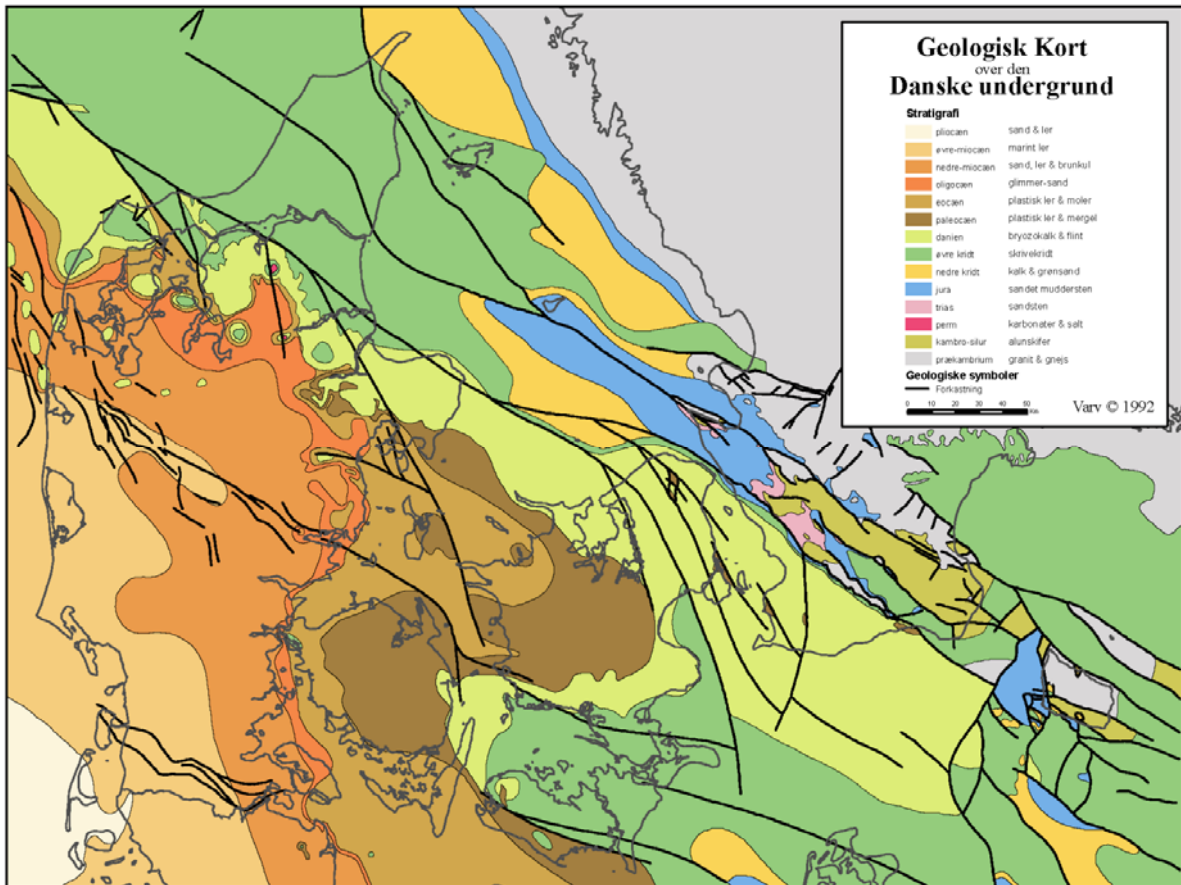
Geologiske forudsætninger

I store dele af Danmark foregår grundvandsindvindingen i lag afsat af smeltevand under kvartærtiden i forbindelse med landets nedisning under de seneste istider. I andre områder indvindes vandet i 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, (et prækvartærkort) dvs. de lag der er ældre end istidsaflejringerne og ligger umiddelbart under disse. 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, findes der under istidslagene grundvandsmagasiner i Skrivekridt (mørk grøn farve) og Danienkalk (lys gulgrøn farve). Derudover findes der i disse områder også grundvandsmagasiner i glaciale sandlag.

I Østjylland, i området omkring Himmerland, Thy, på Fyn og Vestsjælland består de prækvartære lag af fed tertiær ler (Oligocæn, Eocæn og Paleocæn). Her findes grundvandsmagasinerne typisk i begravede dale, der er opfyldt med istidsaflejringer, og lagene er 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 lag 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 betydelige glaciale grus- og sandmagasiner, der også udnyttes til vandindvinding. I den 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 til grundvandsindvinding.



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

Grundvandsdannelse

Nedbør, der ikke fordamper 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. Disse lag kaldes den umættede zone, hvor nedsivningen sker ved en overvejende lodret vandbevægelse mod grundvandsspejlet, hvorunder der er 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 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 i form af nitratreduktion eller frigivelse af arsen.

af redoxgrænsen i undergrunden. Øverst er grundvandet oxideret og indeholder ilt, og som regel også nitrat. Herunder er grundvandet reduceret og nitratfrit, se også Figur 12 og Figur 15.

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:

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

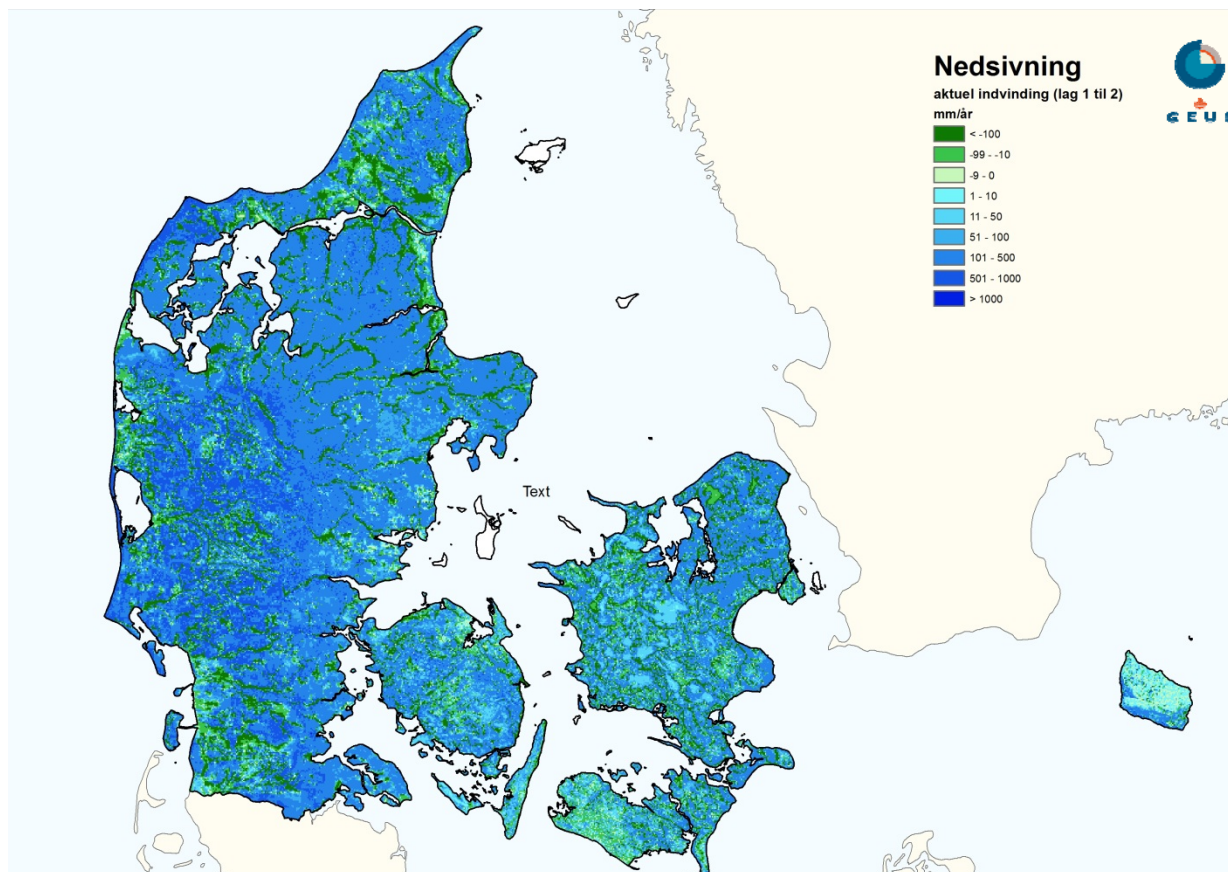
Hvor V_p er grundvandets partikelhastighed, K er de geologiske lags hydrauliske ledningsevne, dh/dx er hydraulisk gradient og n er sedimenternes effektive porøsitet, dvs. den brøkdel af sedimenterne, hvor der er hulrum i sedimenterne (porerummet), hvor grundvandet kan strømme. Grundvandets konkrete detaljerede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



Figur 10. Grundvandsdannelsen i Danmark udtrykt ved den gennemsnitlige beregnede nedsivning/opsivning 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 horisontale 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, generelle forhold.

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 reaktioner er særlig vigtige; nemlig forsurende processer og redox processer. Disse er under naturlige forhold irreversible og fører ganske langsomt til, at grundvandsmagasinerne forsures og iltes.

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. Forsøringsfronten definerer den dybde som opløsningen af kalk i undergrunden er nået til.

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 der

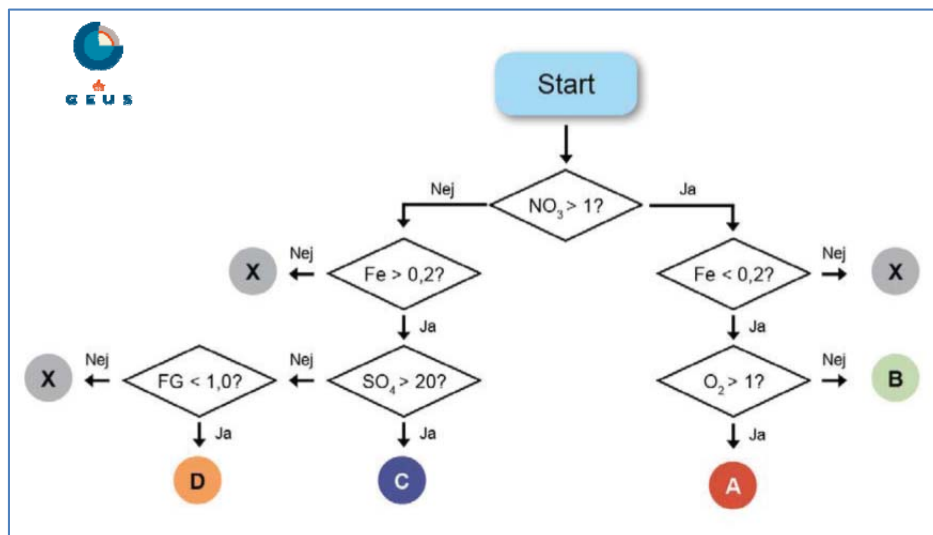
opstår en stadig mere reduceret tilstand i det strømmende grundvand, mens der opstår en stadig mere iltet tilstand i sedimentet.

Successivt reduceres ilt, nitrat, sulfat og hydrogenkarbonat, 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 at nitrat i grundvandet reduceres i en vis dybde, mens sedimentets nitratreduktionskapacitet langsomt opbruges.

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

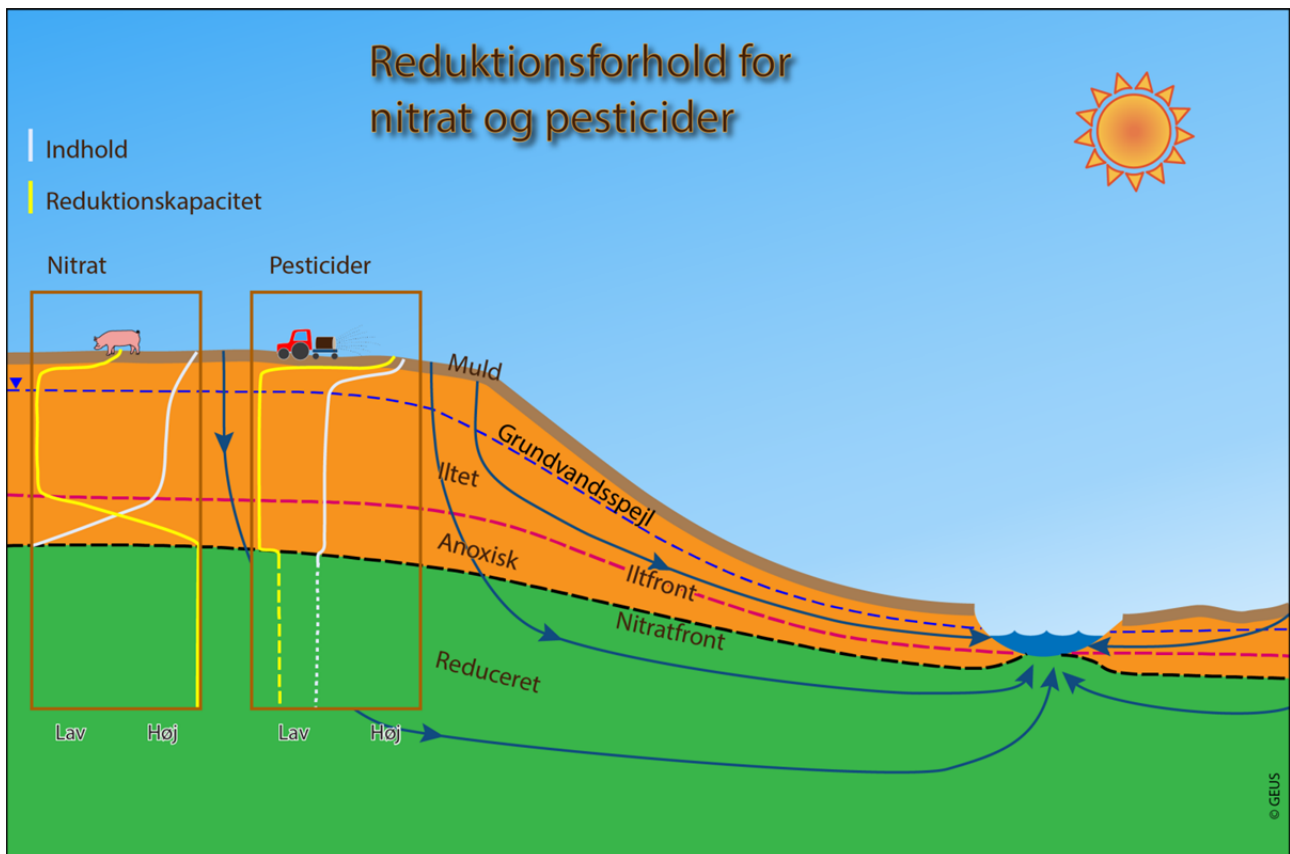
I de tilfælde, hvor der er kemiske ligevægt, vil nitratfronten og redoxfronten være sammenfaldende. Kemisk uligevægt kan dog forekomme, og her vil nitratfronten og redoxfronten ikke være sammenfaldende. Denne situation kan forekomme når grundvandets strømningshastighed er større end reaktionshastigheden 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 (molforhold calcium og hydrogenkarbonat) (Hansen m.fl., 2009). Andre algoritmer anvendes, hvis der fx er prøvetagningstekniske problemer (ilt i LOOP boringer) eller færre tilgængelige parametre (se fx kap 4.2)



Figur 11. Eksempel på en algoritme til fastlæggelse af vandtyperne A, B, C og D, ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt og sulfat. FG=forvitningsgrad (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, hvorledes nitrat og pesticidkoncentrationen kan forventes at ændre sig ned gennem lagene. Nitratreduktionen tager fat mellem iltfronten og nitratfronten. Reduktionskapaciteten for nitrat forløber omvendt af nitratkoncentrationen dvs. den er lav i det iltede miljø og høj i det reducerede miljø.



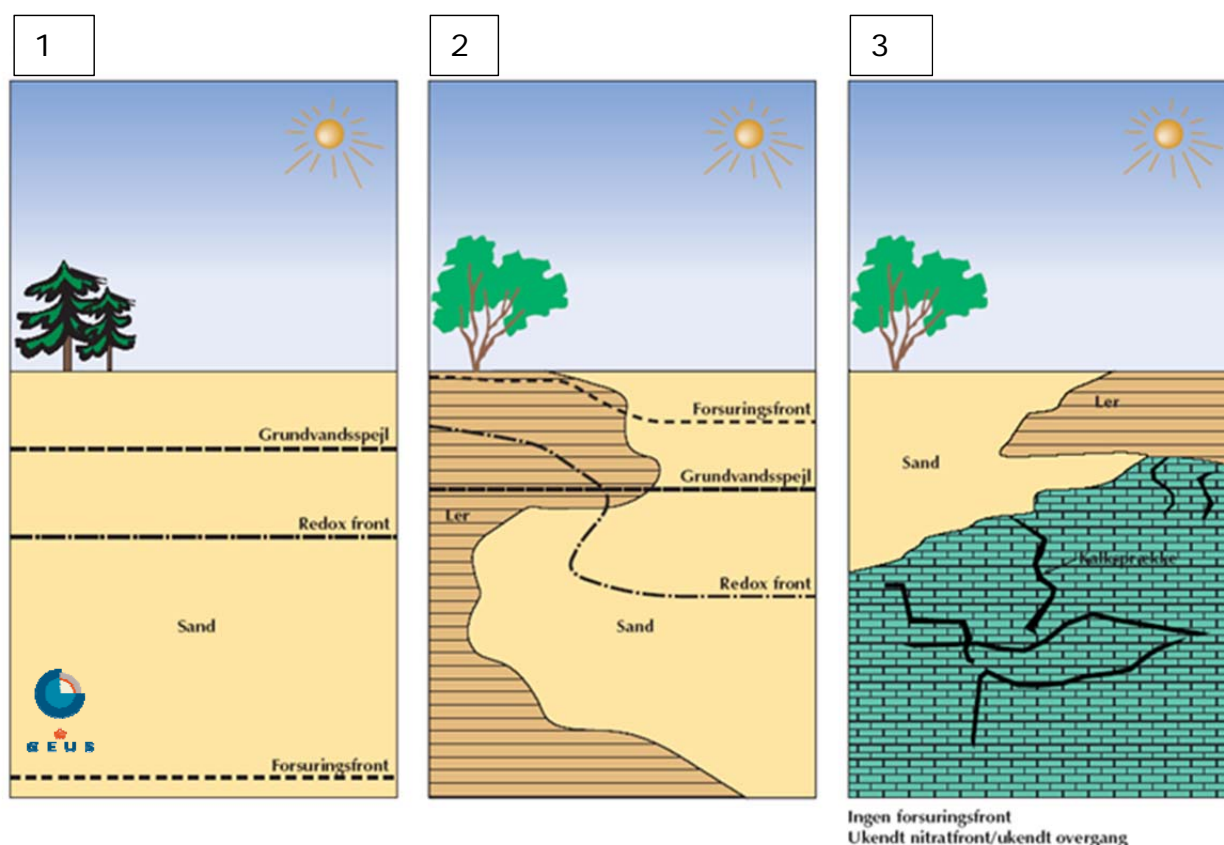
Figur 12. Principskitse over nitratfrontens beliggenhed i forhold til et vandløb, og udbredelse og reduktionsforhold af nitrat og pesticider i undergrunden. De hvide grafer i boksene viser koncentrationer af nitrat og pesticider, mens gule grafer viser potentialet for reduktion af stofferne. Forløbet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

Omsætning af pesticider er ikke på samme måde afhængig af nitratfronten, men foregår hovedsageligt i de øvre organisk-rige jordlag, hvor der er den største reduktionskapacitet over for pesticider (Nygaard, 2004).

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 forsøringsfronten kan ligge dybt i magasinerne, mens redoxfronten som regel ligger højere. Afhængig af strømningens mønster vil redoxfronten kunne ligge mange m under grundvandsspejlet. 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 forsøringsfronten normalt over grundvandsspejlet. 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 strømningens mønster i både sprækker og matrix, et såkaldt dobbeltporøst medie (Nielsen og Jørgensen, 2008)



Figur 13. Principskitse over beliggenheden af forsurefronten 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 forsurefronten kan ligge både over og under redoxfronten.

4.2 Tidsmæssige variationer i redoxzonernes dybde og tykkelse

Målsætning og relevans

For at forbedre beskrivelsen og forståelsen af variationer over tid af redoxzonernes vertikale udbredelse, og dermed af især nitrats udbredelse i grundvandsmagasinerne, overvåges grundvandet i 5 særlige multifilterboringer. Ændringer i indtrængningsdybden for nitrat og ilt har stor betydning for miljøtilstanden i tilknyttede overfladevandssystemer, idet jo større mægtighed de nitratholdige zoner har, desto større risiko er der for, at de tilknyttede overfladevandssystemer modtager grundvand med et højt nitratinhold. Samtidig har det en væsentlig betydning for, hvor stor en del af drikkevandsressourcen, der er påvirket af nitrat.

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

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

Datagrundlag

Fra en række multifilterboringer, de såkaldte redoxboringer, er der i perioden 1999-2014 indsamlet analysedata for "redoxpakken", nitrat, nitrit, klorid, sulfat, kalium, jern, mangan, ilt, pH, ledningsevne og redoxpotentiale. Boringerne pejles i flere dybder. På figurerne er de geologiske lagserier vist sammen med overvågningsdata fra alle indtag i boringerne. I programperioden 2011-2015 analyseres boringerne ikke hvert år. Til gengæld er der analyser for sporstoffer i 2012, som rapporteret i Thorling mfl. 2013.

Databehandling:

Da der ikke indsamles data for alle hovedbestanddele, er redoxzonerne vist på figurerne fastsat ud fra disse kriterier:

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

For prøver, hvor fx iltanalyser mangler, er der foretaget en manuel fortolkning af redoxforholdene ud fra prøvens samlede kemiske sammensætning med særlig vægt på indhold af nitrit, mangan, jern, sulfat og nitrat. (Hansen B. m.fl., 2009 & MST, 2000). Se også Figur 11.

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

Figur 14 viser, at der er nitratholdigt grundvand i hele det overvågede interval fra 34 m u.t. til 41 m u.t. i smeltevandssand i redoxboringen ved Albæk. I den nederste meter er indholdet af nitrat meget lavt, typisk under 5 mg/l, og der er af og til nitratfrie forhold. Iltindholdet er over årene steget i de dybere indtag, således at der i 2014 var ilt i samtlige prøver. Dette kan skyldes en etableringseffekt efter borearbejdet, men andre årsager, så som vandindvinding i oplandet kan ikke udelukkes.

Grundvandsspejlet ligger ca. 15,5 m u.t. Grundvandsspejlet har varieret ca. 1 m de sidste 10 år, og stod højest omkring 2002. På basis af farvebeskrivelser fra det geologiske profil og de vandkemiske målinger kan det konkluderes, at grundvandet indeholder nitrat indtil ca. 25 m under grundvandsspejlet. Der er således tale om, at en ganske betydelig del af grundvandsmagasinet indeholder nitrat i dette område. I rapporteringen fra 2011 (Thorling mfl., 2011) findes en nærmere redegørelse for tilstand og udvikling i grundvandskvaliteten i denne boring.

Udviklingen i nitratinholdet fra over 100 mg/l til omkring blot 20-25 mg/l i denne boring har sandsynligvis har to årsager. For det første vil ændret nitratudvaskning som følge af de generelle landbrugsreguleringer og ændret arealanvendelsen helt lokalt påvirke nitratinholdet i grundvandet. For det andet kan udviklingen skyldes fluktuationer i den rumlige udbredelse af ilt og nitratfronten. Dette er iagttaget i de dybere lag af redoxboringen i Albæk, fx filter 5, hvor nitrat kommer og går.

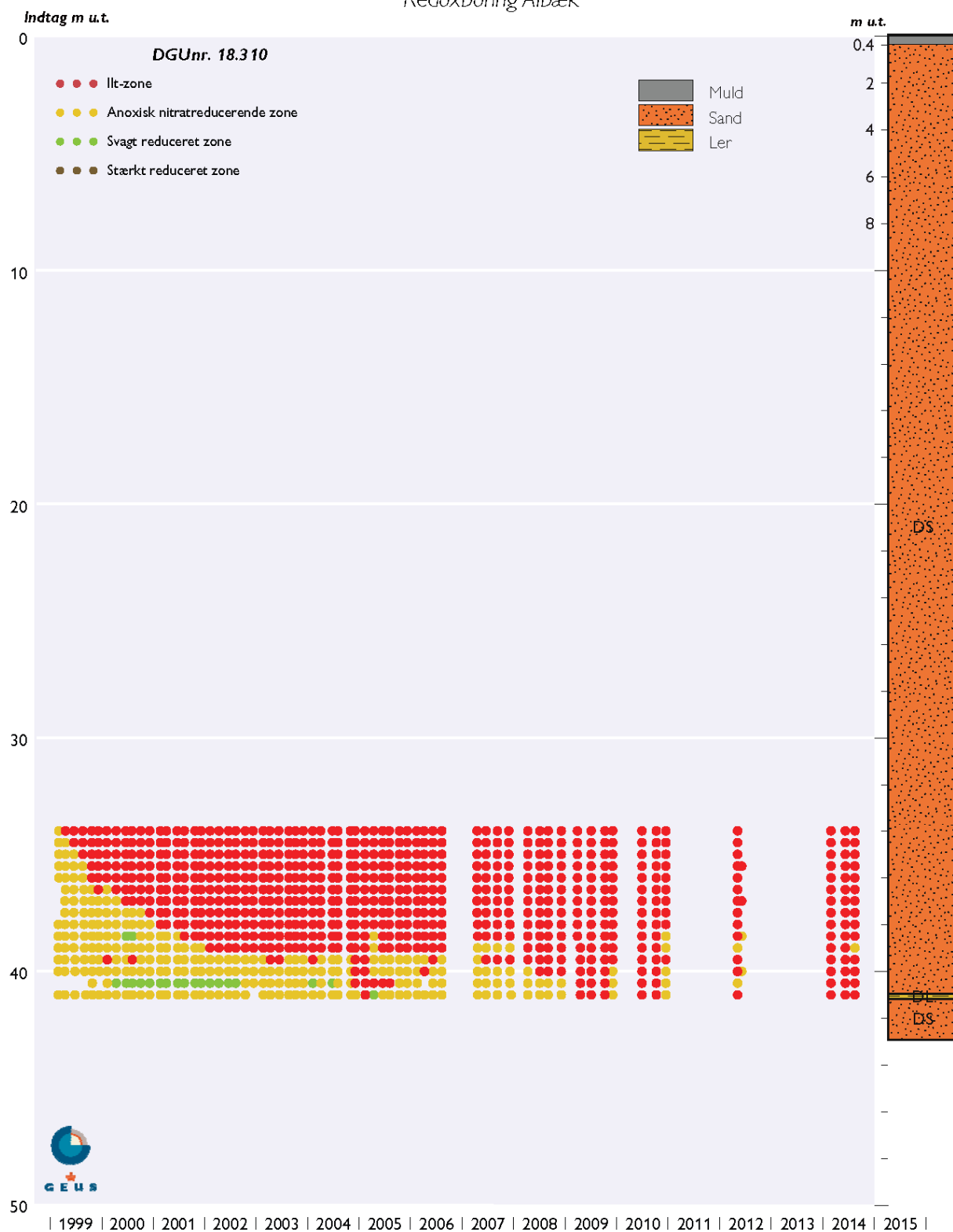
Tilstand, udvikling og årsager, Kasted ved Århus - DGU nr. 78.796

Figur 15 viser data fra redoxboringen ved Kasted, hvor redoxzonerne har ligget relativt stabilt siden år 2000 og svinger omkring 1 m op og ned. I samme periode har grundvandsspejlet også svinget 1 m op og ned. Der er nitratholdigt grundvand ned til ca. 33 m u.t svarende til ca. 25 m under grundvandsspejlet. Der er således også her, en betydelig del af grundvandsmagasinet som er nitratholdigt.

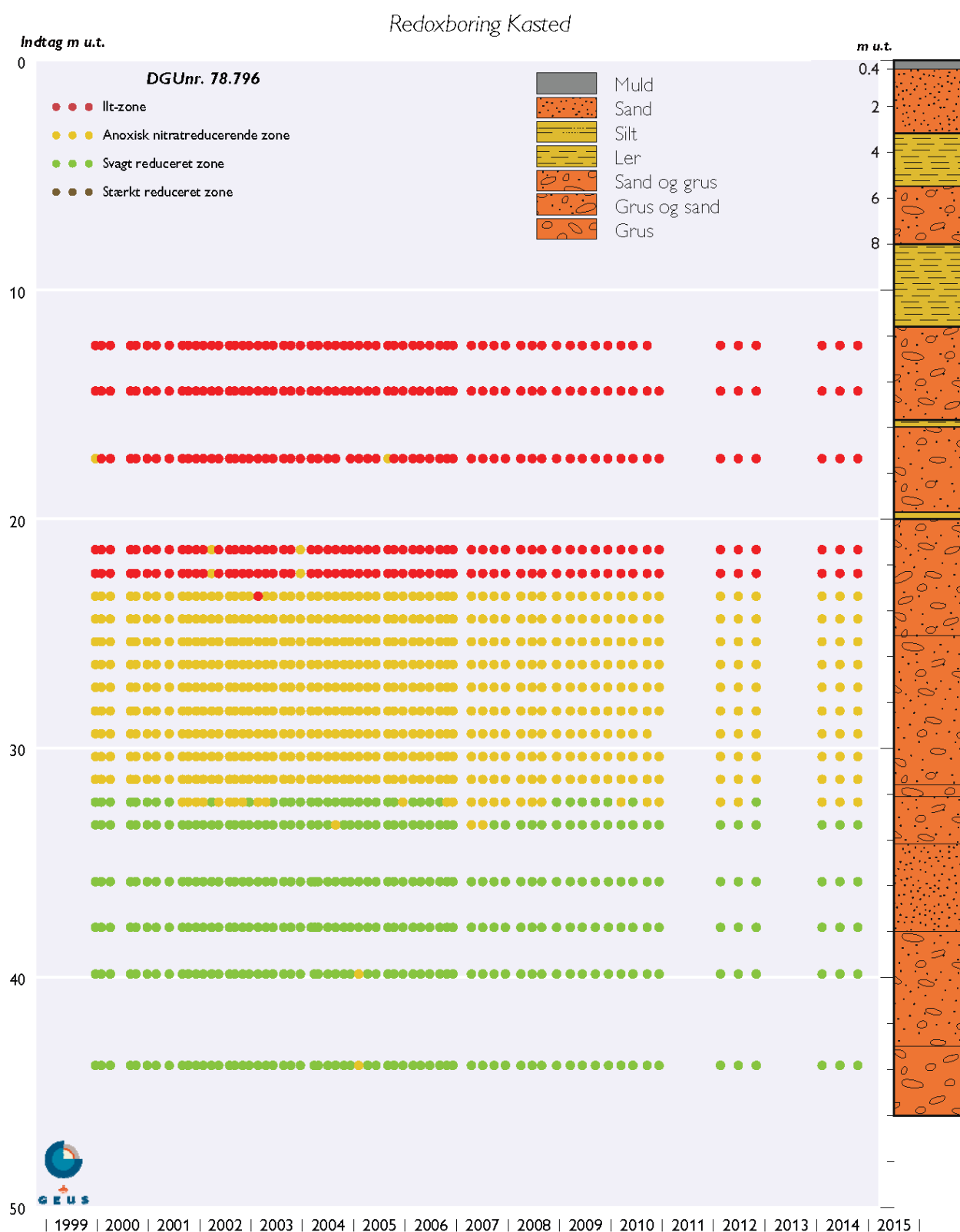
Den anoxiske nitratreducerende zone har en bemærkelsesværdig stor mægtighed på knap 10 m. Vandkvaliteten i de to øverste indtag adskiller sig markant fra resten af redoxboringen, idet der er svagt surt vand, med forhøjet indhold af klorid, der muligvis skyldes boringens beliggenhed i et skovbryn, som medfører relativ høj atmosfæriske deposition af bl.a. salte.

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

Redoxboring Albæk



Figur 14. Redoxzoner 33-43 m u.t. for redoxboring DGU nr. 18.310, Albæk, v. Sæby 1999-2014. Grundvandsspejl i ca. 15,5 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.



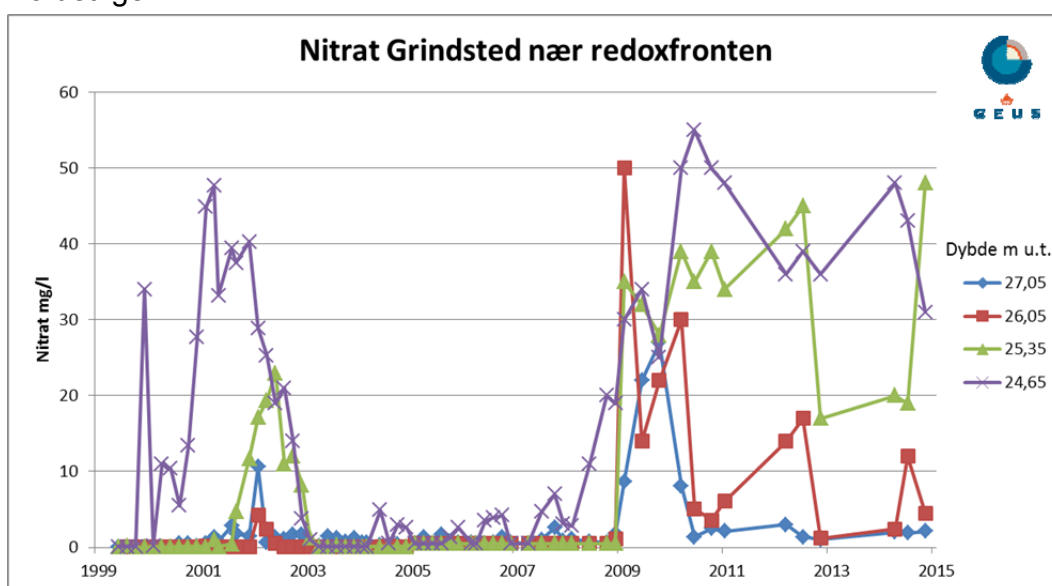
Figur 15. Redoxzoner 13 - 44 m u.t. i redoxboring DGU nr. 78.796, Kasted 1999-2014. Grundvandsspejl i ca. 9 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.

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

Figur 17 viser, at den rumlige udbredelse af redoxzonerne i denne boring ved Grindsted har varieret ganske betragteligt. Grundvandsspejlet ligger ca. 6 m u.t., og der er fundet nitrat ned til 27 m u.t., hvor der i et nitratgennembrud i 2009-2010 blev fundet op til 27 mg/l nitrat.

Sammenlagt er der nitrat i de øverste omkring 20 m af grundvandet. Grundvandsspejlet svinger med op til 2 m hvert år i dette frie magasin, afhængig variationer i vejret. Variationen i trykforholdene mellem lagene er inden for måleusikkerheden på nogle få centimeter.

Figur 16 viser udviklingen af nitratindholdet i 4 indtag i intervallet 24,65 m u.t. til 27,05 m u.t. Det fremgår, at nitratindholdet i en seksårig periode fra 2003 til 2009 var meget lavt eller fraværende, og at der efter 2009 igen har været nitrat i disse fire indtag, hvoraf det i de to nederst indtag er faldet igen.



Figur 16. Nitrat i redoxboring, DGU 114.1736 ved Grindsted lige omkring nitratfronten 1999-2014 i 4 forskellige dybder (m u.t.) som afgivet i figurlegenden.

Indvinding fra Grindsted Vandværks boringer, som ligger mindre end 500 m nedstrøms for redoxboringen, er næppe eneste årsag til disse ændringer af zonen beliggenhed og især i afgrænsningen af zonerne i de øvre lag. Dette skyldes, at der indvindes fra væsentlig større dybde end redoxboringen (ca. 95-110 m u.t.) og at indvindingen har fundet sted i alle årene. Indvindingen er derimod formentlig årsagen til det stærkt svingende sulfatindhold i det nederste indtag (3,5 - 50 mg/l), der giver anledning til, at redoxtilstanden veksler mellem det svagt og det stærkt reducerede. Vandværket indvinder ca. 600.000 m³/år i området.



Figur 17. Redoxzoner 23-40 m u.t. for redoxboring DGU nr. 114.1736, Grindsted 2000-2014. Grundvandsspejl i ca. 6 m u.t. Den geologiske lagserie er vist på figuren længst til højre.

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

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

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

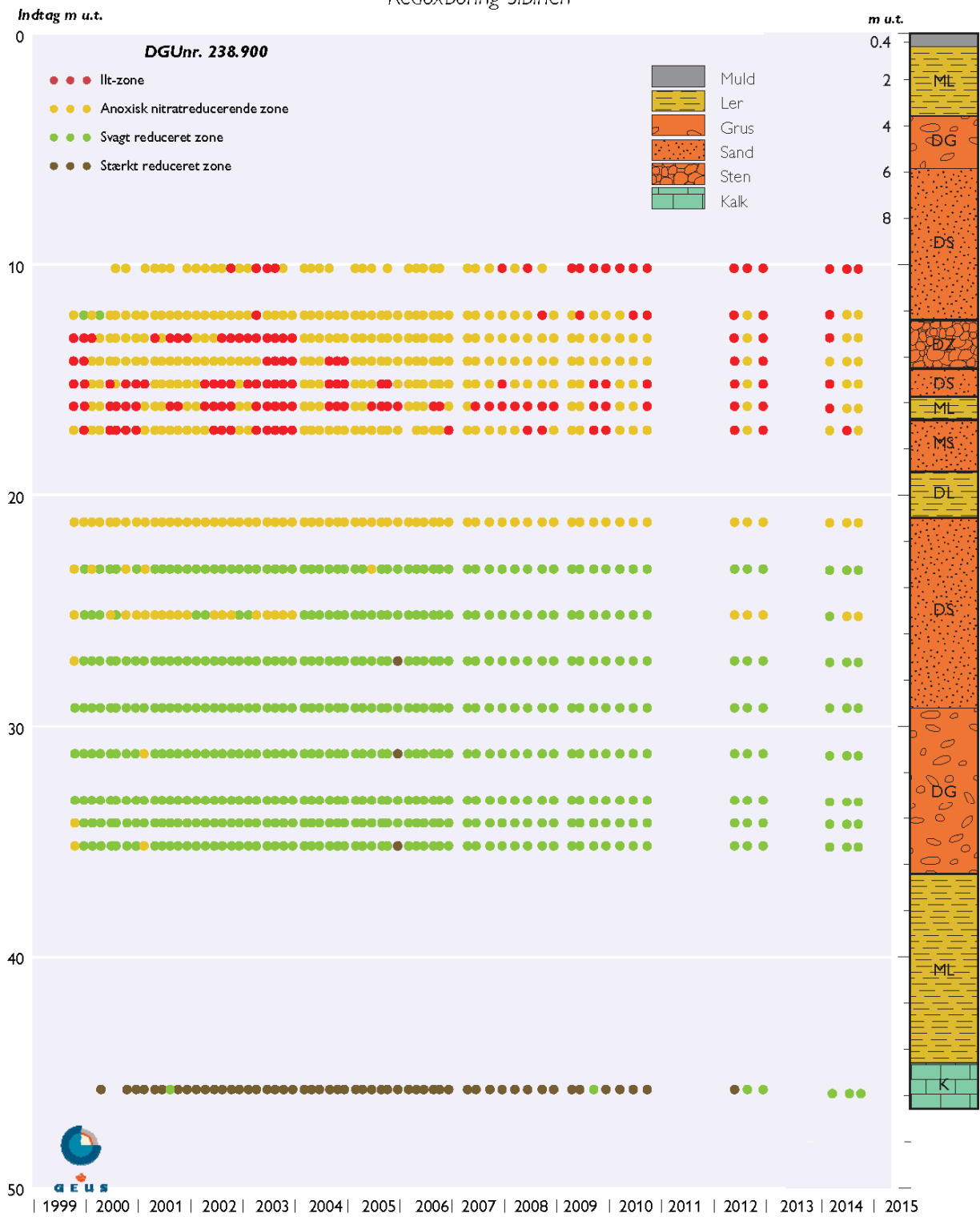
Antageligt er der to grundvandsmagasiner, der er hydraulisk adskilt af det markante lag af smeltevandsler i ca. 20 m's dybde. Nitratindholdet i den nederste del af profilet må skyldes et heterogent strømningsmønster, idet lerlaget er reduceret i 20 m u.t.

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

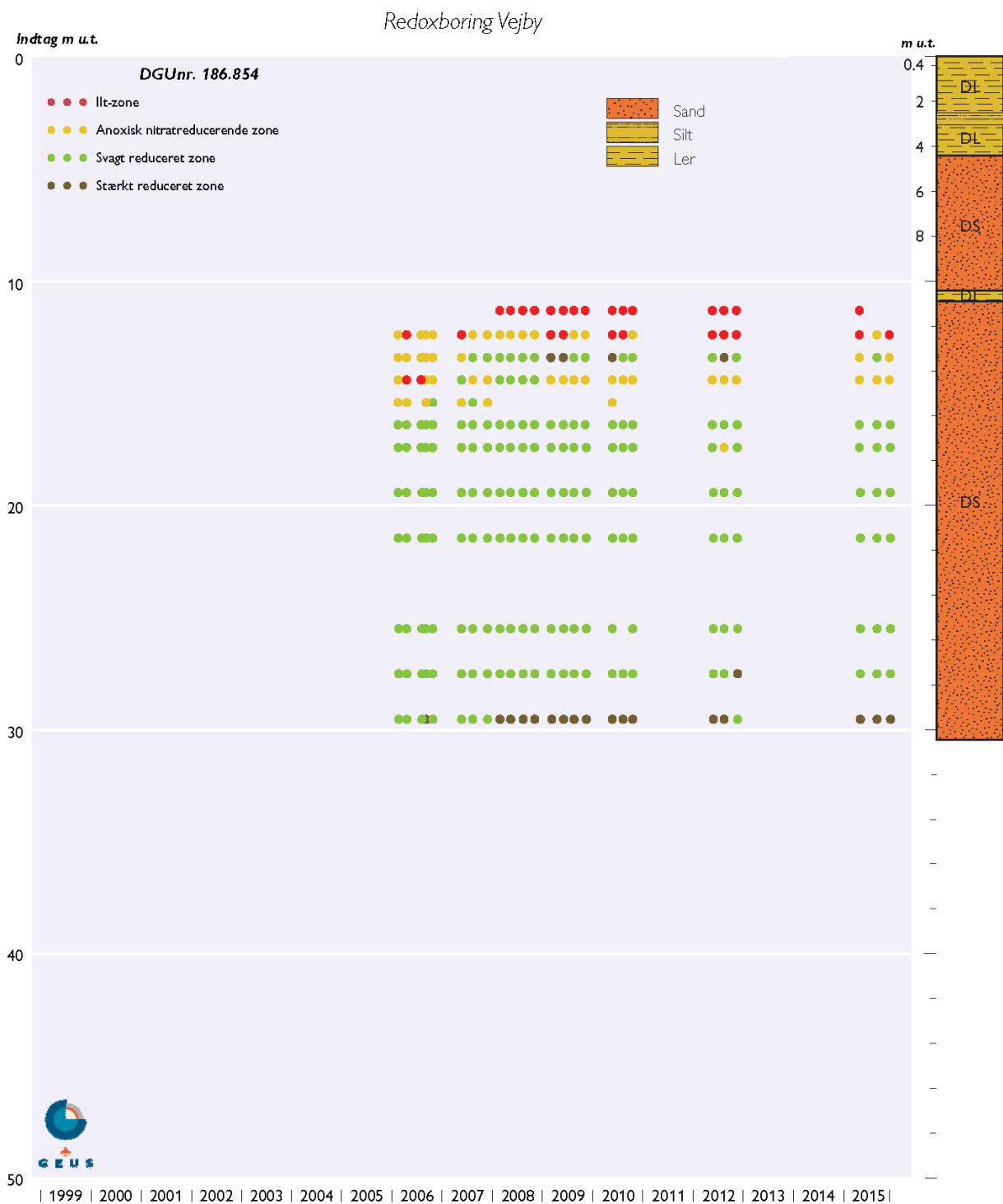
Figur 19 viser, at nitrat er fundet ned til ca. 16 m u.t. i redoxboringen i Vejby. Det øverste indtag i 11 m u.t. indeholder ilt og omkring 20 mg/l nitrat. I de øvrige indtag svinger vandtypen mellem iltet og iltfrit, da grænsen mellem de to tilstande ligger på 1 mg/l, og der er tale om nitratholdigt vand med lave iltindhold netop omkring 1 mg/l. Grundvandsspejlet ligger ca. 10 m u.t. og der er en nedadrettet gradient i magasinet. Der er observeret variationer i grundvandsspejlet på ca. 1,25 m, men data er ikke detaljerede nok til at redegøre for evt. årstidsvariationer. Redoxboringen i Vejby på Nordsjælland består teknisk set af to borer placeret umiddelbart ved siden af hinanden.

Den anoxiske nitratreducerende zone har en mægtighed på 4-5 m. Det er bemærkelsesværdigt, at der er påvist sulfid i enkelte tilfælde i de øvre nitratholdige indtag, og at der i alle dybere nitratfrie indtag er fundet metan. Ligeledes antyder jernkoncentrationer på 5-20 mg/l i det nederste indtag 30 m u.t., at der er et højt indhold af organisk stof, der kan kompleksbinde jern, idet ligevægtskoncentrationen for opløst Fe(II) er mindst en faktor 10 lavere ved de hydrogenkarbonatkoncentrationer, som optræder her. Endelig er der i flere indtag fundet meget høje kloridindhold over 250 mg/l. Dette stammer formentlig fra vejsalt, idet boringen er beliggende ved en landevej.

Redoxboring Sibirien



Figur 18. Redoxzoner 10 - 46 m u.t. for redoxboring DGU nr. 238.900, Sibirien på Falster, 2000-2014. Grundvandsspejl i ca. 8-9 m u.t. Den geologiske lagserie er vist længst til højre.



Figur 19. Redoxzoner 13 - 30 mu.t. for redoxboring DGU nr. 186.854 og 186.855, Vejby, Nord-sjælland, 2006-2014. Grundvandsspejl i ca. 10 m u.t. Den geologiske lagserie er vist til højre.

Sammenfatning for de fem redoxboringer

Der er igennem de sidste 15 år observeret variationer i såvel dybden til ilt/nitratfronten som af nitratindholdet i grundvandet i de enkelte indtag. I de første 2-3 år er der variationer, der sandsynligvis kan opfattes som etableringseffekter i forbindelse med borearbejdet. En lignende effekt er tidligere set i forbindelse med etablering af andre overvågningsboringer. Men nu peger resultaterne på, at den forventede stabilisering ikke indtræder, og at forholdene omkring redoxgrænsen er mere komplicerede end forventet. Især ses det, at nitrat i perioder på op til flere år kan trænge dybere ned for atter at forsvinde. Svingninger på omkring 5 m af såvel ilt- som nitratfronten observeres. På den korte tidsskala (nogle år) kan der forventes udsving som følge af variationer i vinternedbøren og oppumpning fra nærliggende indvindingsboringer mm. Redoxboringerne kan således også karakterisere korttidsvariationer over nogle år i tid og rum.

4.3 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 en vandprøve udtaget i år 2007 viser, at dannelses tidspunktet 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 fx 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, om det med udbygningen af stationsnettet i overvågningen med nye boringer og flere indtag er lykkedes at fokusere overvågningen på det unge grundvand, som ønsket (Thorling m.fl., 2009, Hansen et al., 2011). Det samme gælder for effektmålinger på pesticidreguleringen, hvilket dog er en vanskeligere opgave, idet pesticiderne i højere grad vekselvirker med sedimenterne, gennem nedbrydning og sorbtion i et langt mere komplekst mønster end nitrat, se Figur 12.

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 mfl. 2015). De nye dateringer foretages med tritium/helium ($^3\text{H}/^3\text{He}$) metoden, da CFC-metoden 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. I sidste års rapport (Thorling mfl., 2015) er de metodiske forudsætninger for grundvands datering præsenteret (Laier, 2014, 2014a).

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.

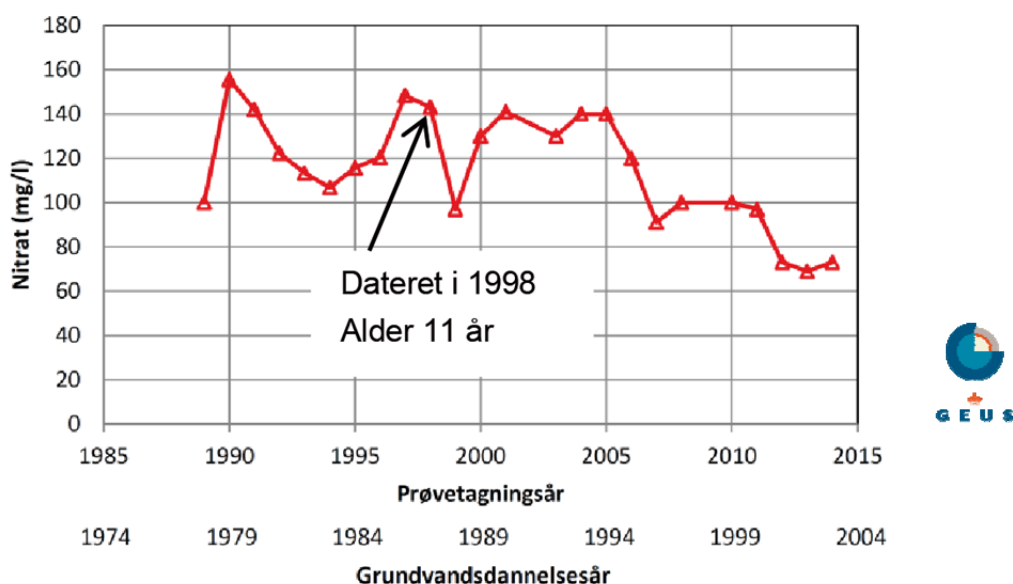
Opholdstiden for det overvågede grundvand.

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 (Laiet & Thorling, 2005, Thorling mfl., 2015).

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

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

Figur 20 viser et eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et af de 390 daterede indtag placeret i iltholdigt grundvand, 11,5-12 m u.t. i smeltevandssand. Denne metode er anvendt i kapitel 5.

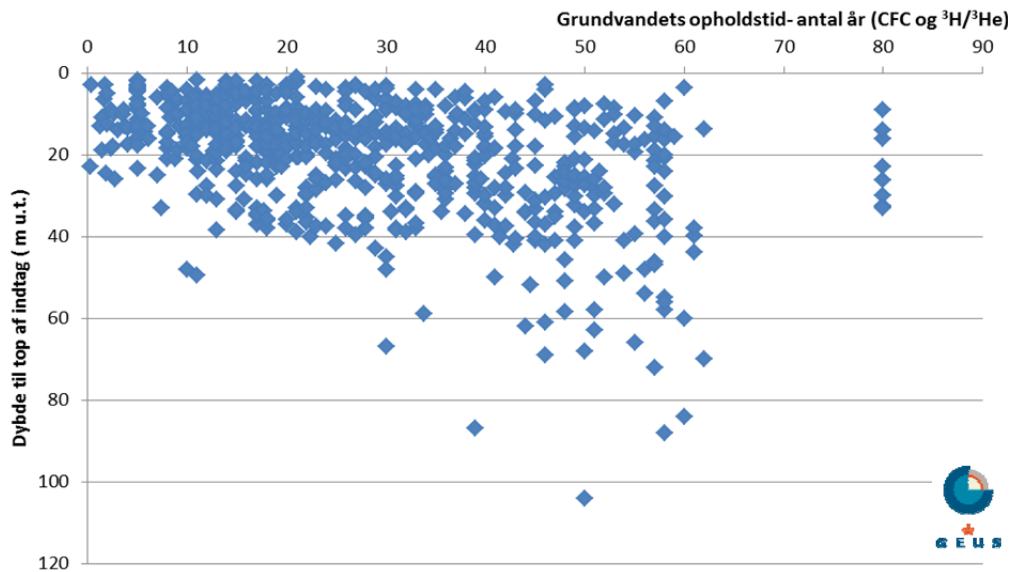


Figur 20. Eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag (DGU nr. 131.1052) placeret i iltholdigt grundvand.

Figur 21 viser grundvandets opholdstid som funktion af dybden. 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 hertil 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 21.

Opholdstid og dybde GRUMO 2014

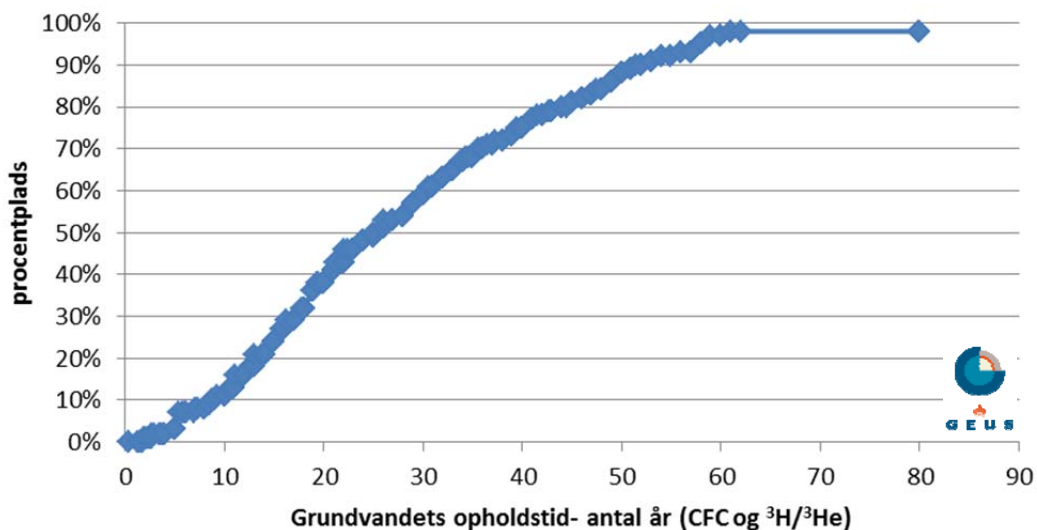


Figur 21. Dybdefordeling af opholdstiden for daterede aktive indtag i GRUMO boringer i 2014.

Figur 22 viser aldersfordelingen for aktive indtag i 2014. Grundvandet i omkring 45 % af de daterede aktive indtag, har en opholdstid på under 25 år. I 2014 var det godt 25 år siden, vandmiljøplanerne blev iværksat. Grundvand fra disse indtag kan derfor i princippet vise mulige eventuelle effekter af vandmiljøplanerne på grundvandetets kvalitet. I kapitel 5 er disse data anvendt til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på grundvandetets indhold af nitrat.

Aldersfordeling af aktive indtag

GRUMO 2014



Figur 22. Fordelingen af opholdstiden (alderen) for grundvandet i de daterede overvågningsindtag, der var aktive i 2014, dateret ved $^3\text{H}/^3\text{He}$ eller CFC.

Referencer, Grundvandets strømning og alder

- Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsen V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særudgivelse <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (25-08-14)
- 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>
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvaltære 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, 2000: 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> (18-8-15)
- Nygaard, E.(red) 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zoneringsvejledning. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (18-8-15)
- Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp.
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L. 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (5.11.13)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., Brüsich, 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 (20.08.15)

Relevante hjemmesider og links

- DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (25.08.2014)
- Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: www.geus.dk/DK/water-soil/mapping/groundwater-mapping/Sider/default.aspx (3.2.2015)
- GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (25.08.2014)

5 Nitrat

Sammenfatning og konklusion

Nitrat er kun til stede i grundvandsmagasinerne over nitratfronten og kan der findes stort set overalt i Danmark. Dog er mægtigheden af de nitratholdige lag størst og beskyttelsen af grundvandsmagasiner mindst i særligt Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland.

I både GRUMO og LOOP har omkring 20 % af alle de overvågede indtag et nitratindhold over kravværdien på 50 mg/l, mens det er under 1 % af vandværksboringerne fra de almene vandværker, som indeholder nitrat over kravværdien. Dette hænger sammen med det forhold, at den nitratholdige del af grundvandet mange steder fravælges af vandforsyningen, idet boringer med et højt nitratindhold lukkes og erstattes af dybere boringer (NST, 2014).

Effekten af vandmiljøhandlingsplanerne kan vurderes i det iltholdige grundvand. I 2014 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 hhv. 68 og 11 % af analyserne over 50 mg/l nitrat.

Udviklingen i det iltholdige grundvands nitrathold undersøges ved hjælp af datering af grundvandet. Dateringen muliggør beregning af grundvandets dannelsesår. Herved kan nitratindholdet i grundvandet sammenholdes med tidspunkter for vandmiljøhandlingsplanerne og kvælstofdeling i landbruget. I dette års rapportering er udviklingen i nitratindholdet i iltholdigt grundvand i GRUMO karakteriseret i forhold til dannelsesåret for grundvand i 4 perioder bl.a. baseret på nye dateringer af grundvandet i 2013. Det ses tydeligt, at koncentrationsfordelingen af nitrat i iltholdigt grundvand i den første periode (1940-1970) ligger på et lavt niveau, mens den i periode 2 (1970-1987) ligger på et relativt højt niveau. Nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i periode 3 (1987-1998) har en faldende tendens i forhold til den forudgående periode 2 (1970-87). I sidste og 4. periode (1998-2014) er der en tendens til stagnation i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand.

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 på sandjordene lige over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2014 er der imidlertid fundet et højere gennemsnitligt nitratindhold på ca. 77 mg/l i sandjordsoplandene, som skyldes at der i nogle tilfælde ikke anvendes afgrøder med høj kvælstofoptagelse efter ompløjning af flere årig græs, og der måles også høje nitratkoncentrationer efter dyrkning af majs.

I de seneste rapporteringer fra GRUMO er det konkluderet, at det overordnet set går den rigtige vej med hensyn til at nedbringe nitratindholdet i grundvandet, men at der flere steder fortsat kan konstateres stigninger, herunder også i det helt unge grundvand dannet efter vandmiljøplanernes ikrafttræden. De nye data for udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand og de nye dateringer i grundvandsovervågningen antyder, at nitratindholdet i det yngste grundvand er stagnerende.

Indledning

Koncentrationen af nitrat i grundvandet er påvirket af en række faktorer, hvoraf de vigtigste for 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 er der særlig fokus på nitrat i det iltholdige grundvand, da koncentrationen her direkte kan sammenlignes med nitratudvaskningen fra rodzonen, idet der ikke foregår reduktionen af nitrat i de iltholdige zoner af grundvandet. I det omfang, der er foretaget en datering af grundvandet, kan der foretages en vurdering af effekten af de nationale handlingsplaner, som har haft til formål at reducere indholdet af nitrat i overflade- og grundvand.

Miljømål

Nitrat i grundvandet er uønsket, da nitrat kan bidrage til eutrofiering ved udstrømning til overfladevand, og derudover mistænkes nitrat i drikkevand i høje koncentrationer for at være sundhedsskadeligt. Der er i EU's Grundvandsdirektiv og Drikkevandsdirektiv fastsat et kvalitetskrav for indholdet af nitrat i grundvand og drikkevand på 50 mg/l (EU 2006 og EU, 1998).

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), mens ca. 19 % af Danmarks areal er udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder.

Datagrundlag

Tabel 2 viser antallet af nitratanalyser i GRUMO, LOOP og aktive for de seneste tre år og for hele overvågningsperioden (1990-2014), se også Figur 7. Det fremgår af tabellen, at antallet af nitratanalyser i 2014 ligger på niveau med de to foregående år for alle tre grupper af data. Dog er antallet af analyser fra "Vandværksboringer" en anelse lavere i 2014.

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	I alt
2012	1.097	514	1.781	4.499
2013	721	455	1.742	4.516
2014	997	485	1.511	3.875
1990-2014	44.491	17.572	36.284	143.920

Tabel 2. Antal nitratanalyser indsamlet i GRUMO, LOOP, aktive vandværksboringer og "Andre boringer".

Nitrat i iltholdigt grundvand i GRUMO og LOOP

I GRUMO og LOOP er delmængden af data fra iltholdigt grundvand, analyseret nærmere. Gruppen af nitratanalyser fra iltholdigt grundvand (Vandtype A, jf. Zoneringsvejledningen) er i GRUMO fundet ved hjælp af de tre kriterier vist i boks 2, se også kapitel 4, Figur 11.

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

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

Kriteriet om nitrat > 1 mg/l for iltholdigt grundvand er valgt, da nitratmålingerne vurderes at have større sikkerhed end iltmålingerne, der kan være fejlbehæftede (Hansen m.fl., 2009). Det betyder at en lille andel af iltholdigt grundvand med meget lavt nitratindhold fravælges for at øge sikkerheden på bestemmelsen af iltholdigt grundvand.

I LOOP er bestemmelsen af vandtype A ikke en automatisk udsøgning (Figur 11 eller boks 2), men en vurdering baseret på de tilgængelige redoxfølsomme parametre. Gennemgangen af de seneste tre års data fra LOOP viser, at der nu gennemføres iltmålinger i felten i alle LOOP områderne på nær i LOOP 4 (Lille Bæk). Detektionsgrænsen for ilt i LOOP er højere end i almindelige grundvandsboringer. Det skyldes, at der ved prøvetagningen normalt er utilstrækkeligt vand til at måle ilt i en flowcelle, jf. Teknisk Anvisning (Thorling, 2012b). Trods den forhøjede detektionsgrænse er iltmålinger ved prøvetagningen i felten i LOOP meget vigtige for tolkning af fundene af nitrat i grundvandet (Hansen m.fl., 2010). I LOOP analyseres der ikke for jern (Fe) lige så ofte som for nitrat, og derfor indgår primært kriterie 1 og 3 (boks 2) ved identifikation af vandtype A. Nitrit (NO₂⁻) bruges som støtteparameter for at identificere anoxiske nitratreducerede forhold (Vandtype B).

Tabel 3 viser det samlede antal aktive indtag og antallet af nitratanalyser heri, samt andelen af indtag med iltholdigt grundvand i LOOP og GRUMO i 2014. I 2014 er der fx analyseret for nitrat i 818 indtag i GRUMO, hvoraf 365 indtag er placeret i iltholdigt grundvand. I parentes er vist, at 301 af disse er dateret.

Program		Antal nitrat analyser i 2014	Aktive indtag i 2014	Indtag fra iltholdigt grundvand 2014
GRUMO		997	818	365 (301)
LOOP		485	91	48
	LOOP 1 (ler)	100	19	2
	LOOP 2 (sand)	90	15	7
	LOOP 3 (ler)	97	20	17
	LOOP 4 (ler)	84	18	7
	LOOP 6 (sand)	114	19	13

Tabel 3. Antal aktive indtag og antal indtag i iltholdigt grundvand med nitratanalyser i grundvandsovervågningen i GRUMO og LOOP i 2014. I parentes er det angivet, hvor mange af de iltholdige indtag, der er dateret.

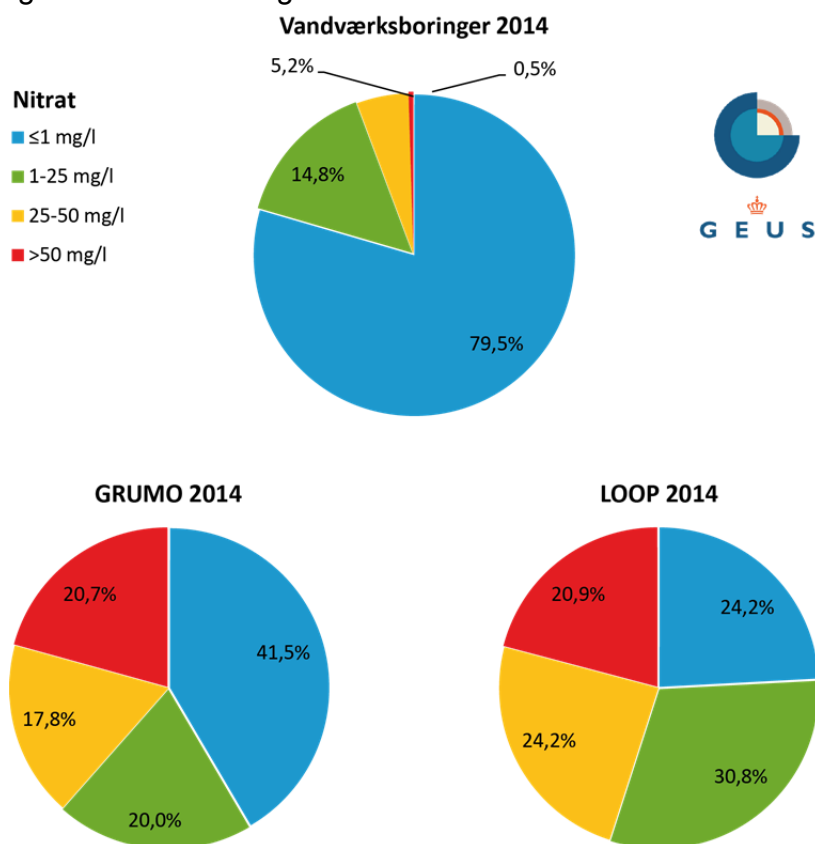
Antallet af indtag i iltholdigt grundvand varierer fra to til 17 indtag per LOOP-opland, og er specielt lavt i det lerede LOOP 1. Der foreligger ikke brugbare dateringer fra LOOP-områderne, da korrekt prøvetagning ikke har været teknisk muligt pga. den lave ydelse i boringer.

I efteråret 2012 er der udført en ny horisontal overvågningsboring i LOOP 2 (Nielsen m.fl., 2014). De første resultater fra denne nye boringstype viser, at ingen af de seks filtre monitorer nitratholdigt grundvand. Dette skønt der er gjort en stor indsats med forundersøgelserne for at finde iltholdige nitratholdige jordlag.

5.1 Tilstand

Fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i 2014 i alle typer af boringer

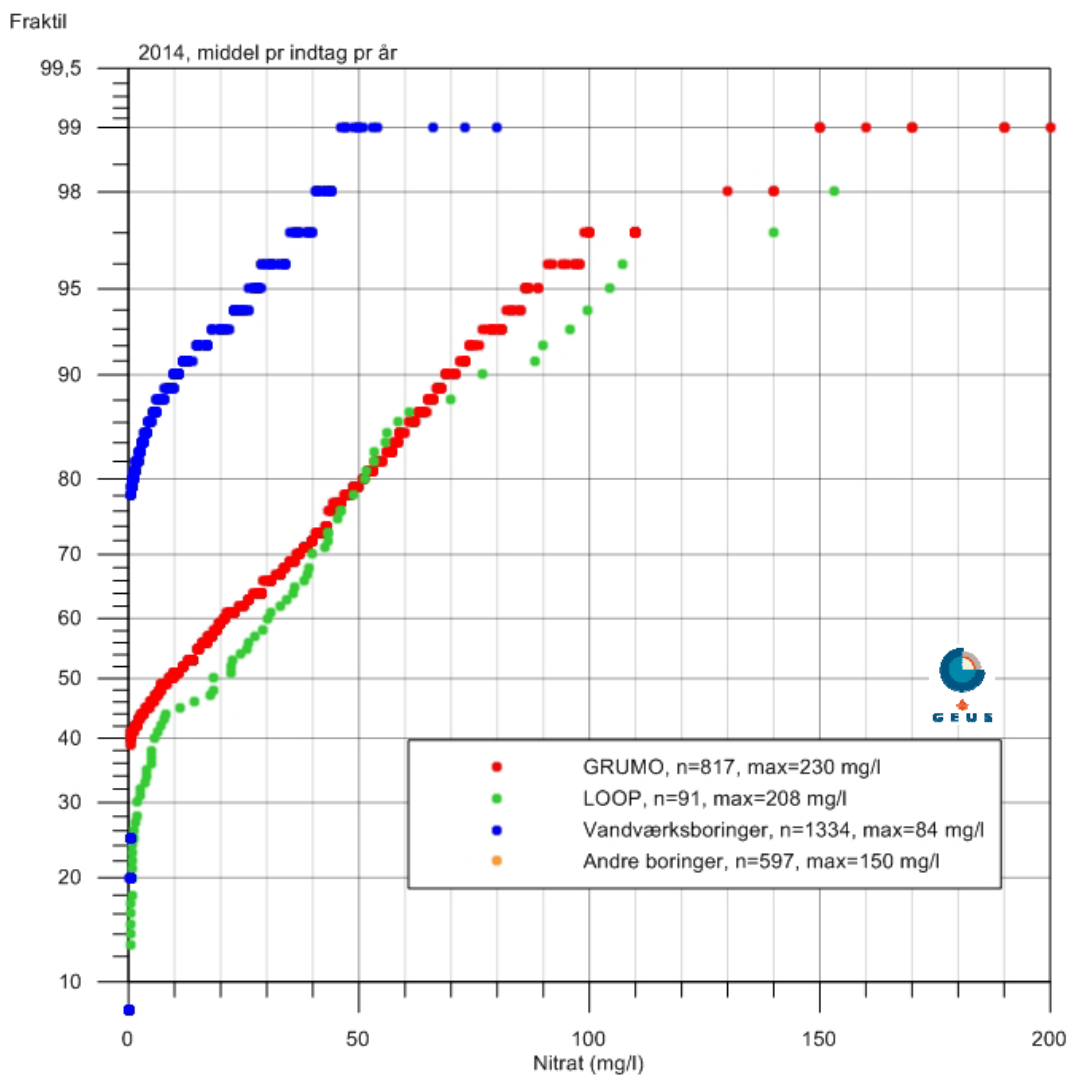
Figur 23 viser det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag analyseret i 2014 for fire koncentrationsintervaller for de tre grupper af data. Det fremgår, at ca. 21 % af indtagene i GRUMO og LOOP har et gennemsnitligt nitratindehold over 50 mg/l. For grundvand i vandværksboringer er det knap 1. Grundvandet betragtes som nitratholdigt, når nitratindeholdet er > 1 mg/l. Nitratholdigt grundvand er i 2014 fundet i 76, 59, 21 % af indtagene i henholdsvis LOOP, GRUMO og i vandværksboringer.



Figur 23. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag i 2014 for GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer.

Fordeling af nitrat i alle typer boringer i 2014

Figur 24 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold i 2014 i alle indtag analyseret i GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer. Hvert af de tre datasæt er afbilledet i et fraktildiagram med en ikke-lineær y-akse, der giver rette linjer for normalfordelte data. Det betyder, at den del af hvert datasæt, som ligger på en ret linje på Figur 24 kan beskrives som en normalfordelt delpopulation. Formålet med figuren er at illustrere alle målte data på én figur, dog med årlige middelværdier (gennemsnit) for de få indtag, hvor der er mere end en analyse.



Figur 24. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i 2014 på alle indtag fra GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer med koncentrationer under 200 mg/l afbilledet i et fraktildiagram med sandsynligheds-skala på y-aksen. Antallet af indtag og maks. koncentration af nitrat i en enkelt analyse fremgår af legenden.

Nitratanalyserne fra GRUMO-indtagene i 2014 ligger tæt på en ret linje for koncentrationer mellem 1 og 100 mg/l, hvilket indikerer, at data er normalfordelte og dermed sandsynligvis sammenlignelige og repræsentative for nitratindholdigt grundvand på landsplan. Analyserne fra LOOP følger tilnærmelsesvis den samme rette linje som GRUMO. Dog er der en tendens til højere koncentrationsniveauer i LOOP end i GRUMO, hvilket sandsynligvis skyldes det mere terrænnære grundvand i LOOP. I både GRUMO og LOOP har ca. 20 % af nitratanalyserne i 2014 en koncentration over 50 mg/l.

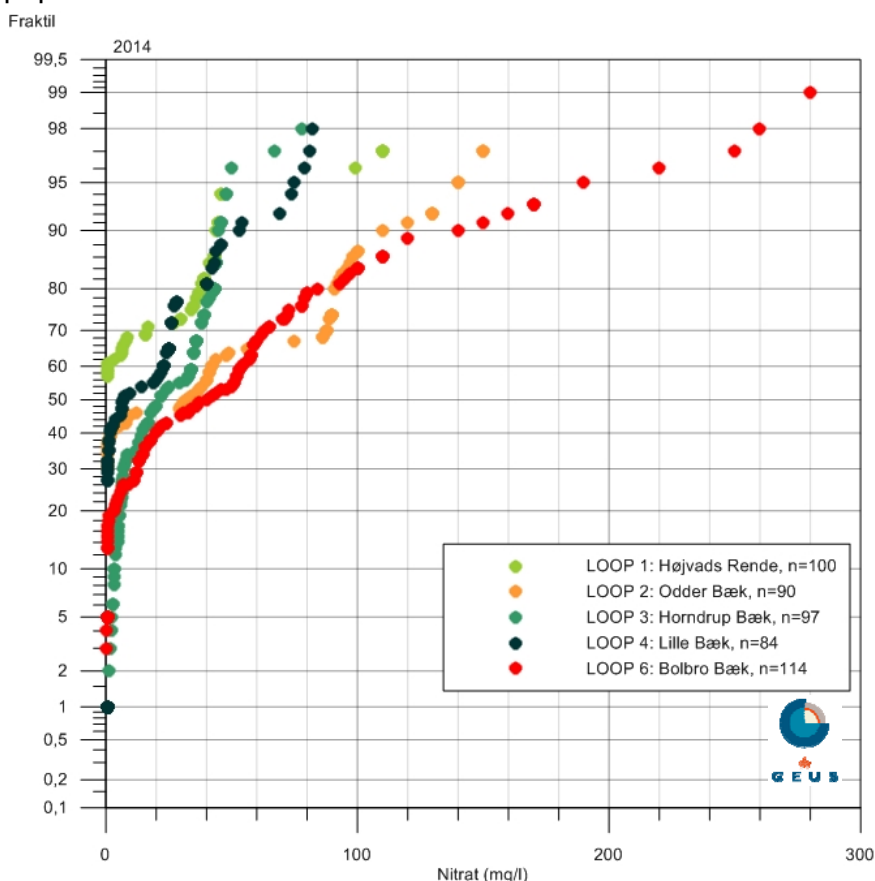
Det ses, at der for hver af de tre datagrupper er målt høje nitratkoncentrationer, som ligger uden for de rette linjer, og som dermed må betragtes som "outliers". De maksimale nitratværdier, der er målt i 2014, er 230, 280 og 84 mg/l for henholdsvis GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer (se Figur 24).

En anden delpopulation af data kan identificeres, der hvor data skærer en y-akse ved $x=1$ mg/l, og udgør den andel af indtagene, der indeholder nitratfrit grundvand. Nitratfrit grundvand (nitrat < 1 mg/l) findes i 42 %, 24 % og 80 % af indtagene i 2014 for henholdsvis GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer (se Figur 24), og er et udtryk for forskelle i stationsnettene, der også afspejles i Figur 23.

Sammenlignet med 2013 (Thorling m.fl., 2015) er der i 2014 målt højere nitratkoncentrationer i LOOP i forhold til GRUMO for nitratkoncentrationer over 60 mg/l. Dette ses ved, at de to kurver fra LOOP og GRUMO (Figur 24) ikke følger hinanden for koncentrationer større end 60 mg/l. Dette skyldes, at der i nogle tilfælde ikke anvendes afgrøder med høj kvælstofoptagelse efter opløjning af flere årig græs, og der måles også høje nitratkoncentrationer efter dyrkning af majs.

Fordeling af alle nitratanalyserne i LOOP oplandene i 2014

Figur 25 viser fordelingen af samtlige nitratanalyser fra alle analyserede indtag i 2014 i de fem LOOP-oplande. Ligesom i Figur 24 er nitratanalyserne afbilledet som fraktildiagram i et sandsynlighedsplot. Nitratanalyserne fra de enkelte LOOP-oplande ligger noget mere spredte end hele gruppen af nitratanalyser fra LOOP i Figur 24, og udgør kun tilnærmelsesvis hver for sig normalfordelte populationer.



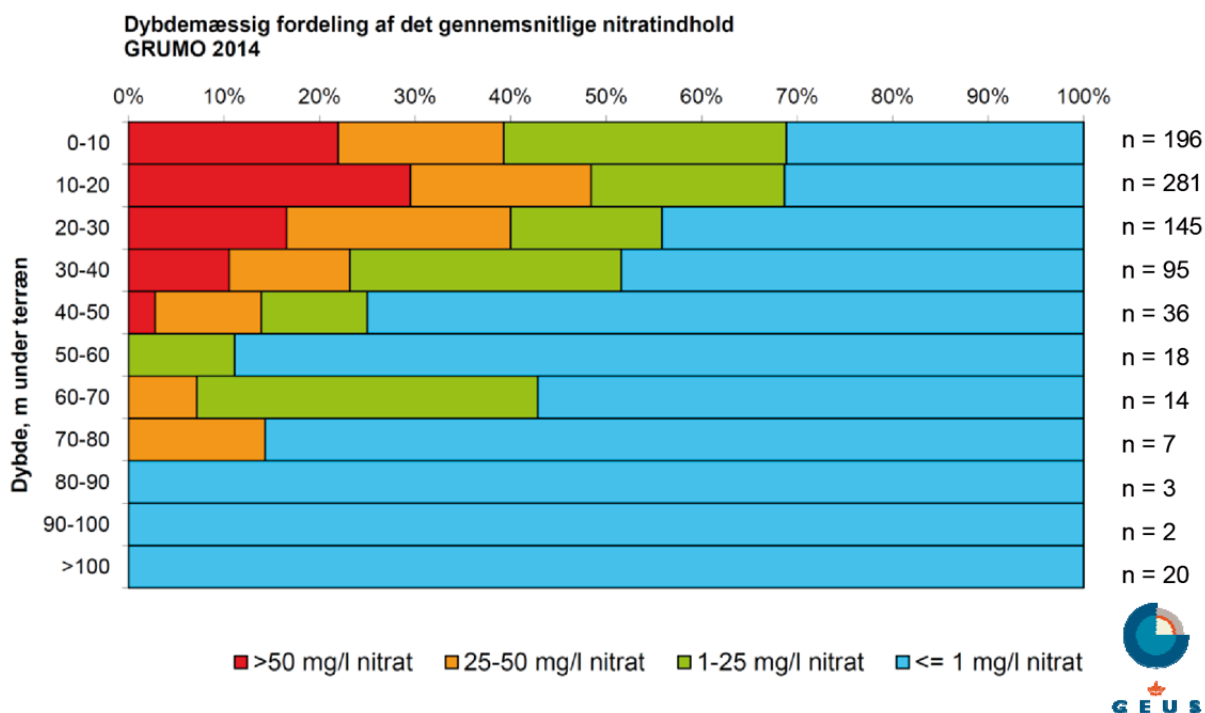
Figur 25. Fordelingen af samtlige nitratanalyser fra LOOP i 2014 i de 5 LOOP-oplande afbilledet i et fraktildiagram med sandsynligheds-skala på y-aksen. LOOP 1, 2 og 4 er lerjordsoplande (grønne signaturer) og LOOP 2 og 6 er sandjordsoplande (røde signaturer).

De højeste koncentrationer af nitrat (op til 280 mg/l) er målt i LOOP 6, Bolbro Bæk, som ligger i Sønderjylland. Generelt er nitratkoncentrationerne højere i sandjordsoplandene (LOOP 2 og

6, rødlige signaturer) end i lerjordsoplandene (LOOP 1, 3 og 4, grønne signaturer). Det skyldes, dels at nitratudvaskningen ofte er højere på sandjordene end på lerjordene, men især at flest indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand.

Dybdemæssig fordeling af nitratindholdet i alle type borer

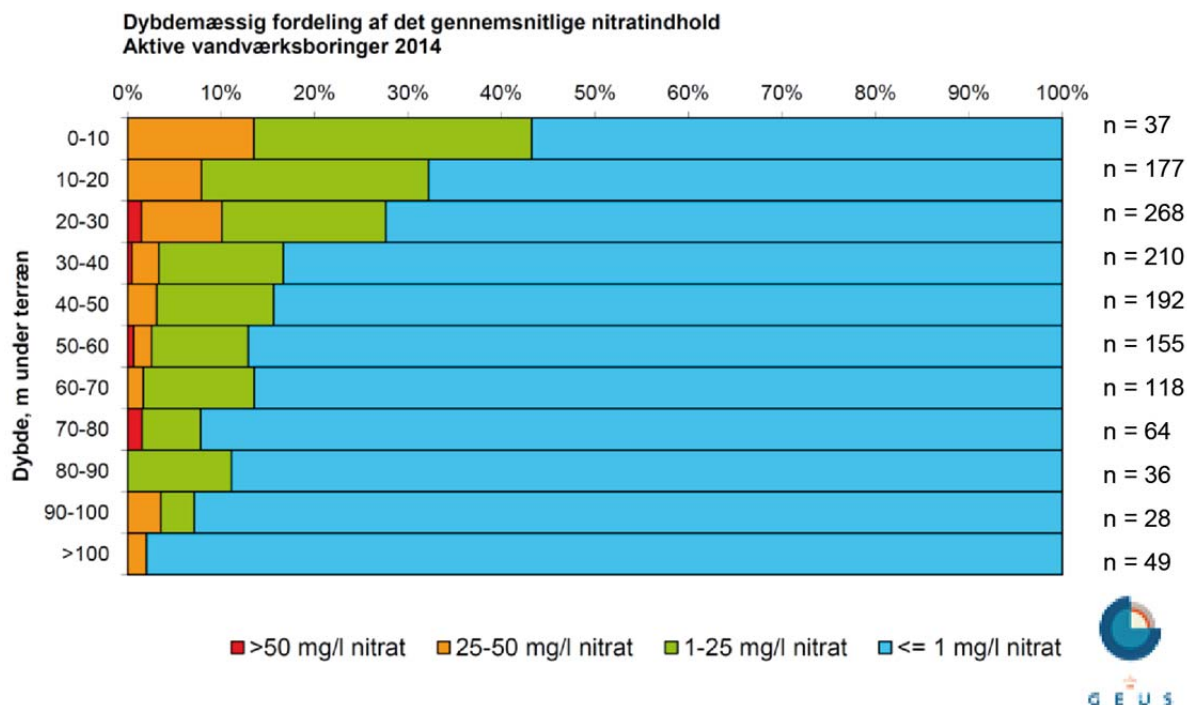
Figur 26 viser den dybdemæssige fordeling af nitrat i GRUMO indtagene i 2014 opdelt på dybdeintervaller á 10 m og i fire koncentrationsklasser (<1, 1-25, 25-50 og >50 mg/l). Tættest på terræn fra 0 til 10 m u.t. er nitrat påvist i omkring 69 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 22 % af indtagene, mellem 25 og 50 mg/l i omkring 17 % og mellem 1 og 25 mg/l i omkring 30 % af indtagene. Koncentrationerne og fordelingen er omtrent den samme i intervallet fra 10 til 20 m u.t., dog er der flere indtag (ca. 30 %) med koncentrationer over 50 mg/l. Dette kan skyldes flere forhold som f.eks. en variation i de hydrogeologiske forhold eller en effekt af reduceret nitratudvaskning fra landbrugets arealanvendelse. Fra 20-30 m intervallet og ned til 40-50 m ses et gradvist fald i nitratindholdet, der hovedsageligt må forklares med en reduktion af nitrat i magasinerne. Under 50 m er der ikke i GRUMO påvist nitrat over 50 mg/l, og fra omkring 80 m ligger nitrat under 1 mg/l. Det bemærkes, at antallet af indtag under 50 m's dybde er meget begrænset.



Figur 26. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2014 i forhold til top af indtag i m u.t. i 817 indtag i GRUMO opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Figur 27 viser dybdefordelingen af nitrat i aktive vandværksboringer i 2014. Generelt er der lavere koncentrationer af nitrat i vandværkernes indvindingsboringer end i GRUMO. Dette kan forklares med, at vandværker har fravalgt den del af grundvandet, der overskrider kravværdien på 50 mg/l (NST, 2014). I intervallet fra 0 til 10 m u.t., er der påvist nitrat i omkring 43 % af indtagene, mellem 25 og 50 mg/l i omkring 14 % og mellem 1 og 25 mg/l i omkring 30 % af indtagene. Der er i 2014 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 70-80 m u.t. Der ses et gradvist fald i den nitratholdige andel af grundvandet ned til omkring 80 m. Nitrat er dog fundet i koncentrationer over 25 mg/l ned til de dybeste indvindingsboringer i 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.



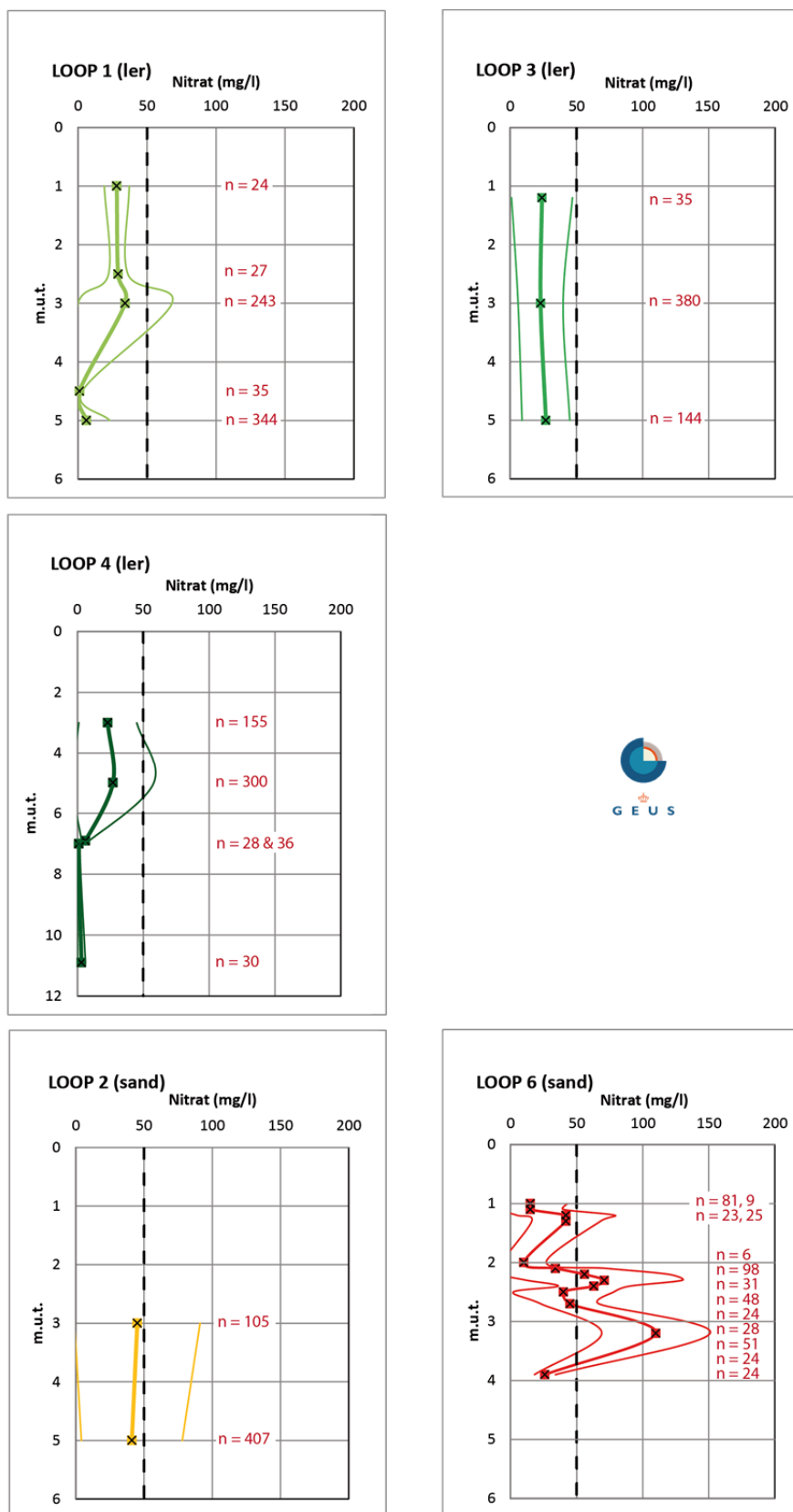
Figur 27. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2014 i forhold til top af indtag i m u.t. i 1.334 indtag fra aktive vandværksboringer opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Dybdemæssig fordeling af nitratindholdet i LOOP

Figur 28 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i LOOP områderne fra 2009-2014. Antallet af nitratanalyser, som ligger til grund for de beregnede gennemsnitlige nitratanalyser, har stor variation fra ni analyser (LOOP 6: indtagstop 2 m u.t.) til 407 nitratanalyser (LOOP 2: indtagstop 5 m u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning på den beregnede gennemsnitlige nitratkoncentration, og standardafvigelsen er i visse tilfælde helt op på ca. 60 mg/l (LOOP 6: indtagstop 2,2 og 2,3 m u.t.).

Figur 28 viser, at nitratkoncentrationerne i sandjordsoplandene er noget højere end i lerjordsoplandene. I lerjordsoplandene (LOOP 1 og 4) og i sandjordsoplandet (LOOP 2) aftager nitratindholdet med dybden, hvilket må tilskrives nitratreduktion på større dybder i undergrunden. 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.

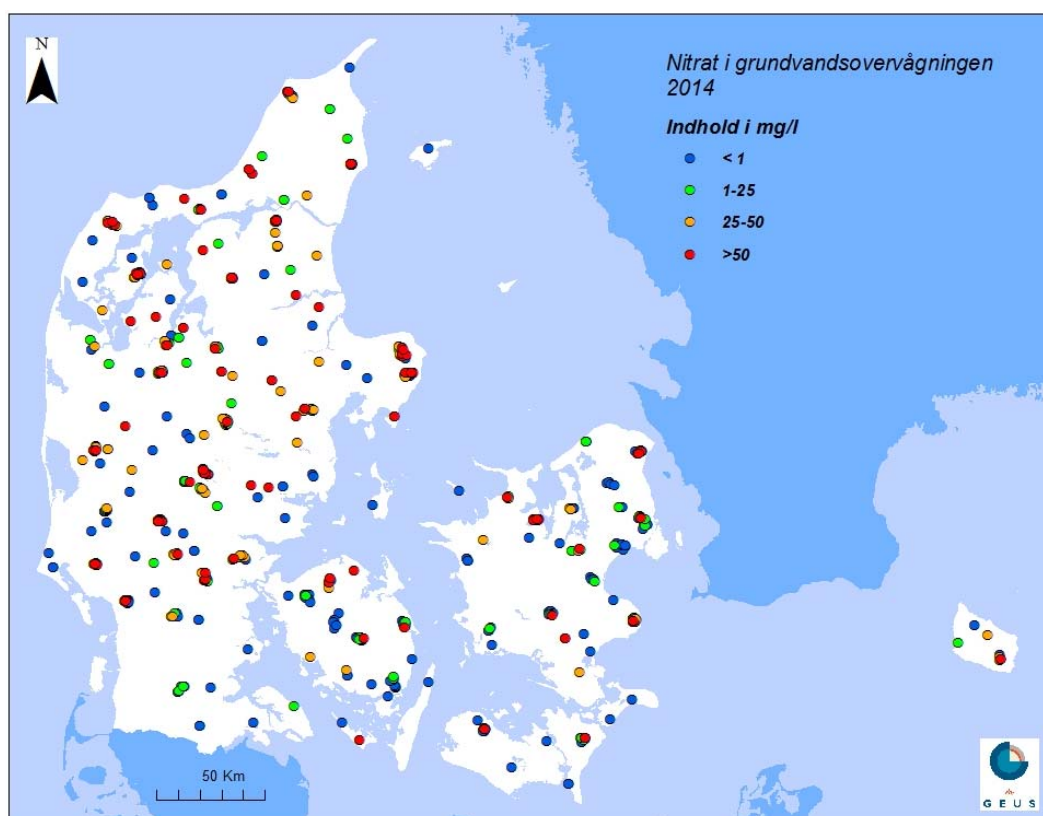
I LOOP 6 (sandjord) og LOOP 3 (lerjord) stiger nitratindholdet med dybden. Fænomenet er særlig udtalt i LOOP 6. Dette skyldes sandsynligvis meget lokale variationer i nitratreduktionskapaciteten og hydrogeologiske forhold.



Figur 28. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand i LOOP opgjort på filterdybder (indtagets top) i m u.t. for lerjords- og sandjordsoplændene for perioden 2009-2014. Gennemsnittet er baseret på alle målinger i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med tyndere streg. Antallet af målinger (n) i hvert dybde er vist med rødt.

Geografisk fordeling af nitrat i GRUMO i 2014

Figur 29 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 818 indtag i GRUMO i 2014. De nitratholdige indtag og indtagene med overskridelser af kvalitetskravet kan der findes stort set overalt i Danmark uden tydelig regional gruppering. Dog er mægtigheden af de nitratholdige lag størst og beskyttelsen af grundvandsmagasiner mindst i særligt Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Der kan således findes både nitratfrit og nitratholdigt grundvand i stort set alle egne af landet. Kortet er tegnet så de laveste værdier tegnes først.

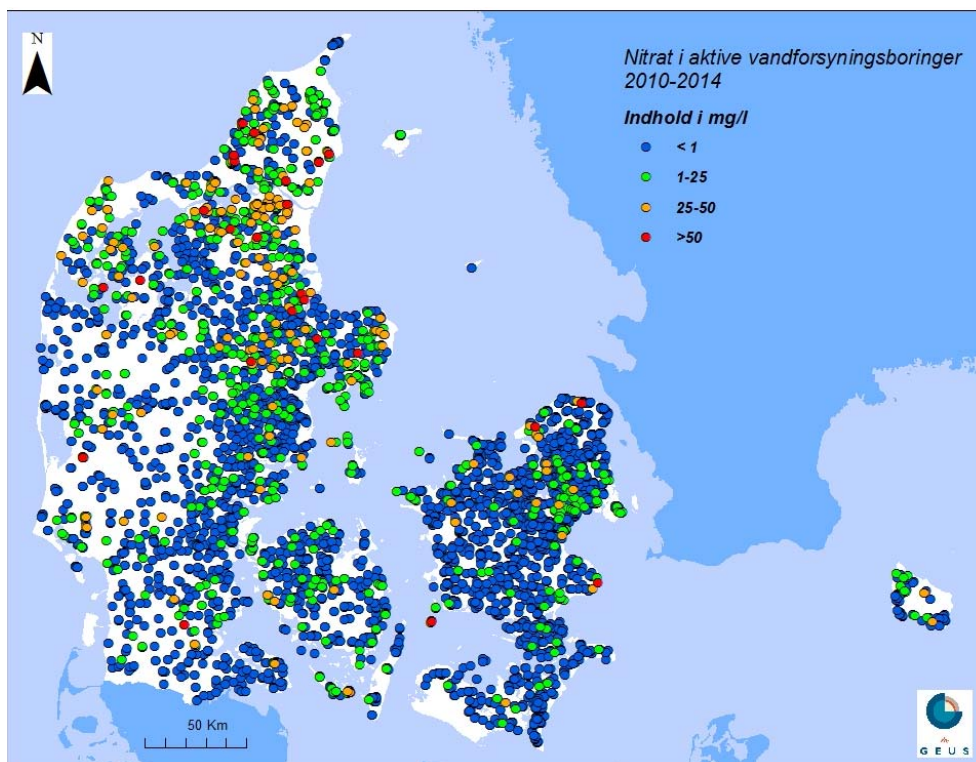


Figur 29. Nitratindholdet i grundvandet i GRUMO er opdelt på fire koncentrationsklasser i 2014 i 818 indtag (gennemsnit per indtag).

Geografisk fordeling af nitrat i grundvand i vandværksboringer 2010-2014

Figur 30 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 6.020 vandværksboringer hos aktive vandværker gennem de seneste fem år (2010-2014). Denne femårige periode er begrundet i at boringskontrollen, se side 28, gennemføres i en turnus på tre til fem år. Kvalitetskravet for grundvand og drikkevand blev i perioden overskredet i kortere eller længere tid i 32 boringer. Bemærk: Forekomsten af nitrat på Figur 29 afhænger ikke af mægtigheden af de nitratholdige lag i modsætning til forekomsten af nitrat på Figur 30, der viser nitrat i grundvandet i indvindingsboringerne. Kortene er tegnet så de laveste værdier tegnes først.

Det højeste nitratindhold i perioden var 120 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 er ringe på grund af tynde lerdæklag og en relativ dybliggende nitratfront.



Figur 30. Nitratindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer fordelt på fire koncentrationsklasser. Kortet er baseret på gennemsnit per. indtag for perioden 2010-2014. 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.

5.2 Udvikling

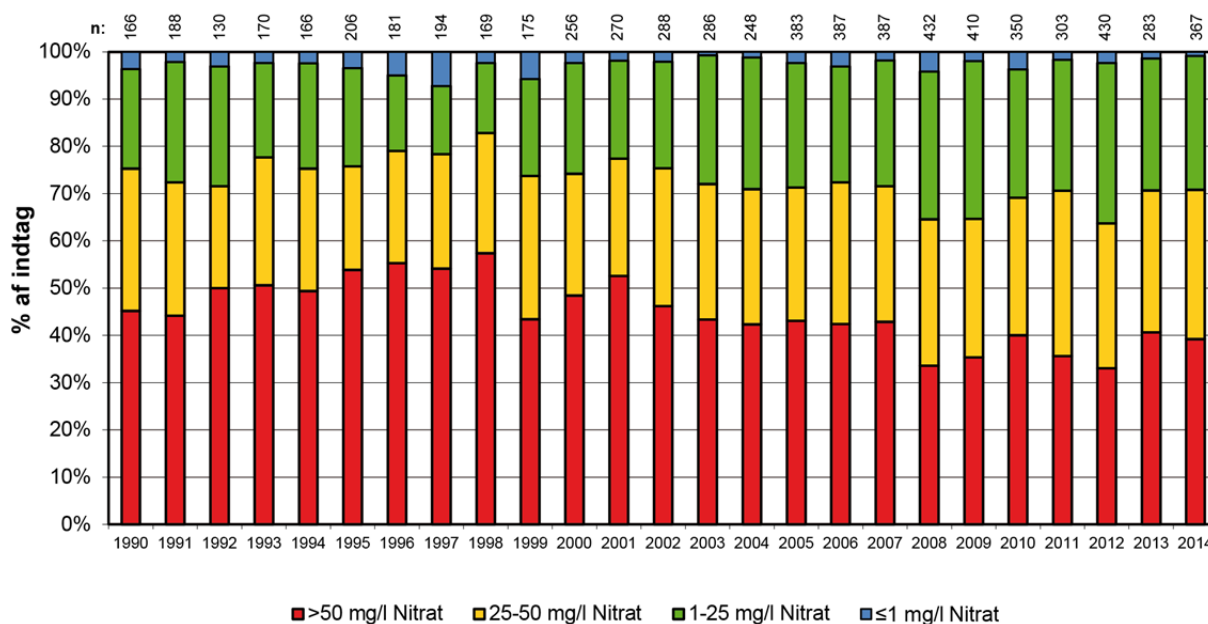
Udviklingen i nitratindholdet i grundvandet vurderes udelukkende i iltholdigt grundvand, hvor effekter af ændret nitratudvaskning fra rodzonen direkte kan sammenlignes med ændringer i nitratkoncentrationerne i grundvandet. En tidsfastsættelse af denne ændring kræver, at grundvandets opholdstid (alder) er kendt. Udviklingen i nitratindholdet i det iltfrie grundvand og redoxgrænsen vurderes også ved hjælp af redoxboringerne, se kapitel 4, side 47.

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 grundvandsdannelsesåret.

Figur 31 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 1990-2014 fordelt på fire koncentrationsklasser (≤ 1 , 1-25, 25-50 og $> 50 \text{ mg/l}$). Bemærk, at kriteriet " $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$ ", se boks 2, fra algoritmen i Figur 11 i dette tilfælde ikke er anvendt til identifikation af iltholdigt grundvand, da andelen af indtag med meget lave nitratkoncentrationer ønskes med på Figur 31.

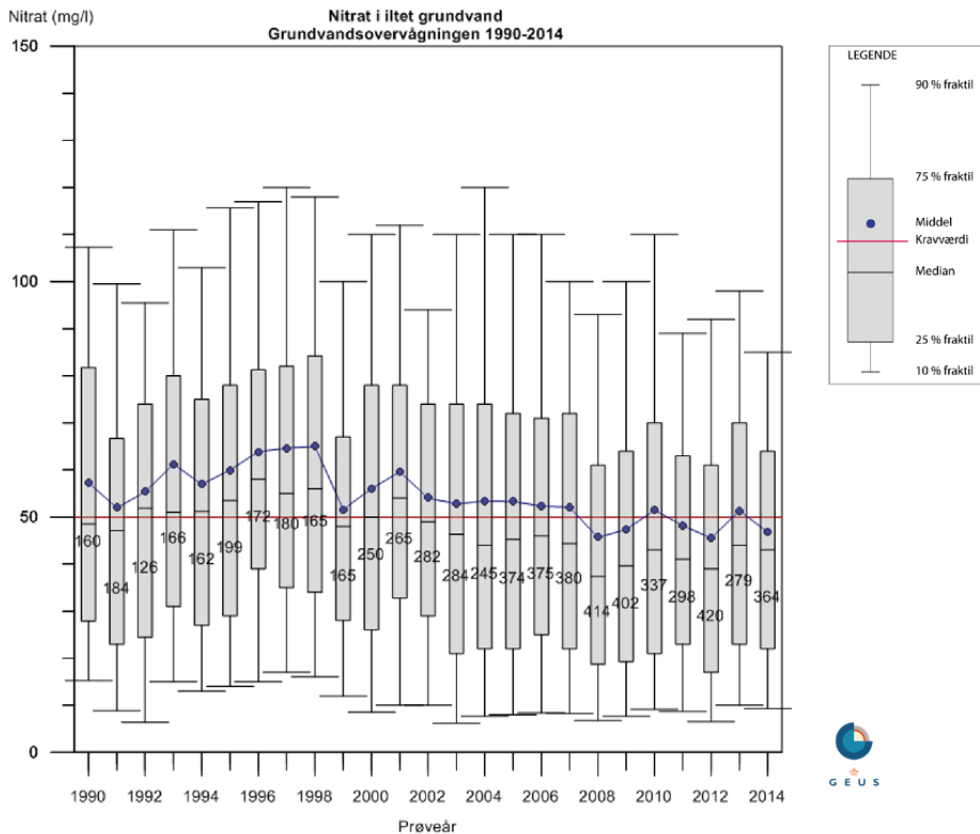
Årlig fordeling af nitrat i iltet grundvand Grundvandsovervågningen 1990 - 2014



Figur 31. Tidsserie for den procentvise fordeling af nitrat (gennemsnit pr. indtag pr. år) fra iltholdigt grundvand ($Fe < 0,2 \text{ mg/l}$ og $O_2 > 1 \text{ mg/l}$) for prøver udtaget i perioden 1990-2014 i GRUMO. Nitratindholdet er opdelt på fire klasser (≤ 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 1996-98. Dog er der en tendens til stagnation de seneste 7 prøvetagningsår, hvor 35 - 40 % 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 relative lave nitratkoncentrationer i intervallet fra 1-25 mg/l har derimod været stigende fra omkring 15 % i 1996-98 til omkring 30 % de seneste 10 år (2004-2014). 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 32 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO fra 1990-2014 baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindhold per indtag. Det iltholdige grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktillerne samt middelværdi og kvalitetskravet er vist. Det iltholdige grundvands nitratindhold udviser alle år en stor spredning. Medianværdien for nitrat i iltholdigt grundvand ligger igennem hele prøvetagningsperioden under middelværdien, hvilket indikerer, at der forekommer enkelte meget høje nitratværdier. I prøvetagningsårene 1997-98 optræder de højeste værdier for 90 % fraktilen og middelværdien. Derefter har nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret været faldende, både hvad angår alle de viste fraktilværdier og middelværdien. De seneste syv år har middelværdien for nitrat i iltholdigt grundvand fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l.

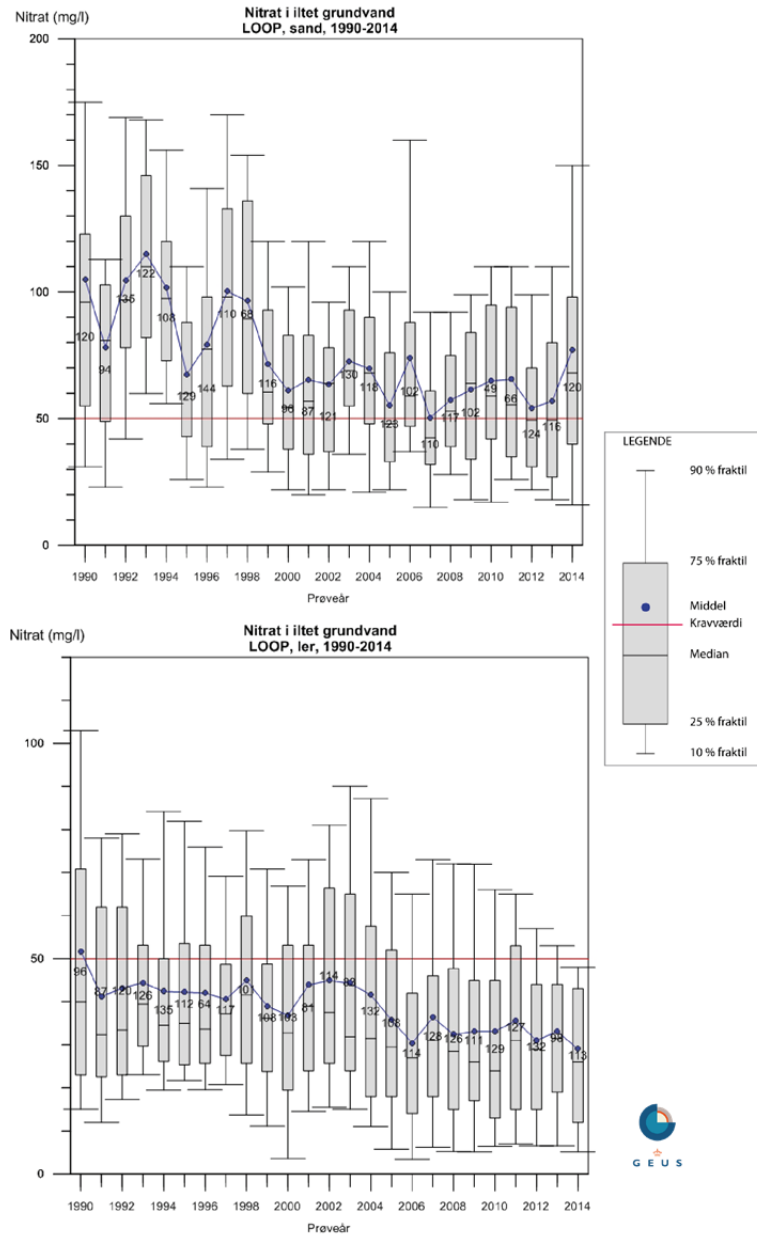


Figur 32. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990–2014. Beregnet på baggrund af det gennemsnitlige nitratindhold per indtag per år. Antal af indtag med analyser er angivet for hvert år.

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 prøvetagningstidspunktet.

Figur 33 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i LOOP for oplandene med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4). I LOOP monitorer i alt 20 indtag iltholdigt grundvand på sand (LOOP 2: 7 indtag og LOOP 6: 13 indtag) og i alt 26 indtag 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 3). Figur 33 er baseret på samtlige målinger af nitrat i hvert indtag i stedet for det gennemsnitlige nitratindhold per indtag, da formålet med figuren også er, at vise variationen i det målte nitratindhold i det øverste iltholdige grundvand.



Figur 33. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i LOOP-oplande med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4) vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2014. Antallet af analyser er angivet for hvert år.

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

Figur 33 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 7-9 år, især for lerjord. Generelt er der et højere nitratindhold i grundvandet i sandområderne end i lerområderne. I det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjorde er der henholdsvis omkring 68 % og 11 % af analyserne i 2014, som ligger over 50 mg/l.

Både i sandjords- og lerjordsoplandene observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i første halvdel af overvågningsperioden frem til henholdsvis år 2000 og 2006. I de seneste prøvetagningsår ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat på sandjordene lige over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2014 er der imidlertid fundet et højere gennemsnitligt nitratindhold på ca. 77 mg/l i sandjordsoplandene som skyldes, at der i nogle tilfælde ikke anvendes afgrøder med høj kvælstofoptagelse efter ompløjning af flere årig græs, og at der også måles høje nitratkoncentrationer efter dyrkning af majs.

Vurdering af effekten af vandmiljøplaner mv på grundvandets nitratindhold

Vandmiljøplanernes effekter på kvælstofudvaskningen efter 1985, vil kunne erkendes i det iltholdige grundvand (redox vandtype A). Det skyldes, at koncentrationen af nitrat i iltholdigt grundvand ikke er påvirket af omsætning ved reducerende processer.

I rapporteringen af grundvand 1989-2008 (Thorling m.fl., 2010a) var der fokus på udviklingen i nitratindholdet i dateret, iltholdigt grundvand på indtagsniveau. Yderligere databearbejdnings er publiceret i Hansen et al. (2011) og Hansen et al. (2012). En statistisk dataanalyse af ca. 20 års overvågningsdata fra hele landet viste, at nitratindholdet og tilførslen af nitrat til iltholdigt grundvand generelt har været faldende siden ca. 1980. Den generelle tendens med et faldende nitratindhold i iltholdigt grundvand stemmer overens med den overordnede tendens for udviklingen i kvælstofoverskuddet i dansk landbrug.

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 nitratindhold (44 %) end det ældste (25-50 år) iltholdige grundvand (9 %).

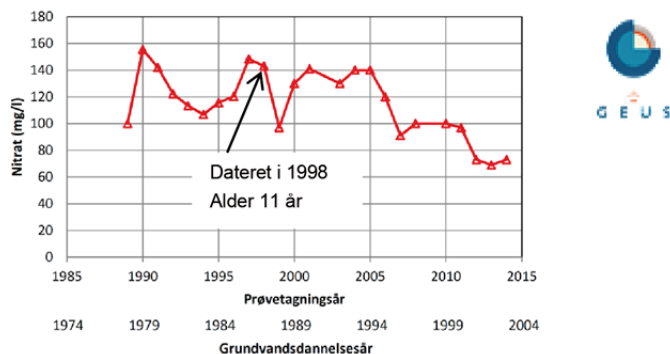
I dette års rapportering er der foretaget en ny karakterisering af udviklingen i nitratindholdet i iltholdigt grundvand i GRUMO i forhold til dannelsesåret for grundvand. Det skyldes, at der i år foreligger et større datagrundlag som følge af nye dateringer af grundvandet i 2013, (se Thorling m.fl., 2015) og at der foreligger længere tidsserier for nitrat. Datering af grundvandet og måling af opholdstiden for grundvandet er uddybet i kapitel 4.

Tabel 4 beskriver de data, der er anvendt til analyse af udviklingen i nitratindholdet i iltholdigt grundvand. Der er anvendt årlige middelværdier for nitrat på indtagsniveau og seneste datering for hvert indtag med det formål at undgå overrepræsentation af indtag, der er prøvetaget mere end en gang om året og dateret mere end en gang i overvågningsperioden.

ILTHOLDIGT GRUNDTVAND (redox vandtype A)	A: Indtag med datering og måling samme år	B: Tidsserier fra daterede indtag
Antal nitratanalyser	390	6.423
Prøvetagningsår	1997-2013	1988-2014
Grundvandsdannelsesår	1952-2013	1941-2014

Tabel 4. Karakteristik af datasæt til beskrivelse af udviklingen i nitrat i iltholdigt grundvand i Figur 35. Tabellen viser A: Datagrundlaget, hvis der alene ses på de prøver hvor der samme år er såvel en nitratanalyse som en datering. B: Datagrundlaget, når der anvendes alle nitratanalyser i daterede indtag.

Grundvandsdannelsesåret beregnes ud fra dateringen under den antagelse, at opholdstiden er konstant i et givet indtag (se kapitel 4, Figur 20). Figur 34 viser et eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et af de 390 daterede indtag placeret i iltholdigt grundvand.



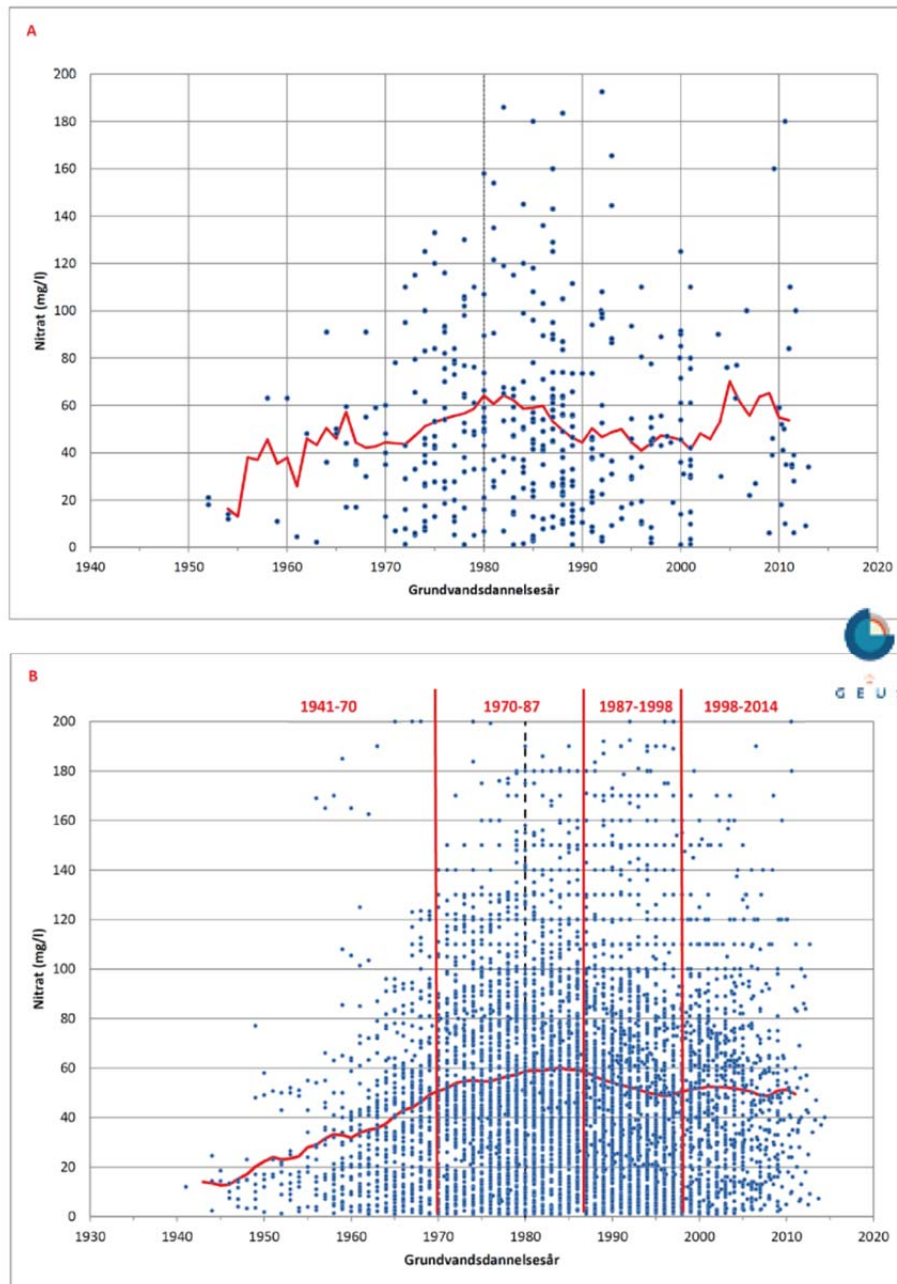
Figur 34. Eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag (DGU nr. 131.1052). (Identisk med Figur 20).

Figur 35A viser sammenhørende værdier af nitrat og grundvandsdannelsesår, for i alt 390 indtag i iltholdigt grundvand i GRUMO. Den 5-års glidende middelværdi er vist med rødt. Figur 35B viser sammenhørende værdier af nitrat og det beregnede grundvandsdannelsesår for alle nitratmålinger udtaget i løbet af NOVANA overvågningen i iltholdigt grundvand. Den 5-års glidende middelværdi er vist med rødt. Figuren bygger på 6.423 nitratanalyser, hvor grundvandsdannelsesåret er beregnet. Der er en relativ lav datatæthed og dermed relativ større usikkerhed i begyndelsen og slutningen af undersøgelsesperioden i de 2 figurer.

Nitratanalyserne, som ligger til grund for Figur 35a og Figur 35b er prøvetaget i henholdsvis 1997-2013 og 1988-2014 og repræsenterer henholdsvis grundvand dannet fra 1952-2013 og 1941-2014. Det tidligere fundne maksimum i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand først i 1980'erne (Hansen m.fl., 2011 & 2012) erkendes fortsat.

Den 5 års glidende middelværdi af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i Figur 35B viser et meget roligt forløb, som kan inddeles i fire perioder: 1. periode 1940-1970, 2. periode 1970-1987, 3. periode 1987-1998 og 4. periode 1998-2014. 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 kraftigt stigende og i 2. periode nås et maksimum. 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 36 viser fordelingen af nitratanalyserne fra iltholdigt grundvand i GRUMO i de fire perioder for grundvandets dannelsesår (samme data som vist i Figur 35B). Fordelingen af nitratkoncentrationerne er vist som fraktiler afbilledet som sandsynligheder på en ikke lineær y-akse, der viser normalfordelte data som rette linjer.



Figur 35. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i forhold til dannelsesåret for grundvandet i GRUMO. A: Sammenhørende værdier af nitrat og grundvandsdannelsesår baseret på målte data, B: sammenhørende værdier af nitrat og grundvandsdannelsesår for hele tidsserien af nitratmålinger fra hvert indtag, med beregnede grundvandsdannelsesår. Glidende 5 års middel vist med en rød linje. Se også Tabel 4.

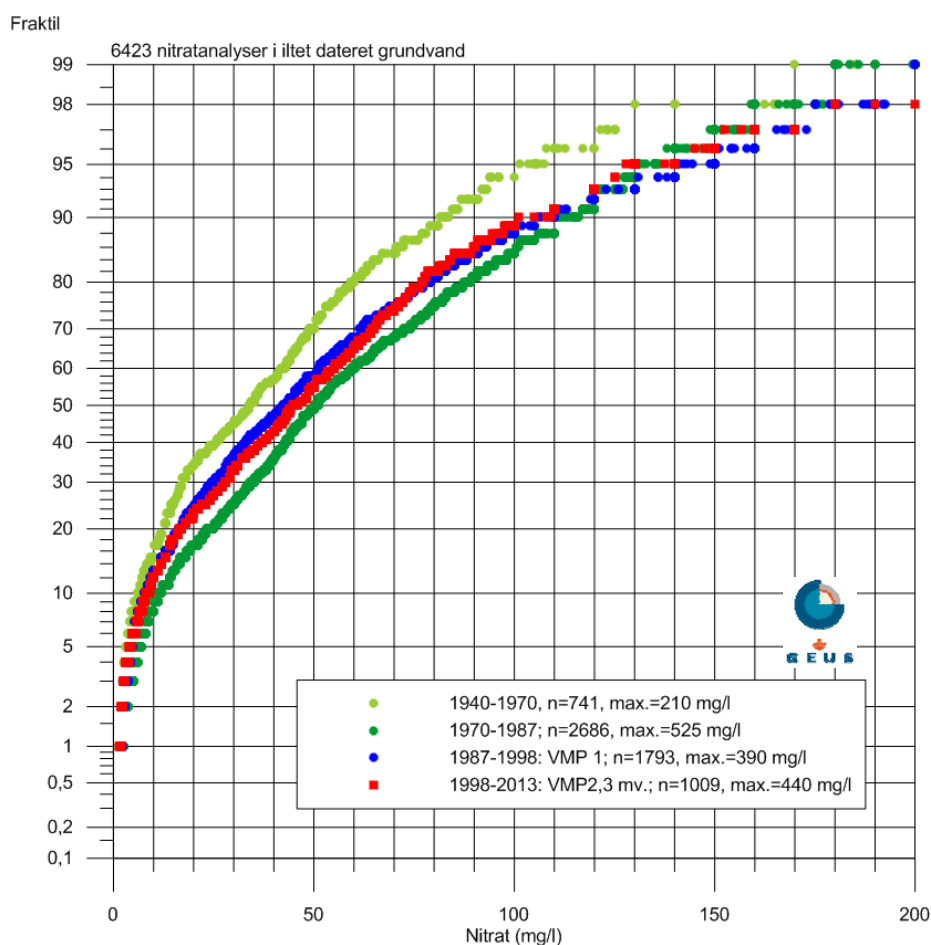
Antallet af analyser, i de fire perioder varierer fra 741 analyser i periode 1 (1940-1970) til 2.686 analyser i periode 2 (1970-1987).

Det ses tydeligt, at fordelingen af nitratkoncentrationer i iltholdigt grundvand i den første periode (1940-1970) ligger på et lavt niveau, mens fordelingen af nitratkoncentrationer i periode 2 (1970-1987) ligger på et relativt højt niveau. Nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i periode 3 (1987-1998) har en faldende tendens i forhold til den forudgående

periode 2 (1970-87). I sidste og 4. periode (1998-2014) er der en tendens til stagnation i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand.

Der er i periode 2 (1970-1987) flest overskridelser (ca. 50 %) af kravværdien på 50 mg/l for grundvand og drikkevand i forhold til de andre perioder. Ligeledes er der målt de højeste koncentrationer på op til ca. 525 mg/l i forhold til de andre perioder.

Andelen af nitratanalyser over kravværdien på 50 mg/l ligger i periode 3 (1987-1998) og periode 4 (1998-2014) på henholdsvis 41 % og 45 %. Dataanalysen viser dermed en svag stigning i andelen af overskridelser af kravværdien for nitrat dannet i perioden 1998-2014 i forhold til perioden 1987-1998.



Figur 36. Frekvensfordelingen af nitratanalyserne fra iltholdigt grundvand i GRUMO i 4 perioder for grundvandets dannelsesår (data som i Figur 35b). For hver af perioderne er vist antallet af analyser (n) og den målte max værdi for nitrat. Bemærk Y akse er en "normalfordelingsakse", hvor data fra samme population optræder som rette linjer.

Referencer, Nitrat

Dansk lovgivning mv.

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

Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

NST, 2014. Status for drikkevandsboringer, notat, 7. marts 2014.
http://naturstyrelsen.dk/media/nst/4523107/status_for_drikkevandsboringer.pdf

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:

Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernsten V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særudgivelse <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (25-08-14)

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 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.

Nielsen, A.M., Hansen, B., Ernsten, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokalitet 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)

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012.
www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (25-08-14)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)

Thorling, L., Brüsich, 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 (20.08.15)

6 Fosfor

Sammenfattende om fosfor

Siden 2011 er der i GRUMO systematisk analyseret for orthofosfat (uorganisk fosfor) sammen med den traditionelle analyse for totalfosfor i grundvandsovervågningen. Overvågningen viser overraskende, at koncentrationsfordelingen af indholdet af orthofosfat i grundvandet tilsyneladende er uafhængigt af såvel dybde som redoxforhold. Derimod er grundvandets indhold af organisk bundet fosfor (differencen mellem total fosfor og orthofosfat) afhængig af dybde og redoxforhold, idet der er et langt højere indhold af organisk fosfor i reduceret grundvand end i oxideret grundvand.

Det har tidligere været anbefalet at måle totalfosfor og orthofosfat for at undersøge om der var påvirkning med spildevand, idet det var opfattelsen, at det overvejende var orthofosfat, der var naturligt forekommende (MST, 1999).

Der er ligeledes stor forskel på forskellige geologiske aflejrings indhold af fosfor. Der er indikationer på at marine aflejringer giver anledning til højere indhold af orthofosfat, mens lerede aflejringer giver anledning til højere organisk fosfor. De laveste fosforindhold ses i kalken og de faste bjergarter på Bornholm.

Resultaterne af overvågningen indikerer samlet set, at de højeste fosfor indhold i grundvandet hovedsagelig skyldes geokemiske processer i selve grundvandsmagasinerne og i mindre grad udvaskning fra landbrugsarealer. Forholdet mellem den geologiske fosforfrigivelse og landbrugs fosforpåvirkning af overfladevand via grundvandet, kræver imidlertid en hydrologisk vurdering af transporten af stofmængder, idet der er forskel på koncentrationer og den samlede stofmængde der føres med grundvandet til overfladevand fra de forskellige geologiske lag.

Målsætninger og relevans

Der er med vandplanerne (Vandplanernes hjemmeside) fastsat politiske mål for reduktion af udledningen af fosfor til vandmiljøet. I den forbindelse har man hidtil ikke vurderet betydningen af fosforbidraget fra grundvand til overfladevandskvaliteten. Grundvandets betydning for fosforkredsløbet betragtes i forbindelse med Vandplanerne, som et område med manglende viden. Der er således behov for vidensopbygning på dette område, før egentlige målsætninger kan fastlægges.

Drikkevandskravet for fosfor ligger på 0,15 mg/l, og er begrundet i, at et højt fosforindhold i drikkevand kan være en indikator på spildevandspåvirkning (MiM, 2014b). Fosfor er et essentielt næringsstof, hvor det anbefalede daglige indtag er ca. 700 mg-P/dag. Fosfor er således ikke sundhedsskadeligt selv i de højeste koncentrationer, der ses i drikkevandsboringerne.

Fosfor fra grundvandet kan medvirke til eutrofiering af ferskt overfladevand og i et vist omfang også det marine miljø. Derfor er det væsentligt at overvåge og kortlægge, i hvilket omfang fosfortransporten er betinget af menneskelige aktiviteter og i hvilket omfang, der er tale om naturlige processer. Kvalitetskravet for fosfor i drikkevand overskrides i mange indvindingsboringer, hvor kilden hovedsageligt vurderes at være geologisk indlejret fosfor, der ikke påvirkning fra samfundsmæssige aktiviteter.

Fosfor kan optræde i en lang række kemiske forbindelse, se boks 3 nedenfor. I vandforsyningsboringerne analyseres der alene for totalfosfor, P_{tot} . I grundvandsovervågningen er orthofosfat, P_{ortho} introduceret for programperioden 2011-15, som supplement af de hidtidige P_{tot} målinger. Målingerne af P_{ortho} forbedrer mulighederne for at sammenligne grundvand og overfladevand, idet overfladevand altid har været analyseret for såvel P_{tot} som P_{ortho} i overvågningen.

Boks 3 viser definitioner på forskellige bidrag til fosfor i grundvandet. Man kan opdele efter fase i opløst og partikulært bundet. I praksis er den opløste fraktion fastsat ud fra hvad, der kan passere et 0,45 μm filter. Dette opdeles igen efter de kemiske egenskaber i opløst ortho-P (P_{ortho}) og opløst organisk bundet P (P_{org}), idet det antages, at der kun er forsvindende lidt af andre uorganiske P forbindelser. Der analyseres for P_{ortho} og P_{tot} , hvorefter P_{org} er beregnet som forskellen på de to.

Da de forskellige bidrag af fosfor har forskellige kemiske egenskaber, kan det også forventes, at forskellige fosforbidrag vil transporteres og bindes forskelligt.

Boks 3: Definitioner og kemiske fraktioner af fosfor i grundvand:

Kemiske symbol for fosfor er P

I en grundvandsprøve er der såvel opløst P som suspenderet partikulært bundet P:

Samlet fosforindhold = opløst P + partikulært bundet P

Kun opløst P er meningsfyldt i forhold til grundvand.

Analysen af opløst P kaldes ”total P” og opdeles i to fraktioner: organisk og uorganisk P.

Total P = P_{tot} = uorganisk P + organisk bundet P = P_{ortho} + P_{org}

Uorganisk P (P_{ortho}) har også andre navne: P_{ortho} = fosfat-P = $\text{PO}_4\text{-P}$

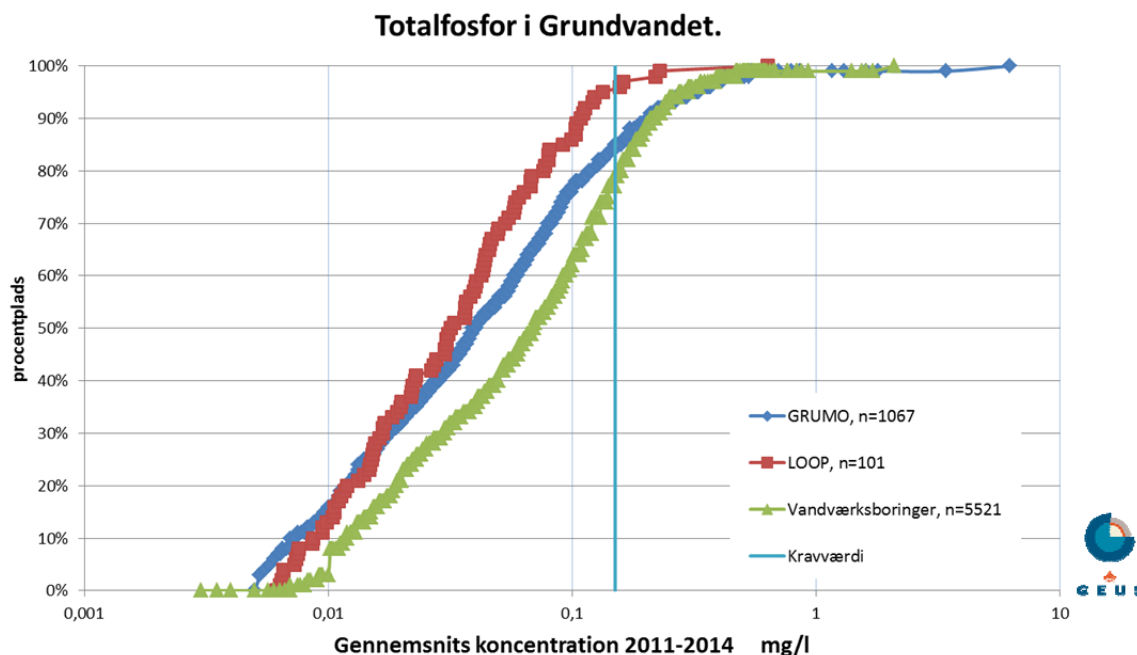
I 2014 er der i GRUMO analyseret for såvel P_{tot} som P_{ortho} i 772 indtag, hvoraf de 629 indtag også blev undersøgt mindst en gang i perioden 2011-2013. I alt 1067 indtag er analyseret i hele programperioden 2011-2014. På grund af varierende analysehyppighed er de fleste opgørelser lavet på gennemsnittet af årlige gennemsnitsværdier på indtagsniveau i programperioden (2011-2014). Både P_{tot} og P_{ortho} har siden overvågningens start i 1989 været analyseret i det øvre grundvand i LOOP i ca. 100 terrænnære indtag.

Fordeling af fosfor i alle typer boringer i programperioden

Figur 37 viser fordelingen af totalfosfor, P_{tot} i samtlige indtag, som er analyseret i programperioden 2011-2014 i GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer (VV). For hvert indtag er gennemsnitsværdien for perioden vist.

De maksimale værdier for P_{tot} , der er målt i perioden, er ca. 6, 2 og 1 mg/l for henholdsvis grundvand i aktive vandværksboringer, GRUMO og LOOP. Figur 37 anvender en logaritmisk skala til at vise koncentrationerne, da der er mere end en faktor 1.000 til forskel på de højeste og de laveste koncentrationer. Det fremgår, at koncentrationerne i det øvre grundvand i LOOP generelt er lavere end i de øvrige indtag, og at de aktive vandværksboringer har højere kon-

centrationer end GRUMO/LOOP, idet der især er færre meget lave koncentrationer på vandværkerne.



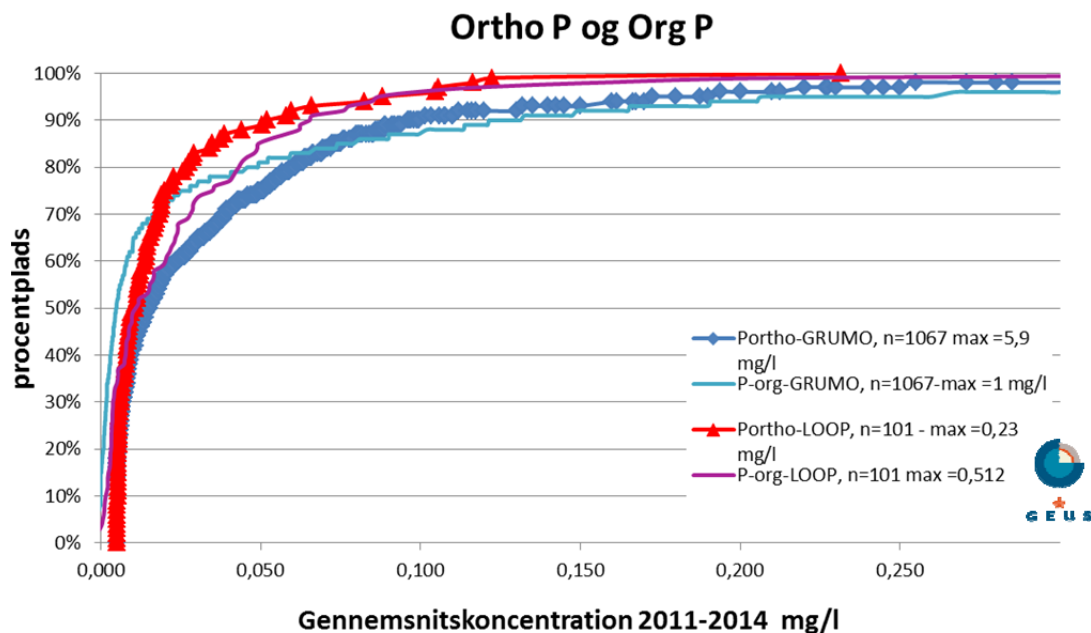
Figur 37. Fordelingen af det gennemsnitlige total-fosfor, P_{tot} indhold i alle analyserede indtag fra GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer i programperioden 2011-14. Bemærk x-aksen er logaritmisk. Antallet af indtag fremgår af legenden.

Figur 37 viser, at mens blot 13 % af LOOP indtagene indeholder mere end 0,1 mg/l fosfor, er det tilfældet for 23 % af alle GRUMO indtag og 38 % af vandværksboringerne. Kravværdien på 0,15 mg/l er overskredet i 16 % af GRUMO indtag og 23 % af vandværksboringerne, mens den blot er overskredet i 4 % af indtagene i LOOP. Dette skyldes formentlig en mindre andel af oxideret grundvand i LOOP og GRUMO datasættene, se Figur 23.

Resultaterne indikerer, at høje fosfor indhold i grundvandet hovedsagelig skyldes geokemiske processer i selve grundvandsmagasinerne og i mindre grad udvaskning fra landbrugsarealer. Dette udelukker dog ikke, at udvaskningen af fosfor fra landbrugsarealerne til det øvre grundvand kan være betydelig i forhold til den samlede transport til vandløbene. Her skal man være opmærksom på, at man i overfladevand fokuserer mere på stofmængder end koncentrationer. En fordobling af lave koncentrationer i terrænnært grundvand, hvor der er stor afstrømning til vandløb, kan derfor have en stor miljømæssig effekt.

Figur 38 viser fordelingen af P_{ortho} og P_{org} i GRUMO og LOOP, hvor der er anvendt en lineær x-akse. Det fremgår, at indholdet af P_{ortho} og P_{org} generelt er lavt, idet medianværdien for alle stofferne i både LOOP og GRUMO ligger under 0,015 mg/l. Der er forskel på det organiske bundne fosfor fra LOOP og GRUMO, idet P_{org} er højere i GRUMO, hvilket er i overensstemmelse med at prøverne er udtaget i dybere og mere reduceret grundvand.

I ca. 10-20 % af indtagene ses noget højere værdier, og i en mindre del af grundvandet ses væsentligt højere koncentrationer i niveauer, der er 10-100 gange højere end medianværdierne, hvilket især er tilfældet i de reducerede GRUMO indtag (Thorling mfl., 2013). I GRUMO samlet set er koncentrationen over 0,1 mg/l ses ca. 10 % af indtagene for P_{ortho} og P_{org} .



Figur 38. Fordelingen af det gennemsnitlige indhold af P_{ortho} og P_{org} i indtag fra GRUMO og LOOP i programperioden 2011-14 for koncentrationer under 0,3 mg/l afbilledet i et fraktildiagram med lineær x-akse. Antallet af analyser og max. koncentrationen af fosfor fremgår af legenden.

6.1 Fosfor i grundvandsovervågningen

Fordelingen af fosfor i forskellige geologiske aflejringer i GRUMO

Grundvandets indhold af fosfor er størst i reduceret grundvand (Thorling mfl. 2013). Dette viser, at fosfor i grundvandet frigives fra sedimenterne i det reducerede miljø. Betydning af de geologiske aflejringsmiljøer er ikke tidligere belyst. Tabel 5 viser den valgte klassificering af geologien ud fra de DGU symboler, brugt til beskrivelse af det geologiske lag ved indtaget i JUPITER (JUPITER hjemmesiden).

Geologiske klasser	DGU symboler
Kvartære marine aflejringer (Kv. marint)	hs, qs, ys
Kvartære smeltevandsaflejringer (Kv. smeltevand)	dg, di, dl, ds, dv
Kvartære moræne aflejringer (Kv. Moræne)	mg, mi, ml, ms, mz
Tertiære aflejringer (Tertiært)	gs, kg, ks, pl, ps
Kalk aflejringer (Kalk)	bk, k, kk, lk, pk, sk, zk
Faste prækvartære bjergarter på Bornholm (Bornholm)	eq, kq, pa
Restgruppe	fs, g, gi, pv, qi, s, yi, is, ts

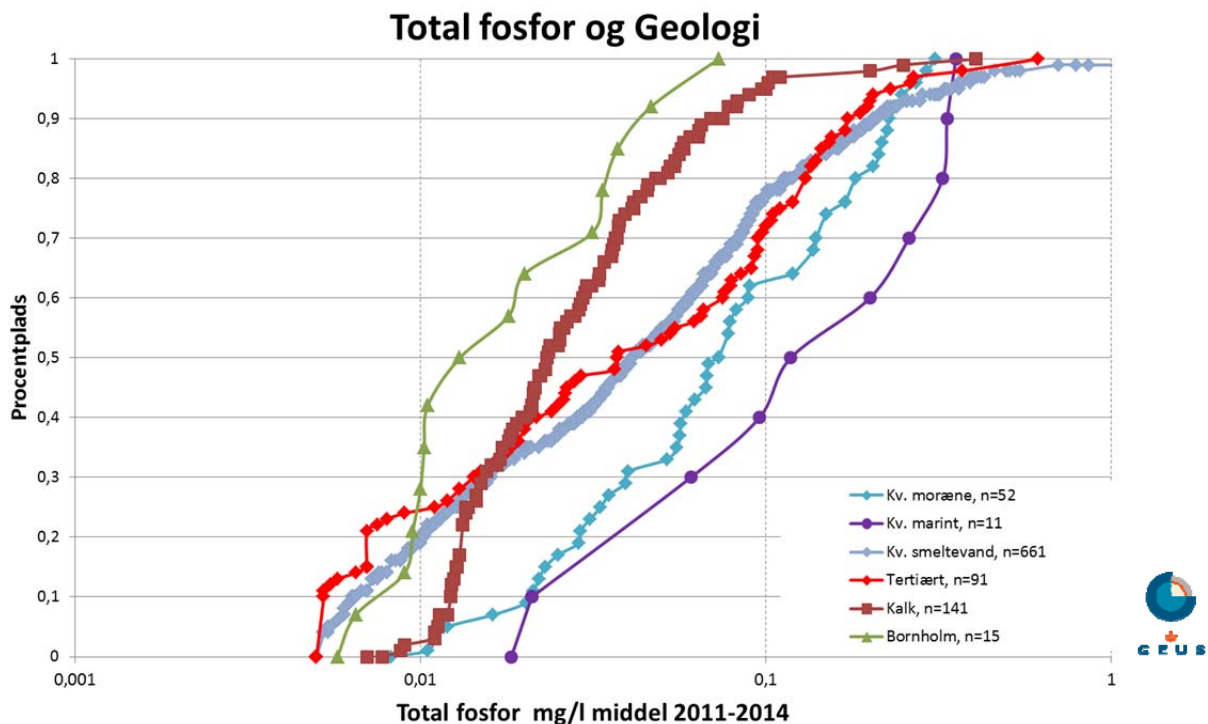
Tabel 5. DGU symboler i JUPITER anvendt ved gruppering i geologiske klasser ved vurdering af geologiens betydning for fosforindholdet i grundvandet. (Voutchkova, 2015). Det geologiske lag ud for prøvetagede indtag anvendes.

Figur 39 viser fordelingen af totalfosfor, P_{tot} , opdelt efter jordlagets geologiske klasse ud for indtaget (Voutchkova, 2015), se Tabel 5. Det fremgår, at der er ganske stor forskel på fosforindholdet i de forskellige typer af jordlag. Grundvandet i de ældste lag på Bornholm og i kalken har næsten 10 gange lavere P_{tot} end grundvandet i kvartære marine aflejringer og moræneaflejringer. Medianværdien for P_{tot} er hhv. 0,013 mg/l og 0,023 mg/l i de gamle lag på Bornholm

og i kalken, mens medianværdien er hhv. 0,073 mg/l og 0,118 mg/l i kvartære moræne- og marine lag.

Bemærk også, at spredningen på fosforindholdet er størst i kvartære smeltevandslag og tertiære lag, hvilket kan skyldes, at nogle smeltevandsaflejringer kan være meget præget af den underliggende kalk eller det marint aflejrede tertiære ler, og det forhold at de tertiære lag dækker over såvel marine som ferskvandslag.

Figur 40 viser fordelingen af P_{ortho} (fosfat) opdelt efter sedimenttyper ud for indtaget. Det fremgår, at der er en meget stor andel af grundvandet med meget lave P_{ortho} -indhold, dvs. under 0,01 mg/l i alle typer af sedimentter, på nær de kvartære marine aflejringer og i kalk (der også er en marin aflejring). Igen er spredningen på tertiære og smeltevandsaflejringer meget stor, sammenlignet med de øvrige sedimenttyper. De højeste indhold af P_{ortho} findes i de marine aflejringer, hvor medianværdien er 0,04 mg/l. Høje indehold over 0,1 mg/l findes i ca. 30 % af de marine aflejringer, og i ca. 10 % af moræne og smeltevands aflejringerne. I kalk og tertiære aflejringer har blot 5 % af indtagne mere end 0,1 mg/l P_{ortho} , og på Bornholm er så høje værdier ikke fundet i prækvartære lag.



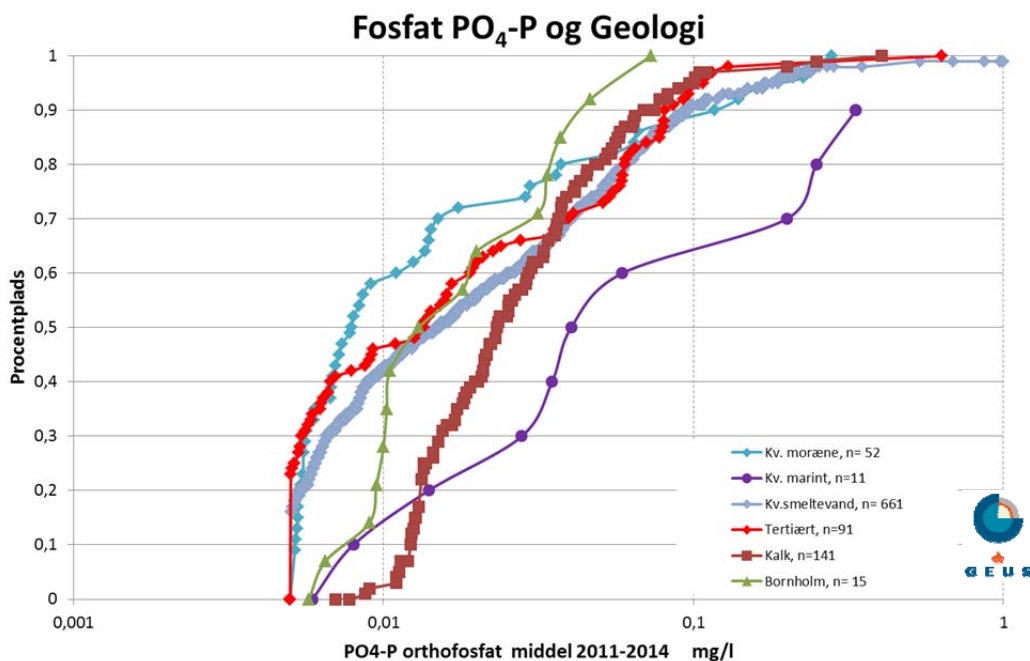
Figur 39. Fordelingen af totalfosfor, P_{tot} i grundvandet opdelt på forskellige geologiske aflejrings typer, for GRUMO indtag. Gennemsnitsværdier for programperioden 2011-2014. Bemærk, den logaritmiske x-akse.

Figur 41 viser fordelingen af det beregnede indhold af organisk fosfor, P_{org} opdelt efter geologien ud for indtaget. Det fremgår, at der er en meget stor spredning på indholdet i alle typer af sedimentter, og at indholdet i alle aflejrings typer på nær kvartære morænelag har medianværdier under ca. 0,005 mg/l, der er detektionsgrænsen for P_{ortho} og P_{tot} .

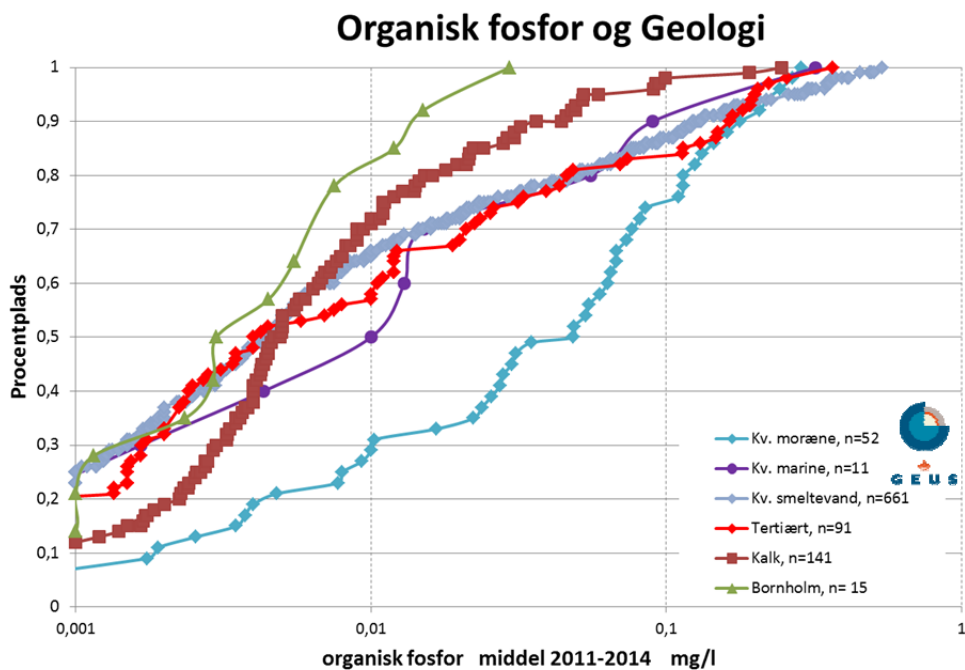
Kvartære moræneaflejringer har det største indhold af P_{org} i modsætning til P_{ortho} , der har højere indhold i marine aflejringer. Medianværdien ligger i moræneaflejringer på ca. 0,05 mg/l, og er dermed 10 gange højere end for de øvrige geologiske klasser. P_{org} indhold over 0,1 mg/l optræder i 24 % af indtagene i moræneaflejringer. I tertiære lag, kvartære smeltevandslag og

marine aflejringer ses dette i hhv. 16 %, 13 % og 10 % af lagene, mens der stort set ikke ses så høje værdier i kalk og aldrig i de gamle lag på Bornholm.

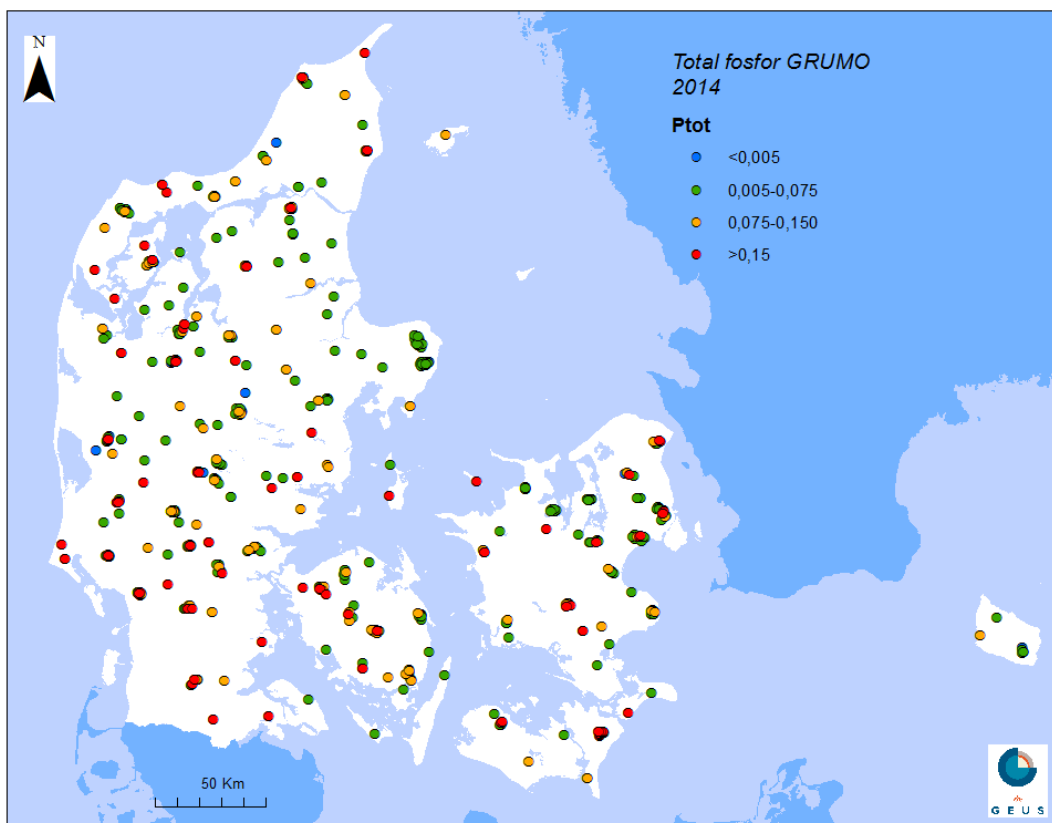
Samlet set kan det konkluderes, at der kan være store forskelle på hvor meget fosfor, og på hvilken form, det optræder, i de forskellige geologiske aflejringer. Årsagen hertil er ikke kendt.



Figur 40. Fordelingen af orthofosfat, P_{ortho} koncentrationer i grundvandet opdelt på forskellige geologiske aflejrings typer, for GRUMO indtag. Gennemsnitsværdier for programperioden 2011-14. Bemærk, den logaritmiske x-akse.



Figur 41. Fordelingen af koncentrationen af organisk fosfor, P_{org} i grundvandet opdelt på forskellige geologiske aflejrings typer, for GRUMO indtag. Gennemsnits for programperioden 2011-2014. Bemærk, den logaritmiske x-akse.



Figur 42. Totalfosfor, P_{tot} i grundvand i grundvandsovervågningen. Gennemsnitsværdier for perioden 2011-14.

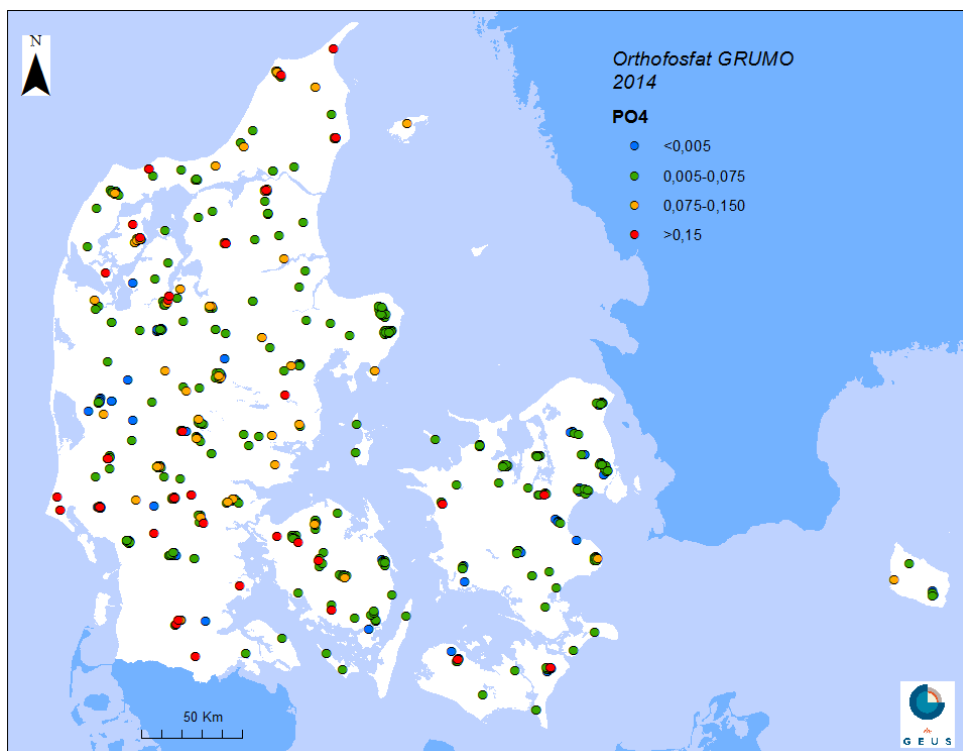
Geografisk fordeling i GRUMO

Figur 42 til Figur 44 viser den geografiske fordeling i GRUMO af fosfor i grundvandet for de tre puljer P_{tot} , P_{ortho} og P_{org} . Kortene viser gennemsnitsværdier på indtagningsniveau for programperioden 2011-14, og tegnet således at de laveste værdier udtegnes først.

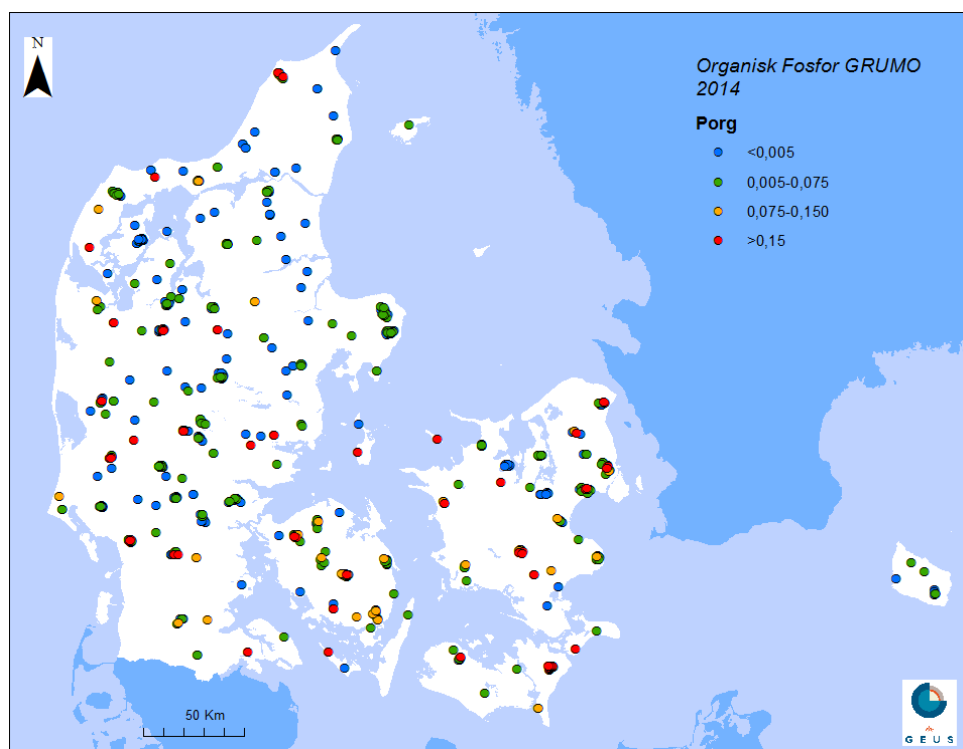
Figur 42 viser, at der optræder overskridelser af kravværdien for drikkevand på 0,15 mg/l totalfosfor i grundvandet i det meste af Danmark.

Figur 43 viser, at de højeste værdier af P_{ortho} hyppigst optræder i Jylland og Fyn.

Figur 44 viser, at høje indhold af P_{org} optræder i hele landet, på nær i på Østjylland, fra Århus og nordpå til Limfjorden. Dette kan skyldes kombination af kvartære sandede aflejringer over kalk. Derudover er der alene fundet lave P_{org} indhold på Bornholm. På Sjælland er der stor forskel på billedet for P_{ortho} og P_{org} .



Figur 43. Orthofosfat, P_{ortho} i grundvand i grundvandsovervågningen. Gennemsnitsværdier for perioden 2011-14.



Figur 44. Organisk fosfor, P_{org} , i grundvand i grundvandsovervågningen. Beregnet som $P_{tot} - P_{ortho}$. Gennemsnitsværdier for perioden 2011-14.

6.2 Fosfor, vandværkernes kontrol af indvindingsboringer

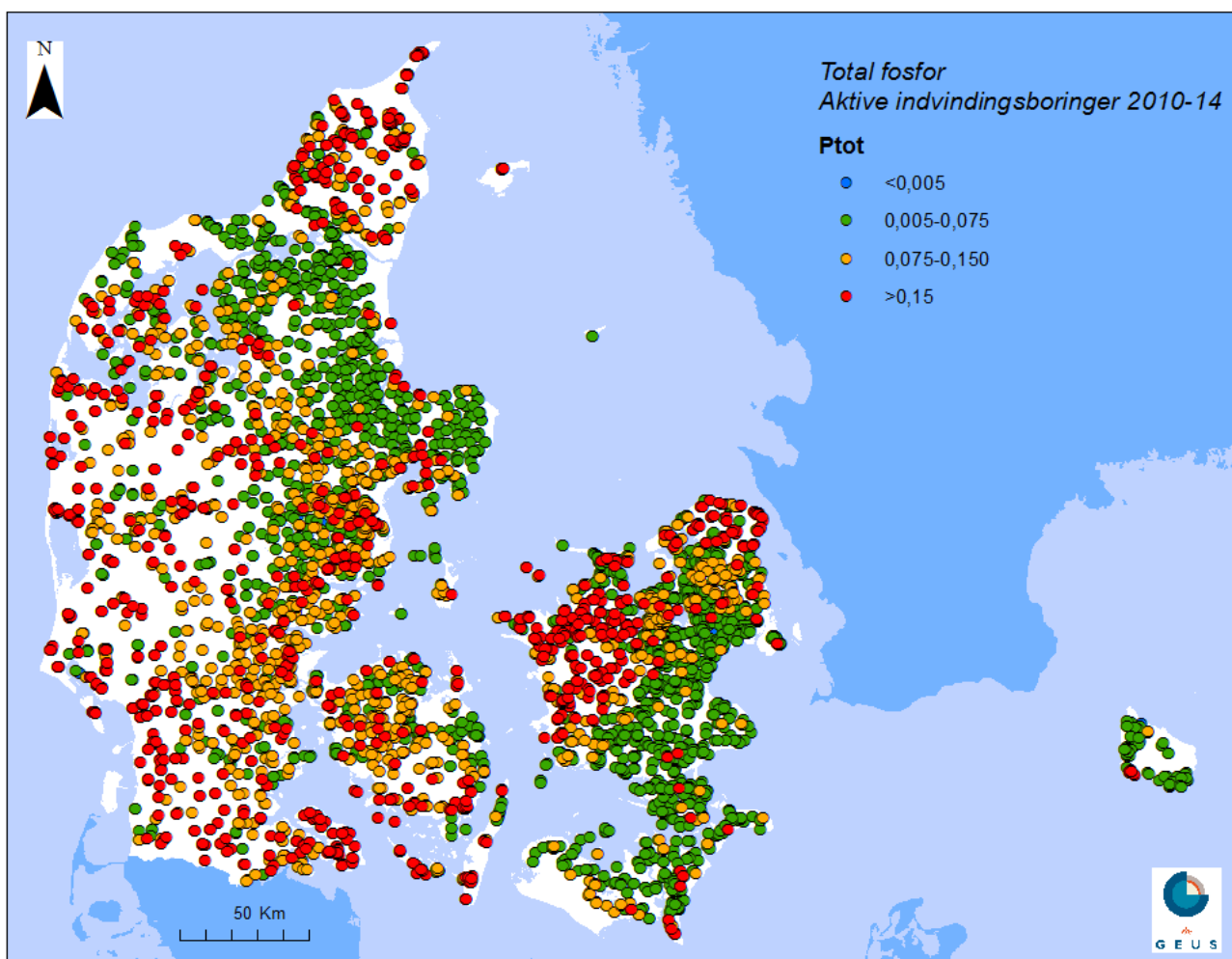
Datagrundlag

Datagrundlaget er analyser af det totale indhold af opløst fosfor fra boringskontrollen af vandværkernes indvindingsboringer for perioden 2010-2014. Der er i dette års rapport ikke vist tidsserier for fosfat på vandværksniveau. Dette hænger sammen med, at indholdet i grundvandet fosforindhold vurderes at være langt overvejende bestemt af geologien, således som det fremgår af kapitel 6.1. Derfor vurderes det, at den mindre stigning i omfanget af fosfor i vandforsyningsboringerne, der er iagttaget tidligere, (Thorling mfl. 2012) ikke kan relateres til en miljøpåvirkning, men i højere grad kan forventes at skyldes udviklingen i vandforsyningsstrukturen.

Tilstand, udvikling og årsager

Medianværdien af det gennemsnitlige totalfosfor indhold i vandværkernes boringskontrol er 0,069 mg/l for perioden 2011-2014, se Figur 37.

Omkring 23 % af indvindingsboringerne har et fosforindhold over drikkevandskravet for drikkevand (0,15 mg/l). Denne andel har ikke ændret sig væsentligt siden Vandmiljøplanernes start.



Figur 45. Fosfor (mg/l) i 5521 vandværksboringer. Gennemsnit for perioden 2010-2014, hvor alle vandværksboringer kan forventes prøvetaget mindst én gang. Fosforindholdet afhænger i høj grad af geologien, og kan relateres til undergrunden, se Figur 8.

Figur 45 viser den geografiske fordeling af fosforindholdet i grundvandet i vandforsyningsboringer, tegnet med de laveste værdier først. Fosforindholdet afhænger i høj grad af undergrundens geologiske sammensætning som vist i Figur 39 - Figur 41, og kan derfor relateres til de prækvartære aflejringer, se Figur 8, idet især kalkområderne træder frem med lave fosforindhold. Den geologiske påvirkning er særlig stor i nitratfrit grundvand, der typisk anvendes til vandforsyning, se Figur 23 og (Thorling mfl. 2013).

6.3 Fosfor i øvre terrænnært grundvand (LOOP)

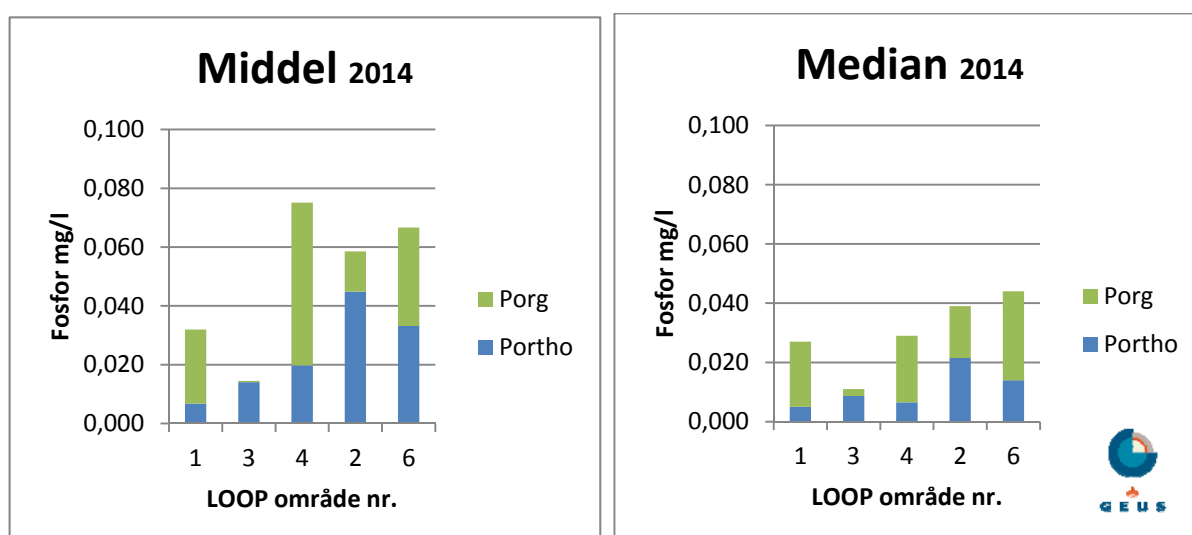
Datagrundlag

Det øvre grundvand overvåges i landovervågningsområderne (LOOP), hvor der er målt for P_{tot} og P_{ortho} i perioden 1989-2014. Det terrænnære grundvand er udtaget i boringer filtersat mellem 1,5 og 6 m u.t. Grundvandet er i alle disse områder således højtliggende, hvilket ikke er repræsentativt for forholdene overalt i Danmark, idet der mange steder i landet ikke træffes grundvand så tæt på terræn.

Fosfor i det øvre grundvand – tilstand

I rapportering for 1989-2008 (Thorling mfl., 2010b) blev der redegjort for forekomsten af forskellige fosforbidrag i det øvre grundvand. Da grundvandets indhold af fosfor kun langsomt ændres, vil dette års rapport alene udgøre en statusopgørelse.

Figur 46 viser median- og middelværdierne for koncentrationen af P_{tot} opdelt på P_{ortho} og P_{org} i det øvre grundvand for 2014 for de 5 landovervågningsoplande. Medianværdien for P_{ortho} i det øvre grundvand er af samme størrelsesorden i hhv. sandjords- (LOOP 2 og 6) og lerjordsområderne (LOOP 1,3 og 4). Fordelingen for LOOP er også vist på Figur 37 og Figur 38, hvor hhv. P_{tot} og P_{ortho} og P_{org} er vist som gennemsnitsværdier for programperioden 2011-2014.



Figur 46. Indholdet af fosfor (mg/l) i 101 indtag i det øvre grundvand opdelt på P_{ortho} og P_{org} for de enkelte LOOP-områder i 2014, Middelværdi og median af det årlige middelværdi/median på indtagsniveauet.

Referencer, Fosfor

Lovgivning mv. Danmark og EU:

Miljøstyrelsen 1999: Kvalitetskrav til visse stoffer i drikkevand. BKG 130 26/02/1999.

Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Andre referencer:

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012.

www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (5-11-13)

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

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

www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Mielby, S., og Sørensen, B., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (5-11-13)

Voutchkova, D.D., Kristiansen, S.M., Hansen, B., Ernstsen, V., Sørensen, B. & Esbensen, K., (2014) Iodine concentrations in Danish groundwater: historical data assessment 1933-2011. In: Environmental Geochemistry and Health, (2014) DOI [10.1007/s10653-014-9625-4](https://doi.org/10.1007/s10653-014-9625-4)

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B., Kjeldgaard, A., 2015: Vandløb 2013, DCE videnskabelig rapport nr. 121, 2015.

Links:

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.10.2013)

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

NOVANA hjemmeside:

www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.10.13)

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

Netdoktor.dk/vitaminer/fosfor (29-6-2015)

7 Organiske mikroforureninger

Sammenfatning og konklusion

I grundvandsovervågningen er der i perioden 2011-2014 anvendt en analysepakke med 19 organiske stoffer, fordelt på grupperne hormonforstyrrende stoffer inkl. phthalater, detergenter, aromatiske kulbrinter, halogenerede alifatiske kulbrinter og phenoler og chlorphenoler. I perioden er vandprøver fra 815 indtag blevet analyseret. Indholdet af organiske mikroforureninger i hovedparten af prøverne er lavt, under detektionsgrænsen (DG).

Enkeltstoffer i stofgrupperne phthalater (og hormonforstyrrende stoffer), aromatiske kulbrinter og halogenerede alifatiske kulbrinter er fundet i koncentrationer over kvantifikationsgrænsen ($LQ=3*DG$). Disse stoffer er fundet nogenlunde jævnt fordelt hen over Danmark. Op til 1,1 % af indtagene har indhold af enkeltstoffer over drikkevandskravet.

Flere fund af kloroform i koncentrationer over drikkevandskravet i indtag under skov eller planter kan skyldes naturligt forekommende kloroform.

I grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer er der i perioden 2010-2014 gennemført analyser af 158 forskellige stoffer, i et meget forskelligt antal indtag. For perioden 2010-2014 var indholdet af organiske mikroforureninger i langt den overvejende del af borerne (ca. 95 %) under detektionsgrænsen (DG). De enkelte stoffer blev fundet over kvantifikationsgrænsen (LQ) i op til 6,5 % af borerne analyseret for enkeltstoffer.

De hyppigst fundne stoffer i grundvandet i vandindvindingsboringer er cis-1,2-dichlorethyl (6,5 %), anioniske detergenter (3,4 %), 1,1-dichlorethan (3,1 %) og vinylklorid (2,7 %). Overskridelser af drikkevandskravene for organiske mikroforureninger optræder for enkeltstoffer i op til 0,8 % af borerne.

I 2014 gennemførtes i GRUMO en screening for 11 perfluorerede forbindelser (PFC) i 40 indtag. Indholdet af syv af de perfluorerede forbindelser lå i alle prøver under detektionsgrænsen. De øvrige fire PFC-forbindelser blev påvist i 6 forskellige indtag i hhv. Bedsted, Ejstrupholm, Frøslev Plantage, Haderup, Værløse og Store Heddinge. Sumkoncentrationen for PFAS forbindelser i Frøslev Plantage var højere end drikkevandskravet på 0,1 µg/l.

I boringskontrollen er der fundet af de samme fire PFC-stoffer i grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer som i grundvandsovervågningen, samt fund af yderligere en PFC-forbindelse. Sumkoncentrationen er i alle indvindingsboringer under drikkevandskravet.

Indledning

Overvågningen af organiske mikroforureninger i grundvandet omfatter et stort antal miljøfremmede stoffer, der anvendes bredt i det moderne samfund. Grundvandsovervågningen omfatter for hver programperiode et antal udvalgte stoffer. Tabel 6 viser for programperioden 2011-2015 hvilke 19 stoffer, der indgår i den faste analysepakke. Herudover kan der enkelte år være screeninger for særlige stoffer. I 2014 var der en screening for perfluorerede stoffer.

Derudover overvåges organiske mikroforureninger gennem vandværkernes boringskontrol (MiM 2014b og 2014c). Valget af analyseparametre afhænger af, hvilke formodede eller kend-

te risici for forurening af grundvandet der optræder inden for de enkelte vandværkers indvindingsoplande. I perioden 2010-2014 er der i boringskontrollen gennemført analyser af 156 forskellige stoffer. Det samlede antal analyser for hvert stof varierer mellem 1 og 8255, heraf findes der mere end 50 analyser for 64 af de undersøgte stoffer.

Stofgruppe	Organiske mikroforureninger	Detektionsgrænse
<i>Aromatiske kulbrinter</i>	Benzen	0,04 µg/l
	Toluen	0,04 µg/l
	Xylener (p-xylen, m-xylen og o-xylen)	0,02 µg/l
<i>Halogenerede alifatiske kulbrinter</i>	Tetrachlorethylen	0,02 µg/l
	Tetrachlormetan	0,03 µg/l
	Trichloretylen	0,02 µg/l
	Trichlormetan (kloroform)	0,02 µg/l
	1,1,1-trichlorethan	0,02 µg/l
	1,1-dibrometan	0,02 µg/l
	Vinylchlorid	0,05 µg/l
<i>Fenoler og phthalater (blødgørere)</i>	fenol	0,05 µg/l
	Nonylfenoler	0,05 µg/l
	Nonylfenol-monoethoxylater	0,05 µg/l
	Nonylfenol-diethoxylater	0,1 µg/l
	Dibutylphthalat (DBP)	0,1 µg/l
	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	0,1 µg/l
	di-iso-nonylphthalat (DNP)	0,1 µg/l
<i>Chlorfenoler</i>	Pentachlorphenol	0,01 µg/l
<i>Detergenter</i>	LAS (specifik analyse)	3 µg/l

Tabel 6. Det faste analyseprogram for organiske mikroforureninger i GRUMO for programperioden 2011-2015. Nogle indtag prøvetages hvert år og andre én gang i løbet af 5 år.

Den ofte meget brede anvendelse af stofferne indenfor de mange forskellige grupper af organiske mikroforureninger giver en stor risiko for kontaminering af prøverne. Derfor skal udførelse og udbygning af boringerne samt den efterfølgende prøvetagning, prøveopbevaring og laboratoriehåndtering af vandprøverne ske med særlig stor omhu og omtanke for at undgå mulige kontamineringer. Ved vurdering af analyseresultaterne for disse stoffer er der således grund til at være ekstra opmærksom på om de fundne indhold, især ved lave koncentrationer, er retvisende i forhold til den faktiske kvalitet af det grundvand, der er taget prøver af.

Målsætning

Organiske mikroforureninger er med få undtagelser miljøfremmede stoffer med skadelige effekter for mennesker og økosystemer. Da følsomheden over for disse stoffer varierer overordentligt meget mellem fx planter, fisk og mennesker, er der stor forskel på kvalitetskravene til grundvand, drikkevand og overfladevand. Generelt er der et stort udækket vidensbehov for forekomst og miljømæssig effekt af de mange enkeltstoffer i gruppen organiske mikroforureninger. Forurening af grundvandet med miljøfremmede stoffer fra punktkilder og forurenede grun-

de administreres efter Jordforureningsloven (MiM, 2015) afrapporteres indtil 2014 af Miljøstyrelsen (MST, 2014b).

Præsentation af stofgrupperne

De forskellige stofgrupper i analysepakken for perioden 2011-2015 beskrives i det følgende kort. For yderligere information henvises til bl.a. Brusch & Villholt (2011) og andre links i referencelisten. Derudover præsenteres gruppen PFC-forbindelser (perfluorforbindelser) der indgik i en screeningsundersøgelse i 2014.

Aromatiske kulbrinter

Aromatiske kulbrinter er en gruppe af organiske opløsningsmidler, der bl.a. omfatter: toluen (toluol eller methylbenzen), xylen (xylol eller dimethylbenzen), benzen (benzol, stenkulstofnaften) og styren (styrol, fenylethylen, vinylbenzen eller monostyren). Fyld- og lossepladser, olie- og benzinanlæg, asfalt og tjærevirksomheder samt gasværker kan være kilder til indhold i grundvandet.

Halogenerede alifatiske kulbrinter

Halogenerede alifatiske kulbrinter er en gruppe af stoffer, der primært har været anvendt som opløsnings- og affedtningsmidler. Alle stofferne indeholder halogener som klor eller brom. Den største gruppe af disse stoffer indeholder klor og omtales derfor ofte som "klorerede opløsningsmidler". De hyppigst fundne er tetrachloretylen, trichloretylen, dichloretylener og – etaner samt vinylklorid (chloretylen). Halogenerede alifatiske kulbrinter optræder fx ved fyld- og lossepladser, forurenede grunde i forbindelse med farve- og lakindustri, galvaniseringsvirksomhed, benzinanlæg og renserier. Anvendelsen af denne gruppe stoffer i små erhvervsvirksomheder har resulteret i mange små punktkilder, der påvirker såvel jord som grundvand.

Vinylklorid er et nedbrydningsprodukt fra klorerede opløsningsmidler. Vinylklorid menes at have en langsommere nedbrydningshastighed end de øvrige klorerede kulbrinter, hvilket kan betyde, at der på sigt vil kunne ske en opkoncentrering af vinylklorid i de grundvandsmagasiner, der er forurenede med klorerede kulbrinter. Visse halogenerede kulbrinter, fx kloroform (trichlormetan) kan optræde naturligt i grundvand (Jacobsen m.fl., 2007, Albers, 2010; Albers m.fl., 2010).

Fenol, phthalater (blødgørere) og klorfenoler

Fenoler er en bestanddel i tjære og creasot (destillationsprodukt af kul eller træ). Fenoler anvendes til industrielle formål i bl.a. lægemidler, pesticider, farvestoffer samt kunstharpikser. Til gruppen af alkylfenoler hører bl.a. de hormonlignende stoffer nonylfenoler og phthalater, der kan påvirke hormonbalancen. De anvendes bl.a. som antioxidant og til fremstilling af tensider. Klorfenoler (halogenerede fenoler) anvendes som desinfektionsmidler og til fremstilling af ukrudtsmidler, fx 2,4-diklorfenoxyeddikesyre. Det store og brede brug af fenol og fenolforbindelser betyder, at disse forbindelser i mange sammenhænge bidrager til forurening af vand og jord. Fenoler kan dannes ved nedbrydning af naturligt organisk stof og flydende husdyrgødning kan indeholde op til 2.400 mg fenol pr. kilo tørstof (Fyns Amt, 2002) Fremstilling og anvendelse af træimprægneringsmidler kan også være en kilde til forurening med klorerede fenoler. Således har pentaklorfenol været anvendt til træimprægnering. Fenolforbindelser kan i større eller mindre grad nedbrydes af bakterier i jord, vand og i rensningsanlæg.

Nonylphenoler – er hormonlignende stoffer, der primært stammer fra nedbrydning af nonylfeno-lethoxylater, som blandt andet findes i vaskemidler og rengøringsmidler. Brugen af nonylfeno-lethoxylater ophørte i 1989 (MST, 1991).

PVC (polyvinylchlorid) er en hård plast, der bliver blød og bøjelig ved tilsætning af blødgø-ringsmidler. Der findes mange forskellige blødgøringsmidler og de mest anvendte indgår i stofgruppen phthalater som bl.a. omfatter di(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), dibuthylphthalat (DBP) og di-iso-nonylphthalat (DNP). DBP forekommer i mange forbindelser, bl.a. maling, ud-fyldningsmidler, opløsningsmidler, hærdere, bindemidler, isoleringsmaterialer og laboratorie-udstyr.

Detergenter

Lineære alkylbenzensulfonater (LAS) er et anionisk tensid, der primært anvendes inden for vaske- og rengøringsmidler.

Perfluorerede stoffer

Perfluorerede stoffer er betegnelse for en meget stor stofgruppe, der består af omkring 1000 stoffer (Tsitonaki et al., 2014). På engelsk kaldes denne stofgruppe ”perfluorochemical”, og deraf forkortelsen PFC. PFC-forbindelserne indeholder en alkylkæde, hvor brintatomerne er substitueret med fluoratomer. Der er almindeligvis 8 kulstof i perfluor-alkylkæden, men der kan være såvel færre som flere. Der skelnes mellem langkædede og kortkædede perfluorerede forbindelser, da der mellem disse grupper er essentielle forskelle i toksicitet og bioakkumule-ring. Den perfluorerede alkylkæde slutter typisk i en funktionel gruppe som sulfonsyre, carbo-xylsyre eller en alkohol samt derivater heraf, fx substituerede sulfonamider (Enevoldsen og Juhler, 2010).

PFC-forbindelserne har været produceret i mere end 40 år og bruges bl.a. som hjælpestoffer i syntesen af teflonprodukter. Den perfluorerede alkylkæde giver såvel lipofobe som hydrofobe egenskaber (olie- og vand afvisende) i samme molekyle og stofgruppen anvendes i en række sammenhænge som bl.a. overfladeaktive stoffer, hjælpestoffer i brandslukningsmidler, im-prægneringsmidler og antistatiske midler. Den perfluorerede alkylkæde er meget vanskeligt nedbrydelig, og stofferne findes vidt udbredt i miljøet.

Drikkevandskravet for perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) er 0,1 µg/l, be-regnet som summen af PFBS, PFHxS, PFOS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, og PFDA (Miljøstyrelsen, 2015).

7.1 Organiske mikroforureninger, Grundvandsovervågning

Datagrundlag

Ifølge analyseprogrammet for grundvandsovervågningen skal hvert indtag enten prøvetages for organiske mikroforureninger én gang i perioden 2011-2015 eller hvert år. Prøvetagningen af indtag, der kun skal prøvetages én gang, er fordelt over alle årene. Dette års rapportering beskriver analyseresultater indsamlet i perioden 2011-2014. Tabel 6 viser analyseprogrammet med detektionsgrænser.

Tabel 7 viser det samlede antal indtag og fordelingen af indtag over og under DG (antal og %) samt % indtag med koncentrationer over kvantifikationsgrænsen ($LQ=3*DG$) og drikkevands-kravet (DVK). Opgørelser på indtagsniveau er baseret på den seneste analyse gennemført i

perioden 2011-2014. Der er foretaget analyser af organiske mikroforureninger i grundvand fra 815 indtag. Enkelte stoffer er analyseret i mindre omfang, idet O-xylen og M+P-xylen er bestemt i henholdsvis 197 og 231 indtag, NPE er bestemt i 65 indtag og nonylphenoleth1oxyl er bestemt i 7 indtag.

Tabel 7 viser, at indholdet af organiske mikroforureninger i indtagene for langt den ovevejende del af stofferne ligger under detektionsgrænsen (DG), og at hyppigheden af koncentrationer over DG typisk er mindre end et par procent. For syv af de målte stoffer er der en større andel af indtag med fund over DG i perioden 2011-2014: Toluen (18,5 %), M+P-xylen (15,8 %), xylen (13,3 %), kloroform (9,8 %), nonylphenoler (8,7 %), DEHP (3,9 %) og DNP (2,5 %). En omfattende dataanalyse af alle indsamlede data i grundvandsovervågningen har vist, at antallet af genfund i det enkelte indtag er forholdsvis beskedent (Larsen, under udarbejdelse).

Bilag 8-9 indeholder mere detaljerede oplysninger for 2014 og 2011-2014 opgjort på indtagsniveau. Desuden findes oplysninger om antal analyser samt indhold for min, max, gennemsnit, median, 10 % fraktil og 90 % fraktil for stoffer med minimum 20 analyser med koncentrationer >DG opgjort på analyseniveau. Denne sidste opgørelsesmetode er også anvendt i (Boutrup mfl., 2015)

Tilstand

Sandsynligheden for forekomst af falske positive (fund, hvor der reelt intet er i grundvandet) fra bla. kontamineringer er forøget, når den målte koncentration ligger tæt på DG. Derfor er beskrivelsen af organiske mikroforureninger i denne rapportering baseret på indhold i relation til kvantifikationsgrænsen (LQ), der beregnes som tre gange detektionsgrænsen (3*DG). Kvantifikationsgrænsen anvendes ligeledes i forbindelse med Grundvandsdirektivet og i "Analysekvalitetsdirektivet" (MiM, 2014a).

Tabel 7 viser fund over LQ på indtagsniveau for stofgruppen phthalater; DEHP (1,7 %), nonylphenoler (2,0 %); aromatiske kulbrinter; toluen (3,4 %), xylen (4,6 %) og M+P-xylen (3,9 %), og halogenerede alifatiske kulbrinter; kloroform (5,8 %). For de resterende 15 organiske mikroforureninger i analyseprogrammet er der ingen indtag med indhold over kvantifikationsgrænsen.

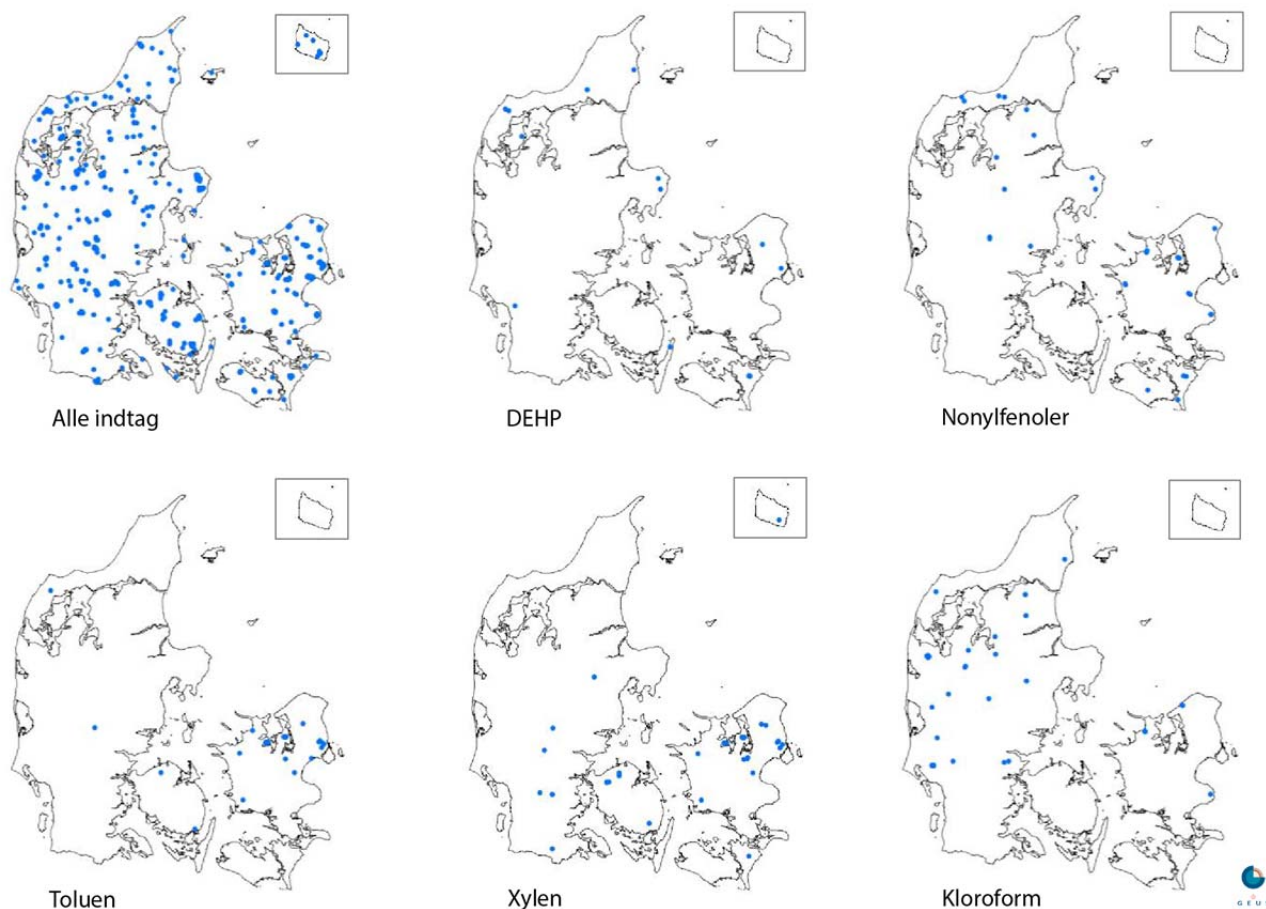
Tabel 7 viser, at der er overskridelser af kravværdien for drikkevand (DVK) for stofgruppen phthalater i indtag - DEHP (0,1 %), nonylphenoler (1,1 %) og halogenerede alifatiske kulbrinter - kloroform (1,1 %). Samtlige indtag med indhold af kloroform over drikkevandskravet forekommer i grundvand under skove/plantager/træbevoksninger, hvor indholdet antagelig er relateret til vegetationstypen.

For en nærmere gennemgang af forekomsten såvel som mulige fejlkilder fremkommet i forbindelse med etablering af borer, prøveindsamling og prøvebehandling henvises til Larsen (under udarbejdelse).

Figur 47 viser den geografiske fordeling af alle indtag, der er blevet analyseret for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen i perioden 2011-2014 samt indtag med indhold over kvantifikationsgrænsen for stofferne DEHP, nonylphenoler, toluen, xylen og kloroform.

Stof nr.	Stofgruppe	Navn	DG	LQ	DV K	Indtag						
						Total	<DG		> DG		>LQ	>DV K
			µg/l	µg/l	µg/l	antal	an-tal	%	an-tal	%	%	%
0426	1	DEHP	0,1	0,3	1	814	782	96,1	32	3,9	1,7	0,1
0431	1	Diidononylphthalat (DNP)	0,1	0,3	1	814	794	97,5	20	2,5	-	-
3044	1	Dibuthylphthalat (DBP)	0,1	0,3	1	814	813	99,9	1	0,1	-	-
0467	1	Nonylphenoler	0,05	0,15	0,5	814	743	91,3	71	8,7	2,0	1,1
0468	1	Nonylphenoethoxy	0,05	0,15	0,5	7	7	100	0	0,0	-	-
9406	1	Nonylphenol (NP1EO)	0,05	0,15	0,5	814	814	100	0	0,0	-	-
9407	1	Nonylphenol (NP2EO)	0,1	0,3	0,5	814	814	100	0	0,0	-	-
9409	1	NPE NP1EO+NP2EO+NP	0,1	0,3	0,5	65	65	100	0	0,0	-	-
0457	2	Alkylbenzensulfonat	3	9	100	814	813	99,9	1	0,1	-	-
0662	4	Benzen	0,04	0,12	5	815	802	98,4	13	1,6	-	-
0665	4	Toluen	0,04	0,12	5	815	664	81,5	151	18,5	3,4	0,0
0668	4	Xylen	0,02	0,06	5	809	701	86,7	108	13,3	4,6	0,0
2662	4	O-xylen	0,02	0,06	5	234	231	98,7	3	1,3	-	-
2664	4	M+P-xylen	0,02	0,06	5	234	197	84,2	37	15,8	3,9	0,0
0442	6	1,2-dibromethan	0,02	0,06	0,01	814	813	99,9	1	0,1	-	-
2612	6	Kloroform (trichlormethan)	0,02	0,06	1	797	719	90,2	78	9,8	5,8	1,1
2616	6	Tetrachlorkulstof	0,03	0,09	1	815	815	100	0	0,0	-	-
2617	6	Tetrachlorethylen	0,02	0,06	1	815	808	99,1	7	0,9	-	-
2618	6	Trichlorethylen	0,02	0,06	1	815	807	99,0	8	1,0	-	-
2621	6	1,1,1-trichlorethan	0,02	0,06	1	815	811	99,5	4	0,5	-	-
9946	6	Vinylchlorid	0,05	0,15	0,3	814	803	98,6	11	1,4	-	-
2676	7	Phenol	0,05	0,15	0,5	814	805	98,9	9	1,1	-	-
2695	7	Pentachlorphenol	0,01	0,03	0,01	815	815	100	0	0,0	-	-

Tabel 7. Analyseindsatsen for GRUMO i perioden 2011-2014 opgjort på indtag og seneste værdi. Detektionsgrænsen (DG), kvantifikationsgrænsen (LQ) og drikkevandskravet (DVK) er vist i tabellen sammen med det samlede antal indtag og fordelingen af indtag med indhold over og under DG (antal og %). Andelen af indtag med koncentrationer over henholdsvis LQ og DVK vist for stoffer, der er påvist i mere end 20 indtag. Stofgrupper: 1. hormonforstyrrende stoffer, 2: detergenter, 4: aromatiske kulbrinter, 6: halogenerede alifatiske kulbrinter og 7: phenol og chlorphenoler. Stofkoder er fra Standatkode listen STD00019. Se bilag 8-9 for mere detaljerede oplysninger.



Figur 47. Alle GRUMO-indtag analyseret for organiske mikroforureninger i perioden 2011-14 og for enkeltstoffer (DEHP, nonylfenoler, toluen, xylen og kloroform) indtag med indhold over kvantifikationsgrænsen ($LQ = 3 \cdot DG$).

7.2 Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer

Datagrundlag

For at tilpasse datasættet til kontrolhyppigheden for vandforsyningsanlæg (MiM 2014b; MiM 2014c) bygger denne opgørelse på data fra perioden 2010-2014, idet alle vandværksboringer skal analyseres mindst én gang i en femårs periode. Analyse kvaliteten er underkastet de samme analysekvalitetskrav som for NOVANA (MiM, 2014a).

Tilstand, udvikling og årsager

For perioden 2010-2014 er der gennemført analyser af 158 forskellige stoffer. Antallet af analyser for de enkelte stoffer varierer meget (1-8255 analyser). For 92 af de undersøgte stoffer er antallet af analyser for perioden mindre end 50, og for de resterende 66 stoffer er der udført mere end 50 analyser.

I bilagene 10 og 11 til rapporten findes en opgørelse over vandværkernes indsats for 2014 og for perioden 2010-2014 med samtlige stoffer, der er blevet analyseret for med oplysninger om antal analyser, antal analyser $>DG$, samt antal indtag med indhold under detektionsgrænsen ($<DG$), over detektionsgrænsen ($>DG$), over kvantifikationsgrænsen ($>LQ$) og over drikkevandskravet ($>DVK$). Desuden findes tabeller for stoffer, der er påvist i mere end 20 analyser ($>DG$), med oplysninger om min, max, gennemsnit, median samt 10 % og 90 % fraktiler på

analyseniveau. Opgørelser på indtagsniveau er lavet for seneste analyse i perioden 2011-2014.

For en meget stor del, af de enkelte stoffer i gruppen organiske mikroforureninger ligger koncentrationen i mere end 95 % af de undersøgte indtag under detektionsgrænsen (se også bilag 10 og 11).

Tabel 8 viser de stoffer, der er påvist i mere end 20 indtag (> DG). Heraf ses, at anioniske detergenter er påvist i 46,2 % af indtagene (>DG). For de øvrige stoffer varierer antallet af indtag med indholdet over kvantifikationsgrænsen mellem 0,1 % og 3,4 % med undtagelse af cis-1,2-dichlorethyl (halogeneret alifatisk kulbrinte), hvor tallet er 6,5 %. Fundhyppigheden af stoffer med koncentrationer over drikkevandskravet varierer for de viste stoffer mellem 0 % og 0,8 % og med størst andel for cis-1,2-dichlorethyl.

Stof nr.	Navn	LQ µg/L	DVK µg/L	Indtag						
				Total	< DG		> DG		> LQ	> DVK
				Antal	Antal	%	antal	%	%	%
0404	Cis-1,2-dichlorethyl	0,06	1	627	567	90,4	60	9,6	6,5	0,8
0490	MTBE	0,3	5 (2)	839	810	96,5	29	3,5	0,8	0,0
0602	Anioniske detergenter	9	100	1053	486	46,2	567	53,8	3,4	0,1
0665	Toluen	0,06	5	1872	1846	98,6	26	1,4	0,6	0,0
0668	Xylen	0,06	5	459	436	95,0	23	5,0	2,2	0,0
2612	Kloroform	0,06	1	1828	1799	98,4	29	1,6	1,0	0,1
2617	Tetrachlorethyl	0,06	1	1828	1784	97,6	44	2,4	1,6	0,3
2618	Trichlorethyl	0,06	1	1825	1766	96,8	59	3,2	2,5	0,4
2664	M+P-xylen	0,06	5	1704	1672	98,1	32	1,9	0,1	0,0
3087	Chlorerede opløsningsmidler			24	0	0,0	24	10		
4542	1,1-dichlorethan	0,06	1	384	355	92,4	29	7,6	3,1	0,5
9422	1,2-dichlorethan	0,06	1	1790	1769	98,8	21	1,2	0,5	0,2
9946	Vinylchlorid	0,06	0,3	450	427	94,9	23	5,1	2,7	0,4

Tabel 8. Organiske mikroforureninger for stoffer, der er påvist (>DG) i mere end 20 indtag i grundvandet i vandværkernes indvindingsboringer for perioden 2010-2014, baseret på seneste værdi. Kvantifikationsgrænsen (LQ) og drikkevandskravet (DVK) er vist i tabellen sammen med det samlede antal indtag og fordelingen af andelen af indtag under og over DG (antal og %). Andel indtag med koncentrationer over henholdsvis LQ og DVK er også vist. Stofkoder fra Standatkode listen STD00019. Se bilag 10-11 for mere detaljerede oplysninger, hvor samtlige 158 analyserede stoffer for gruppen organiske mikroforureninger i grundvandet i aktive indvindingsboringer er vist.

7.3 Perfluorforbindelser

GRUMO

Som supplement til den almindelige grundvandsovervågning blev der i 2014 foretaget en screening af 11 PFC-forbindelser i vandprøver fra 40 GRUMO-indtag, placeret inden for dybdeintervallet 3 til 39 meter under terræn. Den geografiske fordeling af indtagene fremgår af Figur 48.



Figur 48. Den geografiske fordeling af 40 GRUMO-indtag i screeningsundersøgelsen af 11 PFC-forbindelser i 2014.

Tabel 9 viser, at indholdet af syv ud af de 11 undersøgte PFC-forbindelser (PFDA, PFHxA, hpA, PFNA, PFOSA, PFDA, PFUnA og PFBS) ligger under detektionsgrænsen i alle indtag. Indholdet af PFHxS, PFOA, PFOS og PFHpA ligger over detektionsgrænsen i henholdsvis 4, 3, 2 og 1 af de undersøgte indtag. De største indhold er fundet for PFOS (0,100 µg/l) og PFOA (0,033 og 0,029 µg/l).

Tabel 10 viser resultaterne fra de fem indtag, med PFC-forbindelser fundet af over detektionsgrænsen (DG). I boringen DGU nr. 174.215 er indholdet af tre PFC-forbindelser (PFHxS, PFOS og PFOA) over DG. Sumkoncentrationen er på 0,143 µg/l og dermed over drikkevandskravet på 0,1 µg/l, der kun er fastsat for sumkoncentrationen. Indholdet af PFOA ligger ligeledes over LQ i DGU nr. 159.979 og 218.988.

Boring DGU nr. 174.215 ligger i Frøslev plantage. Indtaget er placeret i 10-11 m's dybde, i gråt sand. Der er tale om en el-log boring fra 1997. Boringen DGU nr. 218.988 ligger på Stevns, med indtag i 15-16 m u.t. i kalk, der er dækket af moræneler fra overfladen og ned til 14 m. Boringen er udført som en kombineret tør - og skylleboring i 1989. Boringen DGU nr. 159.979 ved Bedsted i Sønderjylland har indtag i 3,7-4,7 m u.t., i sand. Boringen er etableret i 1989 som en kombineret tør - og skylleboring.

Alle tre borer er beliggende på arealer, hvor der sker almindelige aktiviteter, der kan være kilde til de tre fundne PFC-forbindelser. PFC forbindelserne anvendes i en lang række produkter som overfladeaktive stoffer, hjælpestoffer i brandslukningsmidler, imprægneringsmidler og antistatiske midler. Ud over muligheden for forurening af grundvandet er der en risiko for kontaminering af prøverne. I forbindelse med etableringen og instrumenteringen af borerne, kan der fx være anvendt teflonholdige materialer, som teflontape til tætning af rør og teflonkugler i montejus pumper. Brugen af teflonholdige materialer anbefales i Teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen (GEUS, 2008 og Thorling, 2012b). Risiko for kontaminering af prøver fra teflonholdige materialer er beskrevet i metodetabladet fra referencelaboratorierne for bestemmelse af PFC-forbindelser (REFLAB, 2015). Der er imidlertid ikke fundet PFC-

forbindelser i nær alle GRUMO borer, hvorfor risikoen for afsmitning fra teflon i overvågningsboringerne vurderes at være mindre.

Stof nr.	Navn	DG	LQ	Indtag			
				Total	<DG	>DG	>LQ.
Standat		µg/l	µg/l	Antal	Antal	Antal	Antal
2267	Perfluorhexansulfonsyre (PFHxS)	0,002	0,006	40	36	4	1
2268	Perfluoroktansulfonsyre(PFOS)	0,001	0,003	40	38	2	1
2269	Perfluordecansulfonsyre(PFDS)	0,002	0,006	40	40	0	0
2270	Perfluorohexansyre(PFHxA)	0,004	0,012	40	40	0	0
2271	Perfluoroheptansyre(PFHpA)	0,004	0,012	40	39	1	0
2272	Perfluoroktansyre(PFOA)	0,002	0,006	40	37	3	3
2273	Perfluorononansyre(PFNA)	0,0008	0,0024	40	40	0	0
2274	Perfluoroktansulfonamid(PFOA)	0,001	0,003	40	40	0	0
2275	Perfluorodecansyre(PFDA)	0,002	0,006	40	40	0	0
2276	Perfluoroundecansyre(PFUnA)	0,002	0,006	40	40	0	0
2281	Perfluorobutansulfonsyre(PFBS)	0,002	0,006	40	40	0	0

Tabel 9. Screeningsundersøgelse i 2014 af 11 PFC-forbindelser i 40 GRUMO-indtag.

Boring	GRUMO nr.	Etablering	Dybde	PFC-forbindelser				
				PFHxS	PFOS	PFHpA	PFOA	Sum Koncentration
DGU nr.		Årstal	(m)	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
65.1513	65.12.05.01	2004	4,5-5,5		0,002			0,002
96.2272	60.14.18.01	2005	17-18	0,003				0,003
159.979	50.11.02.02	1989	3,7-4,7	0,006			<i>0,016</i>	<i>0,022</i>
174.215	50.14.04.01	1997	10-11	<i>0,010</i>	0,100		<i>0,033</i>	0,143
200.5197	15.11.14.01	2004	8,3-10,3	0,001		0,008		0,008
218.988	35.13.03.02	1983	15-16				<i>0,029</i>	<i>0,029</i>

Tabel 10. Borer med de fire påviste PFC-forbindelser. Borerne er beskrevet med DGU nr., GRUMO-nummer, etableringsår for boringen, dybde af indtag. For de fire stoffer er de fundne koncentrationer og det summerede indhold (sum koncentration) angivet. Koncentrationer >LQ er skrevet med kursiv og indhold >DVK på sumkoncentrationen på 0,1 µg/l er skrevet med fed skrift.

Perfluorforbindelser – Vandværkernes boringskontrol

Tabel 11 viser resultaterne for ni forskellige PFC-forbindelser i grundvand i vandværkernes indvindingsboringer i perioden 2010-2014. Otte af disse PFC-forbindelser er ligeledes blevet undersøgt i GRUMO-screeningen, se Tabel 9.

Tabel 11 viser, at langt den overvejende del af indtagene har koncentrationer af de analyserede PFC-forbindelser under detektionsgrænsen. 5 stoffer, PFBA, PFHxS, PFOS, PFHxA og PFOA blev påvist i 1-3 indtag i koncentrationer over DG, hvoraf fire stoffer, PFHxS, PFOS, PFHxA og PFOS ligger over LQ i et enkelt indtag. I 5 af boringerne (alle fra Dragør) foreligger der flere målinger af 9 PFC-forbindelser, se Tabel 13. I boringerne DGU nr. 208.873, 208.1524 og 208.1527 er de målte stoffer uændrede og under detektionsgrænsen. I boring DGU nr. 208.1524 falder koncentrationen af PFOA fra 2013 til 2014, til under detektionsgrænsen. I boring DGU nr. 208.1572 og 208.4116 er der målt henholdsvis 5 og 4 PFC-forbindelser med koncentrationer over detektionsgrænsen og for 2013 og 2014 i nogenlunde sammenlignelige koncentrationer for hver af PFC-forbindelserne.

Stof nr.	Navn	DG	LQ	Indtag			
				To-tal	<DG	>DG	>LQ.
Stan-dat		µg/l	µg/l	An-tal	Antal	Antal	Antal
2266	Perflourbutansyre (PFBA)	0,002	0,006	9	8	1	0
2267	Perfluorhexansulfonsyre (PFHxS)	0,002	0,006	15	13	2	1
2268	Perfluoroktansulfonsyre (PFOS)	0,001	0,003	15	14	1	1
2269	Perfluordecansulfonsyre (PFDS)	0,002	0,006	15	15	0	0
2270	Perfluorohexansyre (PFHxA)	0,004	0,012	15	13	2	1
2271	Perfluoroheptansyre (PFHpA)	0,004	0,012	15	15	0	0
2272	Perfluoroktansyre (PFOA)	0,002	0,006	15	12	3	1
2273	Perfluorononansyre (PFNA)	0,0008	0,0024	14	14	0	0
2274	Perfluoroktansulfonamid (PFOSA)	0,001	0,003	13	13	0	0

Tabel 11. PFC-forbindelser i vandværkernes egenkontrol i 2010-2014. DG er beregnet som medianværdien for hver af de enkelte PFC-forbindelsers detektionsgrænser. Der var ingen overskridelser af sumkoncentrationen på 0,1 µg/l.

Tabel 12 viser resultater fra de fem boringer, hvor PFHxS, PFHxA og PFOA ligger over LQ. Sumkoncentrationen for PFC ligger under kravværdien for sumkoncentrationen på 0,1 µg/l i alle indtag.

Tabel 13 viser indvindingsboringer i Dragør, hvor der er udført flere analyser i samme boring for PFC stoffer, hvoraf det fremgår, at det er muligt at genfinde stofferne i samme boring med års mellemrum.

Boring	Etab- lering	Dybde	PFC-forbindelser					
			PFBA	PFHx S	PFOS	PFHpA	PFOA	Sum Koncentration
DGU nr.	Årstal	(m u.t.)	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
200.5600	2008				0,009			
207.1513	1965	18-64,5					0,002	
208.1525	1973	14,5-60					0,004	
208.1572	1980	17-50	0,006	0,009		0,022	0,014	0,051
208.4116	2003	16-44		0,006		0,009	0,002	0,017

Tabel 12. Boringer med fund af PFC-forbindelser. Boringerne er beskrevet med DGU nr., etableringsår for boringen, dybde af indtag. Koncentrationer af de fem fundne stoffer, PFC-forbindelserne PFBA, PFHxS, PFOS, PFHpA og PFOA, samt det summerede indhold (sum koncentration).

Stofnr. Standat	DGU nr. Indtag dybde (m) PFC- forbindelse	År	208. 873	208. 1524	208. 1525	208. 1527	208. 1572	208. 4116
			13,3-40,3		14,5-60,0	23,5-50,0	17,0-50,0	16,0-44,0
			µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
2266	PFBA	2013	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,013	0,002
		2014	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,006	<0,002
2267	PFHxS	2013	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0190	0,0081
		2014	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0087	0,0059
2268	PFOS	2013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
		2014	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
2269	PFDS	2013	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
		2014	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
2270	PFHxA	2013	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,013	0,007
		2014	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,022	0,009
2271	PFHpA	2013	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
		2014	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
2272	PFOA	2013	<0,002	<0,002	0,004	<0,002	0,010	<0,002
		2014	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,014	0,002
2273	PFNA	2013	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
		2014	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008	<0,008
2274	PFOSA	2013	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
		2014	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Tabel 13. Boringer med flere analyser af PFC-forbindelser i perioden 2010-2014. Alle boringer ligger i Dragør.

Referencer, organiske mikroforureninger

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet, 2014a: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 948 af 22. august 2014.

Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 231 af 5. marts 2014.

Miljøministeriet, 2014c: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2015: Bekendtgørelse af lov om forurenede jord. Miljø og fødevarerministeriets bekendtgørelse nr. 895 af 3. marts 2015. (Jordforureningsloven)

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

Miljøstyrelsen, 2014a: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". http://mst.dk/media/mst/9150735/kvalitetskriterier_jord_og_drikkevand_maj_2014.pdf (11. august 2015).

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

Miljøstyrelsen, 2015: Drikkevandskvalitetskriterium og jordkvalitetskriterium for PFOA, PFOS og PFOSA. <http://mst.dk/media/131330/pfoa-pfos-pfosa-datablad-final-27-april-2015.pdf>

Miljøstyrelsen, 2015: Faktaark om kemikalierreglerne. Miljøstyrelsen har udarbejdet en række faktaark med informationer om udvalgte emner inden for kemikalielovgivningen. <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierreglerne/> (11. august 2015).

REFLAB, 2015: M68. Metodedatablad for Perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand.

EU- direktiver

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

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

Albers, C. N., 2010: Natural halogenated compounds in forest soils: formation, leaching, emissions and spatiotemporal patterns of chloroform and related compounds. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland rapport 17/2010. Ph.d. afhandling, Roskilde Universitet 2010.

Albers, C. N., Laier, T. og Jacobsen, O.S. 2010: Kloroform i jord og grundvand. Vand og jord, 17:156-158.

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, S., Thorling, L., Brusch, W., Ernstsens, V., Ellermann, T. og Bossi, R., 2015: Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus universitet. Rapport nr. 142

Brusch, W. og Villholth, K. G., 2011: Punktkilders påvirkning af grundvandsressourcens kvalitet. Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1395.

Enevoldsen, R. og Juhler, R.K. 2010. Afrapportering af NOVANA screeningsundersøgelse: Afklaring af mulig forekomst af PFOS, PFOA og lignende PFC forbindelse i grundvand. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland, 2010.

Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning.

GEUS, 2008: Teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen.

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

Larsen, C.L., under udarbejdelse: Notat vedr. datapåideligheden for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen – en opsummering. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland.

Thorling, L., 2012: Prøvetagning af grundvand. Teknisk anvisning. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland. GEUS. http://www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (11. august 2015)

Tsitonaki, K., Jepsen, T.S. og Larsen, T.H. 2014: Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. Miljøprojekt nr. 1600. Miljøstyrelsen.

Links:

Beredskabsstyrelsen. Kemikalieberedskab:

http://brs.dk/beredskab/eksperter/kemisk_beredskab/Pages/kemikalieberedskab.aspx# (11. august 2015)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (11. august 2015)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (11. august 2015)

NOVANA hjemmeside: <http://naturstyrelsen.dk/vandmiljoe/overvaagning-af-vand-og-natur/> (11. august 2015)

STANDAT og STANDCODE hjemmesiden: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (11. august 2015)

Sundhedsstyrelsen, 2012: Kemikalier og helbredseffekter – informationsmateriale til sundhedspersonale.

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (11. august 2015)

8 Pesticider

Sammenfatning og konklusion

Pesticider i grundvandsovervågningen

I 2014 blev der i Grundvandsovervågningen (GRUMO) påvist pesticider i 38 % af indtagene, mens kvalitetskravet (grænseværdien) på 0,1 µg/l var overskredet i 12 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirkede af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det dybere og ældre grundvand er mindre.

I de senere år har der i det øvre grundvand (0-30 m u.t.) været tegn på, at der er en faldende andel af indtag med pesticider med koncentrationer over kvalitetskravet. Dette peger på, at den gennemførte regulering af anvendelsen af pesticider nu reflekteres i det øverste og yngste grundvand. Faldet i andelen af indtag over kvalitetskravet, i det øvre grundvand, kan betyde, at den samlede udvaskning af pesticider muligvis har toppet.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status pr. 1. aug. 2015. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. I analyseprogrammet har der siden 2011 indgået i alt 31 stoffer i analyseprogrammet, hvoraf de 21 stammer fra forbudte pesticider, mens fem er fra regulerede og fem er fra tilladte. I 2014 blev der fundet godkendte stoffer mindst én gang i 1,3 % af de undersøgte indtag (0,3 % \geq 0,1 µg/l), mens regulerede stoffer blev fundet mindst én gang i 4,5 % (1,6 % \geq 0,1 µg/l) og forbudte stoffer mindst én gang i 35 % (10 % \geq 0,1 µg/l).

Siden 2011 er der analyseret for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De tre hyppigst fundne stoffer er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner. Således er didealkylhydroxy-atrazin påvist mindst én gang i 7,2 % af de undersøgte indtag i 2011-14 (0,8 % \geq 0,1 µg/l), deisopropylhydroxyatrazin blev påvist mindst én gang i 3,5 % af indtagene (0,1 % \geq 0,1 µg/l) og deethylhydroxyatrazin mindst én gang i 1,5 % af indtagene (ingen \geq 0,1 µg/l). Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid rimsulfuron er påvist mindst én gang i 0,7 % af de undersøgte indtag (0,2 % \geq 0,1 µg/l). De resterende seks stoffer er kun påvist i et eller to indtag, eller slet ikke påvist. For de 3 godkendte stoffer er der ingen fund over 0,1 µg/l.

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer

Andelen af aktive vandværksboringer, hvor grundvandet indeholder pesticider, er de sidste ti år stabiliseret på ca. 25 %. I 2014 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 26 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l (grænseværdien for drikkevand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,9 % af borerne. Nedbrydningsproduktet BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 19 % (2,6 % \geq 0,1 µg/l) af de undersøgte vandværksboringer i 2014.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af det obligatoriske analyseprogram for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne, "Boringskontrollen", hvor der blev tilføjet 18 "nye" stoffer (MiM, 2014b) og fjernet otte andre. Af disse "nye" stoffer er nedbrydningsproduktet DEIA fra triazin herbicider fundet mindst én gang i 1,7 % (0,1 % \geq 0,1 µg/l) af de undersøgte borer i 2012-2014, mens de øvrige "nye" stoffer kun er fundet i ca. 1 % eller

færre af de undersøgte borer. Der er kun få fund over kvalitetskravet. Glyphosat er i 2012-2014 fundet mindst én gang i 0,3 % (0,1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) af de undersøgte vandværksboringer.

Mindst ét af de forbudte pesticider forekom mindst én gang i 2012-2014 i 18 % af de undersøgte vandværksboringer, hvoraf 2,5 % mindst én gang overskred kvalitetskravet på 0,1 $\mu\text{g/l}$. De regulerede stoffer forekom mindst én gang i 3,5 %, mens kvalitetskravet er overskredet mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte vandværksboringer. De godkendte stoffer forekom i perioden mindst én gang i 0,3 % af de undersøgte borer, heraf 0,1 % over kvalitetskravet.

Metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter (CGA 108906 og CGA 62826) blev per 1. april 2014 føjet til vandværkernes obligatoriske analyseprogram. CGA 108906 blev i 2014 påvist i 2,6 % af de ca. 690 undersøgte vandværksboringer, heraf 0,6 % over kvalitetskravet. CGA 62826 blev i 2014 påvist i 0,6 % af de undersøgte vandværksboringer, heraf 0,3 % over kvalitetskravet. Begge metabolitter er dermed repræsenteret på listen over de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol. Moderstoffet metalaxyl-M blev trukket fra markedet i 2013 efter fund af metabolit- og moderstofudvaskning på sandjord med kartoffeldyrkning i Varslingsssystemet for udvaskning af pesticider til Grundvandet (VAP).

Indledning

I grundvand kan pesticider og deres nedbrydningsprodukter stamme fra erhvervmæssig 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; Tuxen et al, 2013). Pesticiderne kan også ende i overfladevand, når overfladenært grundvand og drænvand strømmer til vandløb og søer.

Miljømål

Ifølge Drikkevandsdirektivet og Grundvandsdirektivet er kvalitetskravet for pesticidindholdet i drikkevand og grundvand på 0,1 $\mu\text{g/l}$ for enkeltstoffer af pesticider og relevante nedbrydningsprodukter, mens det for summen af enkeltstoffer er 0,5 $\mu\text{g/l}$ (EU, 1980 og 2006).

8.1 Grundvandsovervågningen (GRUMO)

Tabel 14 viser de 31 pesticider og nedbrydningsprodukter fordelt på 11 aktivstoffer og 20 nedbrydningsprodukter, der i indeværende programperiode (2011-2015) indgår i grundvandsovervågningen. Ud af de 31 stoffer er de fem stoffer aktivstoffer og nedbrydningsprodukter fra midler godkendt uden restriktioner, fem stoffer er aktivstoffer eller nedbrydningsprodukter fra midler godkendt med restriktioner, mens de resterende stoffer stammer fra nu forbudte pesticider.

Datagrundlag

Der er i dette afsnit anvendt pesticidanalyser fra grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2014, begge år inklusive. Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet, en fuldstændig oversigt over analyseprogrammerne er givet i Bilag 7. De første år blev der analyseret for blot otte stoffer. Siden har udvikling i analyseteknikkerne muliggjort opbygningen af et omfattende og dynamisk program, hvor nye pesticider inddrages, når det er relevant. Samtidig udgår pesticider, der kun sjældent eller aldrig findes i grundvandet.

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.
2,6 DCP*P*	Reguleret	Urenhed fra nogle phenoxysyrer f.eks. 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	
BAM (2,6-Dichlorbenzamid)*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
2,6-Dichlorbenzoesyre*	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 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 14. Administrativ status pr. 1. aug. 2015 for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der analyseres i grundvandsovervågningen (GRUMO). Nedbrydningsprodukter er markeret med *. I alt ti ”nye” pesticider og nedbrydningsprodukter i analyseprogrammet gældende for 2011-2015 er mærket med ^{nyt}. Den administrative status for nedbrydningsprodukter gælder moderstoffet.

Siden 2003 er der overvejende blevet analyseret for pesticider i indtag, hvor dateringer viser, at grundvandet er dannet efter år 1950. Siden 2007 har der været en højere analysefrekvens for de indtag, hvor tidligere målinger viser, at der er størst sandsynlighed for at finde pesticider og deres nedbrydningsprodukter, bl.a. som følge af tilpasning af overvågningen til Vandrammedirektivet, se kapitel 2.

Det betyder, at indtag, hvor der ikke tidligere er påvist pesticider, prøvetages to gange i programperioderne 2007-2010 og 2011-2015. Indtag, hvor der tidligere er påvist pesticider, prøvetages hvert år. Nye indtag i overvågningen undersøges for pesticider det første år og derefter med en hyppighed, der afhænger af analyseresultatet. Variationen i antal indtag, der analyseres pr. år, og i analysefrekvens betyder, at rapporteringen giver et billede af tilstanden i de indtag, der analyseres de enkelte år og perioder, men også at det er kompliceret at opstille meningsfulde generelle landsdækkende tidsserier, se også kapitel 2.

Som en konsekvens af dette stadig mere komplekse datasæt anvendes der en kumulativ metode, se kapitel 3.2. Det helt centrale er, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i et koncentrationsinterval, selv om der har været udtaget flere vandprøver med fund eller der er fundet flere stoffer i samme prøve.

Den kumulative metode på indtagsniveau opgør således, hvor stor en andel af indtagene, der i en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller kravværdien. Det optælles ikke, hvor mange stoffer i en analyse, der har været påvist eller hvor mange stoffer, der har overskredet kravværdien. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kravværdien tælles kun med én gang. Omvendt betyder metoden, at hvis der er flere vandprøver fra samme indtag, og der ikke er fund i alle prøver i perioden, vil indtaget tælles med i kategorien med fund.

Kumulative opgørelser på stofniveau, eller for grupper af stoffer (fx godkendte og regulerede pesticider) kan kun laves således, at det enkelte indtag indgår for flere stoffer eller grupper af stoffer samtidig, da der i en vandanalyse eller et indtag, kan være fund af flere stoffer, evt. fra flere stofgrupper, på én gang (se boks 1, side 30). Sådanne opgørelser kan derfor IKKE summeres på indtagsniveau på tværs af stofferne, se fx Tabel 18.

Analyseresultater fra grundvandsovervågningen i 2014 fremgår af bilag 2, mens data fra hele monitoringsperioden 1989-2014 fremgår af bilag 3.

Tilstand, grundvandsovervågning

Tabel 15 og Figur 49 viser, at der i 2014 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 38 % af de undersøgte indtag, og kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet i ca. 12 %.

Tabel 15 og Figur 49 viser pesticidfund i grundvandsovervågningen vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte indtag, opdelt på fund over og under kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Resultaterne for de enkelte år afhænger af hvilke indtag, der indgår det pågældende år, da ikke alle indtag prøvetages hvert år. Der er medtaget en kumulativ opgørelser for perioden 2011-2014, hvor samme analyseprogram har været anvendt hvert år.

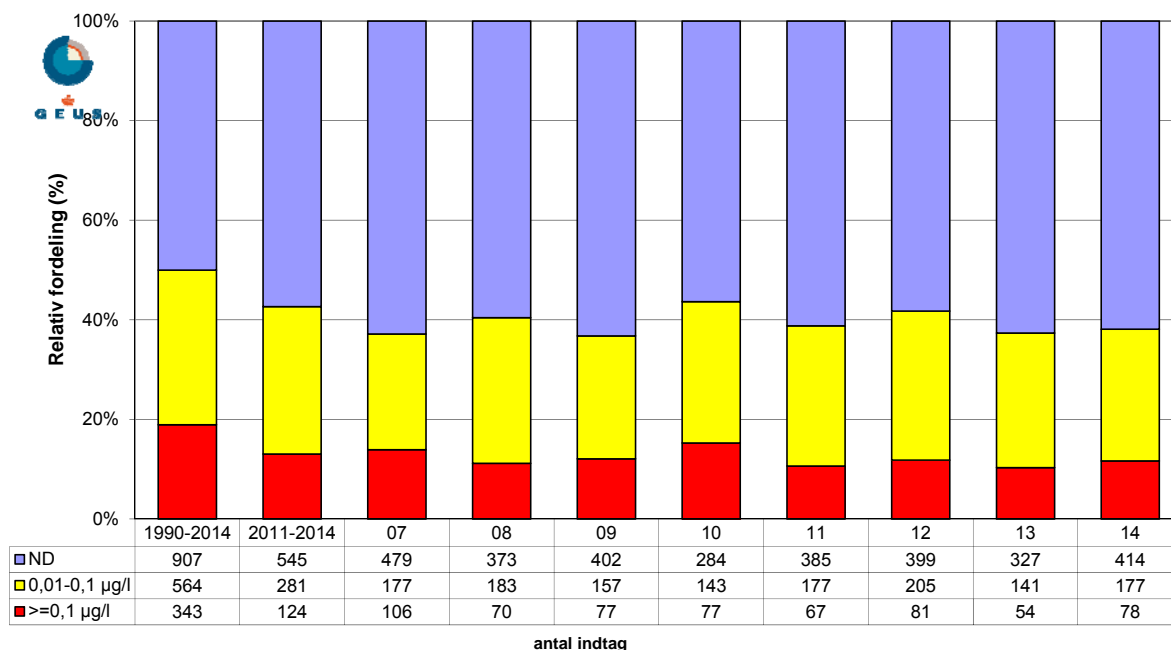
De kumulative opgørelser for hele perioden 1990-2014 i Figur 49 og for delperioden 2011-2014 i Tabel 15 og Figur 49 viser, hvor stor en del af det overvågede grundvand, der er eller

har været påvirket af pesticider. I hele overvågningsperioden er der således påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 50 % af de undersøgte indtag, hvoraf der i knap 19 % af indtagene var mindst én overskridelse af kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Opgørelserne viser, hvor stor en andel af indtagene, der er sårbare overfor de påviste pesticider. Fund af forbudte pesticider i et indtag er ikke ensbetydende med, at nuværende regelret anvendelse af godkendte pesticider kan forurene boringen.

GRUMO	Analysér	Antal indtag			Andel indtag med fund (%)		
	Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
2014	672	669	177	78	26,5	11,7	38,1
2013	554	522	141	54	27,0	10,3	37,4
2012	691	685	205	81	29,9	11,8	41,8
2011	638	629	177	67	28,1	10,7	38,8
2011-2014	2.581	950	281	124	29,6	13,1	42,6

Tabel 15. Pesticidfund i GRUMO vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte indtag, opdelt på fund over og under kvalitetskravet på 0,1 µg/l for enkelte år og for perioden 2011-2014, hvor der er analyseret for samme 31 stoffer hvert år se Tabel 14.

Fordeling af indtag med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter



Figur 49. Pesticider i grundvand fra GRUMO vist som andel indtag med fund for enkelte år samt kumulative opgørelser for andel indtag med mindst ét fund i perioderne 1990-2014 og 2011-2014. Resultater på indtagniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller: ≥ 0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ND (under detektionsgrænsen, typisk < 0,01µg/l). Antal indtag i hver kategori er anført under de enkelte år og perioder.

Tabel 15 og Figur 49 viser også, at der i de fire seneste år (2011-2014), hvor der er analyseret for 31 stoffer, er påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i ca. 43 % af de undersøgte indtag, hvoraf kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 13 % af

indtagene. Der er i perioden 2011-2014 lidt flere indtag med fund end i nogen af de enkelte år. Dette skyldes naturlig variation, variation i forbrugsmønster samt analyseusikkerhed, idet koncentrationen i indtag tæt på detektionsgrænsen nogle år er lige under detektionsgrænsen, andre år lige over. Disse indtag vil alle indgå i opgørelsen for hele perioden, da der i indtagene er mindst et fund over detektionsgrænsen.

Ti ”nye” stoffer i analyseprogrammet

Der er i 2011- 2014 undersøgt for ti ”nye” stoffer, der ikke tidligere har indgået i analyseprogrammet for GRUMO. Disse stoffer omfatter såvel gamle, forbudte stoffer samt relativt nyligt godkendte stoffer. Tabel 16 viser stofferne og deres administrative status i 2015 samt andel indtag med fund af mindst ét af de ti stoffer for perioden 2011-2014.

Det ses, at de tre hyppigst fundne ”nye” stoffer i 2011-2014 er nedbrydningsprodukter fra i dag forbudte triaziner. Didealkylhydroxy-atrazin blev påvist mindst én gang i 7,2 % af de undersøgte indtag, heraf var 0,8 % over kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Deisopropyl-hydroxyatrazin blev påvist mindst én gang i 3,5 % af indtagene, heraf var 0,1 % over kvalitetskravet. Deethylhydroxy-atrazin blev påvist mindst én gang i 1,5 % af indtagene, men kun i koncentrationer under kvalitetskravet.

10 ”nye” stoffer i 2011-2014	Status	Analyser	Antal indtag			Andel indtag med fund (%)		
		Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
Deethyl-hydroxyatrazin*	forbudt	2547	949	14	0	1,5	0,0	1,5
Deisopropyl-hydroxyatrazin*	forbudt	2547	949	32	1	3,4	0,1	3,5
Didealkyl-hydroxyatrazin*	forbudt	2545	949	60	8	6,3	0,8	7,2
Hydroxyterbuthylazin*	forbudt	2540	949	2	0	0,2	0,0	0,2
CyPM* (Azoxystrobin)	godkendt	2540	949	1	0	0,1	0,0	0,1
Picolinafen	godkendt	2540	949	1	0	0,1	0,0	0,1
C1153815* (Picolinafen)	godkendt	2540	949	1	0	0,1	0,0	0,1
2-hydroxydeethylterbutylazine*	forbudt	2540	949	2	0	0,2	0,0	0,2
PPU* (Rimsulfuron)	forbudt	2540	949	5	2	0,5	0,2	0,7
PPU-desamino* (Rimsulfuron)	forbudt	2540	949	0	0	0,0	0,0	0,0

Tabel 16. GRUMO. 10 ”nye” stoffer i perioden 2011-2014. Der er i analyseperioden optalt antal analyser, antal indtag analyseret, antal indtag med mindst ét fund under kvalitetskravet (0,01-0,1µg/l) og over kvalitetskravet (≥0,1 µg/l). *Stoffet er et nedbrydnings-produkt. Navne i parentes er moderstof til nedbrydningsproduktet (se også Tabel 14). Bilag 2 viser resultaterne fra 2014.

De fem stoffer hydroxyterbuthylazin, 2-hydroxydeethylterbutylazin, CYPM (nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin), det godkendte stof picolinafen og picolinafens nedbrydningsprodukt C1153815, er påvist i koncentrationer under kvalitetskravet i enkelte indtag.

Nedbrydningsproduktet PPU, fra det forbudte pesticid rimsulfuron, er påvist i syv indtag (0,7 %), heraf to indtag over kvalitetskravet. Et andet nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron, PPU-desamino, var det eneste stof, der ikke blev påvist i nogen af prøverne i 2011-2014. Tabel

17 viser, at der samlet er påvist mindst ét de ti ”nye” stoffer i ca. 10 % af de undersøgte indtag i perioden 2011-2014, hvoraf 1,1 % overskred kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Af Tabel 16 fremgår, at særligt tre triazinnedbrydningsprodukter findes hyppigt, mens de øvrige stoffer alle er påvist i under 1 % af indtagene.

10 ”nye” stoffer 2011- 2014	Analyser	Antal indtag			Andel indtag med fund (%)		
		Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l
10 ”nye” stoffer	2.547	949	84	10	8,9	1,1	9,9
Alle 31 stoffer 2011-2014	2.581	950	281	124	29,6	13,1	42,6

Tabel 17. GRUMO. Andel af fund i perioden 2011-2014 for de 10 ”nye stoffer sammenlignet med samtlige 31 stoffer undersøgt i samme periode. De ti ”nye” stoffer er en delmængde af disse 31 stoffer. Kumulativ opgørelse, der viser antal og andel indtag, hvor mindst ét stof er fundet mindst én gang under eller over detektionsgrænsen. Bilag 2 viser resultaterne fra 2014.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. Tabel 18 viser fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer opgjort for perioden 2011-2014 (for de enkelte år i perioden 2007-2014, se Bilag 4), med udgangspunkt i den administrative status for stofferne i Tabel 14. Som det fremgår af Tabel 14 kan to nedbrydningsprodukter stamme fra såvel regulerede som forbudte pesticider. Disse er medtaget som regulerede stoffer.

Tabel 18 viser, at der mindst én gang blev fundet mindst et godkendt pesticid eller nedbrydningsprodukt fra disse i 2011-2014 i 2,1 % af de undersøgte indtag, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 0,4 % af indtagene. 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.

2011-2014	Antal indtag			Andel indtag med fund (%)		
	I alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	Fund i alt
Forbudte stoffer	950	265	105	27,9	11,1	38,9
Regulerede stoffer	950	36	20	3,8	2,1	5,9
Godkendte stoffer	949	16	4	1,7	0,4	2,1

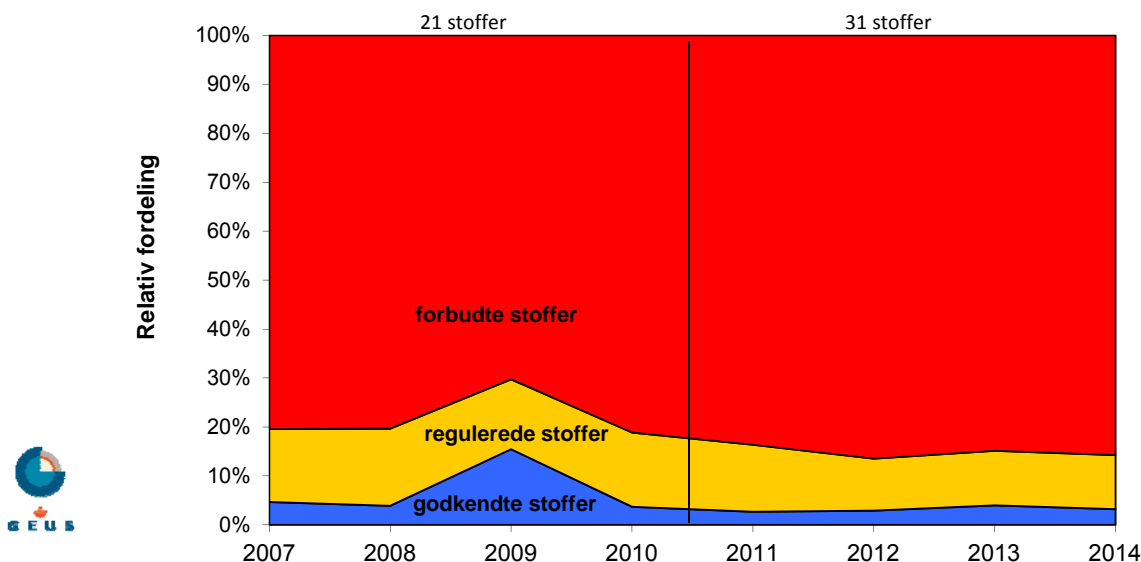
Tabel 18. GRUMO. Fordelingen af fund for perioden 2011-2014 opdelt på godkendte, regulerede og forbudte pesticider. Et indtag kan indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i flere af de tre kategorier. Bilag 2 viser resultaterne fra 2014.

De regulerede stoffer blev i perioden 2011-2014 fundet mindst én gang i 5,9 % af de undersøgte indtag, mens kvalitetskravet var overskredet mindst én gang i 2,1 %.

I 2014 blev der fundet godkendte stoffer mindst én gang i 1,3 % af de undersøgte indtag (0,3 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$), mens regulerede stoffer blev fundet mindst én gang i 4,5 % (1,6 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) og forbudte stoffer mindst én gang i 35 % (10 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) (se bilag 4).

Da mere end 75 % af det overvågede grundvand med kendt alder er ældre end 15 år (se Figur 22, kapitel 4) vil den største del af fundene af de regulerede stoffer i grundvandet kunne stamme fra anvendelse af moderstofferne, før disse blev reguleret. Det fremgår af Tabel 18, at de forbudte pesticider, og nedbrydningsprodukter fra disse, er fundet langt hyppigere end de regulerede og godkendte pesticider, og at de forbudte pesticider er fundet mindst én gang i ca. 39 % af indtagene med en overskridelse af kvalitetskravet i ca. 11 %.

Figur 50 viser den relative fordeling af andel fund for godkendte, regulerede og forbudte stoffer pr. år i 2007-2014. Opgørelsen 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. Data for de enkelte år er rapporteret i Bilag 4. Det fremgår, at der overvejende findes forbudte og regulerede stoffer. Det ellers stabile forløb for andelen af tilladte stoffer er i 2009 påvirket af relativt mange fund af glyphosat og AMPA. En udredning gennemført i 2009-2010 kunne ikke fastslå årsagen hertil.



Figur 50. GRUMO. Relativ fordeling af fund af godkendte, regulerede og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse i perioden 2007-2014, beregnet som andel analyser med fund pr. år for de tre stofgrupper. Den administrative status pr. 1. aug 2015 fremgår af Tabel 14. De forskellige analyseprogramperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal analyserede stoffer i hver periode er angivet over figuren. En udredning om fund af glyphosat og AMPA i GRUMO gennemført i 2009-2010 kunne ikke fastslå årsagen til de særligt mange fund af godkendte stoffer i 2009.

Udviklingstendenser og dybdefordeling

Tabel 19 viser udviklingstendenser for seks udvalgte pesticider og nedbrydningsprodukter som alle har lange måleserier, som har været anvendt i stor mængde og som repræsenterer 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 Analyser		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
BAM	Antal analyser	113	430	527	830	833	853	801	798	795	644	828	860	800	709	641	509	639	691	514	670
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	27	70	94	130	126	123	124	105	116	93	120	147	125	127	110	103	121	119	87	108
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	15	37	36	43	32	30	35	35	39	40	42	53	47	39	33	37	30	40	25	40
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	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
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	13,3	8,6	6,8	5,2	3,8	3,5	4,4	4,4	4,9	6,2	5,1	6,2	5,9	5,5	5,1	7,3	4,7	5,8	4,9	6,0
DEIA	Antal analyser				166	626	823	776	785	762	625	811	847	800	704	640	509	638	691	514	670
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$				13	29	32	47	55	42	66	88	96	115	112	84	82	70	97	67	95
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$				4	8	12	11	11	14	22	18	26	32	20	16	13	10	18	11	5
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$				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
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$				2,4	1,3	1,5	1,4	1,4	1,8	3,5	2,2	3,1	4,0	2,8	2,5	2,6	1,6	2,6	2,1	0,7
bentazon	Antal analyser	103	301	517	824	829	853	797	796	787	645	827	860	799	709	641	509	639	691	514	670
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	7	12	18	23	10	12	16	20	14	12	23	29	25	27	25	25	22	24	14	21
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	1	7	5	5	2	3	2	5	2	1	3	7	7	6	6	9	3	3	4	6
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	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
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	1,0	2,3	1,0	0,6	0,2	0,4	0,3	0,6	0,3	0,2	0,4	0,8	0,9	0,8	0,9	1,8	0,5	0,4	0,8	0,9
dichlorprop	Antal analyser	716	704	686	824	829	853	797	794	787	643	827	860	799	709	640	509	639	691	514	670
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	14	28	25	25	18	13	18	19	20	15	9	16	20	14	12	8	15	10	10	10
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	8	14	15	11	9	5	11	10	8	4	4	6	4	5	4	2	3	1	1	1
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$	2,0	4,0	3,6	3,0	2,2	1,5	2,3	2,4	2,5	2,3	1,1	1,9	2,5	2,0	1,9	1,6	2,3	1,4	1,9	1,5
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$	1,1	2,0	2,2	1,3	1,1	0,6	1,4	1,3	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,1	0,2	0,1
glyphosat	Antal analyser			46	202	720	837	782	788	769	630	813	847	800	703	639	509	638	691	514	668
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$			0	0	0	8	5	6	9	3	13	9	14	10	27	8	5	6	5	3
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$			0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	5	2	9	3	2	2	1	0
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$			0,0	0,0	0,0	1,0	0,6	0,8	1,2	0,5	1,6	1,1	1,8	1,4	4,2	1,6	0,8	0,9	1,0	0,4
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$			0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	1,4	0,6	0,3	0,3	0,2	0,0
AMPA	Antal analyser			46	202	720	824	782	789	771	630	813	847	799	703	639	509	638	691	514	668
	Antal $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$			0	0	0	13	9	6	7	1	4	6	3	8	25	2	4	7	4	6
	Antal $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$			0	0	0	3	1	2	1	0	0	0	1	2	7	1	2	2	0	0
	Andel $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$			0,0	0,0	0,0	1,6	1,2	0,8	0,9	0,2	0,5	0,7	0,4	1,1	3,9	0,4	0,6	1,0	0,8	0,9
	Andel $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$			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	0,0

Tabel 19. Udvikling i fund af nedbrydningsprodukter (BAM og DEIA) fra forbudte stoffer, regulerede stoffer (bentazon og dichlorprop) og det godkendte stof glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Opgørelsen er baseret på antal analyser med fund (typisk $\geq 0,01 \mu\text{g/l}$) og over kvalitetskravet ($\geq 0,1 \mu\text{g/l}$) for de enkelte år (GRUMO 1995-2014). Stofferne er kun analyseret i år, hvor der er angivet en talværdi for antal analyser. For glyphosat og AMPA indgår der ikke data fra overvågningsboringen DGU nr. 71.483, hvor der er rejst tvivl om de tekniske forhold (Thorling et al, 2013). Se også bilag 4.

Udviklingen i andelen af fund pr. indtag for de seks stoffer er påvirket af, at der fra 2004 til 2010 indgår stadig flere terrænnære indtag, og dermed mere sårbart vand, mens der efter 2010 er blevet inddraget flere dybere indtag i overvågningen samtidig med, at pesticid-påvirkede indtag fra 2007 overvåges med større hyppighed, se også kapitel 2. Dette betyder, at tidsserierne ikke kan give et fuldstændigt repræsentativt og dækkende billede af udviklingen i grundvandets tilstand, da det ikke er de samme indtag og dybder, der er prøvetaget hvert år. Samtidig er repræsentativiteten lav for de år og stoffer, hvor der er få fund.

BAM blev i 2014 påvist 16,1 % af indtagene (Tabel 19) selv om det efterhånden er mere end 15 år siden moderstoffet, dichlobenil, blev forbudt på det danske marked. Ud fra stoffernes kemiske egenskaber kan det forventes, at der i rodzonen stadig er bundet en betydelig pulje af BAM og dichlobenil, som langsomt omdannes og udvaskes. Andelen af fund over kvalitetskravet for BAM har været svagt stigende fra 2003 indtil 2010 og derefter svagt faldende, hvilket sandsynligvis afspejler de tidlige ændringer i indtagenes dybde og dermed sårbarhed. Der har ikke været nogen nævneværdig tidlig udvikling i fundandelen over kvalitetskravet ($\geq 0,1 \mu\text{g/l}$) de sidste 15 år.

DEIA blev i 2014 påvist i 14,2 % af indtagene (Tabel 19), hvilket kan skyldes, at stoffet dannes ved nedbrydning af en lang række forbudte triaziner, hvoraf terbuthylazin er det seneste, der er taget af markedet. Andelen af fund over kravværdien for DEIA var kraftigt stigende indtil 2010, hvorefter fundandelen stagnerede. Stagnationen efter 2010 afspejler, sandsynligvis ændringerne i indtagenes dybde, idet der efter 2010 er en stigende andel af meget dybe indtag se Figur 5.

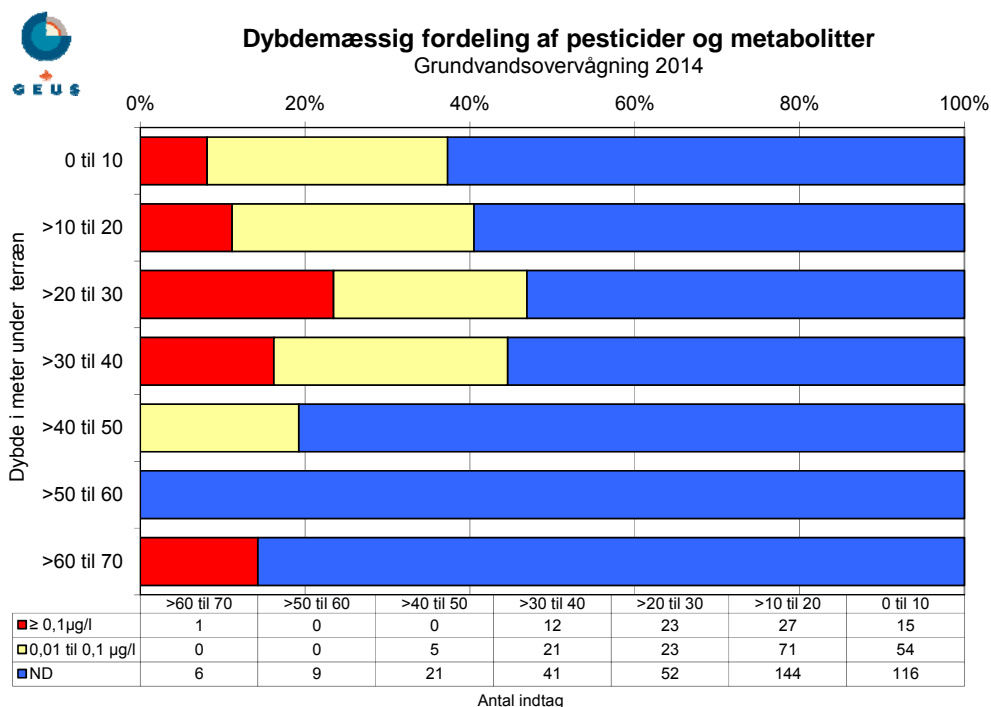
Bentazon blev i 2014 påvist i 3,1 % af indtagene (Tabel 19). Bentazon udviser stort set samme tidlige udvikling som DEIA med en stor stigning i fundandele over kravværdien indtil 2010 efterfulgt af faldende fundandele. Bentazon blev reguleret i 1995-1997. Da dateringerne viser, at grundvandet i mange indtag er dannet før reguleringen fandt sted, vil man vanskeligt kunne identificere eventuelle virkninger af reguleringen i grundvandet. Den faldende tendens siden 2010 må derfor igen hovedsageligt tilskrives ændringerne i indtagenes dybdefordeling.

Dichlorprop blev i 2014 påvist i 1,5 % af indtagene (Tabel 19). Andelen af fund for Dichlorprop i grundvand har gennem hele måleperioden vist en faldende tendens, det gælder alle fund ($\geq 0,01 \mu\text{g/l}$) såvel som fund over kvalitetskravet ($\geq 0,1 \mu\text{g/l}$). Dichlorprops tidlige udvikling er dermed helt anderledes end de tre foregående stoffer og kan ikke tilskrives de tidlige ændringer i indtagenes dybdefordeling. En mulig forklaring kan være, at phenoxy-syre-herbicerer som dichlorprop er mere bionedbrydelige end BAM, bentazon og DEIA.

Glyphosat blev i 2014 påvist i 0,4 % af indtagene og glyphosats nedbrydningsprodukt **AMPA** blev påvist i 0,9 % af indtagene (Tabel 19). De to stoffer blev i 2014 ikke påvist over kvalitetskravet på $0,1 \mu\text{g/l}$. Opgørelsen medtager ikke data fra to indtag i overvågningsboring DGU nr. 71.483, hvor der er rejst tvivl om de tekniske forhold, se Thorling et al, 2013. Generelt er der for begge stoffer tale om meget få analyser med fund, og forløbene er derfor ikke repræsentative for grundvandet som sådan. Data i Tabel 19 kan derfor **ikke** anvendes til at vurdere det generelle udviklingsforløb i grundvandet for tilladte stoffer herunder glyphosat.

Effekten af ændringerne i indtagenes dybdefordeling kan mindskes ved at analysere forekomsten af indtag med fund i afgrænsede dybdeintervaller. Da der for de enkelte pesticider er for

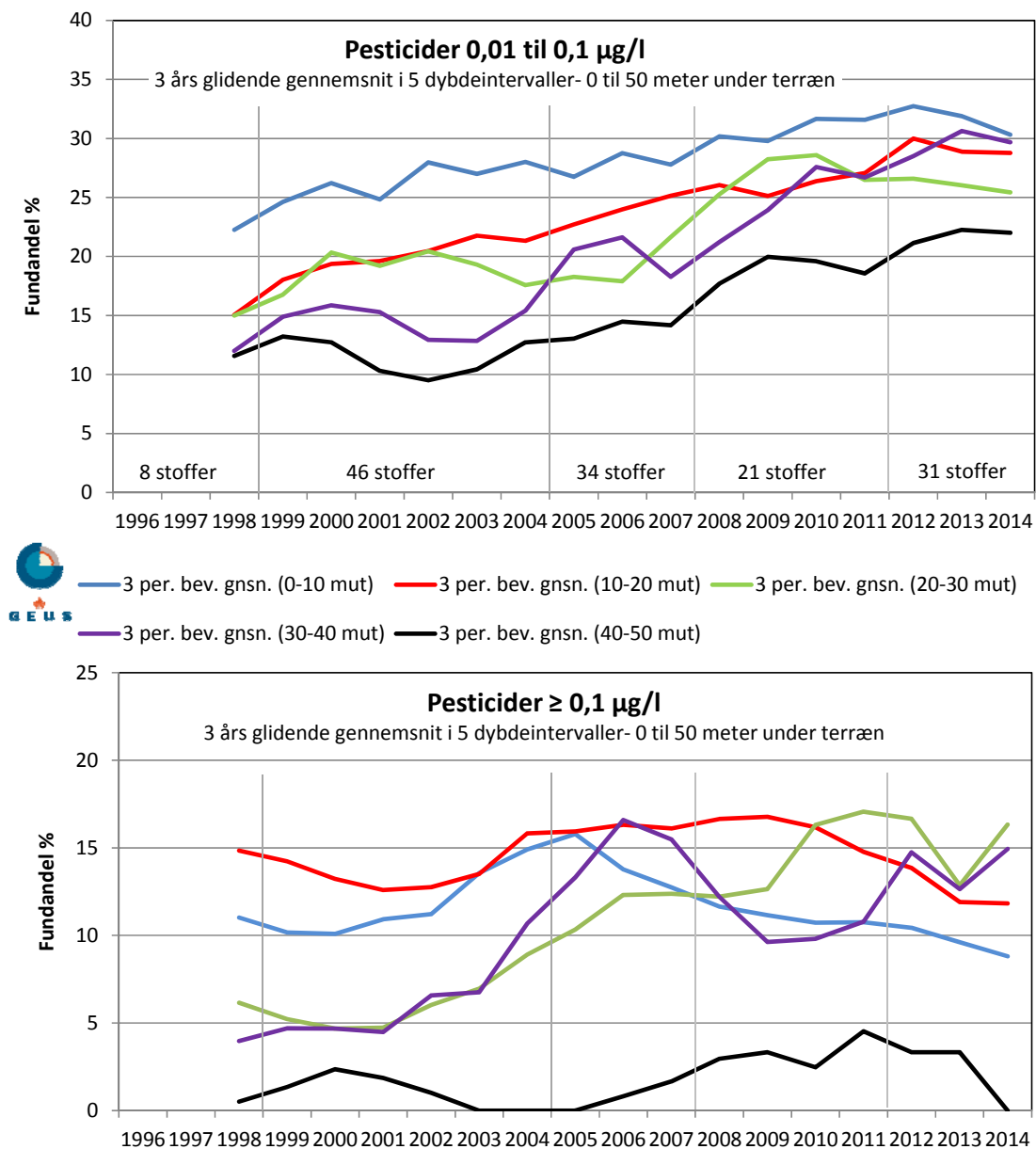
få observationer til en analyse af dybdefordelingen, er denne analyse i stedet lavet for den samlede andel af indtag med fund af pesticider.



Figur 51. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO i 2014. Dybdeintervallerne angiver dybde fra terræn til top af indtag. Opgørelserne er på indtagniveau og opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $0,01-0,1 \mu\text{g/l}$, samt ND (under detektionsgrænsen, typisk $< 0,01 \mu\text{g/l}$). Antal indtag i hver kategori er anført for de enkelte dybdeintervaller.

Figur 51 viser, at pesticider i 2014 blev påvist i koncentrationer over $0,01 \mu\text{g/l}$ i 37-47 % af de undersøgte indtag ned til 40 m u.t. med en tendens til stigende andele af fund både over og under kvalitetskravet indtil 30 m u.t. og derefter en faldende tendens. De fleste overskridelser af kvalitetskravet på $0,1 \mu\text{g/l}$ i 2014 optræder ned til 40 m u.t. Der var et enkelt indtag med to fund i samme prøve over kvalitetskravet i 60-70 m u.t. (BAM og desethylatrazin). Det lave antal indtag gør, at 2014-fordelingen på de tre kategorier i dybderne 50-60 m u.t. og 60-70 m u.t. er meget usikkert bestemt.

Figur 52 viser den tidligeudvikling i andelen af fund pr indtag i de fem øverste dybdeintervaller, hvor dybderne angiver top af indtag. Der er kun medtaget indtag med en dybde indtil 50 m u.t. for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybde-interval. Fundandelene er vist som 3-årigs glidende gennemsnit, idet der hvert år kun analyseres en delmængde af det samlede antal indtag. Bemærk, at data i figuren følger Excels notation, dvs. at hvert treårigt gennemsnit vises på det sidste år, og at analyseperioderne derfor er forskudt et år, således at de ligger korrekt i forhold til gennemsnittene.



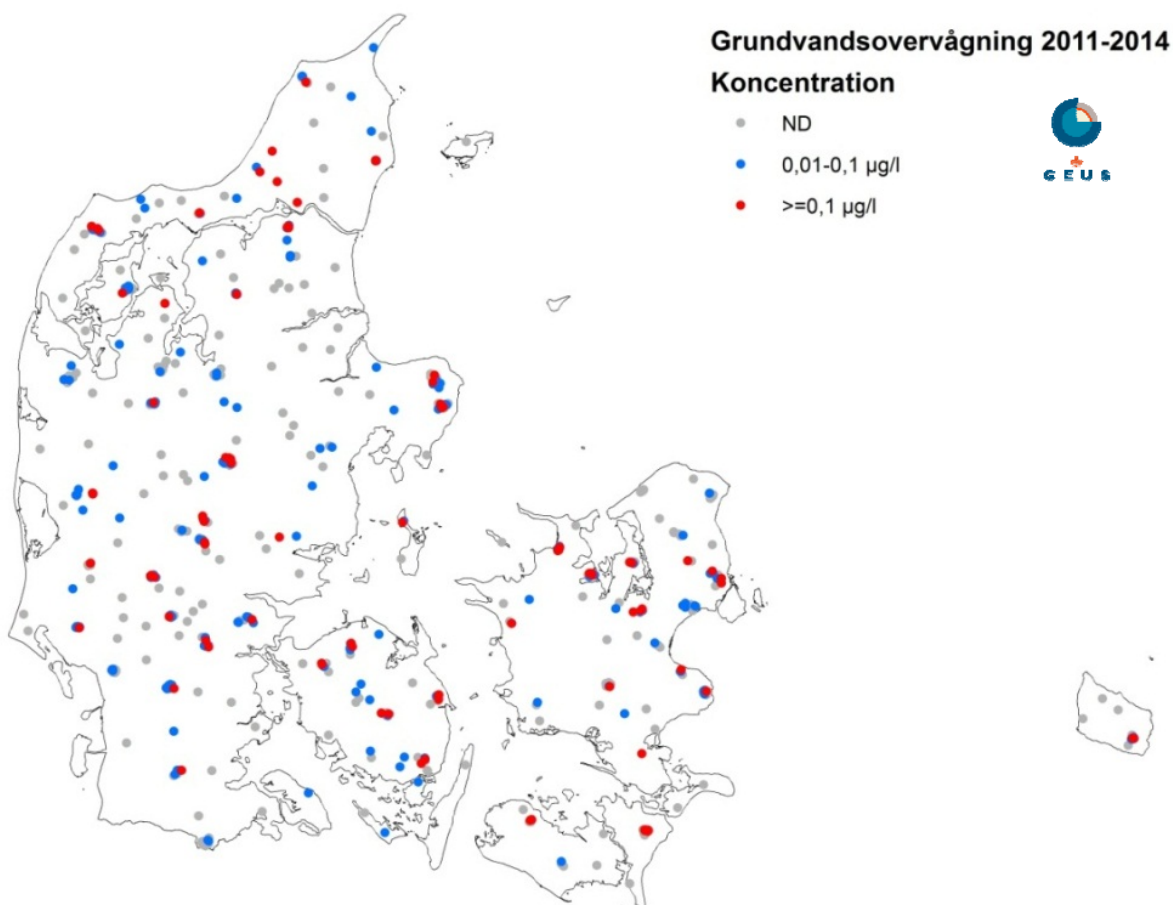
Figur 52. GRUMO. Tre års glidende gennemsnit (3 per. bev. gnsn.) i fem 10 m intervaller af dybder for pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO i perioden 1996-2014. Øverste figur viser udviklingen for pesticider og nedbrydnings-produkter i koncentrationsintervallet 0,01-0,1µg/l, dvs. under kvalitetskravet. Nederste figur viser udviklingen for pesticider fundet i koncentrationer $\geq 0,1\mu\text{g/l}$, dvs. over kvalitetskravet. De forskellige analyseperioder er angivet med lodrette linjer.

Figur 52 øverst viser, at andelen af indtag med fund under kvalitetskravet ($<0,1 \mu\text{g/l}$) stiger i alle fem dybdeintervaller gennem det meste af perioden, men med stagnerende tendens de seneste to år i det øverste grundvand (0-30 m u.t.). Figur 52 nederst viser, at andelen af indtag med fund over kvalitetskravet ($\geq 0,1 \mu\text{g/l}$) har udviklet sig forskelligt afhængig af dybde. I det øverste interval er der et skift fra stigende til faldende andele omkring år 2004. Skiftet fra stigende til faldende andele indtræffer omkring 2008-2009 i intervallet 10-20 m u.t. I det næste interval 20-30 m u.t. stiger fundandelene over kvalitetskravet frem til ca. 2012, og en optimistisk vurdering af de seneste års resultater kan være, at andelen af indtag med fund over kva-

litetskravet er stagnerende i dette dybdeinterval. Varierende andele i intervallerne 30-40 og 40-50 m u.t gør det vanskeligt at vurdere, om der er en ændret påvirkningsgrad i disse dybder. Overvågningen er over tid i højere grad målrettet den mest sårbare del af grundvandet, se kapitel 2. Det betyder, at man kunne forvente en stigende andel af pesticidfund for såvel høje koncentrationer som lave koncentrationer i det øverste grundvand. Dette ses ikke. Faldet i andelen af indtag over kvalitetskravet i det øvre grundvand kan således betyde, at den samlede udvaskning af pesticider muligvis har toppet.

Geografisk fordeling pesticider, grundvandsovervågning

Figur 53 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag i den seneste programeperiode 2011-2014 for hvert indtag. Resultaterne er opdelt i indtag uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), mindst et fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l og mindst et fund over kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Kortet viser, at der er fundet pesticider jævnt fordelt i hele landet. Da ikke alle indtag overvåges hvert år, er der ikke vist et kort for alene 2014. De mindste koncentrationer udtegnes først og ligger derfor nederst.



Figur 53. Pesticider og nedbrydningsprodukter i Grundvandsovervågningen i perioden 2011-2014 (950 indtag). Resultaterne er opdelt i indtag uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), mindst ét fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l og mindst ét fund over kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

8.2 Grundvand i vandværksboringer

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. Her redegøres for hvor stor en andel af vandværksboringerne, der har indeholdt pesticider eller deres nedbrydningsprodukter i perioden 1992-2014, fund i forhold til dybder samt den geografiske fordeling af fund.

Da vandværkerne løbende nedlægger og etablerer boringer, afspejler udviklingen i fund pr. år ikke 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.

Datagrundlag

I dette afsnit afrapporteres pesticidanalyser fra vandværksboringer gennemført af almene vandværker for perioden 1992-2014. Der indgår kun data fra vandværksboringer på aktive vandværker.

Tabel 20 viser analyseprogrammet for grundvandet i vandværksboringerne, der som minimum skal indeholde de stoffer, der fremgår af drikkevandsbekendtgørelsen (MIM, 2014b og c).

Analyseprogrammet er pr. 1. jan. 2012 blevet udbygget med 18 stoffer og otte andre er fjernet fra programmet (MiM, 2011). Pr. 1. april 2014 blev programmet udbygget med yderligere tre stoffer (metalaxyl/metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter CGA62826 og CGA108906). Stofferne omfatter såvel nyere som ældre pesticider samt godkendte, regulerede og forbudte stoffer, blandt andet skal der nu analyseres for glyphosat og AMPA, se Tabel 20. Samtidig hermed blev otte stoffer, som meget sjældent eller aldrig påvises, fjernet fra listen. Af de 21 pesticider og nedbrydningsprodukter fra det tidligere analyseprogram indgår 13 i det nuværende analyseprogram. Det tidligere analyseprogram bestod indtil 1. jan. 2012 af 23 stoffer herunder to klorfenoler.

Da vandværksboringerne skal analyseres mindst én gang i løbet af en 5 års periode, er de fleste opgørelser lavet for perioden 2010-2014. Af hensyn til ændringer i analyseprogrammet fra 2012 er enkelte opgørelser dog lavet for perioden 2012-2014.

Ud over de obligatoriske pesticider gennemfører en del vandværker også analyser for en lang række andre stoffer. I hele perioden 1992–2014 er der således samlet set blevet analyseret for 176 forskellige pesticider og nedbrydningsprodukter.

Tilstand, grundvand i vandværksboringer

Tabel 21 viser den seneste udvikling i fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i grundvand fra vandværksboringer. Der blev i 2014 fundet pesticider i 26 % af vandværksboringerne, hvoraf 4 % var med overskridelse af kvalitetskravet. I den seneste periode med samme analyseprogram 2012-2014 blev der årligt fundet pesticider mindst én gang i 23-26 % af de undersøgte boringer, hvoraf 3,5-4 % var med overskridelse af kvalitetskravet.

Pesticid/nedbrydningsprodukt	Administrativ status
Glyphosat ^{nyt}	Godkendt
AMPA* ^{nyt}	Godkendt
Bentazon	Reguleret
Simazin	Forbudt
Hexazinon	Forbudt
Atrazin	Forbudt
Deethylatrazin*	Forbudt
Deethylhydroxyatrazin* ^{nyt}	Forbudt
DEIA, Deethyldeisopropylatrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deethylterbutylazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropylatrazin*	Forbudt
Didealkyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Hydroxyatrazin*	Forbudt
Hydroxysimazin* ^{nyt}	Forbudt
MCPA	Reguleret
Mechlorprop (MCP)	Reguleret
Dichlorprop (2,4-DP)	Reguleret
2,4-D	Reguleret
2,6-DCPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte og andre regulerede
4-CPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte og andre regulerede (mancozeb)
Dichlobenil	Forbudt
2,6-dichlorbenzoesyre* ^{nyt}	Forbudt
BAM (2,6-dichlorbenzamid)*	Forbudt
4-nitrophenol* ^{nyt}	Forbudt
Metalaxyl/Metalaxyl-M ^{nyt}	Forbudt
CGA62826* ^{nyt}	Forbudt
CGA108906* ^{nyt}	Forbudt
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

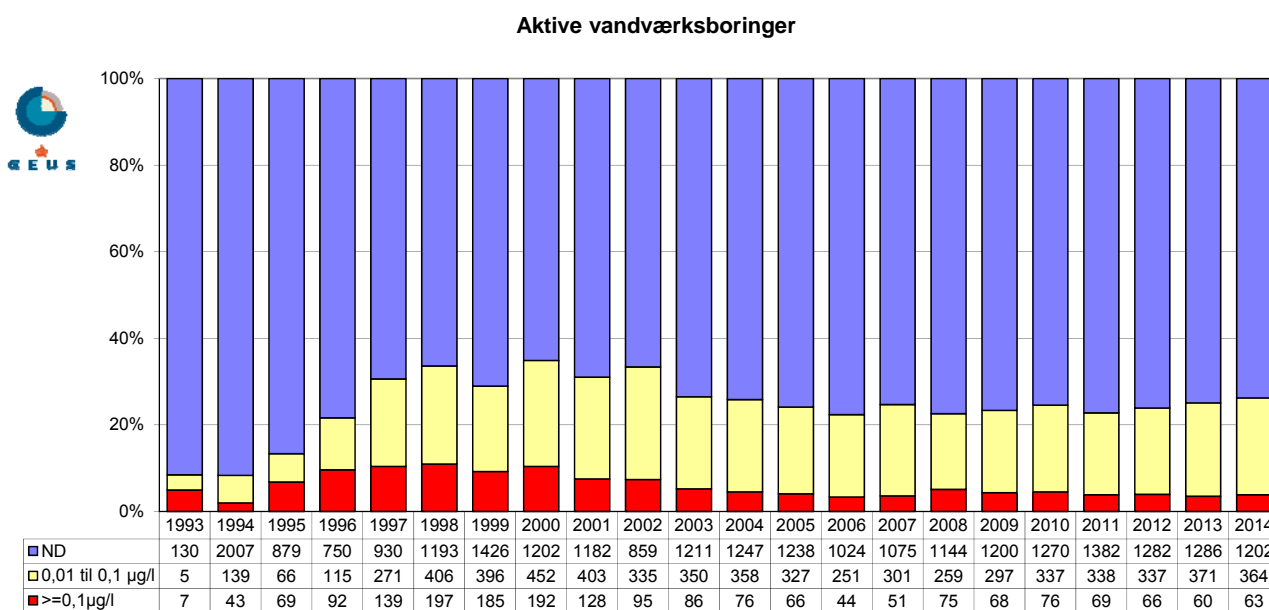
Tabel 20. Administrativ status pr. 1. aug. 2015 for de 34 pesticider, som indgår i overvågningen af vandværksboringerne (MiM, 2014b og c). Ud over disse 34 stoffer indgår også to chlorphenoler, der dog også kan have andre oprindelser end pesticider. Chlorphenolerne er ikke medtaget her. De 21 stoffer markeret med ^{nyt} er tilføjet analyseprogrammet i 2012 eller 2014. Nedbrydningsprodukter er markeret med *.

Aktive vandværksboringer	Analyser	Antal boringer			Andel boringer med fund (%)		
		Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l
2014	1.888	1.629	364	63	22,3	3,9	26,1
2013	1.986	1.717	371	60	21,6	3,5	25,1
2012	1.915	1.685	337	66	20,0	3,9	23,9

Tabel 21. Pesticider i aktive vandværksboringer. Andel af boringer med hhv. mindst ét fund i koncentrationsintervallerne 0,01-0,1 µg/l, ≥0,1 µg/l og med fund ialt i %.

Udvikling i grundvandet i vandværksboringer

Figur 54 viser udviklingen i pesticidpåvirkningen af vandværksboringer hos aktive vandværker i hele perioden 1993-2014. For hvert år er påvirkningen angivet for de boringer, der var aktive i det pågældende år, og figuren viser således også data fra vandværker, der siden er lukket.



Figur 54. Fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i vandværksboringer 1993-2014. Figuren viser status for de vandværker, 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 forskellige udtræk fra JUPITER, anvendt i den løbende rapportering. Resultater på indtagningsniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor der er mindst ét stof: ≥0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ND (under detektionsgrænsen typisk, < 0,01 µg/l). Antal boringer i hver af de tre klasser er anført under de enkelte år.

Den stigende andel af boringer med fund op gennem 90'erne skyldes sandsynligvis, at analyseprogrammerne gradvis omfattede flere og flere pesticider og nedbrydningsprodukter. Fra omkring år 2000 til 2005 faldt andelen af vandværksboringer med fund af pesticider, men andelen har de sidste ca. 10 år stabiliseret sig omkring 22 til 25 %.

De pesticider og nedbrydningsprodukter, der hyppigst findes i grundvandet i vandværksboringerne, er generelt forbudte stoffer eller stoffer pålagt regulering i form af anvendelsesbegrænsninger i Danmark. Opholdstiden i grundvandsmagasinerne af det vand som vandværkerne indvinder til drikkevandsformål, er ofte mere end 15 år, og det kan forventes, at pesticider som på nuværende tidspunkt er forbudte eller regulerede, fremover vil kunne påvirke grundvandet i vandværksboringerne, og dermed drikkevandet, i mange år.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer i grundvandet i vandværksboringer

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. Tabel 22 viser en opgørelse over fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte pesticider for de 31-34 pesticider, der er analyseret i perioden 2012-2014, hvor der er et ensartet analyseprogram. Ca. 30 % af de aktive boringer er endnu ikke analyseret efter analyseprogrammet fra 2012.

Tabel 22 viser, at mindst ét af de forbudte pesticider forekommer mindst én gang i 17,2 % af alle undersøgte vandværksboringer, hvoraf 2,3 % mindst én gang overskrider kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Mindst ét af de regulerede stoffer forekommer mindst én gang i 3,5 % af de undersøgte boringer, mens kvalitetskravet er overskredet mindst én gang i 0,4 %. Mindst ét af de godkendte stoffer forekom i perioden mindst én gang i 0,3 % af de undersøgte boringer, heraf 0,1 % over kvalitetskravet. 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.

Fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen, men da opholdstiden af grundvand, der indvindes fra vandværksboringerne, ikke er nøjagtigt kendt, kan disse forhold ikke kvantificeres. Ofte er der tale om lange filtre, der opblander vand med forskellige aldre fra forskellige dybder i magasinerne.

2012-2014	Antal boringer			Andel boringer fund (%)		
	I alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	Fund i alt
Forbudte stoffer	4480	672	111	15,0	2,5	17,5
Regulerede stoffer	4405	139	17	3,2	0,4	3,5
Godkendte stoffer	4366	10	4	0,2	0,1	0,3

Tabel 22. Forekomst af godkendte, regulerede og forbudte pesticider (Tabel 25) for grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker, der er analyseret i indeværende måleperiode (2012-2014). Et indtag kan indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i flere af de tre kategorier. Analyser fra 2014 ses i bilag 5.

Specifikke stoffer i analyseprogrammet for vandværksboringer

Analyseprogrammet er pr. 1. januar 2012 udbygget med 18 "nye" stoffer og per 1. april 2014 udbygget med yderligere 3 stoffer (metalaxyl-M og to nedbrydningsprodukter herfra). Tabel 23 viser en oversigt over analysereultaterne for 18 "nye" stoffer over de seneste tre år. De tre "nyeste" stoffer er ikke medtaget i opgørelsen, da de kun er analyseret i ni måneder af 2014

og derfor kun analyseret i et mindre antal boringer. Samlet set er de 18 stoffer i 2012-2014 fundet mindst én gang i 5,4 % af de undersøgte vandværksboringer og kvalitetskravet er overskredet mindst én gang i 0,5 % af de undersøgte vandværksboringer. Som nævnt ovenfor er ca. 30 % af de aktive boringer endnu ikke analyseret for disse 18 stoffer.

”Nye” stoffer 2012-2014	Analysér	Antal boringer			Andel boringer med fund (%)		
	Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	I alt
2014, 18stoffer	1.543	1.449	86	4	5,9	0,3	6,2
2013, 18stoffer	1.643	1.564	84	9	5,4	0,6	5,9
2012, 18 stoffer	1.614	1.533	88	9	5,7	0,6	6,3
2012-14,18 stoffer	5.258	4.392	216	20	4,9	0,5	5,4

Tabel 23. Forekomst af de 18 ”nye” stoffer i 2012-2014 i grundvandet i vandværks-boringer. Antal analyser og boringer analyseret og antal og andel fund i koncentrationsintervallet 0,01-0,1 µg/l og ≥ 0,1 µg/l. For boringer med flere analyser i perioden 2012, viser tabellen om der er mindst ét fund over kravværdien (≥ 0,1 µg/l) eller mindst ét fund (0,01-0,1 µg/l) i perioden.

Tabel 24 viser de fundne stoffer i grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker i hele overvågningsperioden fra 1992 til 2014. Det hyppigst fundne stof er BAM med mindst ét fund i 19,5% af de aktive boringer efterfulgt af bentazon, CGA108906, mechlorprop, dichlorprop og atrazin.

Grundvand i vandværksboringer 1992-2014: 13 ”gamle” stoffer	Analysér	Antal boringer			Andel boringer med fund (%)		
	Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	I alt
2,6-dichlorbenzamid, BAM	29.109	6.184	963	244	15,6	3,9	19,5
Bentazon	24.353	6.166	162	23	2,6	0,4	3,0
Mechlorprop	27.078	6.173	135	12	2,2	0,2	2,4
Dichlorprop	27.025	6.173	112	10	1,8	0,2	2,0
Atrazin	26.485	6.171	99	9	1,6	0,1	1,8
Deethyl-atrazin	24.245	6.165	91	6	1,5	0,1	1,6
Hexazinon	24.321	6.165	83	9	1,3	0,1	1,5
Deisopropyl-atrazin	24.121	6.165	85	3	1,4	0,0	1,4
Simazin	26.479	6.173	45	2	0,7	0,0	0,8
Dichlobenil	19.463	6.063	42	1	0,7	0,0	0,7
MCPA	26.617	6.173	35	8	0,6	0,1	0,7
Hydroxy-atrazin	22.872	6.154	33	4	0,5	0,1	0,6
2,4-D	26.275	6.170	12	1	0,2	0,0	0,2

Tabel 24. Pesticider i grundvandet i vandværksboringer, ”gamle stoffer” se fuld tekst næste side.

Grundvand i vandværksboringer 2012- 2014: 18 ”nye” stoffer	Analysér	Antal boringer			Andel boringer med fund (%)		
	Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	I alt
DEIA	5.010	4.351	68	6	1,6	0,1	1,7
2,6-dichlorbenzoesyre	4.739	4.137	45	0	1,1	0,0	1,1
Metribuzin-desamino-diketo	4.366	3.836	33	1	0,9	0,0	0,9
4CPP	5.166	4.365	22	6	0,5	0,1	0,6
4-nitrophenol	5.005	4.356	18	0	0,4	0,0	0,4
Didealkyl-hydroxy-atrazin	4.712	4.117	15	1	0,4	0,0	0,4
2,6-DCPP	5.086	4.359	11	0	0,3	0,0	0,3
Glyphosat	5.044	4.366	8	3	0,2	0,1	0,3
Ethylentiurea	4.803	4.207	6	1	0,1	0,0	0,2
Deisopropylhydroxyatrazin	4.724	4.131	5	0	0,1	0,0	0,1
Diuron	4.728	4.153	5	0	0,1	0,0	0,1
Hydroxy-simazin	4.995	4.351	3	1	0,1	0,0	0,1
AMPA	5.030	4.361	2	1	0,0	0,0	0,1
Deethyl-hydroxy-atrazin	4.720	4.127	2	0	0,0	0,0	0,0
Deethyl-terbutylazin	5.011	4.355	2	0	0,0	0,0	0,0
Metribuzin-desamino	4.353	3.834	1	0	0,0	0,0	0,0
Metribuzin	4.593	4.048	0	0	0,0	0,0	0,0
Metribuzin-diketo	4.364	3.841	0	0	0,0	0,0	0,0

Grundvand i vandværksboringer 2014: 3 ”nyeste” stoffer	Analysér	Antal boringer			Andel boringer med fund (%)		
	Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	I alt
Metalaxyl/Metalaxyl-M	635	615	0	0	0	0	0
CGA62826	715	690	2	2	0,3	0,3	0,6
CGA108906	722	693	14	4	2,0	0,6	2,6

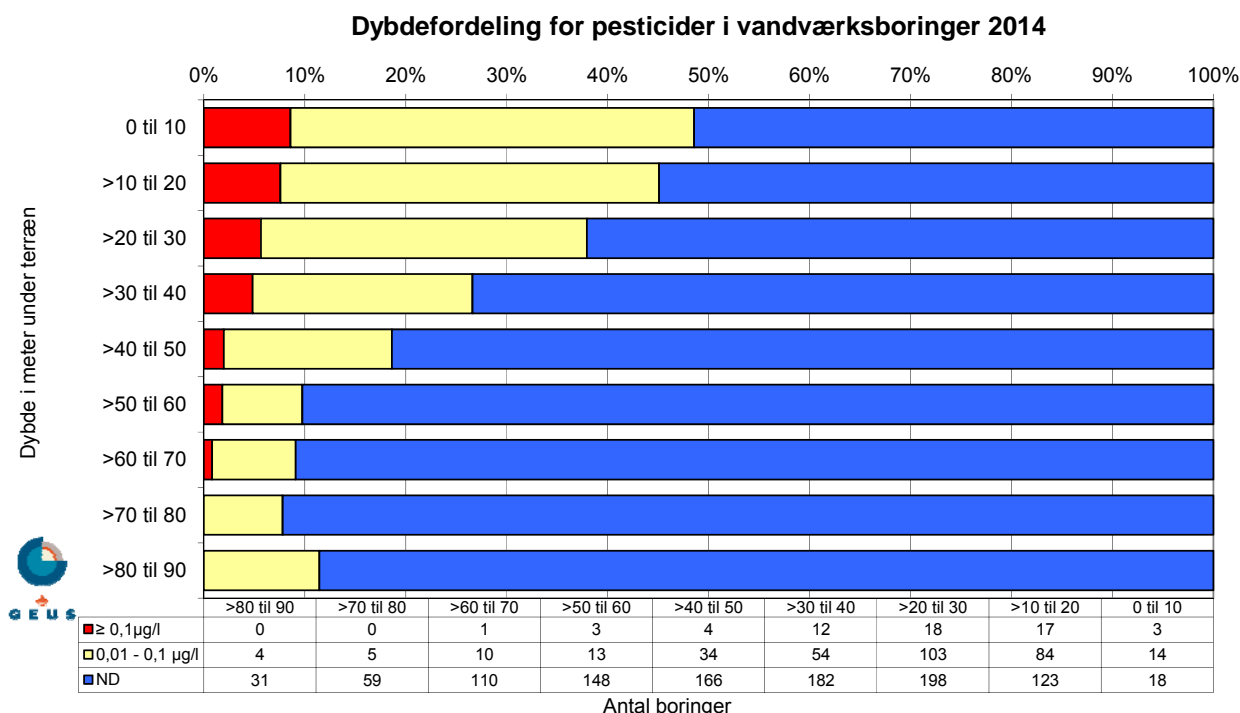
Tabel 24. Pesticider i grundvandet i vandværksboringer. Tabellen viser antal analyser og boringer og det tilhørende antal fund i koncentrationsintervallerne 0,01-0,1 µg/l og ≥ 0,1 µg/l. Øverste deltabel viser en kumulativ opgørelse for de 13 obligatoriske stoffer, der har indgået i analyseprogrammet i perioden 1992-2014. Den mellemste deltabel viser de 18 ”nye” stoffer, der har været obligatoriske siden 2012. Den nederste deltabel viser de 3 ”nyeste” stoffer der har været obligatoriske siden 1. april 2014. I analyseprogrammet indgår også to chlorphenoler, der ikke er medtaget i tabellen. Bilag 5 viser resultaterne fra 2014.

Af de 18 ”nye” stoffer er DEIA fundet mindst én gang i 1,7 % af de undersøgte boringer i 2012-2014 og 2,6-dichlorbenzoesyre mindst én gang i 1,1% af boringerne. Fjorten andre af de 18 ”nye” stoffer er påvist i mindre end 1 % af de undersøgte boringer. Der er ingen fund af

metribuzin og metribuzin-diketo. Metalaxyl-M og to nedbrydningsprodukter herfra har kun indgået i analyseprogrammet siden 1. april 2014 og er således kun analyseret i 615-693 boringer. Metalaxyl-M er ikke fundet, men begge nedbrydningsprodukter (CGA62826 og CGA108906) er påvist. Det er specielt bemærkelsesværdigt, at CGA108906 er påvist i 2,6% af de analyserede boringer, heraf 0,6% over kvalitetskriteriet.

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

Figur 55 viser andelen af pesticidfund i vandværksboringer med dybden målt som afstanden fra terræn til toppen af aktive boringers indtag. De fleste undersøgte boringer har top af indtag mellem 20 og 50 m u.t., mens antallet af undersøgte indtag i intervallet 0 til 10 m u.t. er lavere se Figur 6, Kapitel 2.



Figur 55. Dybdemæssig fordeling af pesticider i vandværksboringeri 2014 vist som funktion af dybden til overkanten af indtaget. Resultater på indtagsniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $0,01-0,1 \mu\text{g/l}$, samt ND (under detektionsgrænsen, typisk $< 0,01 \mu\text{g/l}$).

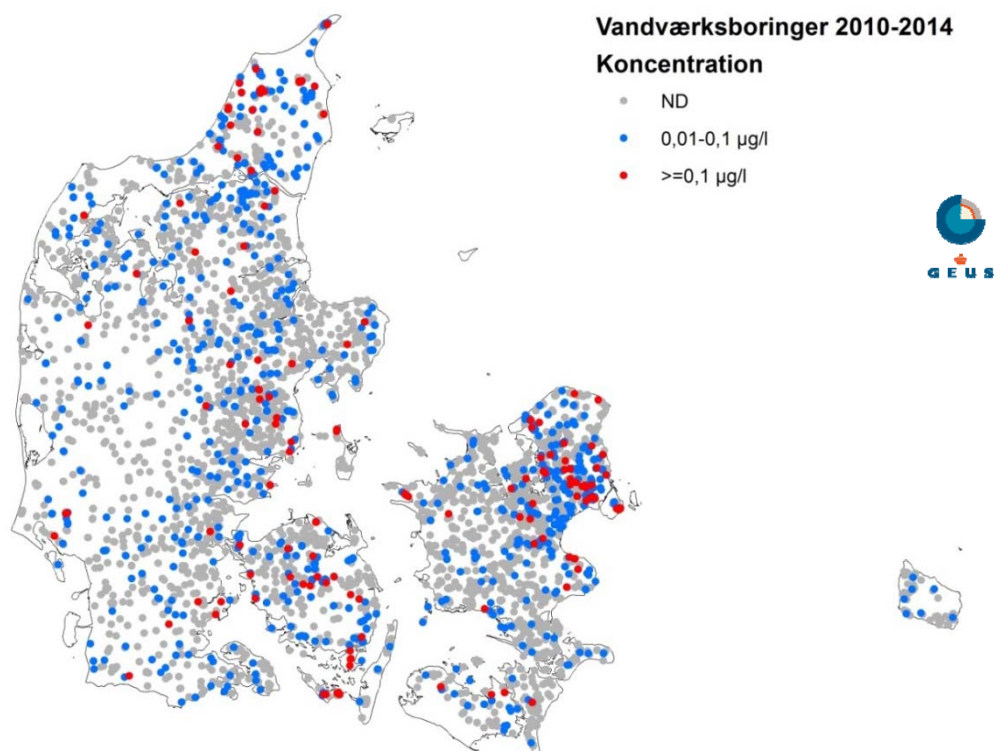
I 2014 blev der påvist pesticider i 29,2 % af de undersøgte boringer med top af indtag i intervallet 20 til 50 m u.t. heraf 4,4 % med et pesticidindhold over kvalitetskravet. Til sammenligning blev der i hele perioden 1992-2014 påvist pesticider mindst én gang i 32,5 % af de aktive vandværksboringer med top af indtag i intervallet 20 til 50 m u.t., heraf 6,0 % med et pesticidindhold, der mindst én gang overskred kvalitetskravet.

Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 56 viser fordelingen på landsplan af pesticidindholdet i grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker i den seneste fem årsperiode, 2010-2014, hvor alle vandværksboringer skal være analyseret mindst én gang. Der foreligger ikke oplysninger om koordinater for alle 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 nedbrydnings-produkter i lerede områder i den østlige del af Danmark, hvor der også findes den største befolkningstæthed (Brüsch og Villholth, 2011).

Der er forholdsvis få fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i vestjylland, hvor vandværkerne generelt indvinder grundvand fra større dybder end i resten af landet. Samtidig er der færre vandværksboringer i dette område på grund af en lavere befolkningstæthed.



Figur 56. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i vandværksboringer for aktive vandværker i femårsperioden 2010-2014, (5.987 boringer). Resultaterne er opdelt i boringer uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), mindst ét fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l og mindst ét fund, der overstiger kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Femårsperioden er valgt, fordi almene vandværker mindst en gang hvert 5. år skal analysere råvandet fra indvindingsboringerne.

På Lolland ses en skarp grænse til et område på den sydlige del af øen. Dette skyldes, at netop i dette område findes få større, sammenhængende grundvandsmagasiner, da undergrunden hovedsageligt består af lavpermeabelt, tertært ler, og at grundvandet i dybere kalklag ofte er saltholdigt. Der findes derfor kun få aktive almene vandforsyningsboringer i området.

8.3 Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet

Tabel 25 viser for året 2014 de 20 hyppigst fundne pesticider i GRUMO og vandværkernes borkontrol. Stofferne er listet med faldende relativ hyppighed inden for hvert program.

Tabel 26 viser til sammenligning hvilke 20 pesticider, der siden begyndelsen af 1990'erne hyppigst er fundet i grundvandsovervågningen (1990-2014) og vandværkernes boringskontrol (1992-2014). Formålet med Tabel 26 er at perspektivere fundene i 2014.

BAM findes hyppigst i 2014 og samlet set over alle årene i begge typer af pesticidundersøgelser af dansk grundvand. Det hyppigst forekommende aktivstof i 2014 og samlet set over alle årene i de aktive vandværksboringer er bentazon.

De i dag forbudte triaziner, og de tilhørende nedbrydningsprodukter, forekommer med stor hyppighed, fx DEIA, der er påvist mindst én gang i 1,8 % af de undersøgte vandværksboringer i 2014 og i 14,2 % af indtagene i GRUMO. Dette svarer til den samlede hyppighed i hele perioden hvor DEIA er fundet mindst én gang i hhv. 1,7% og 14,8 % af indtagene.

Metribuzin er et nu forbudt aktiv-stof i svampemidler til kartoffelplanter. Nedbrydningsprodukterne fra metribuzin er blandt de hyppigst fundne stoffer både i opgørelserne for 2014 og for hele monitoringsperioderne. I 2014 er to metribuzin nedbrydningsprodukter (metribuzin-diketo og metribuzin-desamino-diketo) påvist i over 5 % af indtagene i GRUMO, og et nedbrydningsprodukt (metribuzin-desamino) er i 2014 påvist i 1,6 % af de undersøgte vandværksboringer.

Phenoxysyre-herbicerne mechlorprop og dichlorprop er også blandt de hyppigst fundne pesticider i de undersøgte indtag/boringer i hele perioden (4,0 % og 4,6 % i GRUMO, 2,4 % og 2,0 % i vandværksboringer), mens de forekommer i 2014 sjældnere i både GRUMO (1,5 % og 1,5 %) og i vandværksboringer (1,9 % 1,2 %).

Det mest anvendte pesticid i Danmark, glyphosat, er fundet mindst én gang i 6,2 % af de undersøgte indtag i GRUMO (1990-2014). I hele monitoringsperioden er der fundet glyphosat mindst én gang i 0,4 % af de undersøgte, aktive vandværksboringer.

Azoxystrobin er ikke er omfattet af den obligatoriske analysepakke, se Tabel 20, men er alligevel analyseret i 190 vandværksboringer de sidste par år. Stoffet er forholdsvist nyt i Danmark og pga. det lave antal boringer er stoffet ikke medtaget i Tabel 25. Azoxystrobin er på nuværende tidspunkt påvist i 2,1 % af de undersøgte vandværksboringer, dog i alle fire boringer under kvalitetskravet.

To nedbrydningsprodukter fra metalaxyl-M (CGA 108906 og CGA 62826) indgår for første gang blandt de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol, selvom stofferne kun har indgået i den obligatoriske analysepakke siden 1. april 2014 og derfor kun er analyseret i ca. 690 boringer. CGA 108906 blev påvist i 2,6 % af de undersøgte vandværksboringer heraf 0,6 % over kvalitetskravet. CGA 62826 blev påvist i 0,6 % af de undersøgte vandværksboringer heraf 0,3 % over kvalitetskravet. Moderstoffet Metalaxyl-M blev trukket fra markedet i 2013 efter fund af metabolit- og moderstofudvaskning i på sandjord med kartoffeldyrkning i Varslingsystemet for udvaskning af pesticider til Grundvandet (VAP).

I Bilag 3 og 6 er alle pesticidanalyser i JUPITER fra de standardiserede udtræksmoduler samlet, så man for hvert stof kan se hvor mange analyser, der er udført og hvor hyppigt, det er fundet. Alle undersøgte stoffer er vist i bilagene, også stoffer uden fund.

Grundvandsovervågning 2014			Vandværksboringer 2014		
Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l
BAM	16,1	6,0	BAM	18,5	2,6
DEIA	14,2	0,7	CGA 108906	2,6	0,6
Atrazin, deisopropyl	9,9	0,3	Bentazon	2,6	0,3
Metribuzin-diketo	5,2	0,9	Mechlorprop	1,9	0,1
Metribuz-deamino-diketo	5,1	1,0	DEIA	1,8	0,0
Atrazin, deethyl-	4,0	0,7	Metribuzin-deamino-	1,6	0,1
Atrazin	3,1	0,3	Hexazinon	1,4	0,3
Bentazon	3,1	0,9	2,6-dichlorbenzoyre	1,4	0,0
2,6-Dichlorebenzoyre	2,2	0,1	Dichlorprop	1,2	0,1
Didealk.-hydr.atrazin.	1,5	0,1	Atrazin, deethyl-	1,1	0,1
Dichlorprop	1,5	0,1	4CPP	0,9	0,1
Mechlorprop	1,5	0,6	CGA 62826	0,6	0,3
AMPA	0,9	0,0	2,6-DCPP	0,5	0,0
Hexazinon	1,0	0,1	Atrazin	0,4	0,0
Simazin	1,0	0,1	Atrazin, hydroxy-	0,4	0,0
PPU (IN70941)	0,9	0,3	Glyphosat	0,4	0,1
4CPP	0,7	0,3	Atrazin, deisopropyl-	0,3	0,0
2,6-DCPP	0,7	0,0	Diuron	0,2	0,0
Glyphosat	0,4	0,0	Hydroxysimazin	0,2	0,1
Deeth.-hydr.-atrazin	0,4	0,0	Dichlobenil	0,2	0,0

Tabel 25. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO og aktive vandværkers boringer i 2014. Se også bilag 2 og 5.

Grundvandsovervågning 1990-2014			Vandværksboringer 1992-2014		
Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l
BAM	20,6	8,1	BAM	19,5	3,9
DEIA	14,8	3,7	Bentazon	3,0	0,4
Atrazin, deisopropyl	11,1	1,7	Mechlorprop	2,4	0,2
4-Nitrophenol	8,4	0,6	CGA 108906	2,3	0,5
Atrazin, deethyl-	7,4	1,4	Dichlorprop	2,0	0,2
Didealk.-hydr.atrazin	7,2	1,0	Atrazin	1,8	0,1
Bentazon	6,8	2,1	DEIA	1,7	0,1
Glyphosat	6,1	1,3	Atrazin, deethyl-	1,6	0,1
Atrazin	5,4	1,2	Hexazinon	1,5	0,1
Metribuz-deamino-diketo	5,2	1,9	Atrazin, deisopropyl-	1,4	0,0
Triklorreddikesyre	4,7	1,2	2,6-Dichlorbenzoesyre	1,1	0,0
Dichlorprop	4,6	1,3	4CPP	1,0	0,2
AMPA	4,3	1,0	Metribuzin-deamino-	0,9	0,0
Mechlorprop	4,0	1,0	Simazin	0,8	0,0
Metribuzin-diketo	3,8	1,2	Dichlobenil	0,7	0,0
Deisopr.-hydr.atrazin.	3,7	0,2	MCPA	0,7	0,1
2,6-Dichlorbenzoesyre	2,9	0,4	Atrazin, hydroxy-	0,6	0,1
Simazin	2,8	0,4	4-Nitrophenol	0,6	0,0
4CPP	2,5	0,8	Chlorsulfuron	0,5	0,0
MCPA	2,4	0,4	2,6-DCPP	0,5	0,0

Tabel 26. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO (1990-2014) og aktive vandværkers boringer (1992-2014). De viste andele er beregnet med antal undersøgte indtag/boringer, indtag/boringer med fund og indtag/fund $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$. Se også bilag 3 og 6 med oplysninger om antal analyser, antal indtag/boringer og koncentrationsintervaller. De beregnede fundandele viser, hvor stor en andel af indtagene, der én eller flere gange har indeholdt det enkelte stof i hele perioden. Andelen opgjort for hele perioden kan derfor ikke sammenholdes med fundandelen pr. år.

Referencer, Pesticider

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet, 2011a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen pr. 1 jan 2012)

Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

Miljøministeriet, 2014c: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 948 af 22. august 2014.

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

EU- direktiver

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

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

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

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

Andre referencer

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

Thorling, L., Brüsch, 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 (20.08.15)

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

Links:

Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (25.08.2014)

9 Vandindvinding

Sammenfatning, vandindvinding

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) har en svagt faldende tendens i perioden 1999-2014 fra ca. 500 mio. m³/år til ca. 425 mio. m³/år. På grund af manglende indberetninger, kan den seneste værdi for den samlede oppumpning dog være større og faldet i oppumpningen være mindre.

Indvinding af grundvand til erhvervsvanding (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år. I 2014 nåede denne del af indvindingen op på 309 mio. m³, hvilket svarede til ca. 40 % af den samlede grundvandsindvinding for dette år, mens den i 2012 blot var på 187 mio. m³, svarende til ca. 25 %.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding har en svagt faldende tendens fra 1990 og frem til 2012. Indberetningerne for 2014 er opgjort til 58 mio. m³, hvilket svarer til medianen for perioden 1990-2013.

Indvindingen af overfladevand ligger på 12 mio. m³/år, hvilket blot udgør et par procent af den samlede indvinding. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse, og uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandplanarbejdet. For at muliggøre en optimal vurdering af 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 til den fastsatte tidsfrist, som er 1. april det efterfølgende år, jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (MST, 2014). Der sker løbende forbedringer i kommunernes indberetning, men der er fortsat behov for at enkelte kommuner kvalitetssikrer data og følger op på indberetningerne.

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 husholdninger.

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 lokalt, regionalt og på landsplan.

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 enkelt indvinding af overfladevand, der udpumpes med drikkevandskvalitet er Kalundborg Forsyning, der indvinder små 4 mio. m³ til lokale virksomheder.

Målsætning

I Miljømålsloven (MiM, 2009 og MFM, 2015) er det en generel målsætning, at der kun må indvindes så meget vand, at påvirkningerne af overfladevand og grundvandsafhængige økosystemer i vådområder mv. ikke hindrer opfyldelse af miljømålsætningerne (Vandplanernes hjemmeside). Det er derfor nødvendigt at kunne dokumentere såvel den absolutte størrelse som ændringerne i den oppumpede grundvands- og overfladevandsmængde på såvel lokal som regional og national skala. Den miljømæssige påvirkning af den samlede indvinding i hvert hovedopland, vurderes i Vandplanerne hvert 6. år (Vandplanernes hjemmeside).

Datagrundlag

En række kommuner har de forløbne år været flittige til at rette ældre, forkerte data. Der har især været tale om at nedkorrigere for store indberetninger. Derfor har GEUS ikke i samme omfang som de forrige år haft særlig fokus på at korrigere ældre indvindingstal før rapportering.

I forbindelse med udtræk af data efter tidsfristens udløb har det igen i år vist sig, at flere af kommunerne ikke har indberettet data inden tidsfristen den 1. april 2015. Elleve kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2014 og yderligere fem kommuner har indberettet mangelfuldt. Samlet set vurderes der på den baggrund alene at mangle indberetning af omkring 32 mio. m³ for 2014, hvilket er på niveau med de sidste par 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 2014 indberetning på 85,8 mio. m³ mod normalt 3000-6000 m³, og en indberetning på 85,4 mio. m³ mod normalt 600-2500 m³.

9.1 Tilstand og udvikling

Indvindingen fordelt på kategorier

Figur 57 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier for perioden 1989-2014. Kategorierne er:

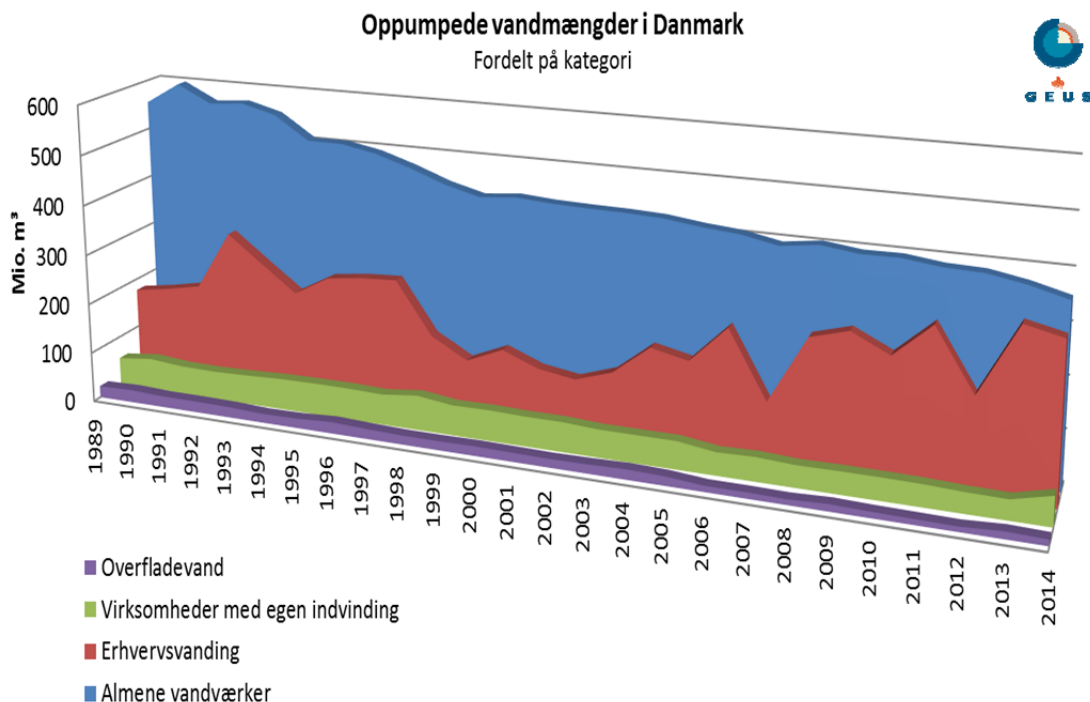
- Overfladevand til alle formål.
- Virksomheder med egen indvinding: erhverv, industri, institutioner, afværgepumpninger, grundvandssænkninger, enkelt-indvindinger til husholdninger og anden grundvandsindvinding.
- Erhvervsvanding: dambrug, markvanding, gartneri.
- Almene vandværker: offentlige og private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

Årstal	Overfladevand	Virksomheder med egen indvinding	Erhvervs vanding	Almene vandværker
	Mio m ³ /år	Mio m ³ /år	Mio m ³ /år	Mio m ³ /år
1989	23	56	177	555
1990	25	64	188	598
1991	22	58	202	564
1992	22	57	319	570
1993	21	59	266	552
1994	18	62	214	506
1995	19	63	253	506
1996	23	63	262	493
1997	20	61	266	471
1998	18	69	163	445
1999	18	60	123	427
2000	19	61	154	434
2001	18	59	126	429
2002	17	59	115	427
2003	18	55	139	426
2004	20	55	197	423
2005	18	55	181	414
2006	12	45	254	408
2007	12	47	123	394
2008	11	43	255	404
2009	14	44	276	395
2010	12	44	240	396
2011	11	43	306	387
2012	10	40	187	385
2013	14	39	326	372
2014	12	58	309	353

Tabel 27. Oppumpede vandvandsmængder i Danmark fordelt på fire kategorier i mio. m³/år

Tabel 27 viser de data, der ligger til grund for Figur 57. For kategorien almene vandværker er der en svag stigning i 2008, som sandsynligvis skyldes fejlbehæftede indberetninger. Oppumpningen ligger gennem de sidste mange år på et niveau omkring 400 mio. m³. Indvindingen af overfladevand på 12 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 såvel som vandføringen i vandløbene, idet vandet ledes tilbage til vandløbet efter gennemløb i dambruget.

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "Erhvervsvanding") er for 2014 opgjort til 309 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, mens der tilsyneladende er en stigning i forbruget for 2014.



Figur 57. Vandindvinding i Danmark (1989-2014) opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Opgørelser af indvinding af overfladevand fra før 1997 er ikke pålidelige.

Samlet status og udvikling

Figur 58 viser de totale oppumpede vandmængder for perioden 1989-2014 med blå søjler, mens de grønne søjler viser de totale oppumpede vandmængder uden markvanding.

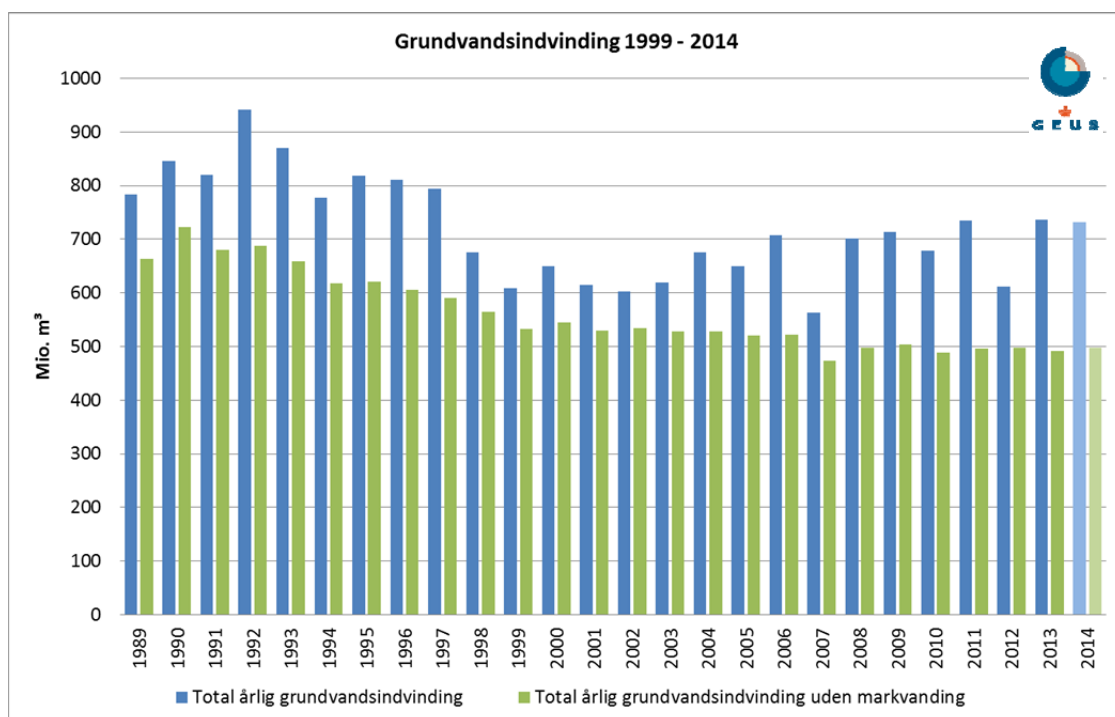
GEUS har i to rapporter gennemført en analyse af de indberettede data for markvanding for perioden 1990-2012 (Henriksen et al., 2014 og 2015). Analysen viser, at der er betydelige variationer i kvaliteten af dataindberetningen fra kommune til kommune, specielt i den første del af perioden samt i perioden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

Uanset problemer med indberetnings kvalitet 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, S. Kolind, 2011, se også Thorling mfl., 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.

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

støt faldende tendens. Fra 2008 og frem til 2014 er forskellen på største og mindste oppumpning opgjort uden markvanding 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.

Der er som nævnt usikkerhed på 2014 data, og de er derfor vist med nedtonede farver i Figur 58. 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.



Figur 58. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2014) baseret på indberettede data. Data fra 2014 vurderes at være ukomplette.

Med de ovenstående forbehold in mente kan det konkluderes, at den totale årlige oppumpning forsat ligger på et stabilt niveau på knapt 500 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.

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

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

Miljøministeriet, 2013: LBK nr. 119 af 30/09/2013 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)

Miljøministeriet 2014b: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26/03/2014 (Drikkevandsbekendtgørelsen).

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

Andre referencer:

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>

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)

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., 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 (5-11-13)

Links:

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

10 Det Nationale Pejleprogram

Sammenfatning og konklusion

På baggrund af de 150 pejlestationer, som udgjorde Det Nationale Pejleprogram i 2014, overvåges grundvandsstanden over hele landet i indtag med forskellige dybder.

Stationsnettet bliver i denne 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 nedbør er steget 4,4 % fra 1961-1990 til 1991-2010, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år på 30 år.

GEUS har vurderet repræsentative lange pejleserier indenfor fem geografisk definerede områder i terrænnære indtag. Herudfra er noteret følgende tendenser:

Langsigtet udvikling: Flere, men ikke alle lange pejetidsserier, 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 i 1980'erne: Viser sig som et op til 2 m højere beliggende vandspejl.

Påvirkning fra tørre perioder: I den observerede periode har der været to nedbørsfattige hændelser i 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 nogle steder falder op til 3 m og andre steder ikke - som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.

Året 2014: Vandstanden i 2014 ligger hen over året for hovedparten af de udvalgte pejleserier højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1989 og 1990-2013.

Datakvaliteten i Det Nationale Pejleprogram er fortsat ikke tilfredsstillende, idet kun godt halvdelen af pejetidsserierne fra det nuværende pejlestationsnet vurderes at være af en god kvalitet. Naturstyrelsen og GEUS har haft og vil fortsat have fokus på datakvalitet og søge at strømline procedurer for indberetning, kvalitetskontrol for fremadrettet at få bedre udnyttelse af de indsamlede pejledata, blandt andet gennem en ny teknisk anvisning for dataarbejdet (Thorling mfl., 2014).

Indledning

Det Nationale Pejleprogram skal kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejleserier og enkeltmålinger af vandstanden og skal således afspejle repræsentative størrelser for reelle variationer i 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 2014 indgik i alt 150 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. På grund af den store mængde data, der genereres fra stationer med dataloggere, er dataene i pejleserierne i den årlige afrapportering blevet reduceret til én pejling per døgn ved beregning af en gennemsnitlig døgnværdi.

Kvalitetsvurdering af pejletidsserier

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 konsekvensretelse af pejleserien eller fejl i indrapportering til JUPITER. Derudover er der i nogle helt specielle tilfælde situationer, hvor JUPITER beregner forkerte værdier for grundvandskote og nedstik (i forbindelse med ændring og/eller nyindmåling af målepunktet).

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

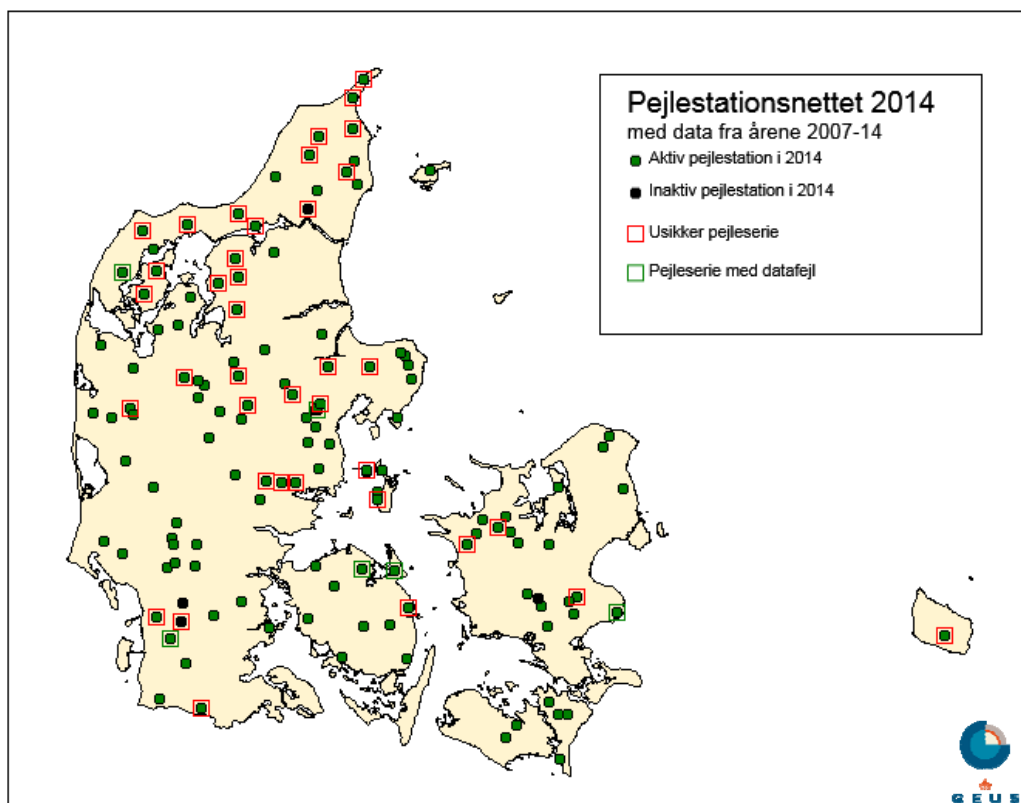
I indeværende programperiode er der fortsat fokus på, at fejl og mangler udbedres. De tekniske anvisninger for indsamling af pejledata i felten og håndtering af data efterfølgende, skulle gerne forbedre datakvaliteten fremover (Thorling, 2012a og Thorling, 2014), men kan naturligvis ikke udbedre alle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

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

- pejledata målt i perioden 2007-2014,
- pejledata målt i en væsentlig del af overvågningsperioden fra før år 2000
- lange pejleserier, hvor der indgår pejledata fra før år 1980.

Figur 59 - Figur 61 viser den geografiske fordeling af stationerne og kvalitetsvurderingen heraf.

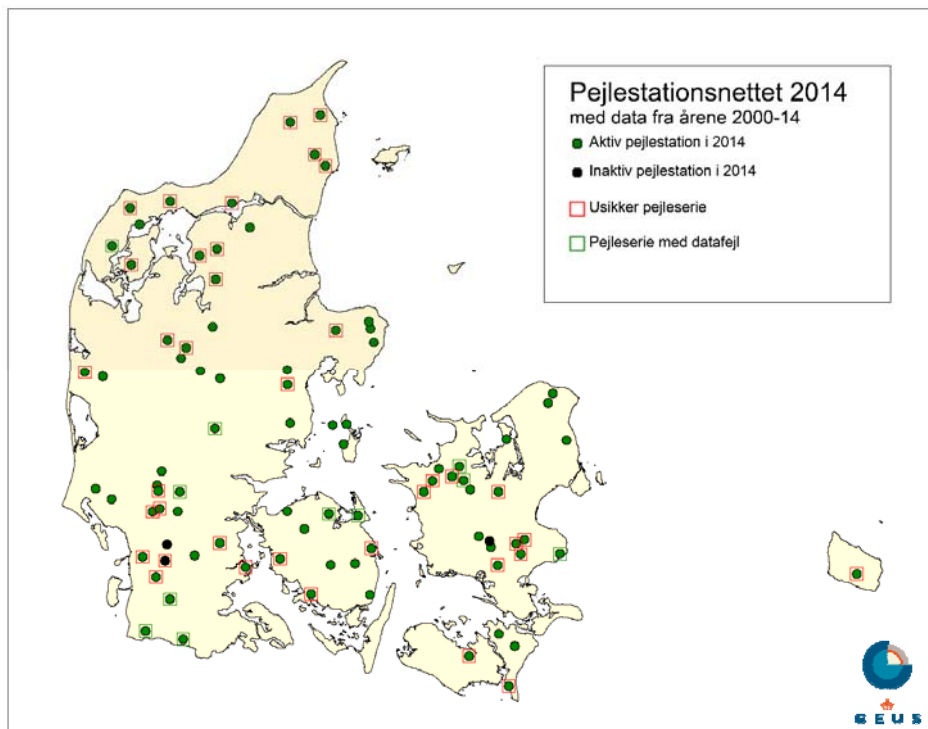


Figur 59. Det Nationale Pejleprogram. Tidsserier fra 2007-2014 er angivet med aktuell status for aktive og inaktive stationer i 2014. Signaturer med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.

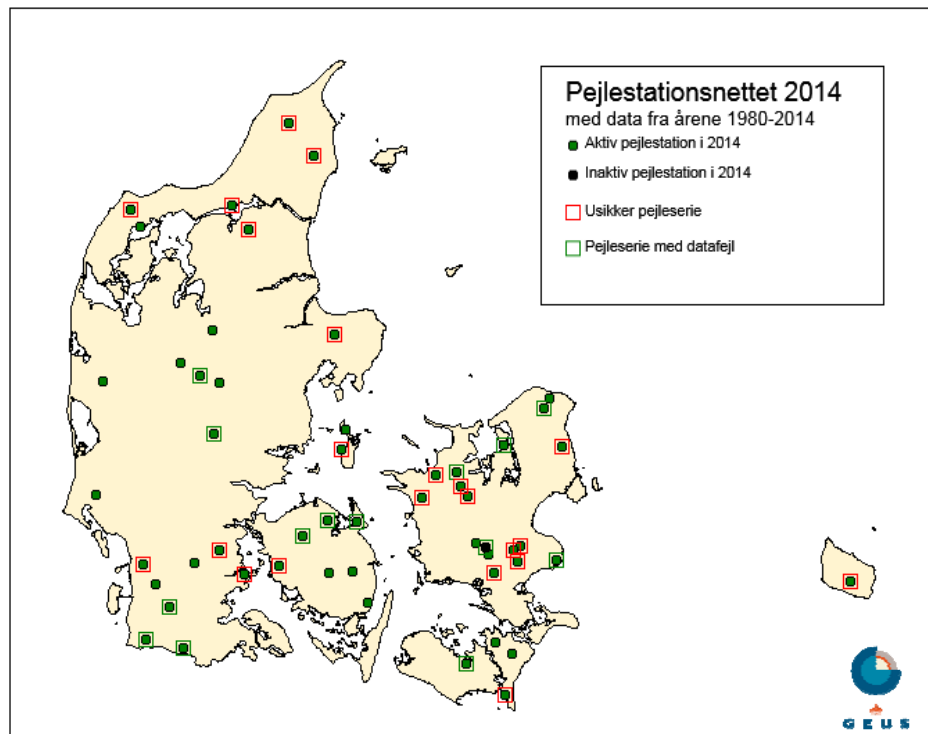
Af vurderingen fremgår, at:

- Næsten alle, dvs. 143 af de 150 pejlestationer indeholder målinger i 2014
- Der findes 149 pejleserier med målinger i perioden 2007-2014, og af disse vurderes 101 af høj kvalitet, svarende til godt 67 %
- Der findes 98 pejleserier med målinger før år 2000, og af disse vurderes 43 af høj kvalitet, svarende til godt 43 %
- Der findes 59 pejleserier med målinger før år 1980, og af disse vurderes 16 af høj kvalitet, svarende til godt 27 %.

I forhold til år 2013 spores der en lille procentvis fremgang i kvaliteten af pejleserierne (jf. ovenstående definition), hvilket især tilskrives opretning af de midtjyske serier.



Figur 60. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier med pejledata i perioden 2000-2014 er angivet med aktive og inaktive stationer i 2014. Signaturerne med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.



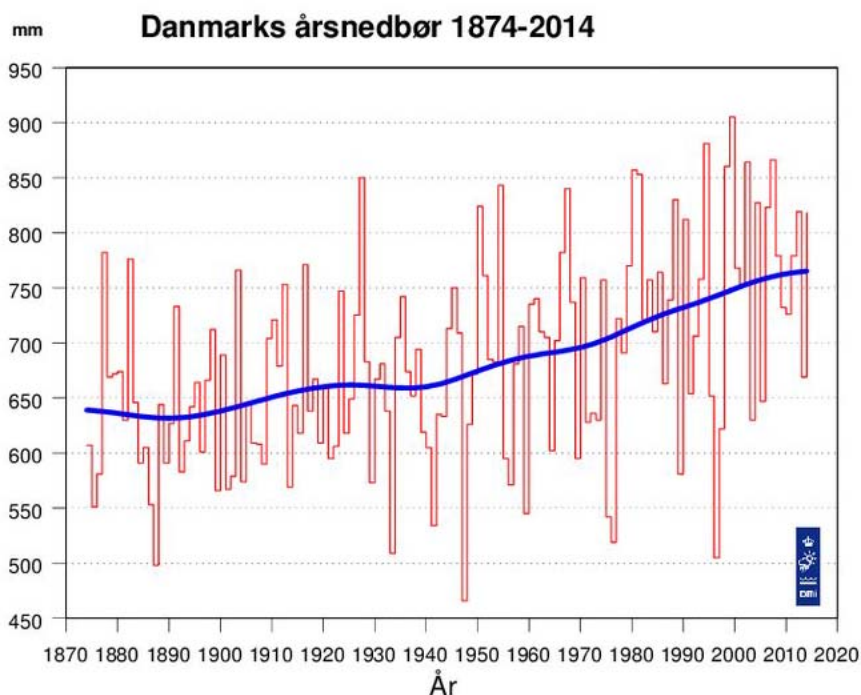
Figur 61. Det Nationale Pejleprogram. Tidsserier med pejledata siden 1980 er opdelt i aktive og inaktive stationer i 2014. Signaturerne med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.

Nedbørens betydning

Af DMI's hjemmeside (DMI, 2015) fremgår, at den gennemsnitlige nedbør de sidste ca. 20 år i det centrale Jylland er over 900 mm/år, mens den over Kattegat og Bornholm er blot ca. 500 mm/år. Figur 62 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 1990-2013 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 nedbør kan skønsmæssigt beregnes til 0,5 m, forudsat der er et porevolumen på 30 % i sedimentet. En sådan stigning vil typisk forekomme, hvor der er frie magasiner i nedsivningsområderne. Derimod er det vanskeligere at beregne effekten i udstrømningsområderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der omvendt lokalt forekommer dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.



Figur 62. Danmarks årsnedbør siden 1874. Landsgennemsnit beregnet på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er ni års Gaussfiltrerede værdier (DMI's hjemmeside, 2015).

Nedbøren falder ikke jævnt over året eller på landsplan, og det er - foruden langsigtede tendenser - vigtigt at vurdere effekten af årsvariationer og ekstremhændelser, fx tørre perioder.

I 1980'erne konstateredes øget nedbør i en længere årrække, og der har omvendt været to markante nedbørsfattige 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 pejle-tidsserier reagerer over tid. I de viste tidsserier over grundvandsstanden er det relevant at kigge efter den landsdækkende konsekvens af stigende nedbør generelt og i 1980'erne, og den landsdækkende konsekvens af de ekstremt tørre perioder i 1975-1976 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, mfl., 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.

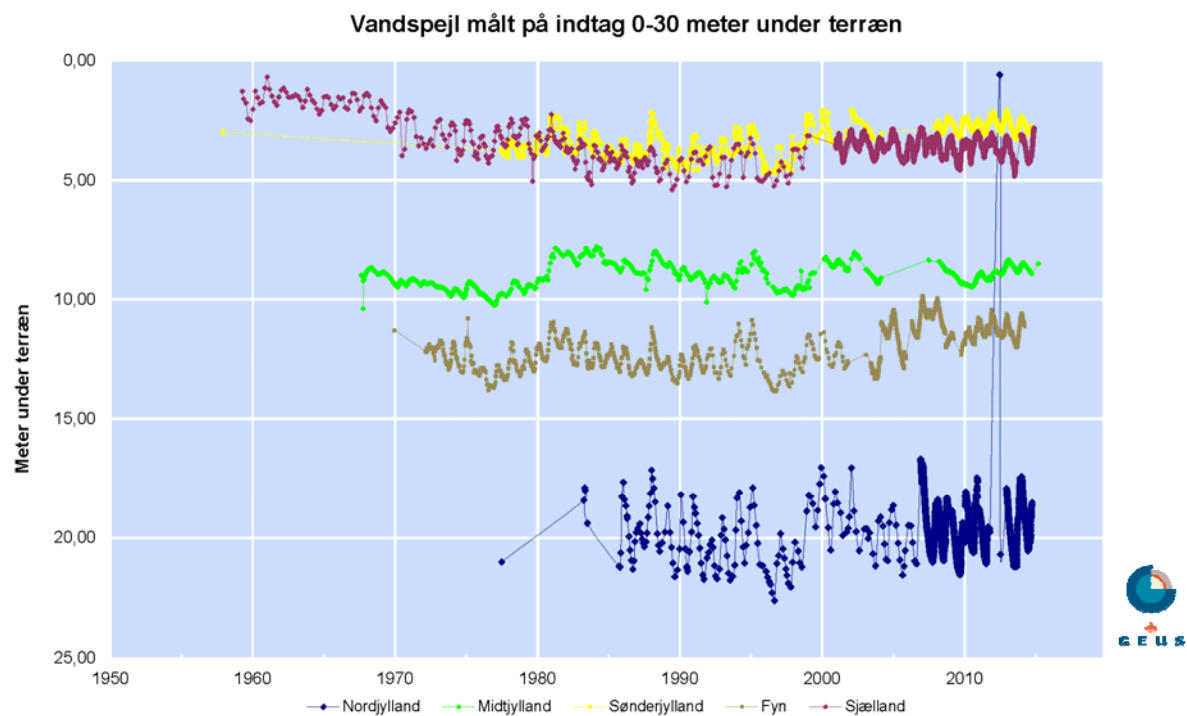
10.1 Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag

På baggrund af analysen af pejleseriernes kvalitet er der i 2013 udpeget en lang repræsentativ tidsserie for terrænnære indtag. Udviklingen i dybden til grundvandsspejlet i boringer med indtag beliggende relativt terrænnært (0-30 m u.t.) er præsenteret ved følgende fem pejleserier:

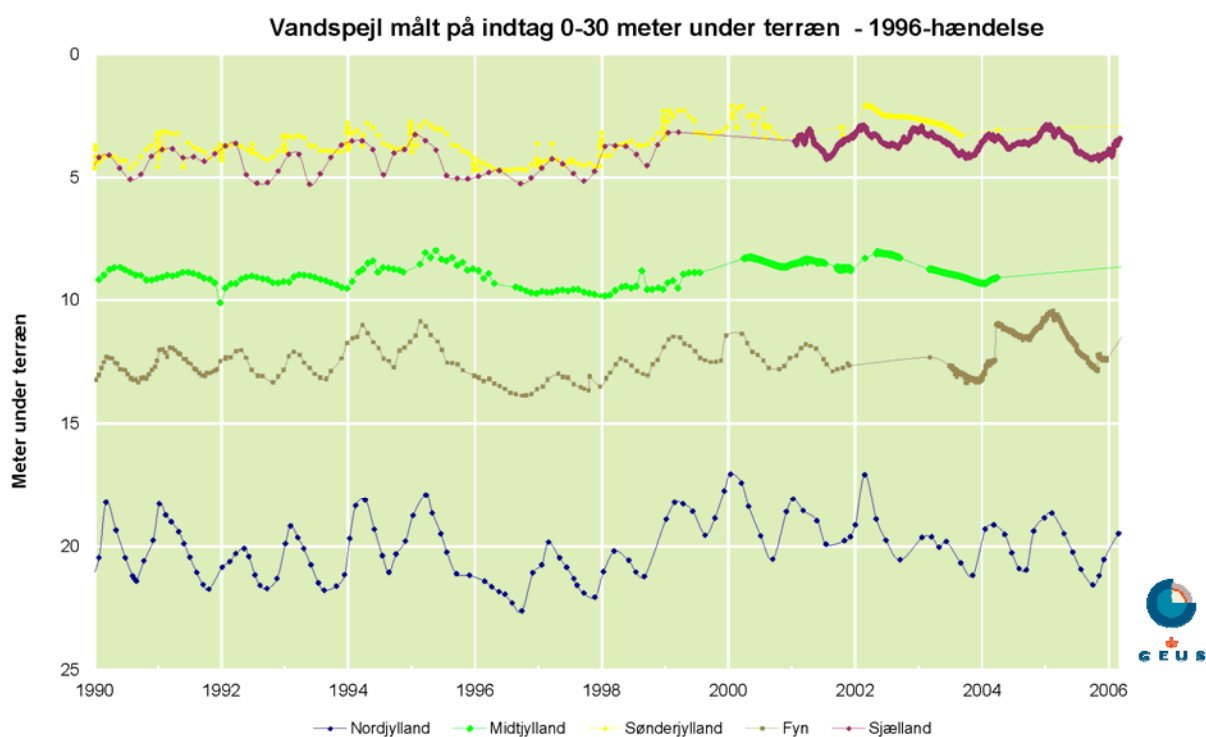
- Nordjylland DGU nr. 22.368 indtag 1 (Kalk/kridt, frit magasin).
- Midtjylland DGU nr. 76.853 indtag 1 (Kvartært sand, frit magasin).
- Sønderjylland DGU nr. 166.485 indtag 1 (Sand, frit magasin)
- Fyn DGU nr. 155.184 indtag 1 (Sand, spændt magasin)
- Sjælland DGU nr. 216.272 indtag 1 (Kalk/kridt, spændt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

Figur 63 viser pejleserier for perioden 1950-2014. 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 64 indeholder et udsnit af pejleserierne (måleperiode 1990-2006), der illustrerer effekten af tørkeperioden i 1996.



Figur 63. Pejletidsserier (vandstand m u. t.) for terrænnære indtag, top af indtag 0- 30 m u.t.



Figur 64. Pejletidsserier (vandstand m u. t.) for 5 terrænnære indtag. Figuren er et udsnit (1990-2006) af Figur 63 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. Den nordjyske pejleserie har stor amplitude/udsving hen over året. 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 i 1980'erne viser sig som en hævnning af grundvandsstanden på op til 1-2 m undtagen den sjællandske serie.

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 2014

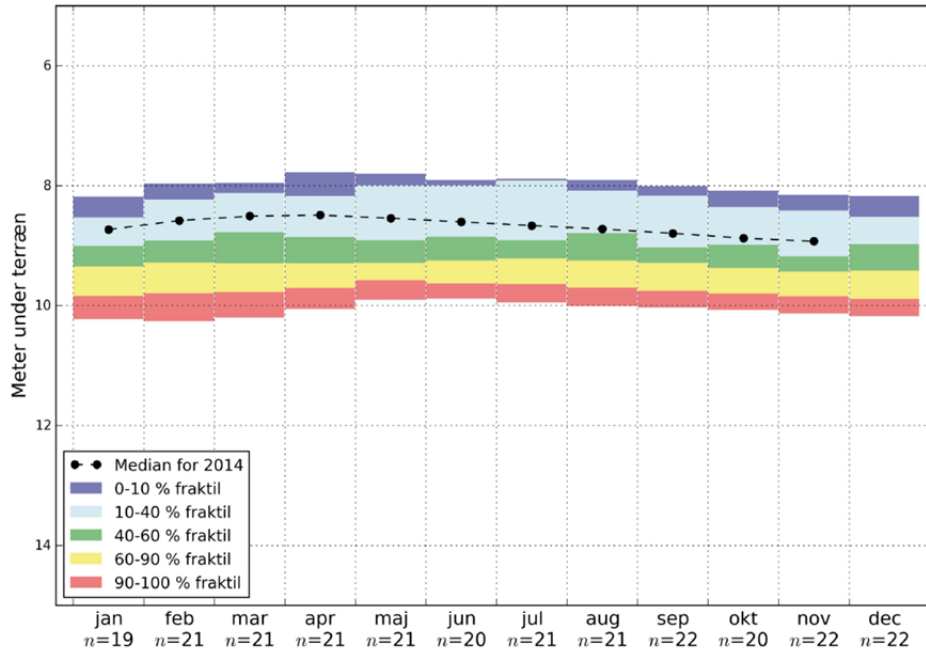
Figur 65 viser, hvordan vandstanden i Midtjylland i DGU nr. 76.853 har udviklet sig i 2014 hen over de enkelte måneder i året i forhold til tidligere år. Analysen er fremkommet ved for hver måned i 2014 at beregne medianværdien af alle pejlinger. For at kunne sammenligne med tidligere tidsperioder er der for hver måned i perioden 1961-1989 (den såkaldte klima-normalperiode) og de seneste 2 dekader (1990-2013) beregnet fordelingen af grundvandsstanden i 5 grupper, således at man kan se, hvordan vandstanden tidligere har fordelt sig. 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 66 giver for et overblik over udviklingen i 2014, for alle 5 pejleindtag anvendt i Figur 63 og Figur 64. Der er mange detaljer, som ikke kan aflæses, hvorfor alle figurerne er vist i samme format som Figur 65 i bilag 1.

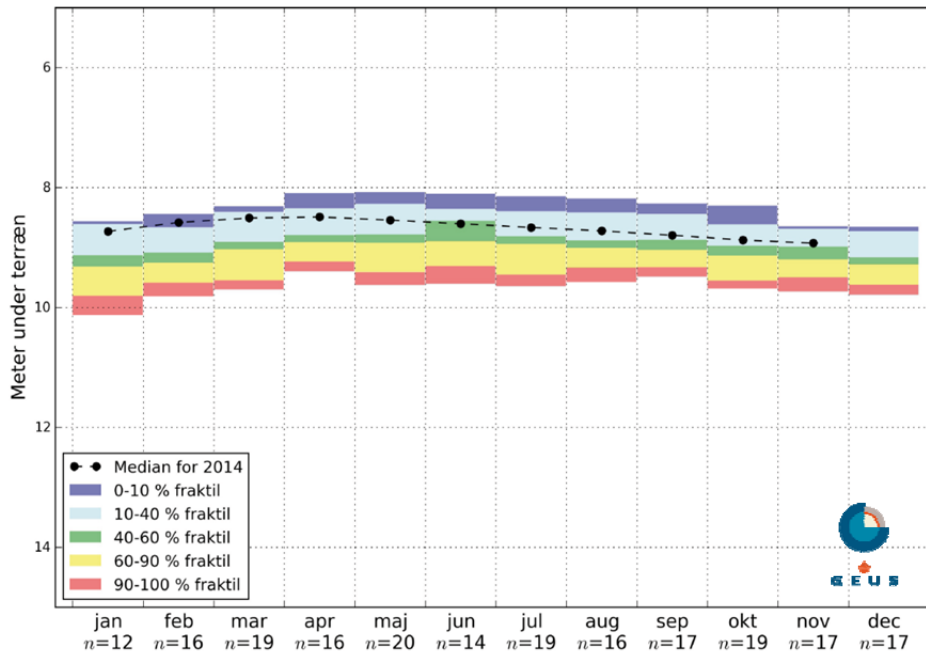
Sammenlignes vandstanden hen over året 2014 med tidligere perioder, ses det at vandstanden i 2014 for hovedparten af indtagene i de udvalgte pejleserier er højere end de tilsvarende værdier for både perioden 1961-1989 og 1990-2013. En nærmere analyse af den tidlige udvikling af årsudsving i de relevante indtag og deres årsag udestår endnu.

MIDTJYLLAND

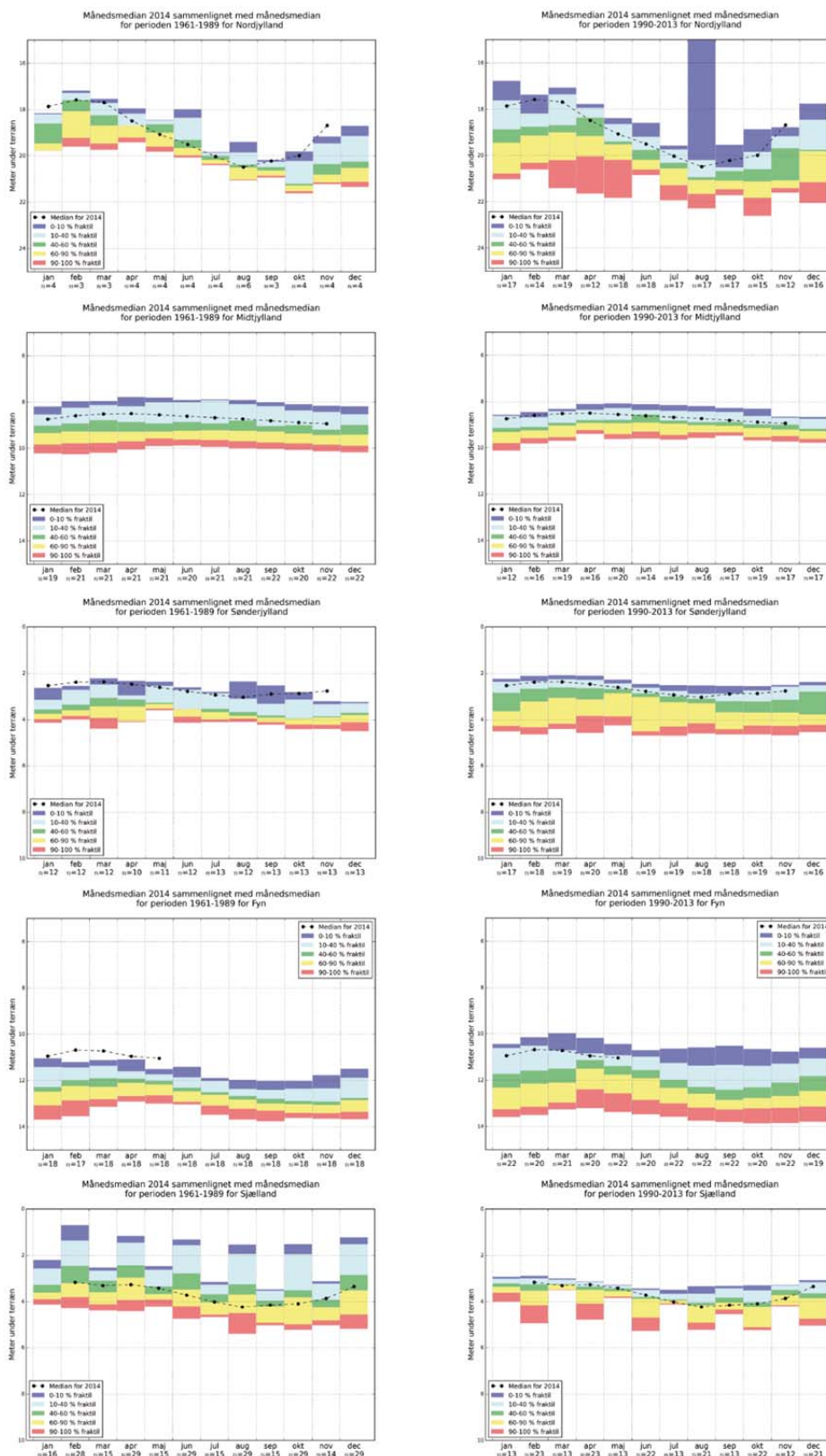
Månedsmedian 2014 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1961-1989 for Midtjylland



Månedsmedian 2014 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2013 for Midtjylland



Figur 65. Pejleserie (vandstand i m u.t.) for året 2014, sammenstillet med månedsværdier for henholdsvis 1961-1989 og 1990-2013. DGU nr. 76.853, Midtjylland.



Figur 66. Pejleserie (vandstand i m u.t.) for året 2014, for de 5 indtag Figur 63, sammenstillet med månedsværdier for henholdsvis 1961-1989 og 1990-2013. Se bilag 1 for flere detaljer.

Referencer. Det Nationale Pejlenet

Dansk og EU lovgivning, vejledninger mv.

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

Miljøministeriet, 2013: LBK nr. 1606 af 26/12/2013. Lov om vandplanlægning (Miljømålsloven)

Andre referencer

DMI, 2015: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (07.06.2015)

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf . (5.11.13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (25.08.2014)

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>

Links:

NOVANA hjemmeside:

www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/ (19.08.14)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (19.08.14)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (07.06.2015)

11 Referencer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2007: Dataansvarsaftalen, <http://internet.miljoeportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalen%20Bilag%203%20Grundvand.pdf> (26-08-2014)
- Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009. Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)
- Miljøministeriet, 2009a: LBK nr. 1427 af 04/12/2009. Bekendtgørelse af lov om forurenede jord (Jordforureningsloven)
- Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om fastsættelse af miljømål for vandløb, søer, kystvand, overgangsvande og grundvand, nr. 902 af 17/8/2011
- MiM, 2011a: Miljøministeriet, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen pr. 1 jan 2012)
- Miljøministeriet, 2013: LBK nr. 1199 af 30/09/2013 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)
- Miljøministeriet, 2013a: LBK nr. 1606 af 26/12/2013. Lov om vandplanlægning (Miljømålsloven)
- Miljøministeriet, 2014a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 231, 5 marts 2014 (Analyse kvalitetsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2014c: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 948 af 22. august 2014.
- Miljøministeriet, 2015: Bekendtgørelse af lov om forurenede jord. Miljø og fødevarerministeriets bekendtgørelse nr. 895 af 3. marts 2015. (Jordforureningsloven)
- Miljø og fødevarerministeriet, 2015: BEK nr.1070 af 09/09/2015: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvand og grundvand.
- Miljøstyrelsen, 1988: Sammenstilling af det totale overvågningsprogram i henhold til vandmiljøplanen, okt. 1988.
- Miljøstyrelsen, 1990: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.
- Miljøstyrelsen, 1991: Overfladeaktive stoffer – spredning og effekter i miljøet. - Miljøprojekt nr. 166.
- Miljøstyrelsen, 1997: Boringskontrol på vandværker. - Vejledning fra Miljøstyrelsen 2/1997.
- Miljøstyrelsen 1999: Kvalitetskrav til visse stoffer i drikkevand. BKG 130 26/02/1999.
- Miljøstyrelsen, 2000: Zonering. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen)
- Miljøstyrelsen, 2005: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 2005.
- Miljøstyrelsen, 2013: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the period 2008-20011. (83 pp)
- Miljøstyrelsen, 2014: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.
- Miljøstyrelsen, 2014a: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". http://mst.dk/media/mst/9150735/kvalitetskriterier_jord_og_drikkevand_maj_2014.pdf (11. august 2015).
- Miljøstyrelsen, 2015: Drikkevandskvalitetskriterium og jordkvalitetskriterium for PFOA, PFOS og PFOSA. <http://mst.dk/media/131330/pfoa-pfos-pfosa-datablad-final-27-april-2015.pdf>
- Miljøstyrelsen, 2015: Faktaark om kemikalierreglerne. Miljøstyrelsen har udarbejdet en række faktaark med informationer om udvalgte emner inden for kemikalielovgivningen. <http://mst.dk/virksomhed-myndighed/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierreglerne/> (11. august 2015).
- Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)
- NST, 2014. Status for drikkevandsboringer, notat, 7. marts 2014. http://naturstyrelsen.dk/media/nst/4523107/status_for_drikkevandsboringer.pdf

REFLAB, 2015: M68. Metodedatablad for Perfluorerede alkylsyreforbindelser (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. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)

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

EU, 2009: Kommissionens direktiv 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 200/60/EF. P1-36. (Analysekvalitetsdirektivet)

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

Albers, C. N., 2010: Natural halogenated compounds in forest soils: formation, leaching, emissions and spatiotemporal patterns of chloroform and related compounds. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland rapport 17/2010. Ph.d. afhandling, Roskilde Universitet 2010.

Albers, C. N., Laier, T. og Jacobsen, O.S. 2010: Kloroform i jord og grundvand. Vand og jord, 17:156-158.

Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp.

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L., 2015: Landovervågningsoplande 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, S., Thorling, L., Brüsch, W., Ernstsen, V., Ellermann, T. og Bossi, R., 2015: Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus universitet. Rapport nr. 142

Brüsch W. & Rosenberg P. 2008. Fund af glyphosat og AMPA i drikkevand fra små vandforsyningsanlæg i Storstrøms Amt. *Miljøstyrelsen, Miljøprojekt nr. 1163, 2008.*

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

DMI, 2015: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (07.06.2015)

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

Enevoldsen, R. og Juhler, R.K. 2010. Afrapportering af NOVANA screeningsundersøgelse: Afklaring af mulig forekomst af PFOS, PFOA og lignende PFC forbindelse i grundvand. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland, 2010.

Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning.

GEUS, 2008: Teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen.

Hansen, B., Mossin L., Ramsay L., Thorling L., Ernstsen V., Jørgensen J., og Kristensen M., 2009: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6. GEUS, Særdgivelse <http://gk.geus.info/xpdf/kemisk-grundvandskortlaegning20110325.pdf> (25.08.14)

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

- Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. *Environmental Science and Technology*, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.
- Hansen, B., Dalgaard, T., Thorling, L., Sørensen, B. & Erlandsen, M., 2012. Regional analysis of groundwater nitrate concentrations and trends in Denmark in regard to agricultural influence. *Biogeosciences*, vol. 9, 5321-5346, 2012.
- Henriksen, H., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, L.F. & 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>
- Henriksen, H., Stisen, S., Trolborg, L., He, X. & Jørgensen, L.F. 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>
- Hensel D.R., 2006: Fabricating data: How substituting values for nondetects can ruin results, and what can be done about it. *Chemosphere* 65, 2006, 2434 – 2439.
- 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, Prækvarter Varv-kort.
- Jacobsen, O.S., Laier, T., Juhler, R.K., Kristiansen, S.M., Dichmann, E., Brinck, K., Juhl, M.M., Grøn, G., 2007: Forekomst og naturlig produktion af chloroform i grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.
- Kudsk, P., 1999: Danmarks Jordbrugsforskning, Flakkebjerg. <http://www.fsp.dk/planteavl/Additivers%20indflydelse.htm>
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Laier, T., 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
- Larsen, C.L., under udarbejdelse: Notat vedr. datapådeligheden for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen – en opsummering. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.
- Mielby, S., Ditlefsen, C. og Olesen, H., 2009: "Geovejledning 4. Potentialekortlægning. Vejledning i udarbejdelse af potentialekort". GEUS, 2009:
- Nielsen, A.M., Hansen, B., Ernsten, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokalitet 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport, 2014/82.
- Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivekridtet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008. <http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (18-8-15)
- Nygaard, E.(red) 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zoner. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (18-8-15)
- Post, V.E.A. og von Asmuth, J.R., 2013: Hydraulic head measurements – new technologies, classic pitfalls. *Hydrogeology Journal* nr 21, 2013, p. 737-750.
- Postma, D., Boesen, C., Kristiansen, H. & Larsen, F. (1991): Nitrate Reduction in An Unconfined Sandy Aquifer - Water Chemistry, Reduction Processes, and Geochemical Modeling. *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 pp89-102.
- 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)
- 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)

- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, 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 (25.08.2014)
- Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (25.08.14)
- Thorling, L., Brüsich, 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 (20.08.15)
- 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 (19.3.15)
- Thorling, L., Hansen, B. og Magid, J., 2010: Opløst organisk fosfor i grundvand? Vand og Jord pp. 20-23, vol. 17, feb. 2010.
- Trolborg, L., Sørensen, B.L., Kristnensen, 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 (19.3.15)
- Tsitonaki, K., Jepsen, T.S. og Larsen, T.H. 2014: Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder. Miljøprojekt nr. 1600. Miljøstyrelsen.
- Tuxen N., Roost, S., Kofoed, J.L.L., Aisopou, A., Binning, P.J., Chambon J., Bjerg, P.L., Thorling, L., Brüsich, W. og Esbensen, K., 2013. Skelnen mellem pesticidkilder. Miljøprojekt nr. 1502, Miljøstyrelsen 2013.
- Voutchkova, D.D., Kristiansen, S.M., Hansen, B., Ernstsen, V., Sørensen, B. & Esbensen, K., (2014) Iodine concentrations in Danish groundwater: historical data assessment 1933-2011. In: Environmental Geochemistry and Health, (2014) DOI [10.1007/s10653-014-9625-4](https://doi.org/10.1007/s10653-014-9625-4)
- Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Larsen, S.E., Thodsen, H., Ovesen, N.B., Bjerring, R., Kronvang, B., Kjeldgaard, A., 2015: Vandløb 2013, DCE videnskabelig rapport nr. 121, 2015.

Links og hjemmesider:

- Beredskabsstyrelsen. Kemikalieberedskab: http://brs.dk/beredskab/eksperter/kemisk_beredskab/Pages/kemikalieberedskab.aspx# (11. august 2015)
- DMI, Dansk meteorologisk institut, hjemmeside: www.dmi.dk (25.08.2014)
- EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (19.8.2014)
- GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (25.08.2014)
- Grundvandskortlægningens hjemmeside hos naturstyrelsen: www.naturstyrelsen.dk/vandmiljoe/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/ (19.8.2014)
- Grundvandskortlægningens hjemmeside hos GEUS: www.geus.dk/DK/water-soil/mapping/groundwater-mapping/Sider/default.aspx (3.2.2015)
- Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.08.2014)
- Jordforurening, hjemmeside, www.jordforurening.info (19.08.2014)
- JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (19.08.2014)

Netdoktor.dk/vitaminer/fosfor (29-6-2015)

NOVANA hjemmeside:

[www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National naturbeskyttelse/Overvaagning af vand og natur/](http://www.naturstyrelsen.dk/Naturbeskyttelse/National_naturbeskyttelse/Overvaagning_af_vand_og_natur/) (19.08.14)

DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (25.08.2014)

STANDAT og STANCODE hjemmesiden, DCE, 2014: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (11-8-2015)

Sundhedsstyrelsen, 2012: Kemikalier og helbredseffekter – informationsmateriale til sundhedspersonale.

file:///C:/Users/ve/Downloads/KemiOgHelbred.pdf.pdf. (11. august 2015)

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (25.08.2014)

Varslingssystemet for pesticider: www.pesticidvarsling.dk (25.08.2014)