

Grundvand

Status og udvikling 1989 – 2016

GEUS 2018

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling
Claus Ditlefsen
Vibeke Ernstsén
Birgitte Hansen
Anders R. Johnsen
Lars Troldborg

Dato 26.febr. 2018

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets status og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2016 som led i Den Nationale Grundvandsovervågning (GRUMO) og Landovervågning (LOOP). Grundvandskvaliteten i vandværksboringerne fra de almene vandværker præsenteres med udgangspunkt i boringskontrollen, der er en del af vandværkernes egenkontrol. Oplysninger om vandindvindings størrelse rapporteres på basis af oplysninger fra indvindere af grundvand og overfladevand; vandværker, industrier, markvandere mv.

De indsamlede data er præsenteret i en række figurer og tabeller, der hvert år opdateres i den løbende rapportering. Med udgangspunkt heri præsenteres supplerende resultater og konklusioner. Derudover kan der være en uddybende datapræsentation i varierende omfang, typisk i form af et tema. Paradigmet for rapporten er til dette års rapport blevet revideret. Det betyder blandt andet, at selve strukturen af rapporten er ændret i forhold til tidligere. Selve hovedrapporten er forkortet og omstruktureret, og der er oprettet tre appendiks, der indeholder baggrundsviden om metoder, stationsnet og anden nødvendig faglig baggrundsviden. Den hidtidige resume-rapport er nu erstattet af en længere sammenfatning end hidtil i kapitel 1, hvor også figurer, der findes i fagkapitlerne, optræder. Sammenfatningen vil kunne findes som selvstændig fil i den elektroniske rapportering, som det var tilfældet med den tidligere resumérapport. Ikke alle emner rapporteres hvert år. Organiske mikroforureninger, sporstoffer, resultater fra redox-boringerne samt en opdateret vurdering af grundvandets nitratindhold ud fra grundvandets opholdstid ved brug af aldersdateringer indgår derfor ikke i dette års rapport.

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

Rapporten udkommer alene elektronisk på GEUS' hjemmeside www.geus.dk.

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

Vandindvinding	Lars Trolborg
Det Nationale Pejleprogram	Claus Ditlefsen
Nitrat	Birgitte Hansen
Fosfor og andre Hovedbestanddele	Lærke Thorling
Pesticider	Anders R. Johnsen
Appendiks 1: Datagrundlag og metoder	Lærke Thorling
Appendiks 2: Stationsnet	Vibeke Ernstsén
Appendiks 3: Grundvandets Strømning	Lærke Thorling og Flemming Larsen

© 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., Ditlefsen, C., Ernstsén, E., Hansen, B., Johnsen, A.R., & Trolborg, L., 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018.

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning.....	4
1.1 Grundvandsressourcen og dens udnyttelse	4
1.2 Nitrat	6
1.3 Pesticider.....	11
1.4 Fosfor.....	20
2 Formål	22
2.1 Retligt grundlag for overvågningen.....	23
2.2 Rapportering af data fra grundvandsovervågningen	24
3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram	27
3.1 Vandindvinding	27
3.2 Det nationale pejleprogram	31
4 Nitrat.....	38
4.1 Sammenligning af datasæt	38
4.2 Grundvandsovervågningen.....	41
4.3 Landovervågningen.....	47
4.4 Vandværksboringer.....	51
5 Pesticider	54
5.1 Grundvandsovervågningen.....	56
5.2 Vandværksboringer.....	66
5.3 Grundvandsovervågning og boringskontrol: sammenligning af de hyppigst fundne stoffer i de to overvågningsprogrammer.	73
6 Fosfor	77
6.1 Grundvandsovervågningen.....	80
6.2 Landovervågningen.....	80
6.3 Vandværksboringer.....	82
7 Referencer.....	84
Appendiks 1: Datagrundlag og metoder	89
Appendiks 1.1: Analyseindsats og dataindsamling.....	89
Appendiks 1.2: Metoder til databehandling	92
Appendiks 1.3: Repræsentativitet og bias	95
Appendiks 2: Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen	99
Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram.....	100
Appendiks 2.2: Grundvandsovervågning - vandkvalitet.....	101
Appendiks 2.3 Vandværksboringer.....	105
Appendiks 3: Grundvandets strømning og opholdstid	108
Appendiks 3.1 Grundvandets hydrogeologi	108
Appendiks 3.2 Grundvandets Opholdstid.....	114

1 Sammenfatning

1.1 Grundvandsressourcen og dens udnyttelse

Indledning

De seneste 100 år har nedbørsmængden i Danmark været stigende. Nedbøren er således i den seneste klimaperiode fra 1991 til 2015 steget 4,4 % i forhold til den sidste klimaperiode fra 1961 til 1990. I absolutte tal er den gennemsnitlige årsnedbør de seneste 30 år steget med 33 mm, hvilket kan have medført en højere grundvandsstand i dele af landet. Højere grundvandsstand må især forventes at optræde i områder, der ikke er kunstigt drænet. I drænedede områder vil en større nedbør især øge vandtilstrømningen til vådområder via drænvandsafstrømningen. Overordnet har GEUS tidligere vurderet, at grundvandsstanden efter år 2000 er steget med op til 1-2 m primært som følge af øget nedbør, (se Thorling mfl. 2016), hvilket pejledataene fra 2016 generelt underbygger.

Drikkevandsforsyningen i Danmark er baseret på oppumpning af grundvand med Christiansø som den eneste undtagelse, idet afsaltet havvand her også benyttes som drikkevand. Omkring 2.600 almene vandværker står for hovedparten af grundvandsindvindingen til drikkevand. Derudover indvindes der grundvand fra en række ikke-almene vandforsyninger, som hver forsyner mellem én og ni husstande.

Markvandingen udgør en stærkt svingende andel af den samlede oppumpning, og udgør i tørre år samlet set knap halvdelen af den samlede oppumpning af grundvand i Danmark med meget store regionale forskelle.

Miljømål og formål med overvågningen af ressourcen

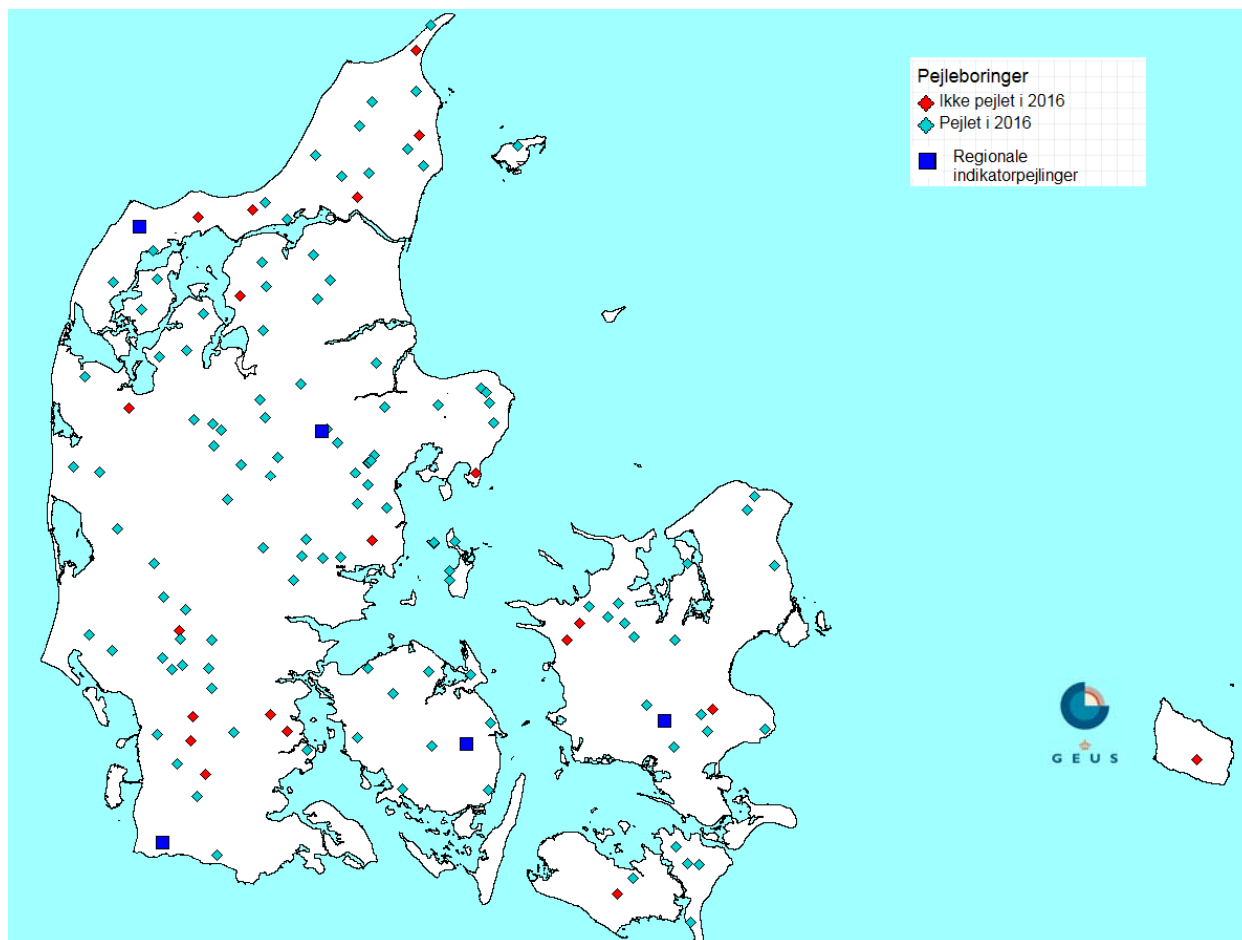
Grundvandsressourcen overvåges med henblik på en vurdering af den generelle vandbalance så det sikres, at udnyttelsen ikke overskrider den tilgængelige vandressource på langt sigt.

Datagrundlaget

Grundvandsstanden registreres under Det Nationale Pejleprogram med automatisk dataopsamling i ca. 150 pejlestationer, se figur 1. Opgørelsen over indvinding af grund- og overfladevand er baseret på et udtræk fra Jupiter databasen pr. 1. april 2017. Udtrækket dækker perioden 1989 til 2016 med indberetninger fra amterne frem til 2007 og herefter fra kommunerne.

Status og udvikling

Grundvandsstandens status og udvikling er vurderet ud fra lange pejleserier inden for fem geografiske områder. Generelt viser data fra 2016 en ubrudt videreførelse af tendenserne fra de forrige år, både hvad angår størrelsen af de årlige variationer og en fortsat svagt stigende tendens i vandspejlets beliggenhed i perioden 2010 til 2016. Dette gælder dog ikke pejleboring 155.184 på Fyn, hvor vandspejlet i 2016 generelt har været faldende. Dette skyldes muligvis lokale forhold, som har spillet ind i 2016, da en sådan aftagende tendens ikke ses i de øvrige ni pejleboringer på Fyn.



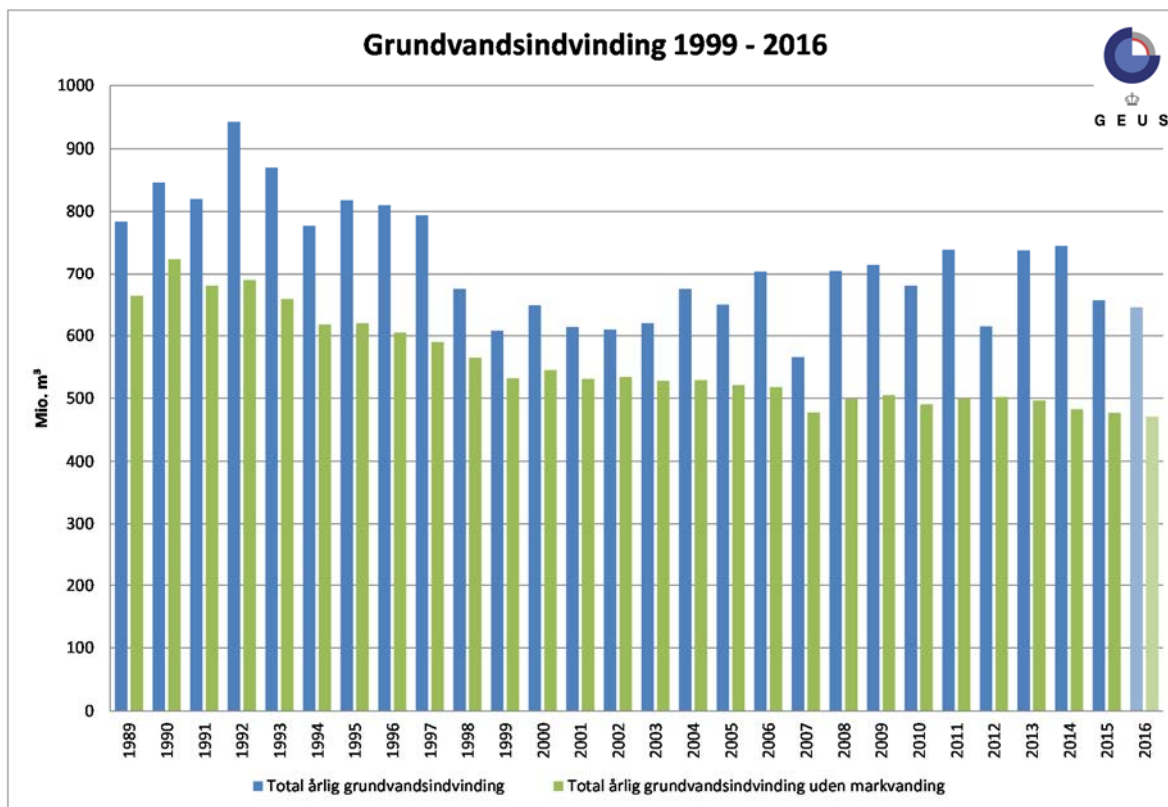
Figur 1. Geografisk fordeling af borer med en pejlestation i det Det Nationale Pejleprogram. Lyseblå og rød signatur viser de pejleboringer der var aktive/ passive i 2016. En detaljeret præsentation af resultaterne for de 5 pejlestationer med mørkeblå signatur kan findes i appendiks 2.

Figur 2 viser indvinding af grundvand med og uden markvanding for perioden 1989-2016. Den samlede årlige indvinding (uden markvanding) var omkring 1990 på 700 mio. m³/år, og har faldt frem til 1999 til omkring 500 mio. m³/år, og har en svagt faldende tendens i perioden 1999-2016 fra omkring 500 mio. m³/år til ca. 475 mio. m³/år, og lå i 2016 på 472 mio. m³/år. Oppumpning til markvanding har de seneste 15 år ligget mellem ca. 100 og 300 mio. m³/år med store variationer fra år til år afhængigt af nedbørsmængden.

For de almene vandværker faldt indvindingen fra årene 1989 til 2000 fra omkring 600 mio. m³ til 400 mio. m³/år. (Figur 19 i hovedrapporten). Derefter faldt forbruget langsomt, og lå i 2016 på ca. 370 mio. m³/år. Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "Erhvervsvandning") var i 2016 omkring 236 mio. m³, hvilket er over medianen (210 mio. m³/år) for hele perioden (1989-2016).

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding udviser en svagt faldende tendens fra 1989 til 2016, bortset fra et større forbrug i 2014, som svarer til medianen for hele perioden.

Indvindingen af overfladevand i Danmark er halveret i perioden 1989-2016 og ligger nu omkring 10 mio. m³/år. Overfladevand indgår ikke i drikkevandsforsyningen.



Figur 2. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2016) baseret på indberettede data. Data fra 2016 er justeret med skøn over manglende rapportering og er vist med nedtonede farver.

1.2 Nitrat

Indledning

Nitrat i grundvandet er uønsket både af hensyn til drikkevandskvaliteten og på grund af risikoen for påvirkning af det øvrige vandmiljø. Det skyldes, at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering ved udstrømning til overfladevand, og at nitrat i drikkevandet kan være sundhedsskadeligt.

Miljømål og formål med overvågningen

Kravværdien til nitrat i såvel grundvand som drikkevand er både nationalt og i EU fastsat til 50 mg/l. Omkring 16 % af Danmarks areal er i indsatsplanerne udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder (Miljø og fødevareministeriet, 2017d).

Datagrundlag

Der udtages vandprøver fra indtag fra tre forskellige typer af borer: GRUMO-, LOOP- og vandværksboringer. GRUMO- og LOOP-boringerne dækker grundvandsdelen af det nationale overvågningsprogram NOVANA. GRUMO-indtagene findes i grundvandsboringer med dybder ned til mere end 100 m u. terræn, LOOP-indtagene er korte overfladenære borer etableret for at følge udvaskning af nitrat til højtliggende grundvand under dyrkede arealer. Data fra de aktive vandværksboringer stammer fra den lovpligtige boringskontrol.

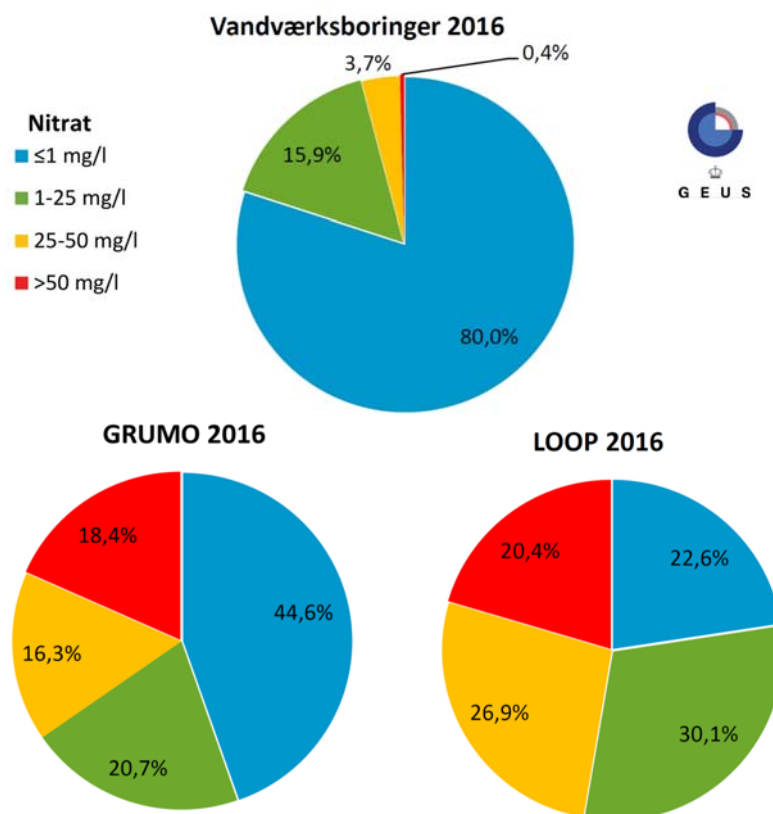
I tabel 1 ses datagrundlaget til denne rapportering af grundvandets indhold af nitrat for perioden 2012-2016. Der udtages hvert år sammenlagt omkring 3.000 vandprøver fra de tre typer af indtag. Der indgår et varierende antal GRUMO-indtag fra år til år, da indtagene prøvetages med forskellig hyppighed.

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	I alt
Årstal	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver
2012	1.097	514	1.754	3.365
2013	721	455	1.767	2.943
2014	1.001	485	1.742	3.228
2015	743	468	1.731	2.942
2016	773	413	1.743	2.929
2012-2016	4.335	2.335	8.737	15.407

Tabel 1. Antal prøver analyseret for nitrat fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer for hvert år og den samlede periode 2012-2016.

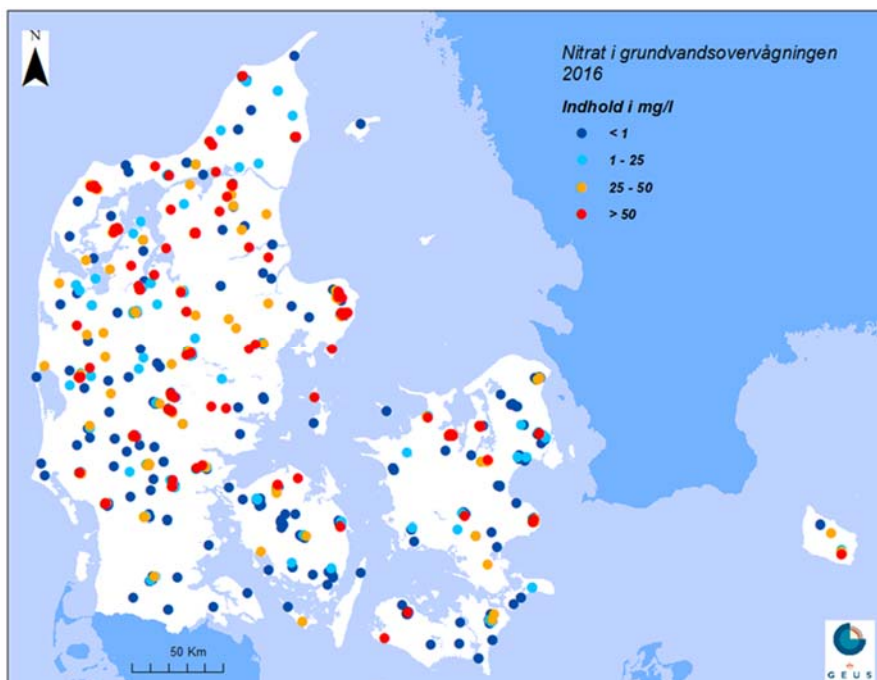
Status og udvikling

Figur 3 viser indholdet af nitrat i GRUMO- og LOOP-indtag samt aktive vandværksboringer, der er prøvetaget i 2016. Nitrat er beregnet som årligt gennemsnit for de enkelte indtag. I omkring 18 % af GRUMO- og 20 % af LOOP-indtagene lå nitratindholdet over 50 mg/l, mens der i under 1 % af indtagene i vandværksboringer var over 50 mg/l nitrat. I GRUMO- og LOOP-indtagene er nitratkoncentrationen mellem 25 og 50 mg/l i hhv. ca. 16 og 27 % mod blot 3,7 % i vandværksboringer. Nitratfrit grundvand (dvs. nitratkoncentration ligger under 1 mg/l) er fundet i ca. 45 % af GRUMO-, i ca. 23 % i LOOP-indtagene og i ca. 80 % af vandværksboringerne.



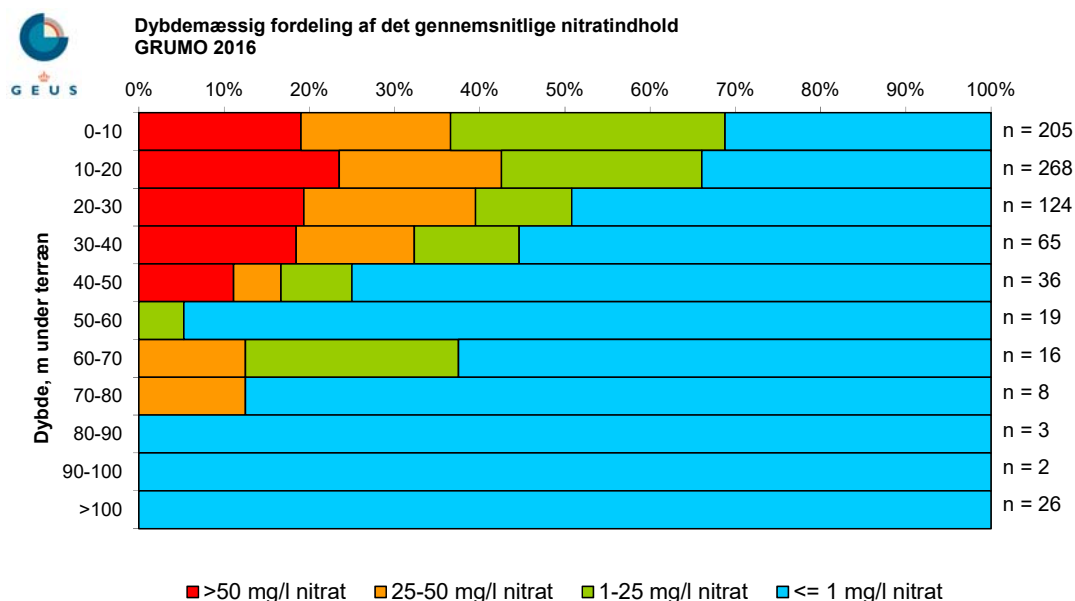
Figur 3. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold 2016 i 773 GRUMO-, 92 LOOP-indtag og 1692 aktive vandværksboringer.

Figur 4 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 2016 i GRUMO-indtag, hvoraf det ses, at nitratindhold over kravværdien på 50 mg/l er fundet jævnt fordelt i hele landet.



Figur 4. GRUMO. Nitratindholdet i grundvand i 2016 (773 GRUMO-indtag). Nitratindholdet er opdelt på fire koncentrationsklasser. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

Figur 5 viser dybdefordelingen for nitrat i GRUMO-indtag prøvetaget i 2016 opdelt i 10 meters intervaller. I de to øverste dybdeintervaller fra 0-20 meter under terræn (m u.t.) indeholder omkring 68 % af indtagene nitrat. I de øverste 10 m ligger nitratkoncentrationen over 50 mg/l i knap 20 % af indtagene, mellem 25 og 50 mg/l i omkring 18 % af indtagene og mellem 1 og 25 mg/l i omkring 32 % af indtagene. Koncentrationerne og deres indbyrdes fordeling er omtrent den samme i intervallet 10-20 m u.t., dog er der flere indtag (ca. 24 %) med koncentrationer over 50 mg/l.



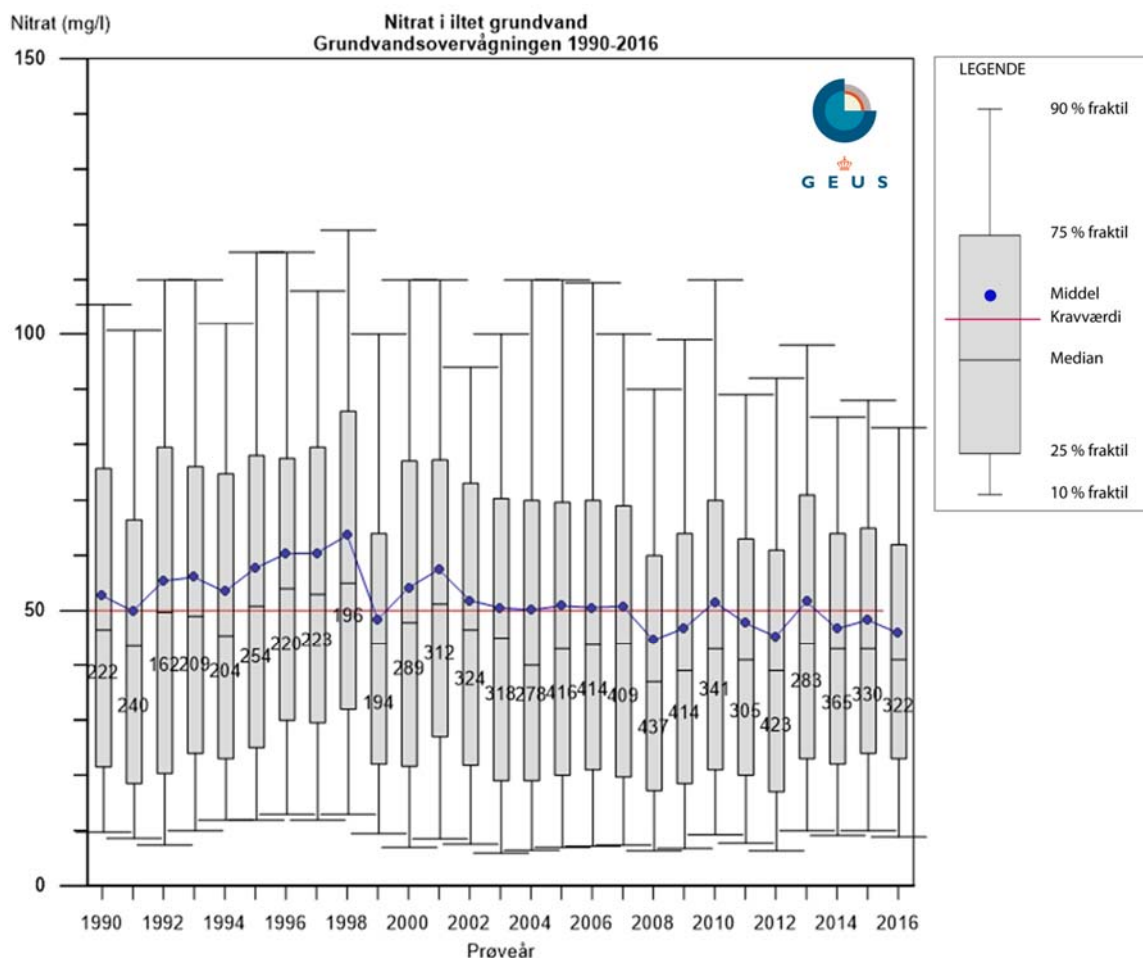
Figur 5. GRUMO. Dybdemæssig fordeling til top af indtag i m u.t. af det gennemsnitlige nitratindhold i 2016 (772 GRUMO-indtag) opdelt i fire koncentrationsklasser. Rød signatur viser andel af indtag med koncentrationer over kravværdien på 50 mg/l. Antal indtag i hvert dybdeinterval er vist til højre for figuren.

Fra intervallet 20-30 m u.t. til 40-50 m u.t. ses et gradvist fald i de prøvetagede indtags nitratindhold, der hovedsageligt skyldes naturlig nitratreduktion i grundvandsmagasinerne, hvilket også resulterer i, at den relative andel af indtag i reduceret grundvand stiger med dybden (indtag med nitrat ≤ 1 mg/l). Der er ikke påvist nitrat i koncentrationer over 50 mg/l dybere end 50 m u.t. i GRUMO-indtag og fra 80 m u.t. ligger indholdet af nitrat under 1 mg/l. Bemærk, at antallet af indtag, der ligger dybere end 50 m u.t., er meget lavt.

Figur 6 viser det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO-indtag fra 1990-2016 i forhold til prøvetagningstidspunktet. Figuren er baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag. Det iltholdige grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktillerne samt gennemsnitsværdi (middelværdi) og kravværdi er vist.

Figuren viser nitratindholdet i grundvandet på prøvetagningstidspunktet og afspejler ikke en egentlig tidslig udvikling af påvirkningen fra nitratudvaskningen. Det skyldes, at strømningstiden er fra få år og op til 50 år før grundvandet når indtagene, således som dateringerne af grundvandet har vist.

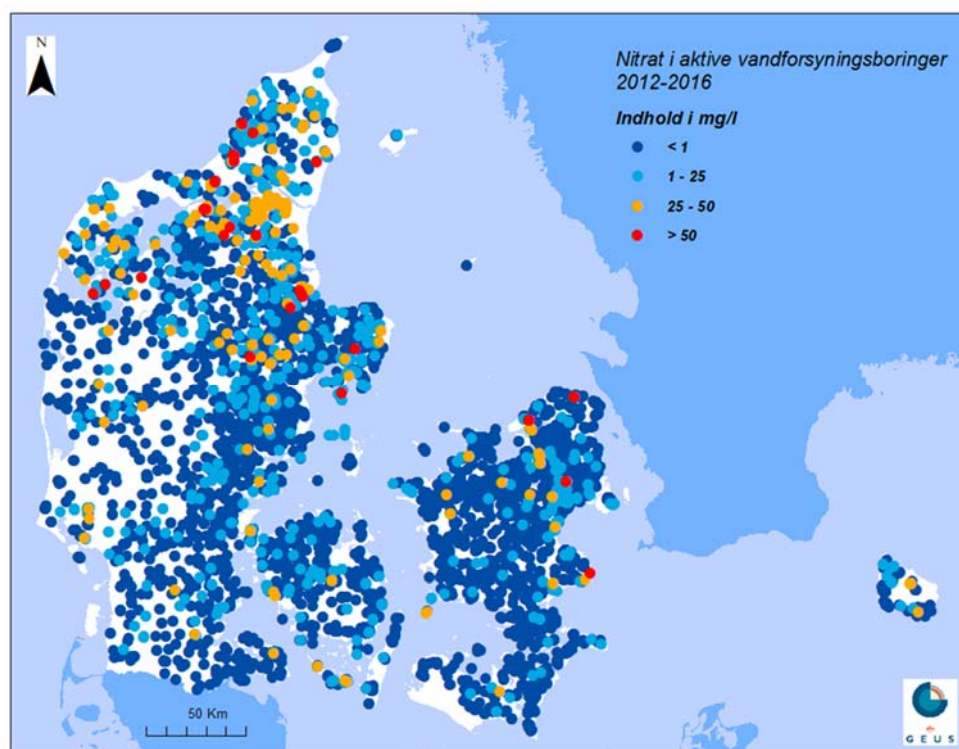
Nitratindholdet i det iltholdige grundvand udviser alle år en stor spredning. Medianværdien ligger igennem hele overvågningsperioden noget under gennemsnitsværdien, hvilket indikerer, at der forekommer enkelte meget høje nitratværdier. De højeste median- og gennemsnitsværdier ses i 1996-1998. De seneste 10 år har middelværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l, dog med flest årlige middelværdier under kravværdien og en tendens til at færre indtag viser meget høje koncentrationer (faldende 90 % fraktil).



Figur 6. GRUMO. Tidsserie for nitrat i iltholdigt grundvand i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2016. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag pr. år. Antal af indtag er angivet for hvert år.

Figur 7 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer gennem de seneste fem år (2012-2016), beregnet som gennemsnittet for perioden 2012-2016 af det årlige gennemsnit for nitrat i de enkelte indtag.

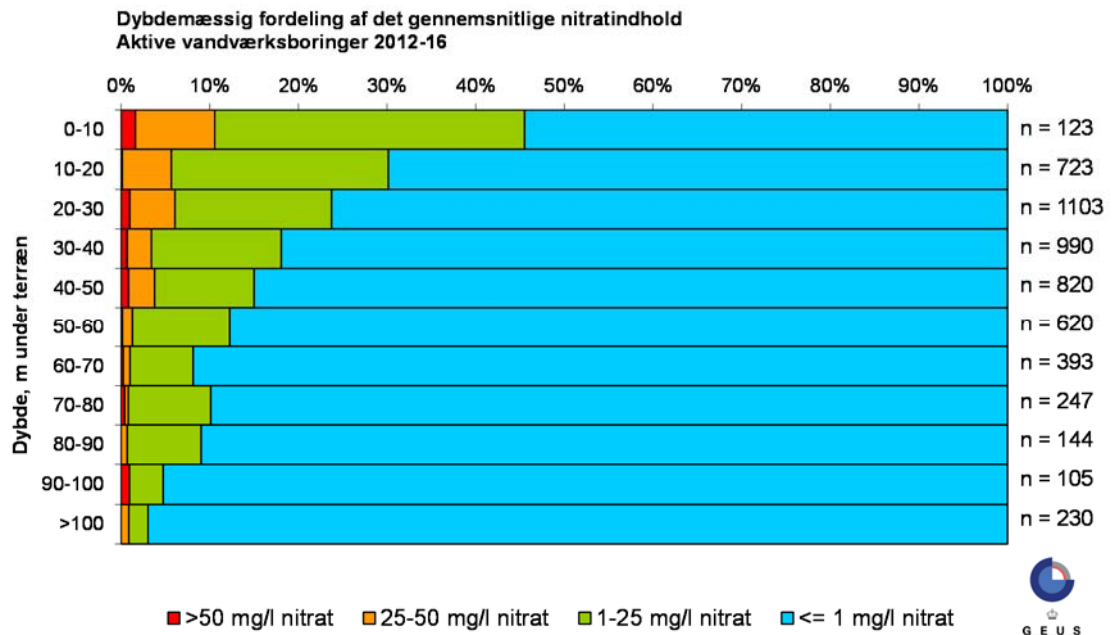
De højeste nitratkoncentrationer i vandværksboringer optræder især i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette skyldes en ringe naturlig beskyttelse af grundvandsmagasinerne i disse områder som følge af manglende beskyttende, lerede dæklag og en relativt dybtliggende nitratfront, som er den maksimale dybdemæssige udbredelse af nitrat i grundvandsmagasinerne.



Figur 7. Boringskontrollen. Nitratindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer (5.951) fordelt på fire koncentrationsklasser. Data viser gennemsnit pr. indtag for perioden 2012-2016. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

Figur 8 viser dybdefordelingen af nitrat i aktive vandværksboringer i perioden 2012-2016. Nitratkoncentrationerne er lavere i vandværksboringerne sammenlignet med nitrat i GRUMO-indtagene (Figur 5). I de aktive vandværksboringer blev der dog i 2012-2016 påvist nitrat med koncentrationer over 50 mg/l i enkelte boringer ned til 70-80 m u.t. Der er et gradvist fald i nitratindholdet ned til omkring 80 m u.t. Der er fundet nitratkoncentrationer over 25 mg/l ned til de dybeste indvindingsboringer, dybere end 100 m u.t.

Udbredelsen af nitrat på større dybder i vandværksboringerne kan forekomme mange steder, hvor nitratholdigt grundvand som følge af pumpning trækkes ned til stor dybde i grundvandsmagasinerne. De generelt lavere nitratindhold i aktive vandværksboringer, sammenlignet med nitratindholdet i GRUMO-indtagene, skyldes at vandværkerne undgår indvinding fra boringer, der ikke lever op til kravværdien (Schullehner og Hansen, 2014 og DANVA, 2018)



Figur 8. Boringskontrollen. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2012-2016 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.951 indtag fra aktive vandværksboringer opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

1.3 Pesticider

Indledning

Pesticider og deres nedbrydningsprodukter kan forekomme i grundvand som følge af erhvervmæssig anvendelse eller håndtering af pesticider i skov- og jordbrug, fra virksomheders og privates anvendelse i haver og anlæg samt fra ukrudtsbekæmpelse på befæstede arealer.

Miljømål og formål med overvågning

For enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter er kravværdien i grundvand og drikkevand fastsat til 0,1 µg/l, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l. Grundvandet overvåges for dets indhold af pesticider bl.a. for at sikre, at reguleringen af pesticidforbruget har de ønskede effekter.

Datagrundlag

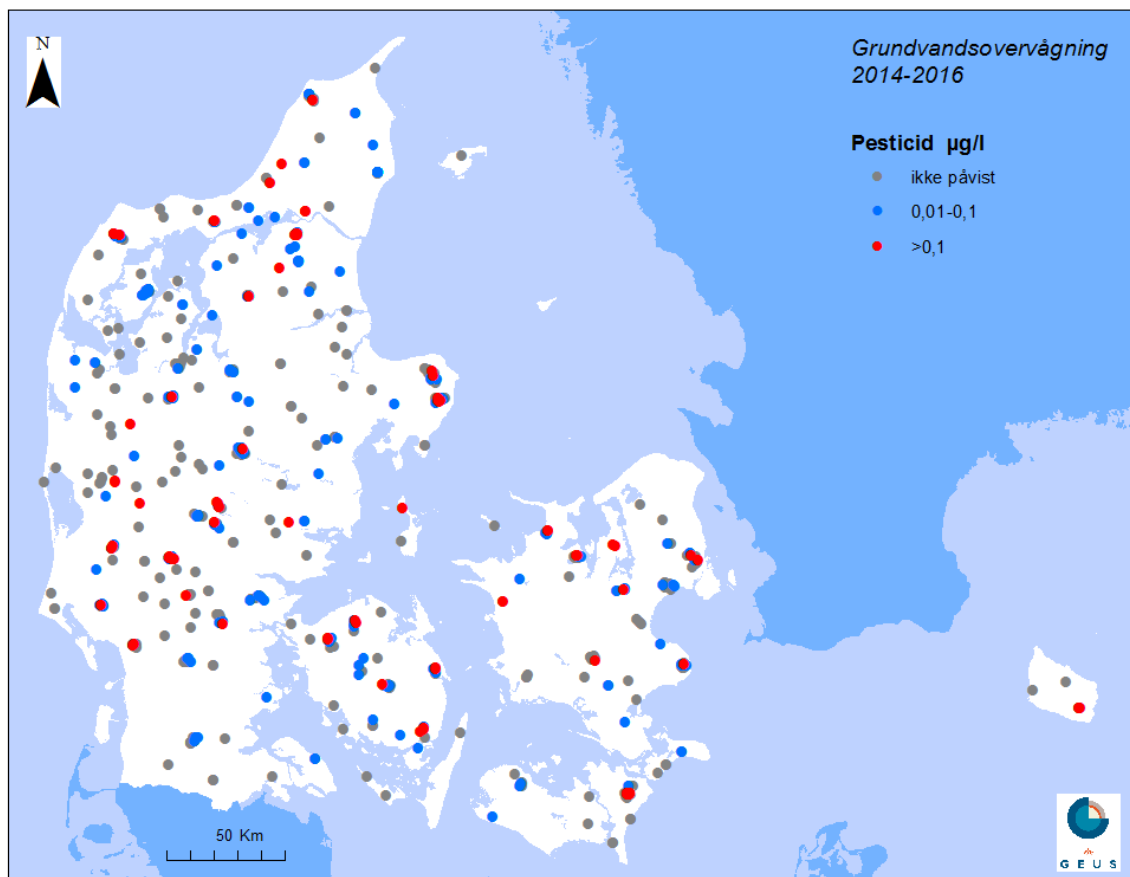
I denne rapport indgår pesticidanalyser fra perioden 1990-2016 fra grundvandsovervågningen (GRUMO-indtag) og grundvandsprøver fra aktive vandværksboringer (boringskontrol). Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet. En oversigt over analyseprogrammerne for grundvands-overvågningen gennem årene fremgår af bilag 5.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte pesticider, hvor det for regulerede pesticider gælder, at der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på pesticidernes anvendelse af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. De tilladte pesticider er således både de godkendte og de regulerede.

Ved opgørelser over pesticider tæller et indtag kun med i én koncentrationsklasse, selvom der er fundet pesticider i forskellige koncentrationer i samme prøve fra et indtag. Hvis der mindst en gang i den relevante periode er fundet mindst et stof >0,1 µg/l, tælles indtaget med som >0,1 µg/l, Hvis der kun er påvist stoffer i lavere koncentrationer tæller indtaget med i koncentrationsintervallet 0,01-0,1 µg/l. Indtag uden fund klassificeres i gruppen "ikke påvist".

Status og udvikling i grundvandsovervågningen

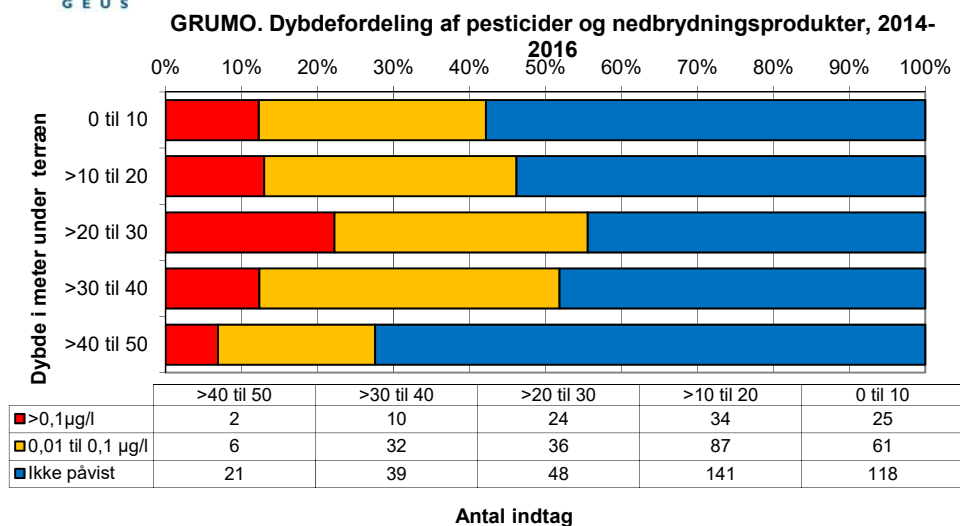
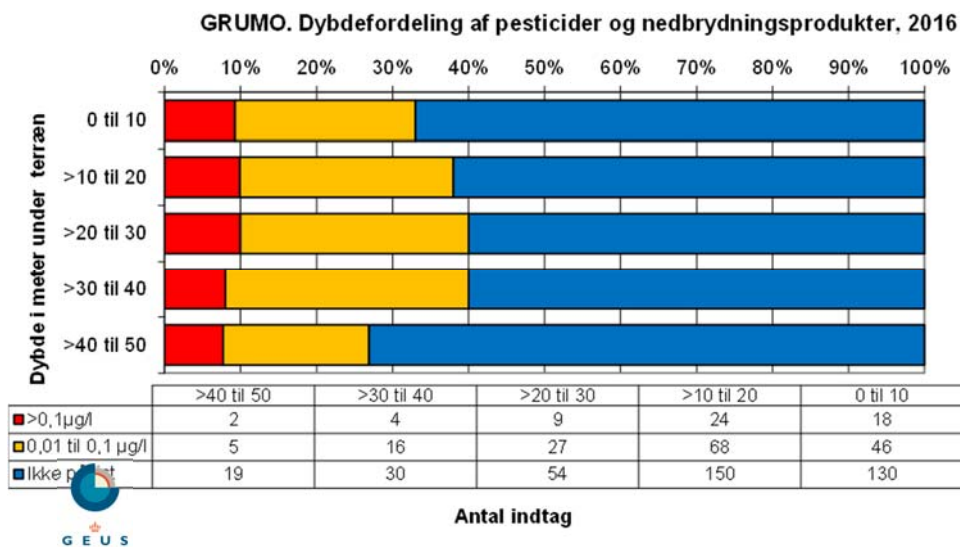
Figur 9 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag i den seneste treårsperiode 2014-2016, hvor de fleste indtag kan forventes at være analyseret mindst én gang. Det fremgår af Figur 9, at der er fundet pesticider jævnt fordelt i hele landet.



Figur 9. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag prøvetaget i perioden 2014-2016 (753 indtag). Resultaterne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1$ $\mu\text{g/l}$), mindst ét pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1$ $\mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

Figur 10 viser en dybdefordeling af pesticider i GRUMO-indtag, prøvetaget hhv. i 2016 og i treårsperioden 2014-2016. I 2016 blev der inden for hver af de anvendte dybdeintervaller påvist pesticider i 27-40 % af de undersøgte indtag.

Det fremgår af Figur 10, at der med stigende dybde ned til og med 30 m u.t. er en stigende andel af indtag med fund. Stigningen ses for såvel koncentrationer over som under kravværdien. Denne tendens ses tydeligt i periodeopgørelsen for 2014-2016. Fra 30 m u.t. og derunder er der en faldende andel af indtag med fund med stigende dybde. De fleste overskridelser af kravværdien forekommer ned til 40 m u.t. Der er kun medtaget indtag med en dybde indtil 50 m u.t. for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybdeinterval.

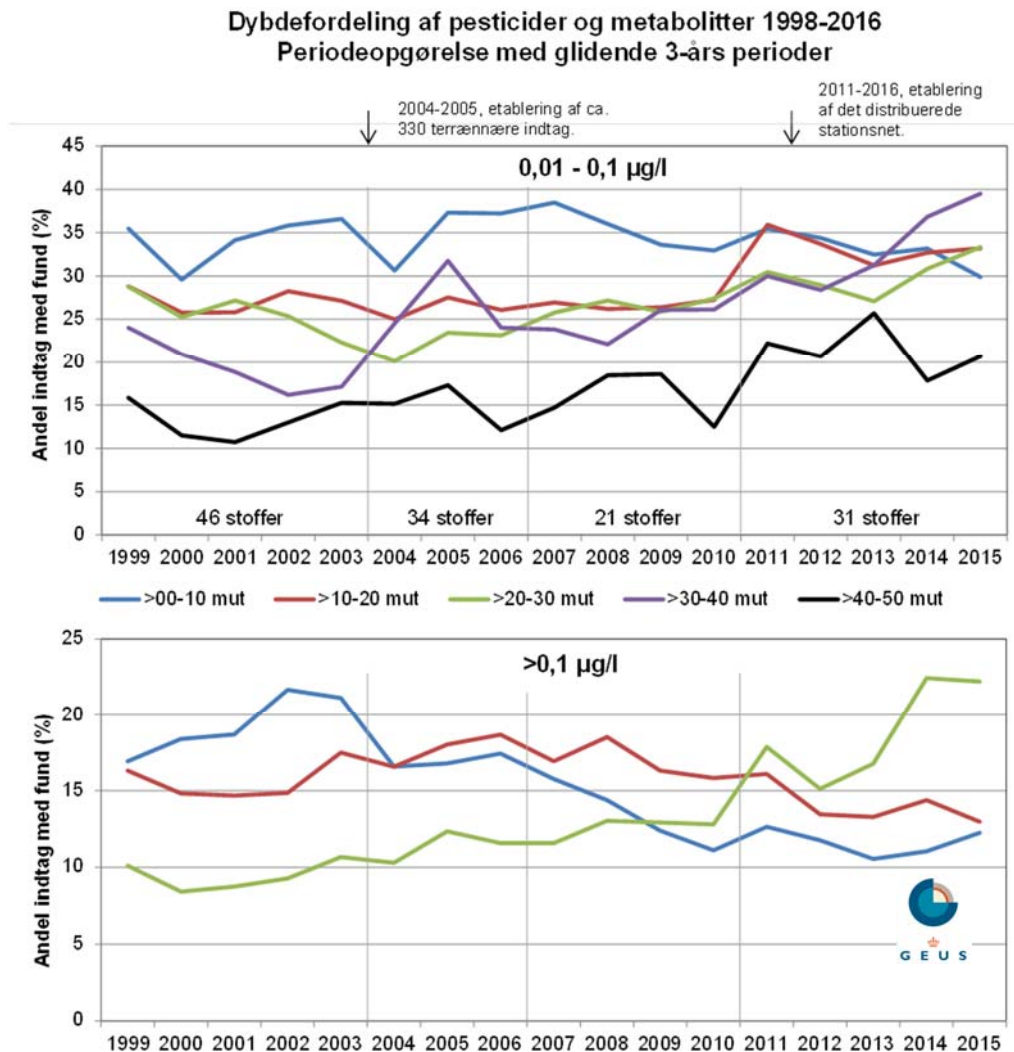


Figur 10. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider i GRUMO-indtag, der er analyseret i 2016 og perioden 2014-2016. Resultaterne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), mindst ét pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller pesticider ikke er påvist. Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser og dybder fremgår af tabellen under figuren.

Tidslig udvikling i forskellige dybder

De GRUMO-indtag, der indgår i grundvandsovervågningen, prøvetages med varierende hyppighed, hvilket betyder, at effekten af de varierende prøvetagningsfrekvenser kan mindskes ved at beregne periodeopgørelser for treårs-perioder, hvor næsten alle aktive GRUMO-indtag er prøvetaget mindst én gang, og hvor indtag tæller med som værende påvirket af pesticider, hvis der mindst én gang enten har været fund over detektionsgrænsen eller over kravværdien i tre-års perioden. Denne tilgang er anvendt i Figur 11, som også er opdelt i dybdeintervaller, så effekter af stationsnettets varierende dybdefordeling elimineres. Hvert år repræsenterer opgørelser for en tre-årsperiode (foregående, aktuelle og efterfølgende år).

Figur 11, øverste del, viser andele af GRUMO-indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Der er kun medtaget indtag indtil 50 m u.t. for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybdeinterval. Frem til 2006 er der et mindre datamateriale for det øverste grundvand og derfor større usikkerhed. Fra 2006 og fremefter indgår flere terrænnære indtag, hvilket afspejles i en tydeligt faldende tendens for dybden 0-10 m u.t. for denne tidsperiode. Fra 10 til 50 m u.t. er der generelt stigende tendens i denne tidsperiode, tydeligst i 30-40 m u.t.



Figur 11. GRUMO. Tidlig udvikling i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i 10 m's dybdeintervaller. Hvert år repræsenterer opgørelser af andelen af GRUMO-indtag, hvor mindst ét stof er påvist mindst én gang indenfor en treårs periode (foregående og efterfølgende år). Øverste figur viser udviklingen i andelen af indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Nederste figur viser udviklingen i andelen af indtag med fund over kravværdien (>0,1 µg/l). Dybderne angiver afstand fra terræn til top af indtag. Programperioder er angivet med lodrette linjer. For hver programperiode indgår forskellige stoffer i analysepakken. For fund over kravværdien er der kun tilstrækkelige data ned til 30 m u.t.

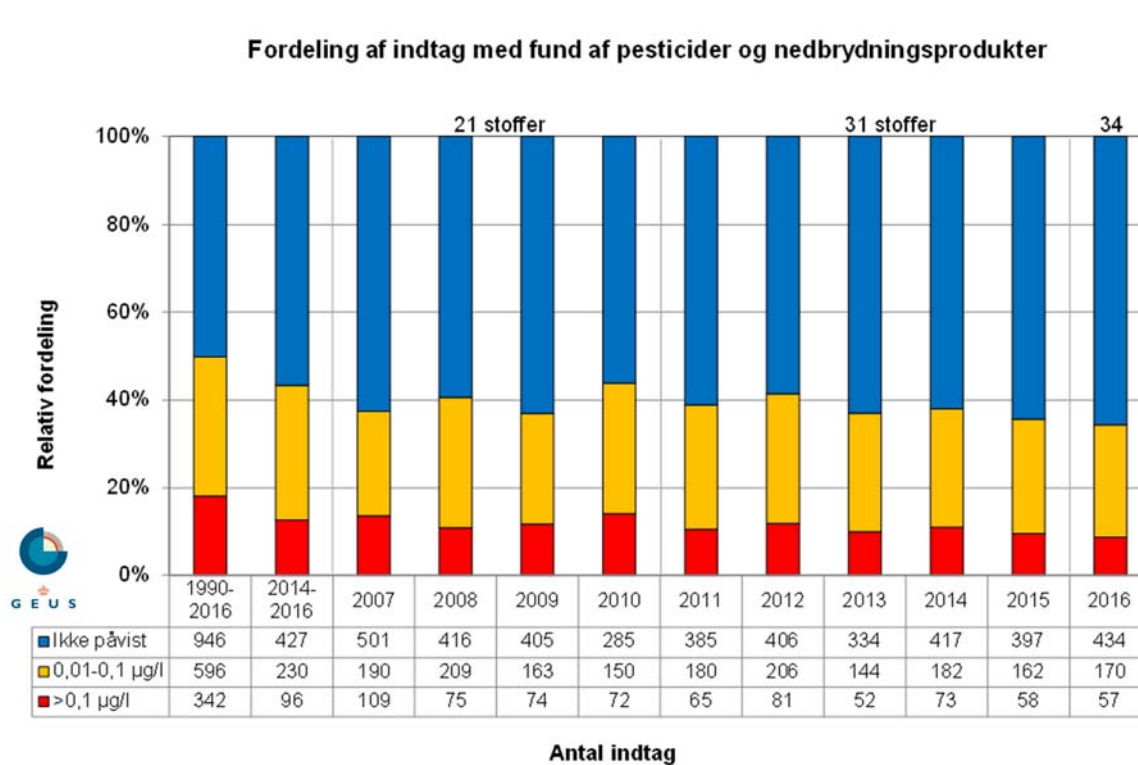
Figur 11, nederste del, viser andelen af indtag med fund over kravværdien (>0,1 µg/l). For fund over kravværdien er der kun tilstrækkelige data ned til 30 m u.t. I det øverste grundvand 0-10 m u.t. er der omkring år 2002 et skift fra stigende til faldende andele over kravværdien. I intervallet 10-20 m u.t. indtrådte skiftet fra stigende til faldende andele over kravværdien omkring 2006-2008. Faldet i andelen af indtag over kravværdien i det øvre grundvand (0-20 m u.t.) kan betyde, at den samlede udvaskning af pesticider har toppet. I intervallet 20-30 m u.t. ses der for de seneste ca. 15 år en generelt stigende tendens for andelen af fund over kravværdien, sandsynligvis fordi pesticider fra de øvre lag udvaskes til større dybde. De tidlige udviklinger er domineret af de hyppigst påviste stoffer, dvs. nedbrydningsprodukterne BAM og DEIA.

Når indtagene opdeles på dybdeintervaller, reduceres den usikkerhed, der ligger i varierende dybdefordeling. På den anden side stiger den statistiske usikkerhed, da der indgår færre indtag i hvert dybdeinterval. Dette ses ved forholdsvis store udsving på kurverne for 30-40 m u.t. og især for 40-50 m u.t., idet der er færrest indtag i disse dybder, samt mindst udsving på kurverne for 10-20 m u.t. og 20-30 m u.t.,

hvor de fleste indtag findes. Efter 2004-2005 steg antallet af terrænnære indtag og reducerede den statistiske usikkerhed på dybdeintervallet 0-10 m u.t.

Figur 12 viser udviklingen i fund af pesticider i alle undersøgte GRUMO-indtag i enkeltår fra 2007 til 2016. Figuren viser derudover periodeopgørelser for hhv. 1990-2016 og 2014-2016. Resultaterne for de enkelte år afhænger af hvilke indtag, der indgår det pågældende år, da ikke alle indtag prøvetages hvert år. I 2016 blev der samlet fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 34 % af de undersøgte GRUMO-indtag, og kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 8,6 % af de prøvetagede indtag.

Det fremgår af Figur 12, at der i de seneste tre år (2014-2016) er påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i omkring 43 % af de undersøgte indtag, hvoraf kravværdien var overskredet mindst én gang i 13 % af indtagene. Periodeopgørelsen for 2014-2016 viser en større andel af fund end i de enkelte år, hvilket skyldes, at koncentrationen i nogle indtag kan variere lige omkring detektionsgrænsen eller kravværdien, eller at nogle stoffer optræder i kortvarige pulse.



Figur 12. GRUMO. Pesticider i grundvand fra GRUMO-indtag vist som andel indtag med fund for enkelte år samt periodeopgørelser for andel indtag med mindst ét fund i perioderne 1990-2016 og 2014-2016. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser fremgår af tabellen under figuren.

Opgørelser for hele perioden 1990-2016 og for delperioden 2014-2016 viser, hvor stor en del af det overvågede grundvand, der er, eller har været, påvirket af pesticider. I hele overvågningsperioden (1990-2016) er der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 50 % af alle de undersøgte indtag, hvoraf der i 18 % var mindst én overskridelse af kravværdien på 0,1 µg/l.

Tilladte og forbudte pesticider fundet i Grundvandsovervågningen

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte, efter stoffernes status pr. 19. juni 2017. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen for at beskytte grundvandet.

Med den seneste ændring af analyseprogrammet fra 2016 ff. repræsenteres de godkendte stoffer nu kun af glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, ligesom det var tilfældet i programperioden 2007-2010.

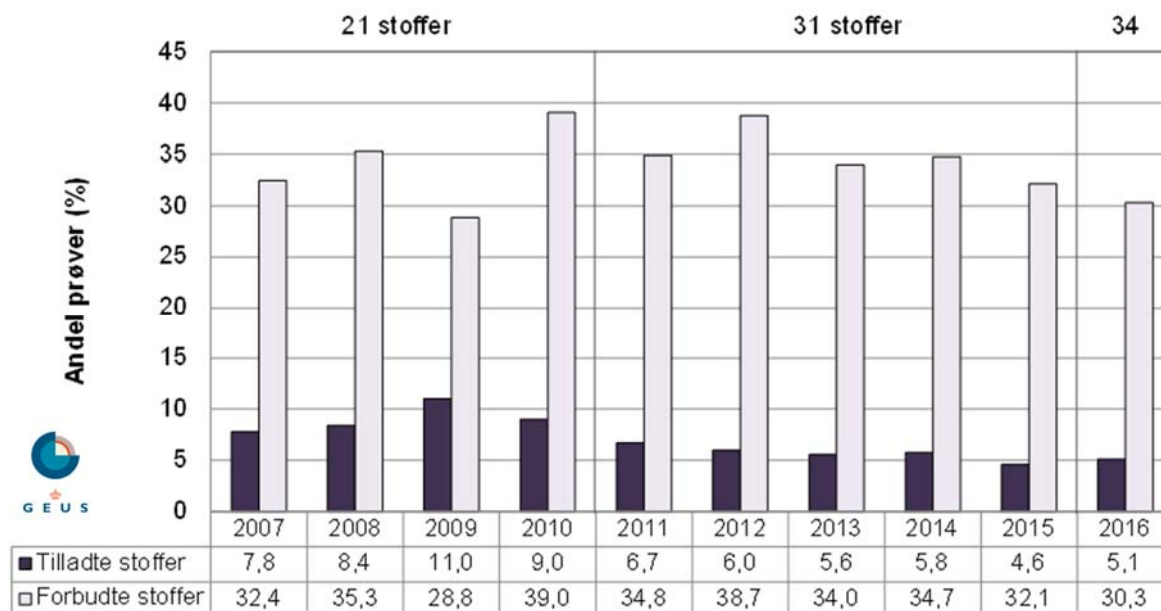
Glyphosat/AMPA er ikke repræsentative for de mange vidt forskellige godkendte stoffer. Godkendte stoffer er derfor ikke opgjort særskilt, men derimod sammen med de regulerede stoffer for at vise udviklingen i tilladte stoffer, dvs. stoffer der har en lovlig anvendelse i dag.

Tabel 2 viser fordelingen af tilladte og forbudte stoffer opgjort for perioden 2014-2016. Mindst ét tilladt pesticid eller nedbrydningsprodukt blev fundet mindst én gang i 7,4 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 2,3 % af indtagene. Forbudte pesticider og deres nedbrydningsprodukter blev fundet mindst én gang i 38 % af indtagene med en overskridelse af kravværdien i ca. 10 %. Forbudte stoffer blev dermed fundet langt hyppigere end de tilladte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør den største andel af stoffer i analyseprogrammet.

2014-2016	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	≥0,1 µg/l
Tilladte stoffer	753	56	17	7,4	2,3
Forbudte stoffer	753	288	78	38,2	10,4

Tabel 2. GRUMO. Forekomst af tilladte og forbudte pesticider i GRUMO-indtag i perioden 2014-2016. Et indtag kan indeholde både tilladte og forbudte stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). Den anvendte administrative status er pr. 19. juni 2017.

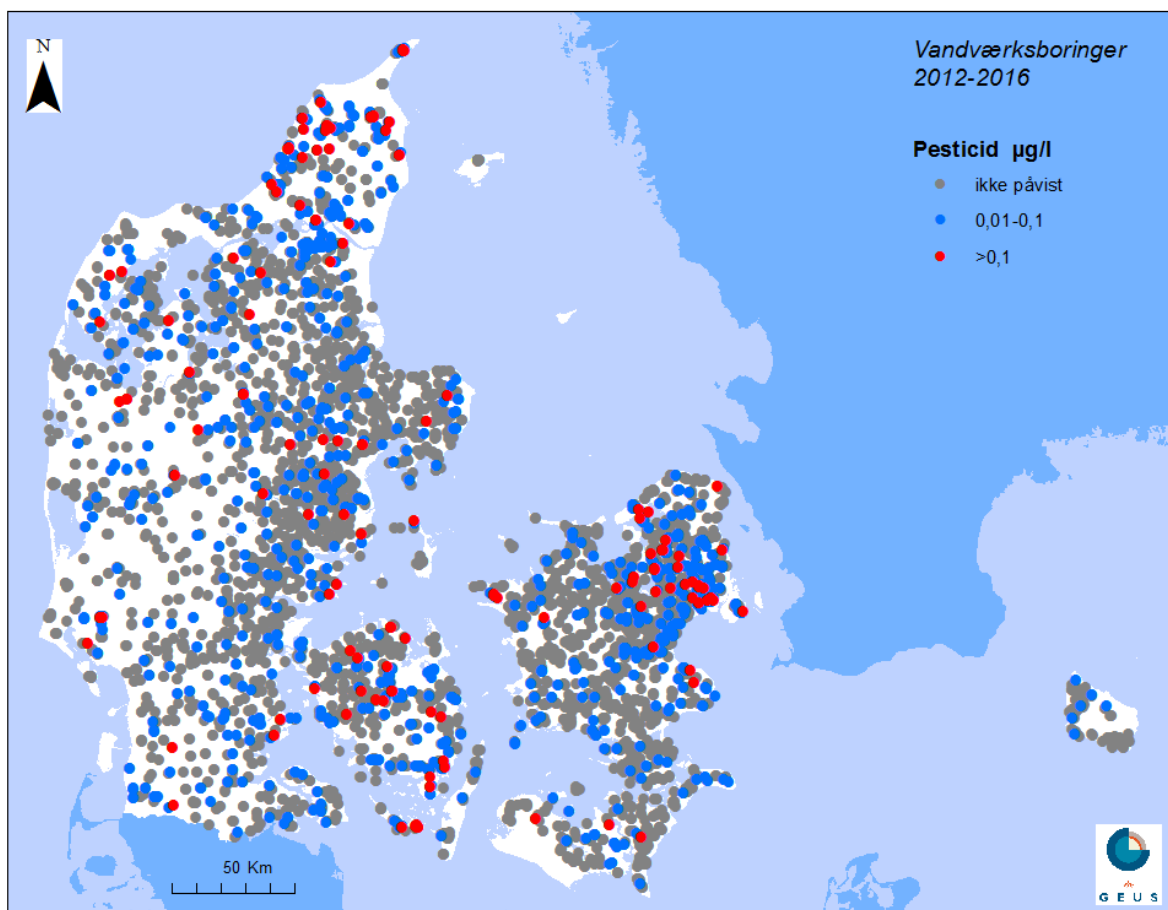
Figur 13 viser den tidlige udvikling i fund af tilladte og forbudte stoffer for de enkelte år med udgangspunkt i den administrative status. Opgørelserne er baseret på antal prøver pr. år, fordi der kun i enkelte tilfælde i denne periode er udtaget mere end én vandprøve pr. år pr. indtag. Det er overvejende forbudte stoffer, der påvises. Andelen af prøver med tilladte stoffer toppede omkring 2009, hvor der var relativt mange fund af glyphosat og AMPA, og har været stort set stabil fra 2012 og fremefter.



Figur 13. GRUMO. Fordeling af tilladte og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag, beregnet som andel prøver med fund pr. år. Programperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal stoffer i analyseprogrammet i hver periode er angivet over figuren.

Pesticider i vandværksboringer

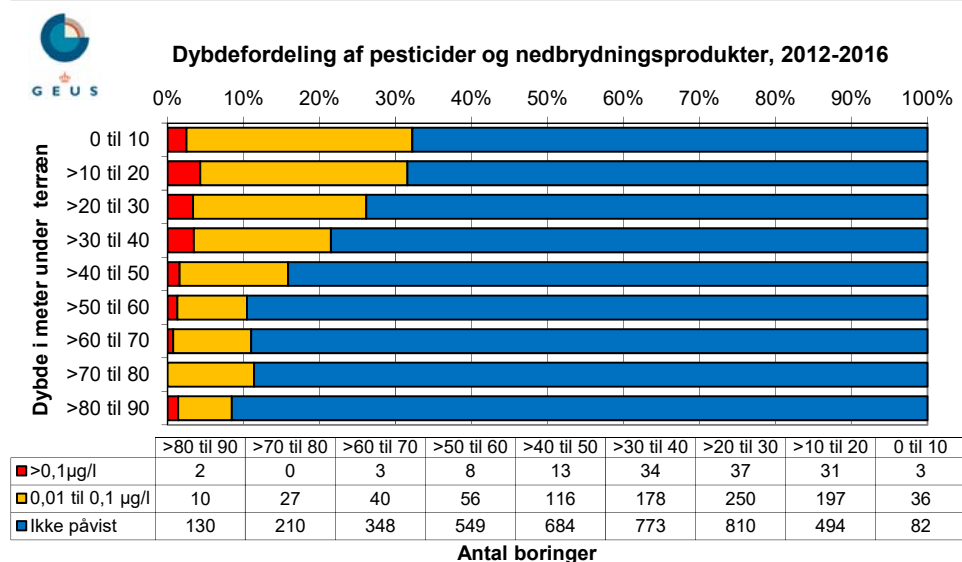
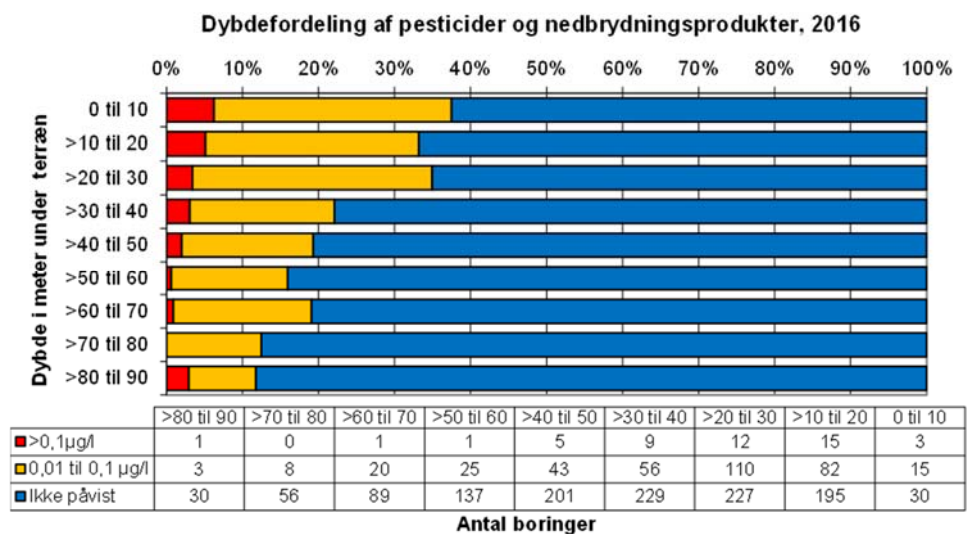
Figur 14 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer i den seneste femårsperiode, hvor alle aktive indvindingsboringer kan forventes at blive prøvetaget mindst én gang (2012-2016). Kortet viser, at der i hovedstadsområdet findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter (fortrinsvis BAM fra det nu forbudte aktivstof dichlobenil), men også at der er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i den del af Danmark, hvor befolkningstætheden er relativt stor, og der derfor er mange boringer. Disse områder er samtidig præget af lerede aflejringer.



Figur 14. Boringskontrollen. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i aktive vandværksboringer (5897 indtag) i femårsperioden 2012-2016. Resultaterne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1$ µg/l), mindst ét pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller pesticider ikke er påvist. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

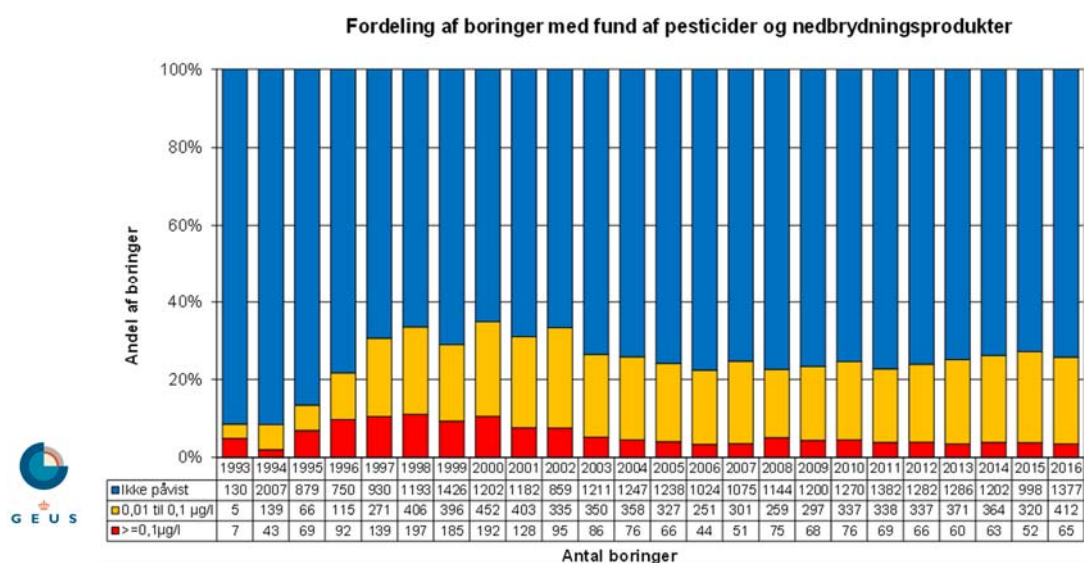
Der er forholdsvis få fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i Vestjylland, hvor der ofte er tale om meget dybe boringer og dertil færre vandværksboringer på grund af en lavere befolkningstæthed.

Figur 15 viser andelen af pesticidfund for 2016 og perioden 2012-2016 i vandværksboringer mod dybden målt som afstanden fra terræn til toppen af aktive boringers indtag. Antallet af undersøgte indtag i intervallerne 0 til 10 m u.t. og 80-90 m u.t. var lavt for 2016, og derfor har opgørelserne for disse dybder større statistisk usikkerhed. Den store stigning i andelen af indtag med fund i 0-10 m u.t. i 2016 (38 % med fund, $n=48$) sammenlignet med opgørelsen for 2015 (28 % med fund, $n=29$, Thorling mfl., 2016) skyldes derfor i højere grad statistisk usikkerhed fremfor reelle ændringer i pesticidforekomsten i det øverste grundvand. I perioden 2012-2016 er stort set alle aktive vandværksboringer prøvetaget mindst én gang til pesticidanalyse, og figuren for denne periode viser derfor dybdefordelingen korrigeret for varierende prøvetagningsfrekvenser.



Figur 15. Boringskontrollen. Dybdemæssig fordeling af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i vandværksboringer. Øverst er vist data fra 2016, mens en periodeopgørelse for 2012 -2016 er vist nederst. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), mindst et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01 µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af filteret. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser og dybder fremgår af tabellen under figuren.

Figur 16 viser udviklingen i pesticidpåvirkningen af aktive vandværksboringer i perioden fra 1993 til 2016. For hvert år er resultaterne angivet for de aktive boringer, der blev undersøgt det pågældende år, og figuren viser således også data fra boringer, der nu er lukkede, idet figuren bygger på data fra tidligere års rapportering i modsætning til de øvrige præsentationer. Den stigende andel af boringer med fund op gennem 90'erne skyldes en gradvis forøgelse af antal pesticider og nedbrydningsprodukter i analyseprogrammerne. Fra omkring år 2000 til 2006 faldt andelen af vandværksboringer med fund af pesticider, mens andelen siden 2006 har stabiliseret sig omkring 22-26 %.



Figur 16. Boringskontrollen. Pesticidindholdet i grundvandet i vandværksboringer 1993-2016. Figuren viser status for vandværksboringer, der var aktive hvert af de viste år og bygger således på data fra forskellige udtræk fra Jupiter, anvendt i den løbende rapportering. Figuren indeholder ikke de samme boringer fra år til år, da der løbende lukkes eller etableres nye vandværksboringer. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), mindst et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). BEMÆRK: Her anvendes koncentrationsklassen ≥0,1 µg/l, da der her sammenlignes med tidligere rapporters opgørelser. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser fremgår af tabellen under figuren.

Tabel 3 viser en opgørelse over fordelingen af tilladte og forbudte stoffer for de stoffer, der indgik i analyseprogrammet i 2016 (se Tabel 8). Mindst ét af de forbudte stoffer forekom mindst én gang i 17 % af de undersøgte vandværksboringer, og i 2,0 % af vandværksboringerne var der mindst én gang en overskridelse af kravværdien på 0,1 µg/l. Mindst ét af de tilladte stoffer forekom mindst én gang i 4,4 % af de undersøgte boringer, mens kravværdien var overskredet mindst én gang i 0,5 % af vandværksboringerne. Det skal bemærkes, at et indtag kan indeholde både forbudte og tilladte stoffer. Det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Summen af grupperne kan derfor ikke anvendes som mål for den samlede fundprocent.

2012-2016	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	5848	258	32	4,4	0,5
Forbudte stoffer	5886	1007	115	17,1	2,0

Tabel 3. Boringskontrollen. Periodeopgørelse 2012-2016 for forekomst af tilladte og forbudte pesticider i aktive vandværksboringer. Et indtag kan indeholde både forbudte og tilladte stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

Fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen fandt sted, 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, hvor der forekommer opblanding af grundvand med forskellige aldre fra forskellige dybder i grundvandsmagasinerne. Vandets opholdstid i grundvandsmagasinerne er ofte længere end 15 år, når det indvindes, og det må derfor forventes, at pesticider, som på nuværende tidspunkt er forbudte eller regulerede, stadig vil kunne påvirke kvaliteten af grundvandet i år fremover.

1.4 Fosfor

Indledning

Fosfor findes som en naturlig bestanddel i grundvand, idet det frigives fra sedimenterne, men det kan også under særlige forhold udvaskes fra rodzonen. I lighed med nitrat kan fosfor i udstrømmende grundvand medvirke til næringsstofbelastning af vandmiljøet i åer, søer og havet.

Miljømål og formål med overvågningen

Der er ikke fastsat en kravværdi for fosfor i grundvand eller drikkevand. Hovedformålet med overvågning af fosfor i grundvandet er at fastslå, om fosfor udvaskes fra landbrugsarealer til grundvandet og herfra videre til overfladevand.

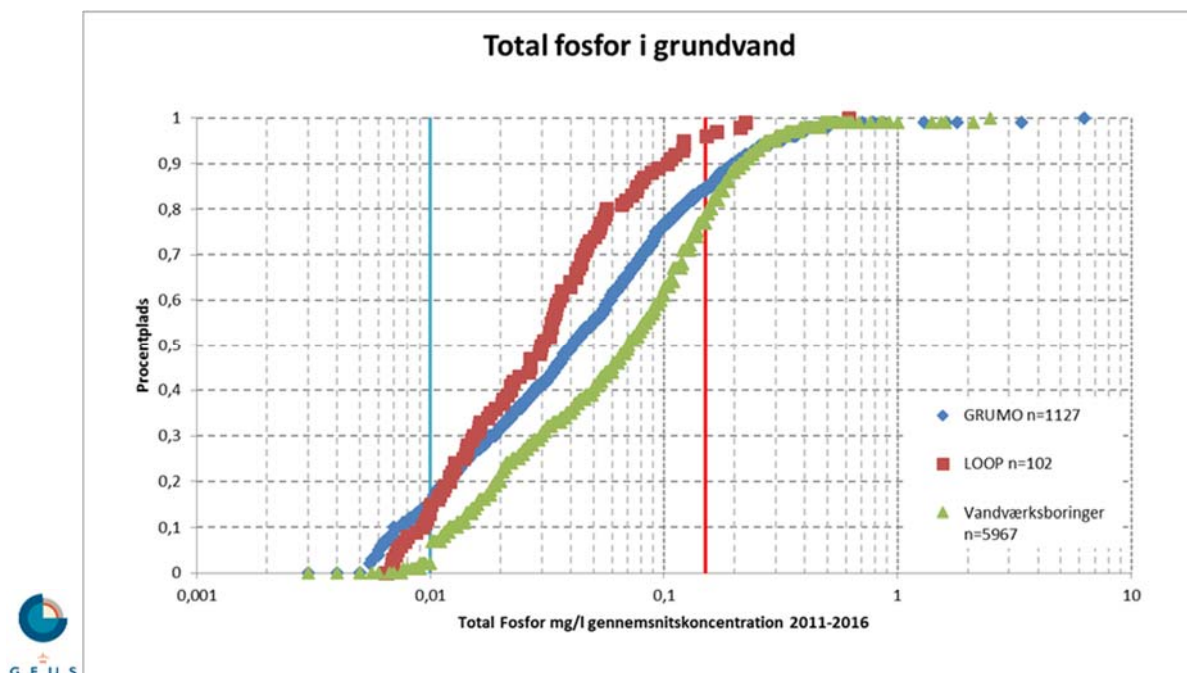
Datagrundlag

I 2016 er analyseret for såvel total-fosfor, P_{tot} som uorganisk ortho fosfat, P_{ortho} i 773 GRUMO-indtag, hvoraf de 695 indtag også blev undersøgt i såvel 2015 som 2014. I alt 1127 indtag er analyseret i hele programperioden 2011-2016 (Programperiode 2011-15 og overgangsåret 2016). I Landovervågningen (LOOP) har både P_{tot} og P_{ortho} siden overvågningens start i 1989 været analyseret flere gange årligt i det øvre grundvand i ca. 100 terrænnære LOOP-indtag, heraf 93 LOOP-indtag i 2016.

Tilstand

Figur 17 viser fordelingen af totalfosfor, P_{tot} i samtlige indtag, som er analyseret i programperioden 2011-2016. Figuren viser data fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer. For hvert indtag er gennemsnitsværdien for perioden vist.

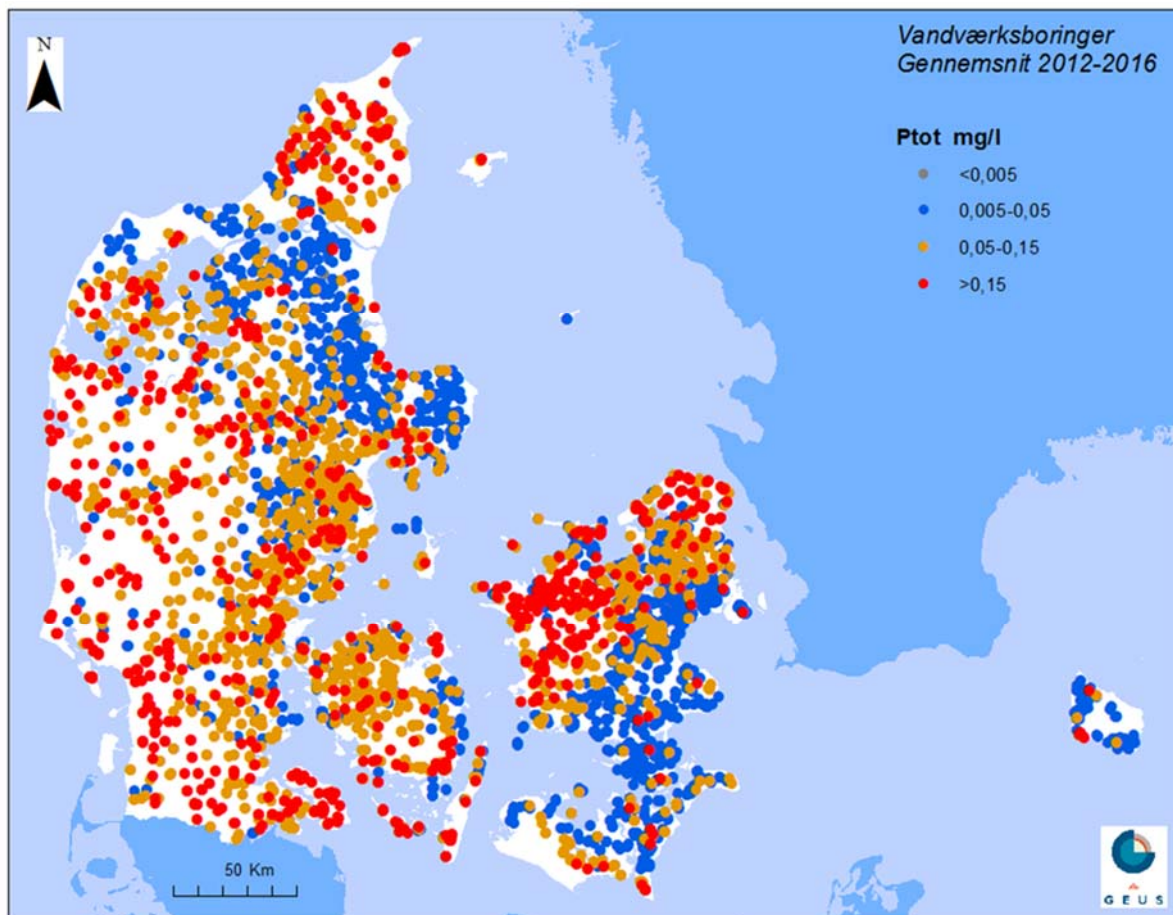
De maksimale værdier for P_{tot} i perioden 2011-2016 er ca. 6, ca. 2,5 og knap 1 mg/l for hhv. grundvand i GRUMO-indtag, aktive vandværksboringer og LOOP-indtag. Figur 17 anvender en logaritmisk skala til at vise koncentrationerne, da der er mere end en faktor 1.000 til forskel på de højeste og de laveste 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 koncentrationer end GRUMO/LOOP-indtag, idet der især er færre meget lave koncentrationer på vandværkerne.



Figur 17 Fordelingen af den gennemsnitlige koncentration af total-fosfor i alle analyserede indtag fra GRUMO, LOOP og aktive vandværksboringer i programperioden 2011-16. Bemærk, at x-aksen er logaritmisk, og koncentrationerne varierer med en faktor omkring 1000. Antallet af indtag fremgår af legenden.

Geografisk fordeling af fosfor i grundvandet

Figur 18 viser den geografiske fordeling af fosforindholdet i grundvandet i vandværksboringer. Fosforindholdet afhænger i høj grad af undergrundens geologiske sammensætning og kan relateres til de prækvarterære aflejringer, se Figur 61. Især kalkområderne træder frem med lave fosforindhold, se fx Djursland og Møn. Det geologiske bidrag til grundvandets fosforindhold er særlig stort i reduceret grundvand, der typisk anvendes til vandforsyning, se Figur 24 og (Thorling mfl. 2013).



Figur 18. Total fosfor (mg/l) i 5957 vandværksboringer. Gennemsnit for perioden 2012-2016, hvor alle vandværksboringer kan forventes prøvetaget mindst én gang. Fosforindholdet afhænger i høj grad af geologien, og kan relateres til undergrunden. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortene.

2 Formål

Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur, NOVANA

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

Formålet med grundvandsovervågningen er beskrevet i det program, der blev fastlagt for gennemførelse af NOVANA i overgangsåret 2016 mellem programperioden 2011-15 og perioden 2017-21, (Naturstyrelsen og DCE 2016):

- *"Understøtte den statslige forvaltning i forbindelse med grundvandets kvalitet og mængde i forhold til Vandplanarbejdet*
- *Bidrage til at styrke det faglige grundlag for fremtidige internationale tiltag, nationale handlingsplaner, regional forvaltning og andre foranstaltninger til beskyttelse og udnyttelse af grundvandsressourcen, herunder bidrage til at udvikle forskellige værktøjer og tilvejebringe en bedre forståelse af sammenhængen mellem grundvand og overfladevand*
- *Overordnet dokumentere effekten af vandmiljøplaner og andre miljøindsatser på grundvandsressurens kvalitet og størrelse - herunder om målsætningen er nået og om udviklingen går i den ønskede retning*
- *Fremskaffe den fornødne viden om status og udvikling i grundvandets kvalitet og kvantitet og om årsagerne til ændringer, så der i fremtiden vil være tilstrækkelige vandmængder i de rette kvaliteter til at dække både samfundets behov for vandforsyning og samfundets behov for vand i naturen for at opnå de ønskede miljømål*
- *Løbende formidle resultaterne af grundvandsovervågningen mht. grundvandets kvalitet og kvantitet, nationalt og regionalt*
- *Overvågningen af grundvandet skal desuden sikre viden om grundvandets tilstand og udvikling med henblik på justering af vandværkernes boringskontrol. Grundvandsovervågningen 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.*
- *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 finder sted i 5 værkstedsområder med kontrolleret udbringning af pesticider og næringsstoffer. "*

Historik for grundvandsovervågningen, GRUMO

Det Nationale Overvågningsprogram for vand og Natur, NOVANA, som grundvandsovervågningsprogrammet, GRUMO, er en del af, blev oprindeligt iværksat som en del af den første Vandmiljøplan i 1987. Det havde dengang to hovedformål: for det første at overvåge effekten af vandmiljøplanerne og de generelle landbrugsreguleringer i forhold til næringsstofbelastningen (belastningen med fosfor og nitrat) af vandmiljøet og for det andet at sikre forsyning af befolkningen med drikkevand af god kvalitet (Miljøstyrelsen, 1988).

Stationsnettet i GRUMO blev derfor designet med det formål at give et billede af grundvandets tilstand i en række udvalgte oplande, GRUMO-områder, som blev vurderet at kunne repræsentere grundvandet i hele landet. Programmet for GRUMO er siden tilpasset – og tilpasses fortsat løbende både på grundlag af større viden og som følge af de varierende forvaltningsmæssige behov, herunder opfyldelse af forpligtelserne til at afrapportere efter EU-direktiver. Hvordan, denne tilpasning er sket, er beskrevet nærmere i appendiks 2. Tabel 4 giver et overblik over de forskellige programperioder siden overvågningens start.

Periode	Programnavn	Antal år	Bemærkning	Reference
1988-1992	Vandmiljøplanens overvågningsprogram	5	Etablering af GRUMO-områder	Miljøstyrelsen, 1988 og 1989
1993-1997	Vandmiljøplanens overvågningsprogram	5		Miljøstyrelsen, 1993
1998-2003	NOVA-2003	6		Miljøstyrelsen, 2000a
2004-2009	NOVANA	6	Strukturreform og	DMU, 2004
(2007-2009)		(3)	Midtvejsrevision	DMU, 2007a,b
2010	NOVANA	1	Forlængelse 1 år	DMU 2010a,b
2011-2015	NOVANA 2011-2015	5		Naturstyrelsen, DMU & GEUS, 2011
2016	NOVANA	1	Forlængelse 1 år	Naturstyrelsen & DCE, 2016

Tabel 4. Historik for Det Nationale overvågningsprogram af Vand og Natur, NOVANA.

Hvad ændringer i overvågningsstrategien betyder for afrapportering af resultaterne fra overvågningen, og hvordan dette er håndteret, er beskrevet i appendiks 2.

2.1 Retligt grundlag for overvågningen

Bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder.

Bekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2016) fastsætter regler for udarbejdelse af overvågningsprogrammer og for overvågning af vandforekomster og for internationale naturbeskyttelsesområder, bekendtgørelsen indeholder også bestemmelser om klassificering af vandforekomster og om vurdering af forekomsternes tilstand. Bekendtgørelsen gennemfører bl.a. bestemmelser i vandrammedirektivet (EU, 2000), grundvandsdirektivet (EU, 2006) og nitratdirektivet (EØF, 1991).

Drikkevandsbekendtgørelsen

Bekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e) fastsætter reglerne for de kvalitetskrav som drikkevand skal opfylde, og hvordan det kontrolleres, at kvalitetskravene overholdes. Denne kontrol omfatter både kontrol af vand, der transporteres og leveres af vandforsyningen og kontrollen af det vand, der indvindes til drikkevand (boringskontrollen).

Miljøstyrelsen er ifølge drikkevandsbekendtgørelsen forpligtet til mindst én gang årligt at vurdere, om resultaterne fra det nationale overvågningsprogram for grundvand GRUMO, giver grundlag for at justere kravene til kontrol af drikkevand.

Drikkevandsbekendtgørelsen gennemfører bestemmelser i drikkevandsdirektivet (EU, 1998) og i vandrammedirektivet.

Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger

Bekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017f) fastsætter bl.a. kravene til kemiske og mikrobiologiske analyser og de prøveudtagninger, der udføres som grundlag for myndigheders forvaltningsafgørelser efter miljølovgivningen og de kemiske analyser m.v., der gennemføres i offentligt finansierede overvågningsprogrammer som NOVANA.

Bekendtgørelsen gennemfører bl.a. bestemmelser i drikkevandsdirektivet og i Kommissionens direktiv om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i vandrammedirektivet.

2.2 Rapportering af data fra grundvandsovervågningen

Samtlige rapporterede data er tilgængelige for offentligheden i den fællesoffentlige database Jupiter (Jupiter hjemmesiden, se litteraturlisten).

Rapport om grundvandsovervågning

Offentliggørelse af denne årlige overvågningsrapport sker ikke for at opfylde direktivkrav, men er en national afrapportering for udvalgte stoffer, og den udgør en væsentlig del af den løbende nationale formidling af oplysninger om grundvandets kvalitet og kvantitet. GEUS har som fagdatacenter for grundvandsiden 1990 udarbejdet en årlig landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen (Grundvandsovervågningens hjemmeside, se litteraturlisten). Denne rapport bygger på data indsamlet til og med 2016.

Siden 2005, der var det første rapporteringsår for NOVANA-programmet, er der rapporteret således, at en række figurer og tabeller for vandbalance og for grundvandets indhold af nitrat og pesticider opdateres hvert år, typisk med figurer af generel, landsdækkende karakter. Der suppleres med relevante og aktuelle figurer og diskussioner. Nogle emner rapporteres ikke hvert år, fosfor, organiske mikroforurenninger, sporstoffer samt resultater fra redoxboringerne. Vurderingen af grundvandets nitratindehold ud fra grundvandets opholdstid ved brug af aldersdateringer opdateres ca. 1 gang i hver programperiode. Endelig kan forskellige temaer være uddybet enkelte år, det kan være i form af belysning af et særskilt emne som fx perfluorerede stoffer eller i form af en mere omfattende bearbejdning af de faste emner.

Afrapportering til EU efter Vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet

Data fra overvågningsprogrammerne anvendes (sammen med andre data) ved afrapporteringen til EU af overvågning og vurdering af vandforekomsters tilstand efter vandrammedirektivet (EU, 2000) og grundvandsdirektivet (EU, 2006).

EU's Vandrammedirektiv, 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". Efter vandrammedirektivet skal medlemsstaterne hvert 6. år udarbejde vandområdeplaner. Disse skal bl.a. indeholde og være baseret på vurderinger af grundvandsforekomsters kemiske og kvantitative tilstand, vurderingerne gennemføres efter bestemmelser i både vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet. En grundvandsforekomst er en separat mængde grundvand i en eller flere grundvandsmagasiner, de danske grundvandsforekomster er (senest) afgrænset i 402 grundvandsforekomster (Troldborg m.fl. 2014) forud for anden vandplanperiode (2015-21). Afgrænsningen af grundvandsforekomsterne har bl.a. betydning for den løbende tilpasning af stationsnettet i grundvandsovervågningen.

Afrapportering til EU efter Nitratdirektivet

Hvert fjerde år er Danmark forpligtet til at forelægge en rapport for EU-Kommissionen om status for gennemførelse af nitratdirektivet. Rapporten skal blandt andet indeholde resultaterne af den overvågning, der gennemføres efter direktivet (EØF, 1991). For så vidt angår nitratindeholdet i grundvand, baseres afrapporteringen på data fra analyser af grundvand fra GRUMO-indtag. Den seneste rapportering efter Nitratdirektivet er fra 2016 og dækker perioden 2012-2015. (Miljøstyrelsen, 2016).

Nitratdirektivet har til formål at nedbringe vandforurening forårsaget eller fremkaldt af nitrat, der stammer fra landbruget, og at forebygge yderligere forurening af denne art. Direktivet forpligter Danmark til at etablere et nitrathandlingsprogram, et program som i Danmark gælder i hele landet. Danmark har derfor ikke udpeget specifikke sårbare zoner efter direktivet. Direktivet forpligter også til at "gennemføre passende overvågningsprogrammer med henblik på at vurdere effektiviteten af nitrathandlingsprogrammet. Nitratindeholdet i grundvand skal overvåges på udvalgte målesteder, som gør det muligt at fastslå omfanget af nitratforureningen i vandet hidrørende fra landbrugsvirksomhed".

Indberetning til EEA

GRUMO-data og data om oppumpede vandmængder indberettes til det Europæiske Miljøagentur (EEA) ifølge en såkaldt EEA request. Data indgår i den internationale rapportering, som EEA forestår (EEA hjemmesiden, se litteraturlisten).

Referencer: Formål

Dansk lovgivning mv.

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017a: Lov om vandplanlægning, jf. lovbekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017. (Tidligere lov nr. 1606 af 23. december 2013 om vandplanlægning med senere ændringer)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017b: Lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (*Miljømålsloven*), jf. lovbekendtgørelse nr. 119 af 26. januar 2017. (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1251 af 29. september 2016 og lovbekendtgørelse nr. 1531 af 8. december 2015 af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017c: Lov om vandforsyning mv., jf. lovbekendtgørelse nr. 125 af 26. januar 2017. (*Vandforsyningsloven*). (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1204 af 28. september 2016, lovbekendtgørelse nr. 1584 af 10. december 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017d: Lov om udpegning af drikkevandsressourcer, jf. lovbekendtgørelse nr. 246 af 15. marts 2017.

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017f: bekendtgørelse nr. 1146 af 24. oktober 2017 om kvalitetskrav til miljømålinger. (*Analysekvalitetsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 914 af 27. juni 2016 og bekendtgørelse nr. 1903 af 29. december 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017g: bekendtgørelse nr. 1625 af 17. december 2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. (Tidligere bekendtgørelse nr. 439 af 19. maj 2016 og bekendtgørelse nr. 1070 af 9. september 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2016: bekendtgørelse nr. 1001 af 29. juni 2016 om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder (*Overvågningsbekendtgørelsen*)

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

EU direktiver

EU, 1991: Nitratdirektivet: RÅDETS DIREKTIV af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, der stammer fra landbruget (91/676/EØF) med senere ændringer.

EU, 1998: Drikkevandsdirektivet: RÅDETS DIREKTIV 98/83/EF af 3. november 1998 om kvaliteten af drikkevand

EU, 2000: Vandrammedirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer.

EU, 2009: Analysekvalitetsdirektivet: KOMMISSIONENS DIREKTIV 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF.

Programbeskrivelser mv.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Miljøstyrelsen 2016: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2012-2015 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). September 2016.

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/> (08.01.2018)

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/NOVANA_2delrapport.pdf (08.01.2018)

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015. Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164. <http://dce2.au.dk/pub/SR205.pdf>

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> (08.01.2018)

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., 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/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (08.01.2018)

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2015.aspx (4.1.2018)

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 (08.01.2018)

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 (08.01.2018)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (08.01.2018)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (08.01.2018)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (08.01.2018)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (08.01.2018)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer, <http://miljoeogressourcer.dk/> (08.01.2018)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (08.01.2018)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/> (08.01.2018)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (08.01.2018)

NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (08.01.2018)

NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (08.01.2018)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/> (08.01.2018)

3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i en nationale vandbalanceopgørelse og er uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandområdeplanarbejdet. 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 fællesoffentlige database Jupiter, jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e).

Det Nationale Pejleprogram er etableret for at kunne overvåge og vurdere udviklingen af vandstanden og dermed størrelsen af vandressourcerne i grundvandsforekomsterne. Programmet skal derfor afspejle repræsentative variationer i grundvandsstanden, og skal kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejle-tidsserier og enkeltmålinger af vandstanden. Pejlingerne indgår endvidere i grundvandsmodeller til vurderinger af vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål samt påvirkningen af overfladevand og økosystemer. Pejledata af god kvalitet er afgørende for, at man kan foretage pålidelige vurderinger og modelberegninger af kvantitative aspekter af grundvandet.

3.1 Vandindvinding

Indledning

Drikkevandsforsyningen i Danmark er udelukkende baseret på oppumpning af grundvand. Undtaget er kun Christiansø, hvor forsyningen er baseret på 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). Derudover indvindes der fra en række lokale vandforsyninger til institutioner, og enkeltvandforsyninger, som hver forsyner 2-9 husstande. Endelig er der i Danmark registreret ca. 50.000 anlæg i Jupiter (Jupiter hjemmesiden), som er angivet med formålet "egen vandforsyning til enkelthusholdninger". Ca. 1.600 af disse anlæg har en indberettet vandindvinding mindst en gang siden 1989. For 2016 er der indberettet vandindvinding på ca. 430 af disse anlæg.

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

Den største enkelte indvinding af overfladevand, der udpumpes med drikkevandskvalitet, finder sted ved Kalundborg Forsyning, der indvinder små 4 mio. m³/år til procesvand på lokale virksomheder.

Målsætning

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 grundvand, der er til rådighed, er det nødvendigt at kende de samlede indvindinger på såvel lokal, regional som national skala.

I Miljømålsloven (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017b) er det en generel målsætning, at der kun må indvindes så meget vand, at påvirkningerne af overfladevand og grundvandsafhængige økosystemer i vådområder mv. ikke hindrer opfyldelse af miljømålsætningerne (Vandområdeplanernes hjemmeside, se litteraturlisten). 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 hovedvandopland vurderes i Vandområdeplanerne hvert 6. år (Miljø og fødevarerministeriet, 2017a), se også Kapitel 2.

Datagrundlag

Data om oppumpede vandmængder indberettes af kommunerne til Jupiter jf. Vandforsyningsloven (Miljø og fødevarerministeriet, 2017c) og dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015). En række kommuner har de forløbne år rettet ældre, fejlbehæftede data. Der har især været tale om at nedkorrigere for høje indberettede vandmængder. Dette betyder, at data i Tabel 5 ikke vil være helt identiske med tidligere rapporterede data fx Thorling m.fl. (2016).

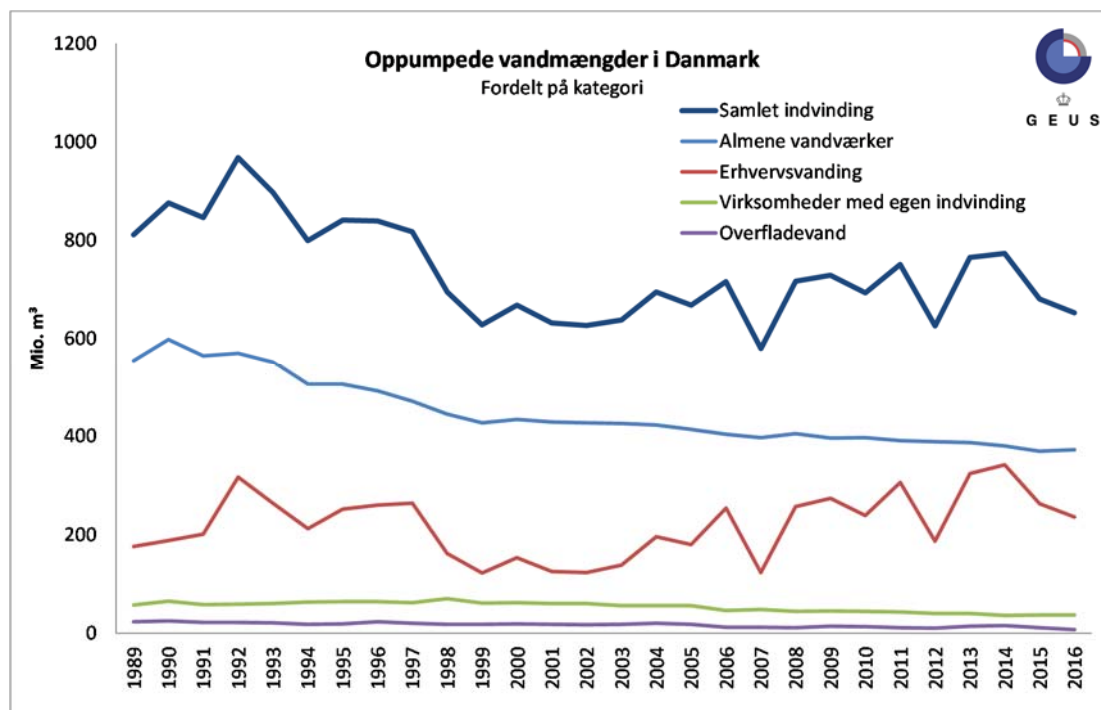
Ti kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2016 inden tidsfristen 1. april 2017. Det er ikke usædvanligt, at der mangler indberetninger efter tidsfristen er overskredet, og da det sjældent er de samme kommuner, der mangler indberetninger af indvindinger fra år til år, foretages der til denne rapport en vurdering af, hvor stor en vandmængde, der mangler at blive indberettet på baggrund af de samme kommuners indberetninger de foregående år. Samlet set vurderes der på denne baggrund at mangle indberetning af omkring 27 mio. m³ for 2016, hvilket er på niveau med de seneste år.

Til denne rapportering er der udført en manuel justering af niveauet i forhold til de indberettede data, som følge af ovennævnte manglende indberetninger med væsentlige afvigelser fra normalen.

Status og udvikling for vandindvinding

Figur 19 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier for perioden 1989-2016. Kategorierne er:

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



Figur 19. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2016 opdelt på almene vandværker, erhvervsvandning, industri og overfladevand. Med en fed, mørk blå linje er den samlede indberettede indvinding vist. Bemærk, hvorledes den varierer med erhvervsvandningen, hvoraf markvandning udgør hovedparten.

Tabel 5 viser de data, der ligger til grund for Figur 19. For kategorien almene vandværker ses et fald i de oppumpede vandmængder gennem 90'erne fra ca. 600 mio. m³ i 1990 til et niveau på knap 400 mio. m³ i 2016. De sidste ca. 15 år har de oppumpede vandmængder til kategorien almene vandværker ligget på et nogenlunde konstant niveau, med en svagt faldende tendens.

Årstal	Almene vandværker	Erhvervs-vanding	Virksomheder med egen indvinding	Overfladevand
	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år
1989	555	176	57	23
1990	598	188	65	25
1991	565	201	58	22
1992	570	317	59	22
1993	552	264	60	21
1994	506	212	63	18
1995	506	252	64	19
1996	492	260	64	23
1997	471	264	62	20
1998	445	162	70	18
1999	427	122	61	18
2000	434	153	62	19
2001	429	125	60	18
2002	427	123	60	17
2003	426	138	56	18
2004	423	196	56	20
2005	414	180	56	18
2006	404	254	46	12
2007	397	123	48	12
2008	405	257	44	11
2009	396	274	45	14
2010	397	239	44	13
2011	391	306	43	11
2012	389	187	40	10
2013	387	324	40	14
2014	380	342	36	15
2015	370	263	37	11
2016	373	236	37	7

Tabel 5. Indvundne vandmængder i Danmark er opdelt på fire kategorier i mio. m³/år. Bemærk: Kommunerne har i nogle tilfælde opdateret ældre data siden sidste rapportering (Thorling mfl., 2016).

Indvindingen af overfladevand på 10 mio. m³ er vanskelig at erkende i figuren og er ikke meget forskellig fra de foregående år. Indberetningerne fra dambrug vurderes at være behæftet med stor usikkerhed, og varierer betydeligt fra år til år. Overordnet antages det, at dambrugen anvendelse af overfladevand ikke ændrer nævneværdigt på vandbalancen eller på vandføringen i vandløbene, idet vandet ledes tilbage til vandløbet efter gennemløb i dambruget. For hele perioden er dambrug derfor medtaget i opgørelsen med maksimalt 1 mio. m³/år.

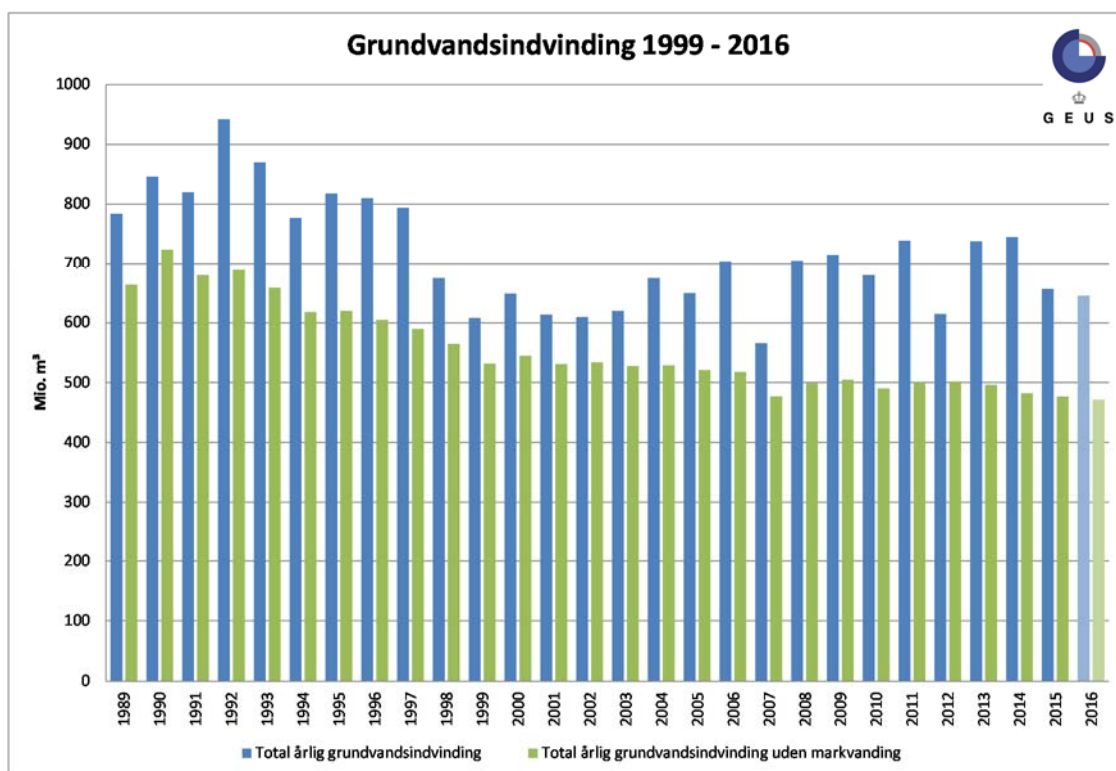
Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "Erhvervsvanding") er for 2016 opgjort til 236 mio. m³/år, hvilket er tæt på medianen (224 mio. m³/år) for hele perioden. Markvandingen udgør for 2016 74% af "Erhvervsvanding", hvor medianen for perioden er 73%.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding udviser en svagt faldende tendens fra slutningen af 1990'erne og frem.

Status og udvikling for indvinding af grundvand

Figur 20 viser de totale oppumpede mængder grundvand for perioden 1989-2016 med blå søjler, mens de grønne søjler viser de totale oppumpede mængder grundvand uden markvanding. Den samlede årlige indvinding (uden markvanding) var omkring 1990 på 700 mio. m³/år. Oppumpning til markvanding har de seneste 15 år ligget mellem ca. 100 og 300 mio. m³/år med store variationer fra år til år afhængigt af nedbørsmængden.

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 relativt konstant oppumpning, dog med en generelt svagt faldende tendens. Markvandingen udgør 25-45 % af de samlede oppumpede vandmængder i Danmark. Når denne medregnes i den samlede indvinding, er det sværere at se eventuelle udviklingstendenser betinget af konjunkturer og miljøpolitiske tiltag.



Figur 20. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2016) baseret på indberettede data. Data fra 2016 er justeret med skøn over manglende rapportering og er vist med nedtonede farver.

I alt er der i 2016 indberettet indvindinger på 653 mio. m³, når markvandingen medregnes. Det skal bemærkes, at specielt tallene for det seneste indberetningsår er behæftet med nogen usikkerhed som følge af manglende indberetninger og de er derfor vist med nedtonede farver på Figur 20. En gennemgang af de årlige opgørelser i grundvandsovervågningen viser, at også tallene de seneste 5-10 år, specielt for kategorien almene vandværker, kan være behæftet med en mindre usikkerhed, blandt andet som følge af forsinkede indberetninger og manglende opdatering af gamle data.

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

Uanset problemer med indberetningskvaliteten er markvandingen naturligt stærkt varierende primært som følge af variationer i vejret. Det fremgår bl.a., at 2007 var et år med særligt lavt forbrug af vand til

markvandingsformål. Beregninger (Hvid, 2011, se også Thorling m.fl., 2011) viser samstemmende, 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.

Den samlede oppumpede mængde af grundvand i Danmark (uden markvanding) har en svagt faldende tendens i perioden 1990-2006 fra ca. 700 mio. m³/år til et stabilt niveau på knapt 500 mio. m³/år, hvis man ser bort fra markvandingen. Den samlede oppumpede mængde af grundvand (uden markvanding) for 2016 er opgjort til 472 mio. m³/år.

3.2 Det nationale pejleprogram

Indledning og målsætning

Det nuværende Nationale Pejleprogram er etableret for at kunne overvåge og vurdere udviklingen af vandstanden i grundvandsforekomsterne. Programmet skal således afspejle repræsentative variationer i grundvandsstanden, og skal kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejleserier og enkeltmålinger af vandstanden. Pejlingerne kan indgå i lokale og regionale grundvandsmodeller til vurderinger af vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål, samt påvirkningen af grundvand og økosystemer. Pejledata af god kvalitet er afgørende for at man kan foretage pålidelige vurderinger og modelberegninger.

Pejlestationsnettet er under revision, således at det fremover bedre kan repræsentere og dække relevante grundvandsforekomster og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet (EU, 2000). Vandrammedirektivet foreskriver, at der skal være en overvågning af grundvandsstanden i tilknytning til vandområdeplanarbejdet: *"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"*, se også Kapitel 2.

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, erhverv og andre formål, 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 m.m.

Datagrundlag

I 2016 er 133 stationer pejlet. Pejlestationsnettet er præsenteret i appendiks 2. Det er en reduktion med 6 stationer i forhold til 2015. Bl.a. er der i 2016 ikke pejlet på Bornholm, på grund af tekniske problemer. Pejlingerne finder dels sted i GRUMO-indtag, der også anvendes til indsamling af vandprøver til grundvandsovervågning, dels i indtag, der ikke har andre anvendelser end pejling. Figur 55 i appendiks 2 viser den geografiske placering af de i alt 146 pejlestationer, der i 2016 indgik i Det Nationale Pejleprogram.

Beliggenheden af grundvandsstanden registreres som minimum dagligt med dataloggere i de fuldt udbyggede pejlestationer, der er placeret i overvågningsindtag. Tidligere - før dataloggernes tid - blev vandstanden registreret manuelt og med lavere hyppighed, hvilket hyppigst var én gang månedligt. Den lavere prøvetagningsfrekvens før 2007 fremgår af Figur 22, der viser, at serierne fra denne periode udgøres af betydeligt færre datapunkter.

Opmåling af referencepunkter og pejlinger af grundvandsstanden har fundet sted gennem mange årtier, og de indsamlede data er meget følsomme over for ændringer i fx målepunkter, personale og målemetoder. Det er derfor en udfordring at fastholde en ensartet og sammenlignelig kvalitet i indsamlingen af data til pejetidsserier. Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejleprogram har et forløb, der indikerer, at fejl i data er opstået ved fx ændringer i boringens referencepunkt uden efterfølgende konsekvensrettelse af pejleserien, eller fejl i indrapportering til Jupiter. For at udbedre dette pågår et løbende arbejde med at rette oplagte datafejl, men det er dog ikke altid muligt at korrigere fejlene i de ældre pejetidsserier, fordi dokumentationen i de oprindelige feltbøger, lokaliseringsskemaer og målepunkter ikke bliver gemt.

For at fastholde en ensartet kvalitet, er der udarbejdet anvisninger for indsamling af nye pejledata i felten og efterfølgende håndtering af data (Thorling, 2012a og Thorling mfl., 2014), og der er fra 2014 etableret procedurer for supplerende kontrol af årets pejledata, der bl.a. omfatter en visuel kontrol af nye data og sammenligning med tidligere pejlinger.

I 2015 blev der udført en vurdering af samtlige pejletidsseriers udstrækning og datakvalitet, og det blev vurderet, om der i pejeserierne var åbenbare datafejl, der bør rettes (Thorling m.fl. 2016).

Af vurderingen fremgår, at:

- Der findes 133 pejeserier i perioden 2007-2015, og af disse vurderes 96 af høj kvalitet, svarende til 72 %
- Der findes 95 pejeserier med målinger før år 2000, og af disse vurderes 45 af høj kvalitet, svarende til godt 47 %
- Der findes 52 pejeserier med målinger før år 1980, og af disse vurderes 20 af høj kvalitet, svarende til godt 38 %.

Arbejdet med at rette datafejl er videreført i 2016 i henhold til gældende programbeskrivelse.

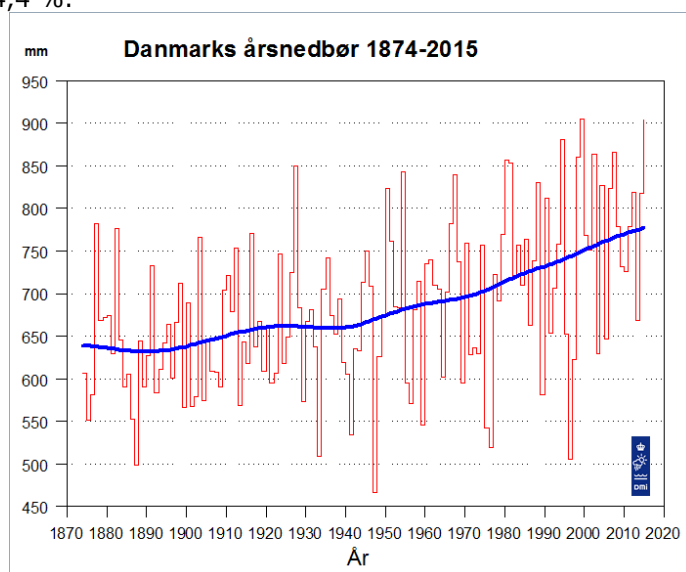
Pejlingerne foretaget i 2016 stemmer godt overens med målingerne for sidste del af 2015 og udviser årtidsvariationer, der er typiske for de enkelte stationer. Generelt vurderes de indsamlede data fra 2016 således at være af god kvalitet.

Udviklingen i grundvandsstanden

GEUS har dels vurderet datakvaliteten af alle nye pejlinger foretaget i 2016, dels analyseret udviklingen i fem lange pejeserier i udvalgte indtag i dybder ned 30 m u.t. fra forskellige dele af landet, og som vurderes ikke at være påvirket af lokal vandindvinding. Herudfra er noteret følgende observationer og tendenser:

- I 2016 er 133 stationer pejlet. Det er en reduktion med 6 stationer i forhold til 2015. Bl.a. er der ikke pejlet på Bornholm i 2016. De indsamlede data fra 2016 vurderes dog at være af god kvalitet.
- Ifølge DMI var 2016 et relativt tørt år, som nedbørmæssigt ligger under klimanormalperioden (1961-1990), hvilket formodentlig vil påvirke grundvandsdannelsen og vandspejlets beliggenhed især i overfladenære grundvandsforekomster.

Generelt har nedbørmængden i Danmark været stigende de sidste 100 år, se Figur 21, hvilket må forventes afspejlet i grundvandsstanden; dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige årsnedbør for klimanormalperioden 1961-1990 er beregnet til 712 mm. I perioden fra 1990-2016 har årsnedbøren ligget omkring 745 mm, dvs. der har været en stigning på 33 mm svarende til 4,4 %.



Figur 21. Danmarks årsnedbør siden 1874. Landsgennemsnit beregnet på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er ni års Gaussfiltrerede værdier (DMI's hjemmeside, 2017).

2016 har med en årsnedbør på 701 mm samlet set været et relativt tørt år sammenlignet med de forudgående 10 år, og nedbørmæssigt ligger 2016 under klimanormalperioden (1961-1990). Dette dækker dog over store variationer i forhold til normalerne for de enkelte måneder i 2016. Der var endvidere (som det er normalt) store forskelle henover landet. Mest nedbør kom der i region Syd – og Sønderjylland med 764 millimeter for regionen i gennemsnit. Region Østjylland fik en smule mindre nedbør med 759 millimeter. Region Bornholm fik mindst med 536 millimeter – en forskel til region Syd- og Sønderjylland på 228 millimeter.

Det kan være vanskeligt på landsplan direkte at se, hvordan påvirkningen fra nedbøren udmønter sig i pejleserierne. Det skyldes, at noget af den ekstra nedbør strømmer af overfladisk (især om vinteren), og noget fordampes som følge af højere temperaturer (især om sommeren). Det er derfor kun en del af nedbøren, der siver ned til grundvandet som nettonedbør, se Appendiks 3, Figur 63.

Stigningen i grundvandsstanden for frie terrænnære magasiner som følge af en forøgelse af den årlige nettonedbør på 100 mm kan skønsmæssigt beregnes til 0,3 m, forudsat at der er en porøsitet på 30 % i sedimentet. En sådan stigning vil typisk forekomme, hvor der er frie magasiner i nedsivningsområderne. Derimod er det vanskeligere at beregne effekten i udstrømningsområderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der kan omvendt lokalt forekomme dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.

Udviklingen i vandindvindingen er beskrevet ovenfor i kapitel 3.1. Faldet i vandværkernes indvinding, særligt i perioden frem mod 2000, må forventes at have resulteret i en stigende vandstand i oplandene til de kildepladser, hvor oppumpningen af grundvand reduceres. Tørre forår og somre, hvor der pågår markvanding, vil omvendt kunne medføre, at grundvandsstanden sænkes om sommeren og kan resultere i en større forskel mellem sommer- og vintervandstand, end i våde år. Den nærmere sammenhæng mellem vandindvinding og vandspejlsvariationer kan dog kun klarlægges gennem mere detaljerede lokale studier, end der foretages i nærværende rapport.

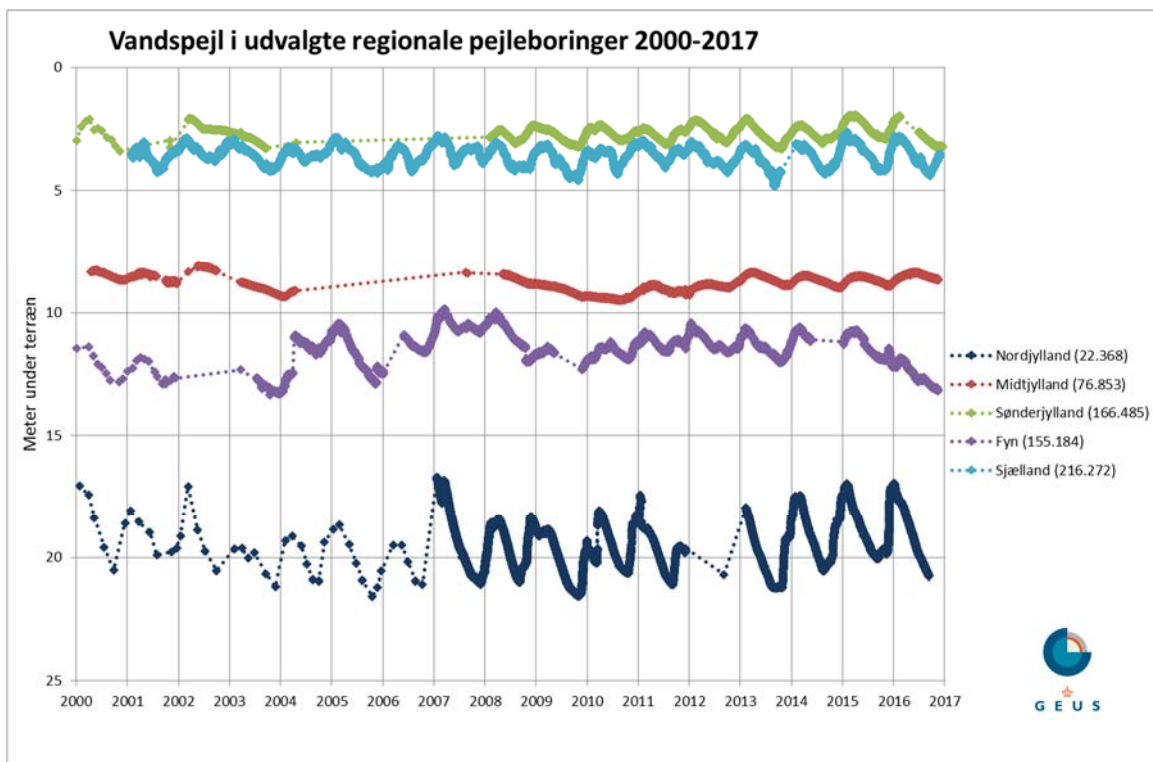
Udvikling af grundvandsstand i udvalgte indtag

Da effekterne af ændringer i klima og nedbør er et af fokuspunkterne i overvågningsprogrammet, og disse først forventes at kunne spores i de overfladenære grundvandsmagasiner, er pejledata fra indtag mindre end 30 m u.t. særligt blevet undersøgt.

På baggrund af en analyse af pejleseriernes kvalitet (Thorling m.fl., 2016) blev der udpeget fem lange, udvalgte tidsserier for indtag (0-30 m u.t.):

- Nordjylland DGU nr. 22.368 indtag 1 (Kalk/kridt, frit magasin).
- Midtjylland DGU nr. 76.853 indtag 1 (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 22 viser pejleserierne for disse fem indtag i perioden 2000- 2016. Generelt viser data fra 2016 en ubrudt videreførelse af tendenserne fra de forrige år, både hvad angår størrelsen af de årlige variationer og en fortsat svagt stigende tendens i vandspejlets beliggenhed i perioden 2010 til 2016. Dette gælder dog ikke pejleboring 155.184 på Fyn, hvor vandspejlet i 2016 generelt har været faldende. Dette skyldes muligvis lokale forhold, som har spillet ind i 2016, da en sådan aftagende tendens ikke ses i de øvrige ni pejleboringer på Fyn.



Figur 22. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) i udvalgte borer, 2000-2016, Se Thorling m. fl. 2016, for en samlet beskrivelse af udviklingen 1960-2015.

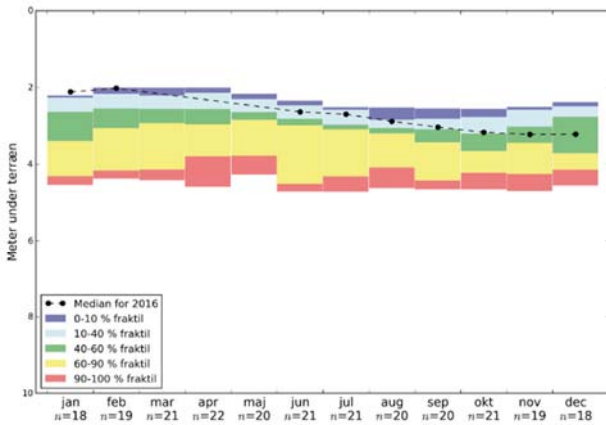
Figur 23 viser en analyse af, hvordan vandstanden i de fem udvalgte borer har varieret i 2016 hen over de enkelte måneder i året i forhold til månedsudviklingen i den forudgående periode (1990-2015). De enkelte diagrammer viser for hver måned i 2016 en markering af medianværdien af alle pejlinger i det enkelte indtag i den pågældende måned. Denne månedsmedian sammenlignes i figuren med tidligere års pejledata fra samme indtag for samme måned i perioden (1990-2015).

Dette gøres ved at illustrere, hvorledes vandstanden tidligere har fordelt sig hen over hver enkelt måned, idet der hhv. beregnes 0-10, 10-40, 40-60, 60-90 og 90-100 % fraktiler, vist med hver sin farve. Den grønne farve repræsenterer niveauer omkring medianen (40-60 % fraktilen) for den forudgående 25 års periode. De røde og gule farver repræsenterer lave grundvandsstande, mens de blå farver viser værdier for høj grundvandsstand i indtagene. Diagrammerne findes endvidere i et større format i bilag 1.

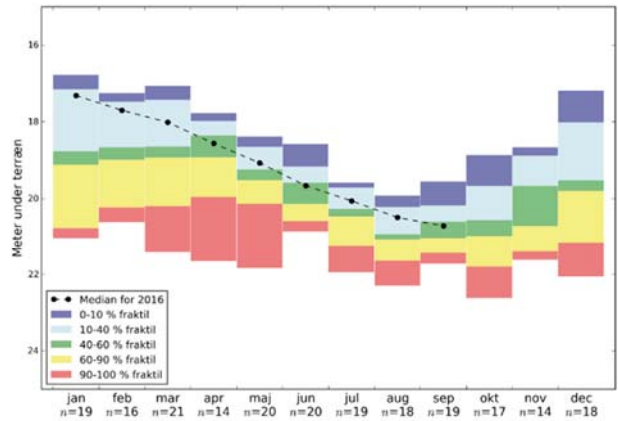
Figur 23 viser, at vandstanden for hovedparten af indtagene (indtagene i Jylland og på Sjælland) i 2016 er højere end eller svarer til de tilsvarende månedsværdier for 1990-2015. Denne indikation på en generelt højere vandstand stemmer godt overens med de visuelle indikationer på stigende vandstand, se Figur 22, og med en tidligere analyse af data fra 2015 sammenholdt med perioderne 1961-1990 og 1991-2014. En undtagelse er boring 155.184 (Fyn), der som nævnt i 2016 i modsætning til tidligere viser en afvigende faldende tendens i vandstanden, der samtidig ikke er repræsentativ for de øvrige tidsserier på Fyn i 2016. Det vil ved rapportering af 2017 data blive vurderet om denne pejleboring fortsat er afvigende i forhold til den generelle tendens på Fyn.

Overordnet har GEUS tidligere vurderet, at grundvandsstanden efter år 2000 er steget med op til 1-2 m primært som følge af øget nedbør (Thorling mfl. 2016), hvilket pejledataene fra 2016 generelt underbygger. Den stigende grundvandsstand og dennes fordeling vil blive taget op som tema i en kommende af-rapportering.

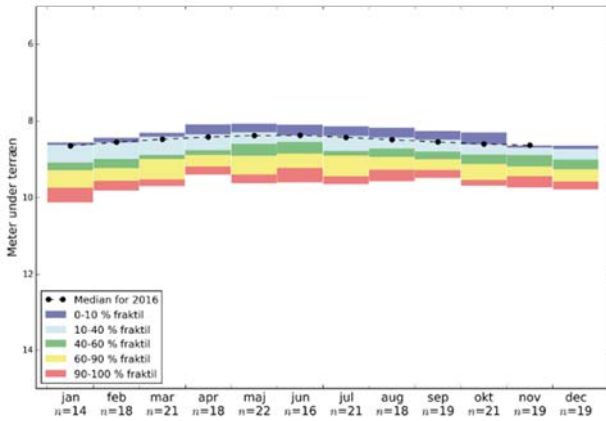
Månedsmedian 2016 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2015 for Sønderjylland, DGU. nr. 166.485.



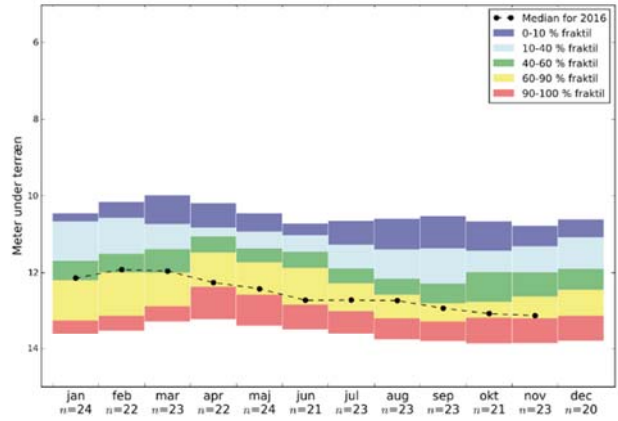
Månedsmedian 2016 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2015 for Nordjylland, DGU. nr. 22.368.



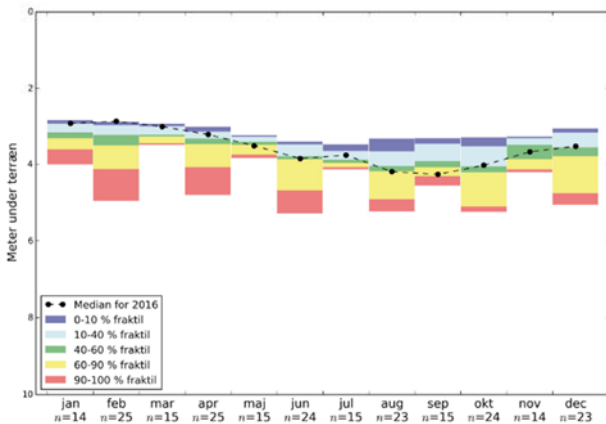
Månedsmedian 2016 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2015 for Midtjylland, DGU. nr. 76.853



Månedsmedian 2016 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2015 for Fyn, DGU. nr. 155.184.



Månedsmedian 2016 sammenlignet med månedsmedian for perioden 1990-2015 for Sjælland, DGU. nr. 216.272



Figur 23. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) månedsmedian for 2016 sammenlignet med månedsværdier for perioden 1990-2015. DGU. nr. 22.368, Nordjylland, DGU. nr. 76.853, Midtjylland, DGU. nr. 166.485, Sønderjylland, DGU. nr. 155.184, Fyn og DGU. nr. 216.272, Sjælland. De enkelte diagrammer er vist i et større format i bilag 1.

Årstidsvariationer i 5 udvalgte stationer

I forlængelse af ovenstående og tidligere analyser af de fem udvalgte pejlestationer er der foretaget en indledende analyse af årstidsvariationerne i de enkelte tidsserier. Tabel 6 viser hvorledes årsvariationerne kan karakteriseres for de 5 udvalgte boringer i Figur 22. I denne analyse er medtaget data tilbage fra starten af de enkelte serier, (1960-1980) for de år, hvor der mindst er 6 pejlinger. For hvert år er den måned, der indeholder hhv. den højeste og laveste vandstand, opgjort og antallet af gange i hver enkelt måned, hvor der et år optræder den højeste eller laveste vandstand, er opgjort for de enkelte indtag. Endvidere er størrelsen af den gennemsnitlige årsvariation (amplitude) beregnet for de 5 indtag. Måned for forekomsten af de højeste og laveste vandstande inden for et år for de enkelte indtag er vist på figurerne i bilag 2.

Pejlestation	Antal år med data	Måned med den hyppigste laveste vandstand	Måned med den hyppigste højeste vandstand	Gennemsnitlig årsvariation (amplitude m)
Nordjylland, 22.368-1	27	September (12 år)	Januar (8 år)	2,78 +/- 0,79
Midtjylland, 76.853-1	44	December (23 år)	April (10 år) Maj (10 år)	0,50 +/- 0,17
Sønderjylland, 166.485-1	35	November (9 år)	April (9 år)	0,90 +/- 0,28
Fyn, 155.184-1	39	November (12 år)	Marts (11 år)	1,22 +/- 0,36
Sjælland, 216.272-1	54	Oktober (19 år)	Februar (20 år)	1,20 +/- 0,42

Tabel 6. Oversigt over de måneder, hvor den hhv. højeste og laveste vandstand blev observeret, samt den gennemsnitlige årsvariation for de fem udvalgte pejleboringer. I parentes er angivet antal år, hvor den pågældende måned havde en ekstrem vandstand.

Af Tabel 6 ses, at den laveste vandstand hyppigst forekommer i perioden september til december, mens de højeste vandstande hyppigst forekommer mellem januar og april. Koblingen mellem variationerne, der ses i vandspejlet, og nedbøren må imidlertid forventes at være kompleks og afhænge af flere forhold.

Generelt er der i Danmark relativt lidt nedbør i forårs månederne fulgt af større månedsnedbør gennem sommeren, efteråret og den først del af vinteren (DMI). I sommerhalvåret er fordampningen større, og en større andel af nedbøren føres bort med dræn og vandløb. Således vil en stor del af de kraftige regnskyl, der om sommeren i disse år forekommer mere og mere hyppigt, strømme af på jordoverfladen. Samlet set er grundvandsdannelsen generelt set størst i efterårs og vintermånedene, hvor fordampningen er lav og nedbøren ikke så kraftig. Dette forklarer, at der i de undersøgte boringer er fundet den laveste vandstand i efterårsmånedene som følge af lille grundvandsdannelse i forårs- og sommerperioden og den største vandstand sidst på vinteren eller om foråret som følge af stor grundvandsdannelse i løbet af efterår og tidlig vinter.

Af Tabel 6 ses imidlertid også, at der er betydelig forskel på størrelsen af årsvariationerne mellem de enkelte pejlestationer, hvilket er yderligere diskuteret i bilag 2.

Referencer og links Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram

Dansk og EU lovgivning, vejledninger mv.

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

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017a: Lov om vandplanlægning, jf. lovbekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017. (Tidligere lov nr. 1606 af 23. december 2013 om vandplanlægning med senere ændringer)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017b: Lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (*Miljømålsloven*), jf. lovbekendtgørelse nr. 119 af 26. januar 2017. (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1251 af 29. september 2016 og lovbekendtgørelse nr. 1531 af 8. december 2015 af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017c: Lov om vandforsyning mv., jf. lovbekendtgørelse nr. 125 af 26. januar 2017. (*Vandforsyningsloven*). (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1204 af 28. september 2016, lovbekendtgørelse nr. 1584 af 10. december 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

EU, 2000: Vandrammedirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer.

Andre referencer:

Henriksen, H., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, L.F. & Trolborg, L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Deltprojekt: Effekt af vandindvinding, GEUS rapport 2014/74. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/Vandforvaltnings-modeller.aspx> (26-2-2018)

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> (26-2-2018)

Hvid, S., Kolind, 2011: Videncenter for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (26-2-2018)

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., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (3/7-2017)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (26-2-2018)

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolborg, L., 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2015.aspx (4-1-2018)

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (26-2-2018)

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> (26-2-2018)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (08.01.2018)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (08.01.2018)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (08.01.2018)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (08.01.2018)

NOVANA hjemmeside: [http:// http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/](http://http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/) (08.01.2018)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/> (08.01.2018)

4 Nitrat

Indledning

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

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

- Kvælstofudvaskningen fra landbrugsarealer
- Nedbørsoverskuddet (nedbør minus fordampning)
- Nitratomsætningen ved redoxprocesser i de geologiske lag
- Vandets strømningsveje i de geologiske lag

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

Miljømål

Nitrat i grundvandet er uønsket både af hensyn til drikkevandskvaliteten og på grund af risikoen for påvirkning af det øvrige vandmiljø. Det skyldes, at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering ved udstrømning til overfladevand, og at nitrat i drikkevandet kan være sundhedsskadeligt. Der er i EU's Grundvandsdirektiv og Drikkevandsdirektiv fastsat en kravværdi for indholdet af nitrat i grundvand og drikkevand på 50 mg/l (EU 2006 og EU, 1998). I Danmark er dette krav implementeret i Miljømålsloven (Miljø- og Fødevareministeriet 2017b) og i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet 2017e).

Nitrat i grundvandet stammer langt overvejende fra nitratudvaskning fra landbrugsarealer. Hensynet til en tilfredsstillende grundvandskvalitet er en af årsagerne til kvælstofregulering i landbruget. Reguleringen er sket gennem nationale handlingsplaner siden 1985, og ved udarbejdelse af kommunale indsatsplaner i forbindelse med Den Nationale Grundvandskortlægning. De danske nitrathandlingsprogrammer i forhold til EU's Nitratdirektiv (EU, 1991) gælder for hele landet, og ca. 16 % af Danmarks areal er udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017d).

4.1 Sammenligning af datasæt

Det samlede datagrundlag

Rapporteringen om nitrat i grundvandet er baseret på 1) det seneste prøvetagningsår (2016) og 2) periodeopgørelse for den seneste 5-årsperiode (2012-16). Periodelængden på fem år er valgt, fordi boringskontrollen for vandværksboringer gennemføres i en turnus på op til fem år, mens GRUMO-indtag prøvetages mindst én gang i løbet af en periode på tre år. Sammenligning af data fra det seneste prøvetagningsår med den seneste 5-årsperiode muliggør vurdering af repræsentativiteten af de seneste målinger. For periodeopgørelser præsenteres nitrat som gennemsnittet af de årlige gennemsnit for nitrat i prøver fra samme indtag.

Tabel 7 viser antallet af prøver analyseret for nitrat i GRUMO- og LOOP-indtag samt aktive vandværksboringer i de seneste fem år (2012-2016); i alt ca. 15.000 grundvandsprøver. Antallet af prøver i 2016 ligger på niveau med de fire foregående år for alle tre grupper af overvågningsdata, med undtagelse af data fra grundvandsovervågningen i hhv. 2012 og 2014, hvor et større antal prøver er analyseret for nitrat på grund af prøvetagning af redoxboringerne (se appendiks 2).

Prøvetagningsfrekvens

I 2016 stammer de 773 nitratanalyser fra prøver i 773 GRUMO-indtag dvs., at alle disse indtag er prøvetaget netop én gang. I landovervågningen er der 413 nitratanalyser i 2016, som stammer fra prøvetagning i 92 LOOP-indtag. Prøvetagningsfrekvensen varierer for LOOP-indtagene, idet indtag med nitratholdigt grundvand er prøvetaget fra to til syv gange (de fleste 6 gange), og indtag med reduceret nitratfrit grundvand er prøvetaget én gang (enkelte dog to gange) i 2016. Der indgår 1.743 nitratanalyser fra 2016 fra prøver fra 1692 aktive vandværksboringer, hvoraf de fleste indtag er prøvetaget én gang i 2016.

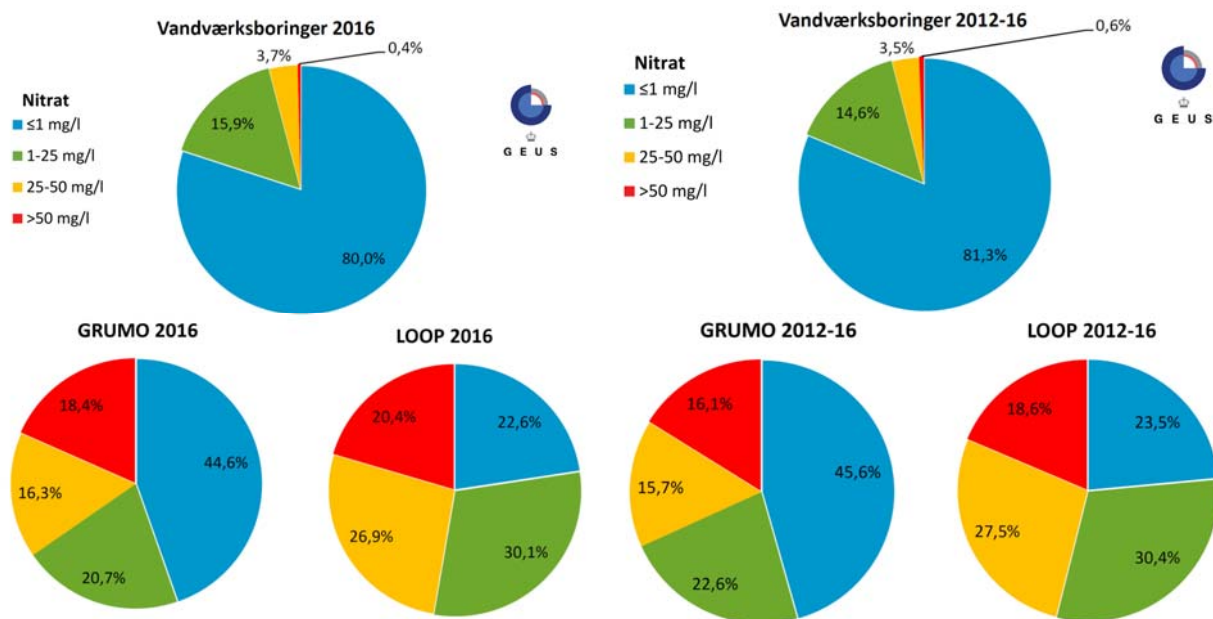
I perioden fra 2012-16 er der analyseret for nitrat i 15.407 prøver fra i alt 7.292 indtag, som stammer fra 1239 GRUMO indtag (prøvetaget én til seks gange), 102 LOOP indtag (prøvetaget én til 32 gange) og 5951 vandværksboringer (prøvetaget én til 25 gange).

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	I alt
Årstal	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver
2012	1.097	514	1.754	3.365
2013	721	455	1.767	2.943
2014	1.001	485	1.742	3.228
2015	743	468	1.731	2.942
2016	773	413	1.743	2.929
2012-2016	4.335	2.335	8.737	15.407

Tabel 7. Antal prøver analyseret for nitrat fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer for hvert år og den samlede periode 2012-2016.

Fordeling af nitrat

Figur 24 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold for samtlige indtag analyseret i 2016 og i perioden 2012-2016. Nitratindholdet er opdelt i koncentrationsintervaller for tre grupper af data: LOOP, GRUMO og i vandværksboringer. I 2016 har hhv. 20,4 % og 18,4 % af de prøvetagede LOOP- og GRUMO-indtag et gennemsnitligt nitratindhold over 50 mg/l. For grundvand i vandværksboringer er den tilsvarende andel 0,4 %. I 2016 er der fundet nitratholdigt grundvand med >1 mg/l nitrat i hhv. 77,4 %, 55,4 % og 20,0 % af de prøvetagede indtag i hhv. LOOP- og GRUMO-indtag og vandværksboringer. Det fremgår af Figur 24, at nitratkoncentrationerne i GRUMO-indtagene ligger lidt højere i 2016 sammenlignet med perioden 2012-16. Dette afspejler sandsynligvis, at alle indtag ikke prøvetages lige hyppigt, og at der således i 2016 blev prøvetaget et relativt mindre antal GRUMO-indtag i reduceret grundvand sammenlignet med perioden 2012-2016, hvor alle GRUMO-indtag har været prøvetaget.



Figur 24. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag analyseret i 2016 for 93 LOOP-indtag, 773 GRUMO-indtag og 1692 vandværksboringer og i perioden 2012-16 for 102 LOOP-indtag, 1239 GRUMO-indtag og 5951 aktive vandværksboringer.

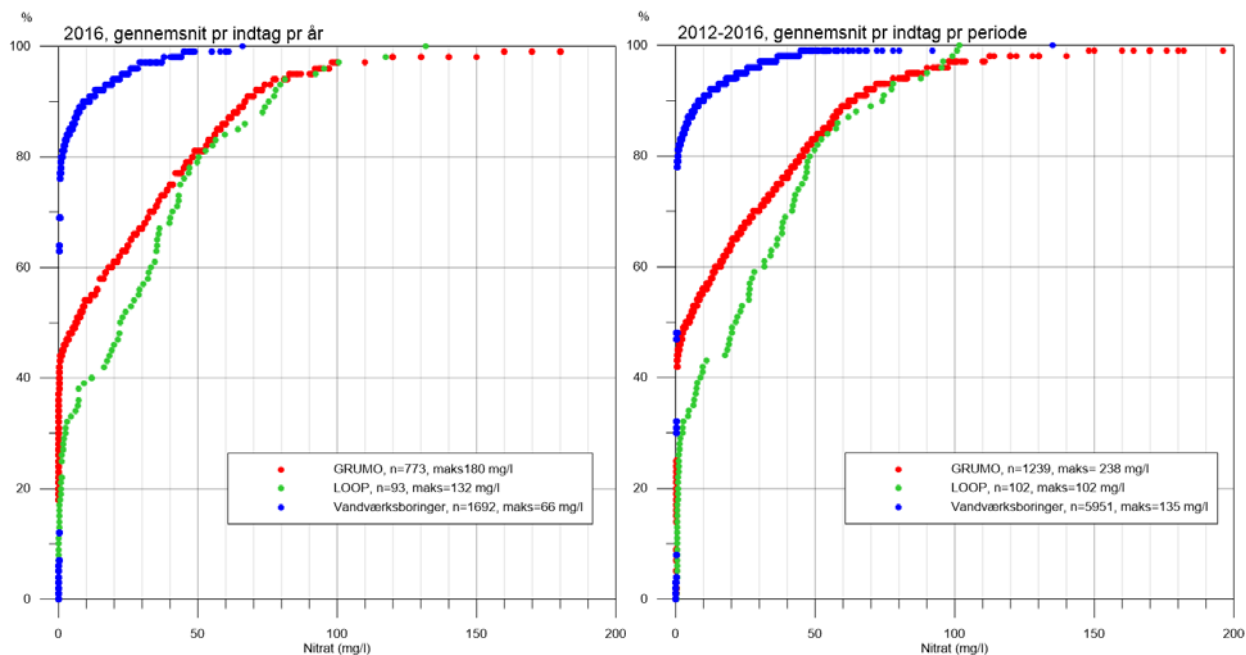
Det fremgår ligeledes af Figur 24, at nitratindholdet i grundvand fra GRUMO-indtag prøvetaget i 2016 er en smule højere sammenlignet med datasættet for perioden 2012-2016. Dette kan afspejle, at alle indtag ikke prøvetages lige hyppigt, og at der i 2016 blev prøvetaget en mindre andel GRUMO-indtag i reduceret grundvand end i perioden 2012-2016, hvor alle GRUMO-indtag har været prøvetaget.

Figur 25 viser et fraktildiagram af fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold på indtagsniveau i grundvandet i 2016 og i perioden 2012-16 i hhv. GRUMO- og LOOP-indtag og aktive vandværksboringer. Formålet med figuren er at illustrere alle årets målte data på én figur, dog med gennemsnit for de indtag, hvor der er mere end én årlig prøve, hvilket især er tilfældet for LOOP-indtag.

Fordelingerne af nitratkoncentrationer fra hhv. GRUMO- og LOOP-indtagene i 2016 er sammenlignelige og sandsynligvis repræsentative for nitratudvaskningen og nitratindholdigt grundvand på landsplan. Dog er der en større andel nitratindholdige indtag i LOOP- end i GRUMO-indtag, hvilket skyldes, at indtagene er mere terrænnære.

Det ses, at der for hver af de tre datagrupper er nogle få indtag med meget høje nitratkoncentrationer (> 100 mg/l). En anden delpopulation af data kan identificeres der, hvor data skærer y-aksen ved x=1 mg/l, og udgør den andel af indtagene, der indeholder nitratfrit grundvand. Nitratfrit grundvand (nitrat <1 mg/l) findes i 2016 i hhv. 22,6 %, 44,6 % og 80,0 % af indtagene i hhv. GRUMO- og LOOP-indtag samt i aktive indvindingsboringer (se Figur 24). Forskellene mellem de tre datasæt er hovedsageligt et udtryk for forskelle i dybdefordelingen af indtagene i de forskellige stationsnet (se Figur 26 og Figur 34), og det forhold at GRUMO-indtag og vandværksboringer monitorer nitratudvaskningen fra et større geografisk område end LOOP-indtagene.

Fordelingen af nitrat i LOOP- og GRUMO-indtag samt i vandværksboringer lå i 2016 på nogenlunde samme niveau som i den foregående 5-årsperiode, 2012-2016 (se Figur 24). Dette indikerer, at koncentrationerne i 2016 er repræsentative for det overvågede grundvand, trods variationer i prøvetagningsfrekvens og stationsnet fra år til år.



Figur 25. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i grundvandet i 2016 (venstre del af figuren) og i perioden 2012-2016 (højre del af figuren) i alle indtag fra GRUMO- og LOOP-indtag og aktive vandværksboringer med koncentrationer under 200 mg/l. Antallet af indtag og maks. koncentration af nitrat i hver gruppe fremgår af signaturforklaringen. For indtag med mere end én prøve i 2016 er det årlige gennemsnit benyttet.

4.2 Grundvandsovervågningen

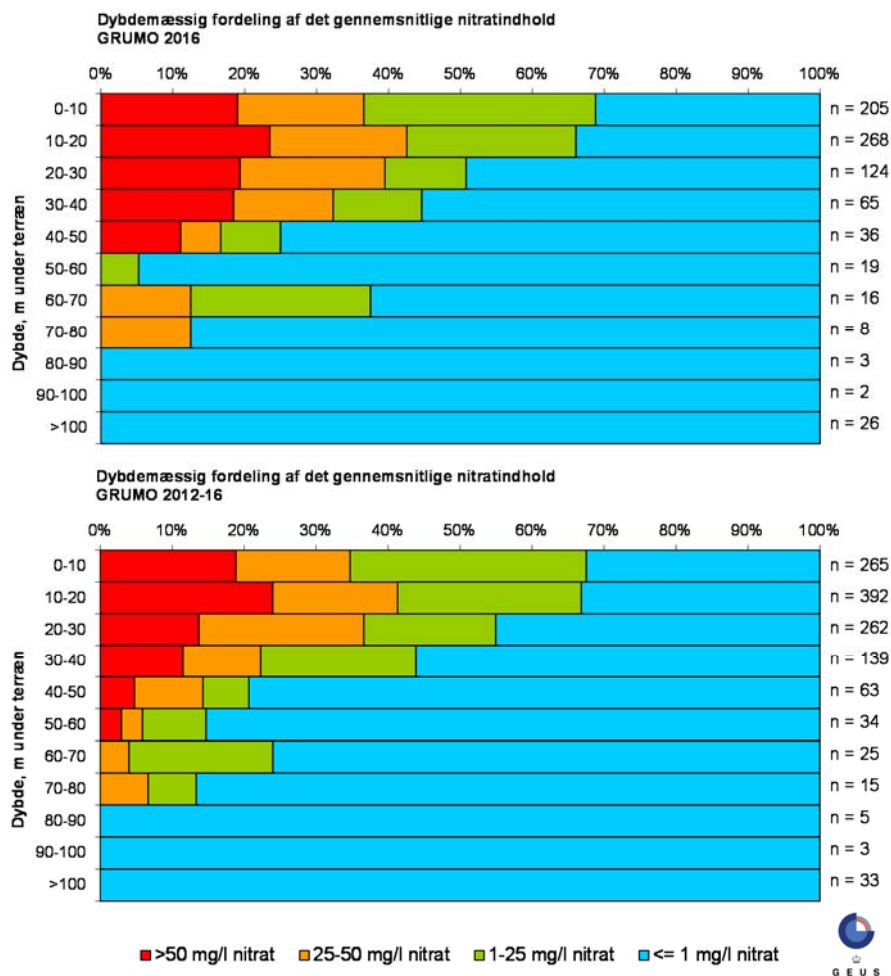
Status for Nitrat

Figur 26 viser fordelingen af nitrat i GRUMO-indtagene i 2016 og i perioden 2012-2016 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 både i 2016 og for perioden 2012-2016. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 20 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 36 % af indtagene i dybdeintervallet 0-10 m u.t. både i 2016 og i perioden 2012-2016. Koncentrationerne og fordelingen er omtrent den samme i dybdeintervallet fra 10-20 m u.t. som i 0-10 m u.t., dog er der flere indtag i dybdeintervallet 10-20 m u.t. (ca. 42 %) med koncentrationer over 25 mg/l for både 2016 og hele perioden fra 2012-2016.

Der ses et gradvist fald i nitratindholdet med dybden, der hovedsageligt må skyldes nitratreduktion i grundvandsmagasinerne, hvilket også resulterer i, at den relative andel af indtag i reduceret grundvand stiger med dybden.

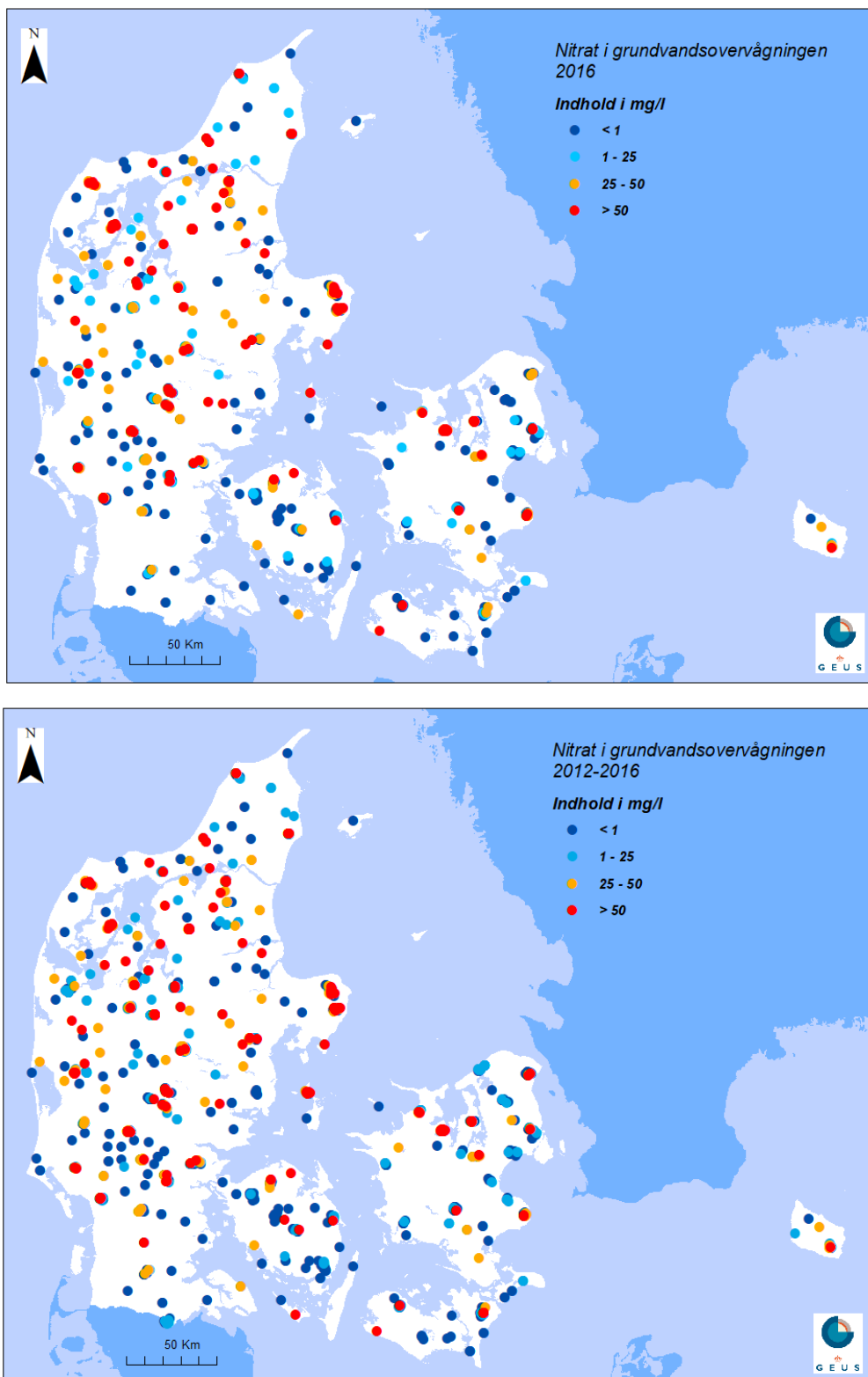
Fra 60 m u.t. er der ikke påvist et gennemsnitligt nitratindhold over 50 mg/l i GRUMO-indtag for perioden 2012-2016, og fra omkring 80 m u.t. er nitratkoncentrationen generelt under 1 mg/l. Det skal bemærkes, at antallet af GRUMO-indtag under 50 m's dybde er meget begrænset.

Forskellen i fordelingen af nitrat med dybden i 2016 i forhold til 2012-2016 skyldes det forskellige datagrundlag fra hhv. 772 og 1236 GRUMO-indtag. Grunden til at der ligger nitratanalyser fra 772 indtag og ikke fra 773 indtag til grund for figur 24 skyldes, at der mangler oplysninger om dybden til ét indtag, der er prøvetaget for nitrat i 2016.



Figur 26. GRUMO. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i forhold til top af indtag i m u.t. i 772 og 1236 GRUMO-indtag for hhv. 2016 og 2012-16 og opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Figur 27 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 773 og 1236 GRUMO-indtag i hhv. 2016 og 2012-16. Det ses, at nitrat optræder i koncentrationer over kravværdien jævnt fordelt i hele landet.

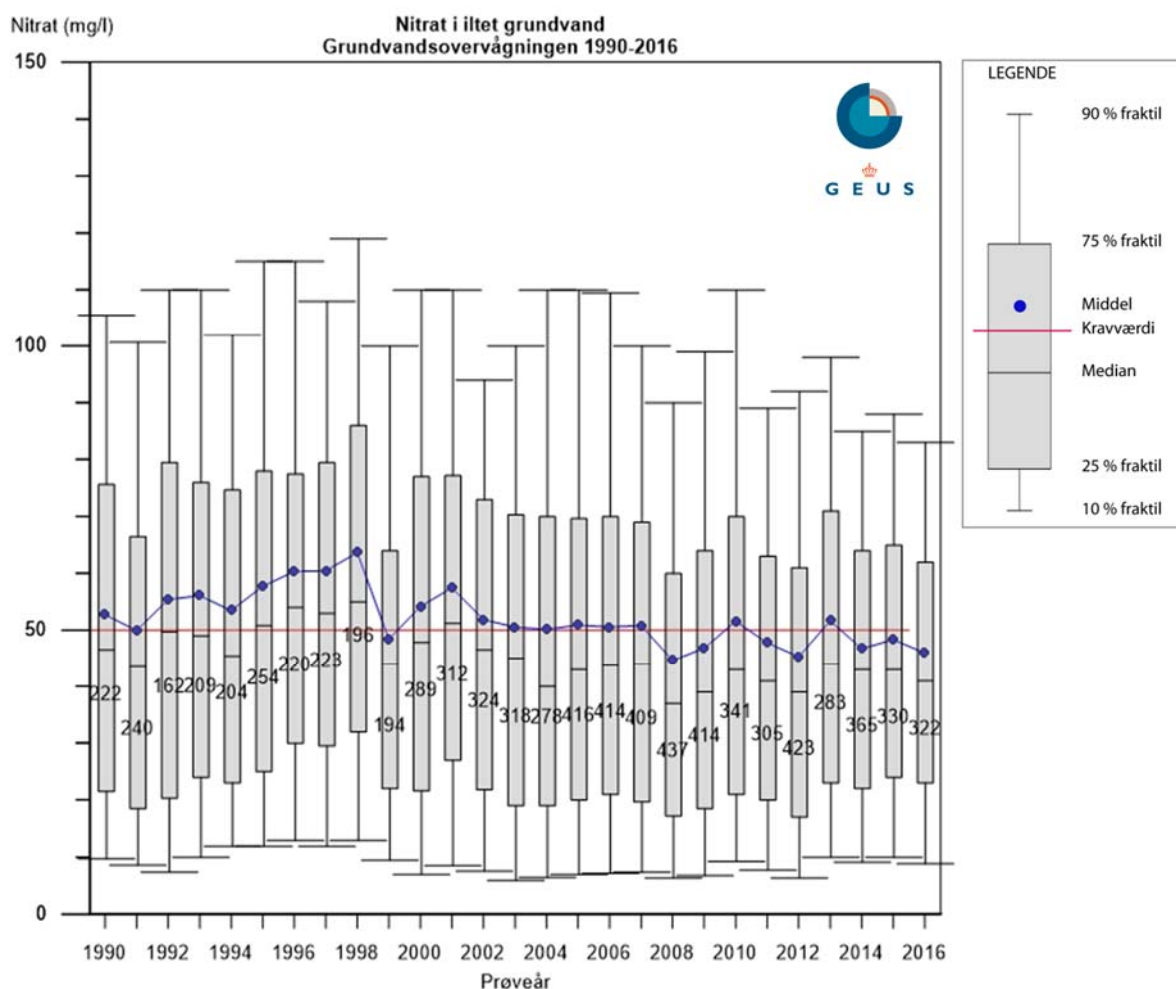


Figur 27. GRUMO. Gennemsnitligt nitratindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag 2016 (øverst) og 2012-2016 (nederst). Nitratindholdet i de hhv. 773 og 1236 indtag er opdelt på fire koncentrationsklasser. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortene.

Figur 28 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO-indtag fra 1990-2016 i forhold til prøvetagningstidspunktet. Indtag med iltholdigt grundvand er udvalgt jf. algoritmen, som er beskrevet i bilag 3. Figuren er baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag. Omkring 43 % af de prøvetagede GRUMO-indtag i 2016 indeholdt iltholdigt grundvand, mens ca. 55 % af GRUMO-indtagene indeholdt nitrat. Det iltholdige grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktilerne samt gennemsnitsværdi og kravværdi er vist.

Figuren udtrykker nitratindholdet i grundvandet på prøvetagningstidspunktet og afspejler ikke en egentlig tidslig udvikling af påvirkningen fra nitratudvaskningen. Det skyldes, at opholdstiden for det iltede grundvand varierer fra få år og op til 50 år, hvilket datering af grundvandet har vist, se appendiks 3.

Nitratindholdet i det iltholdige grundvand udviser alle år en stor spredning. Medianværdien ligger igennem hele overvågningsperioden noget under gennemsnitsværdien, hvilket indikerer, at der forekommer enkelte meget høje nitratværdier. De højeste median- og gennemsnitsværdier ses i 1996-1998. De sidste 10 år har middelværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l, dog med flest årlige middelværdier under kravværdien og en tendens til, at færre indtag viser meget høje koncentrationer (faldende 90 % fraktil).



Figur 28. GRUMO. Tidsserie for det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2016. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag pr. år. Antal af indtag er angivet for hvert år.

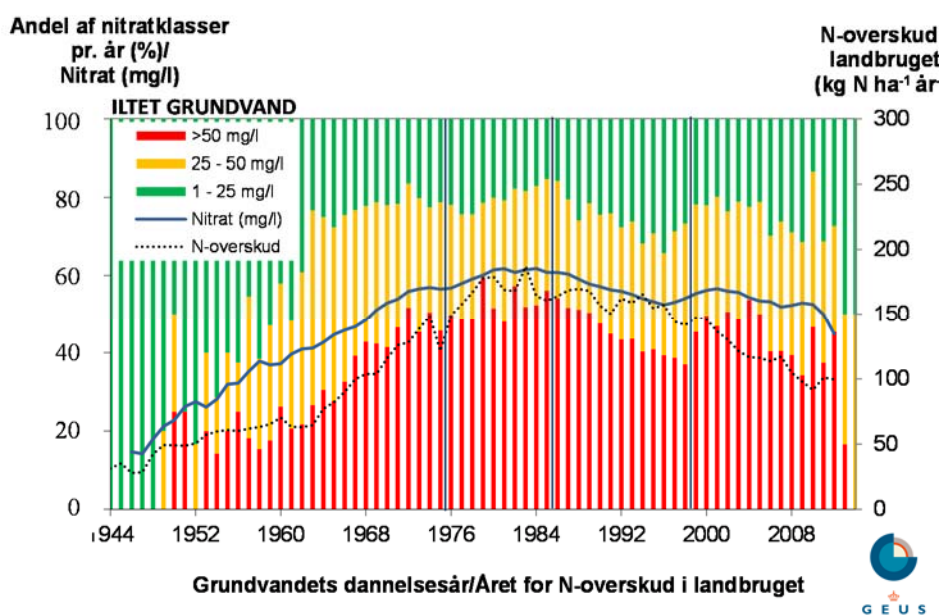
Tidlig udvikling i iltet grundvand

Udviklingen i nitratinholdet i grundvandet vurderes på baggrund af GRUMO-indtag med iltholdigt grundvand i forhold til grundvandets dannelsesår. Datering af det iltholdige grundvand bruges til at estimere grundvandets dannelsesår, og dermed nitrats transporttid fra rodzonen til indtaget i grundvandet, hvor prøven udtages. Dermed kan tidspunktet for udvaskning af kvælstof fra landbruget direkte sammenlignes med de målte nitratkoncentrationer i iltet grundvand, og herved kan effekten af indsatser i de danske miljøhandlingsplaner for nedbringelse af nitratudvaskningen direkte evalueres.

I dette afsnit opsummeres tidligere rapporterede resultater angående den tidlige udvikling i nitrat i iltet grundvand. Nye analyser af udviklingen i nitratinholdet i grundvandet vil blive gennemført ca. hvert 5. år, afhængig af, om der er foretaget nye dateringer og længden af monitoringsperioden for de enkelte indtag.

I rapporteringen af grundvand 1989-2008 (Thorling m.fl., 2010a), Hansen m.fl. (2011), Hansen m.fl. (2012) og Dalsgaard m.fl. (2014) blev der præsenteret en trendanalyse af nitratinhold i iltet grundvand baseret på nitrattmålinger fra 194 indtag med iltet aldersdateret grundvand prøvetaget i perioden 1988-2009. I GRUMO-indtagene var der i 2013-2014 fokus på aldersdatering af et større antal indtag i iltet grundvand, sådan at grundlaget for nitrattrendanalyse kunne gøres større og bedre. I rapporteringen af grundvand 1989-2014 (Thorling m.fl., 2015b), 1989-2015 (Thorling m.fl., 2016), Hansen & Larsen (2016) og Hansen m.fl. (2017) er resultaterne af en ny og større trendanalyse af nitratinhold i iltet grundvand præsenteret baseret på prøvetagninger fra 1988-2014 i 340 indtag med iltet aldersdateret grundvand.

Figur 29 viser 5-års glidende gennemsnit for nitratinholdet i iltet grundvand baseret på 5.506 prøver fra 340 GRUMO-indtag fra den seneste nitrattrendanalyse. Det 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand inddeles i fire perioder: 1. periode 1944-1975, 2. periode 1975-1985, 3. periode 1985-1998 og 4. periode 1998-2012. Perioderne er fastlagt på baggrund af den overordnede udvikling i nitratinholdet i iltet grundvand og tidspunktet for igangsættelse af de forskellige miljøhandlingsplaner. I 1. periode er nitratinholdet kraftig stigende og i 2. periode nås et maksimum omkring det tidligere fundne knæpunkt i 1980 (Hansen m.fl., 2011; Hansen m.fl., 2012). I 3. periode blev NPo (1985), VMP I (1987) og Handlingsplan for bæredygtig landbrug (1991) igangsat, mens VMP II (1998), Ammoniak handlingsplanen (2001), VMP III (2004) og Grøn vækst (2009) er initialiseret i 4. periode.



Figur 29. GRUMO. Iltet grundvand i GRUMO-indtag: 5-års glidende gennemsnit af nitrat i iltet grundvand (blå linje). Andel af prøver i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5.506 prøver fra 340 iltede daterede indtag. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten.

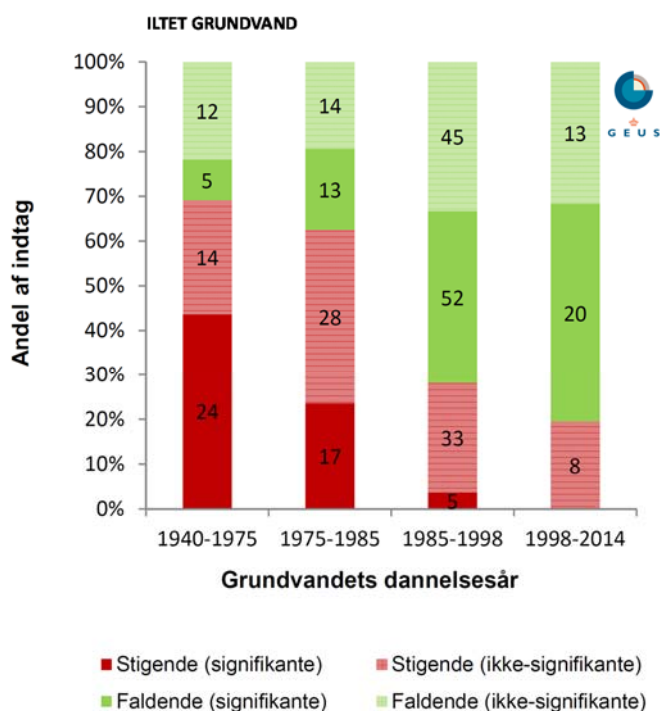
Figur 29 viser også N-overskuddet i dansk landbrug beregnet på baggrund af data fra Danmarks Statistik fra den primære danske landbrugssektor. N-overskuddet er den mængde kvælstof, der ikke udnyttes i landbrugsproduktionen, og som dermed potentielt kan tabes til miljøet fx i form af nitratudvaskning til grundvandet. Det ses, at kvælstofoverskuddet har været stigende fra 1940'erne og frem til ca. 1983, hvorefter det har været faldende frem til 2012 til et niveau på omkring 100 kg N/ha/år svarende til 260.000 t N/år.

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

Udviklingen i nitratkoncentrationen i individuelle GRUMO-indtag med iltet grundvand er undersøgt med en lineær regressionsanalyse af nitratidsserier fra de enkelte indtag. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst otte år i de enkelte delperioder. I alt 303 tidsserier indgår i de fire delperioder i Figur 30 (1940-75, 1975-85, 1985-1998 og 1998-2014), hvilket betyder, at nogle af de 250 indtag går igen i flere delperioder.

En nitratrend tolkes som stigende, hvis hældningskoefficienten af regressionslinjen gennem målepunkterne er positiv, og faldende, hvis den er negativ. Figur 30 viser det akkumulerede resultat af de 303 beregnede nitratrends fordelt på de fire perioder med både signifikante og non-signifikante trends ved et 95 % konfidensniveau.

Figur 30 viser en tydelig udvikling mod et faldende nitratindhold i iltet grundvand både, når kun udviklingen i de signifikante trends betragtes, og når både signifikante og non-signifikante trends undersøges. Det ses, at antallet af prøver for sidste periode (1998-2014) giver et spinklere datagrundlag (41 indtag) end fx perioden 1975-1985 (135 indtag).



Figur 30. GRUMO. Iltet grundvand: nitratrends i 303 overvågningsindtag i iltet grundvand i 4 perioder i forhold til grundvandets dannelsesår. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst 8 år. Tallene inden i søjlerne angiver antallet af indtag. Der er vist både signifikante og ikke-signifikante nitratrends på 95 % konfidensniveau.

4.3 Landovervågningen

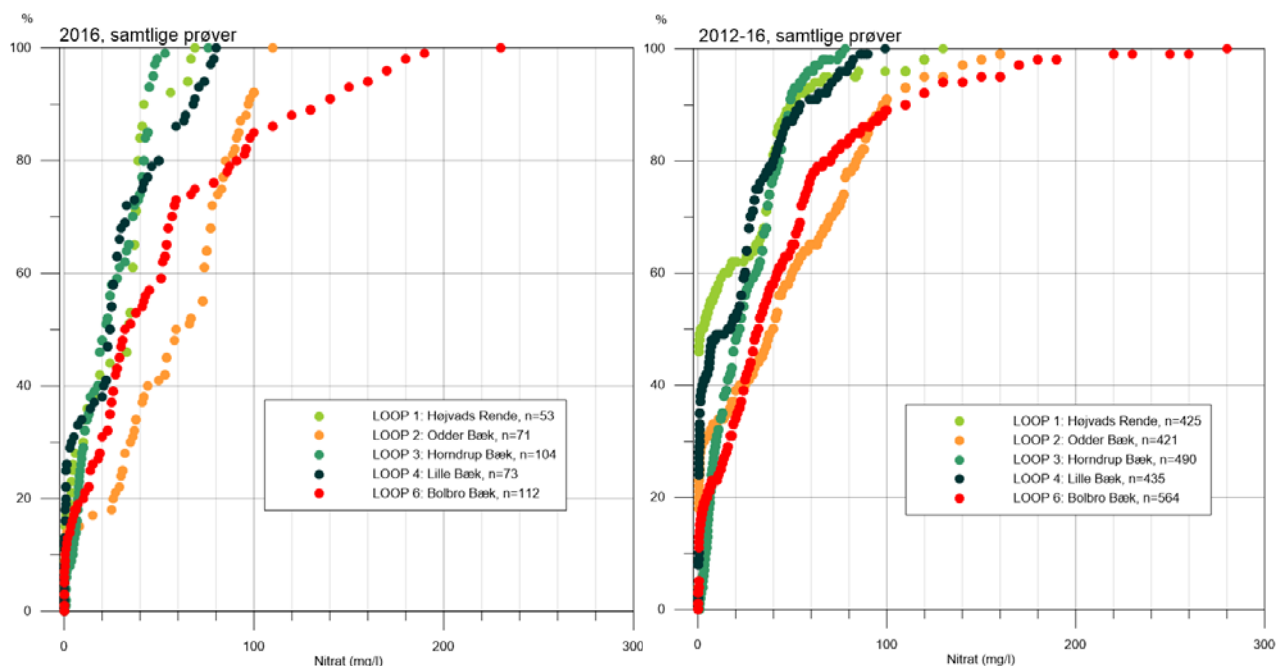
Status for Nitrat

Figur 31 viser fordelingen af nitratkoncentrationen i alle prøver i 2016 og for perioden 2012-2016 i de fem målte LOOP-område afbilledet i et fraktildiagram. Nitratkoncentrationerne fra de enkelte LOOP-område ligger noget mere spredt end den samlede fordeling af nitratkoncentrationer fra LOOP som vist i

Figur 25, og udgør kun tilnærmelsesvis hver for sig normalfordelte populationer (Thorling m.fl., 2015b).

Fordelingen af nitratkoncentrationer i 2016 og i perioden 2012-2016 i de 5 målte LOOP område har tilnærmelsesvis det samme overordnede forløb. Dette illustrerer, at et enkelt års målinger giver en repræsentativ fordeling sammenlignet med målinger over fem år.

Generelt ses en større andel af høje koncentrationer i sandjordsoplandene (rødlige signaturer, LOOP 2 og 6) end i lerjordsoplandene (grønlig signaturer, LOOP 1, 3 og 4). De højeste koncentrationer af nitrat er målt i LOOP 6 med koncentrationer på op til 280 mg/l nitrat for perioden 2012-16. Det skyldes dels, at nitratudvaskningen ofte er højere på sandjordene end på lerjordene på grund af en større husdyrtæthed (Blicher-Mathiesen m.fl., 2016), men også at flest indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand.



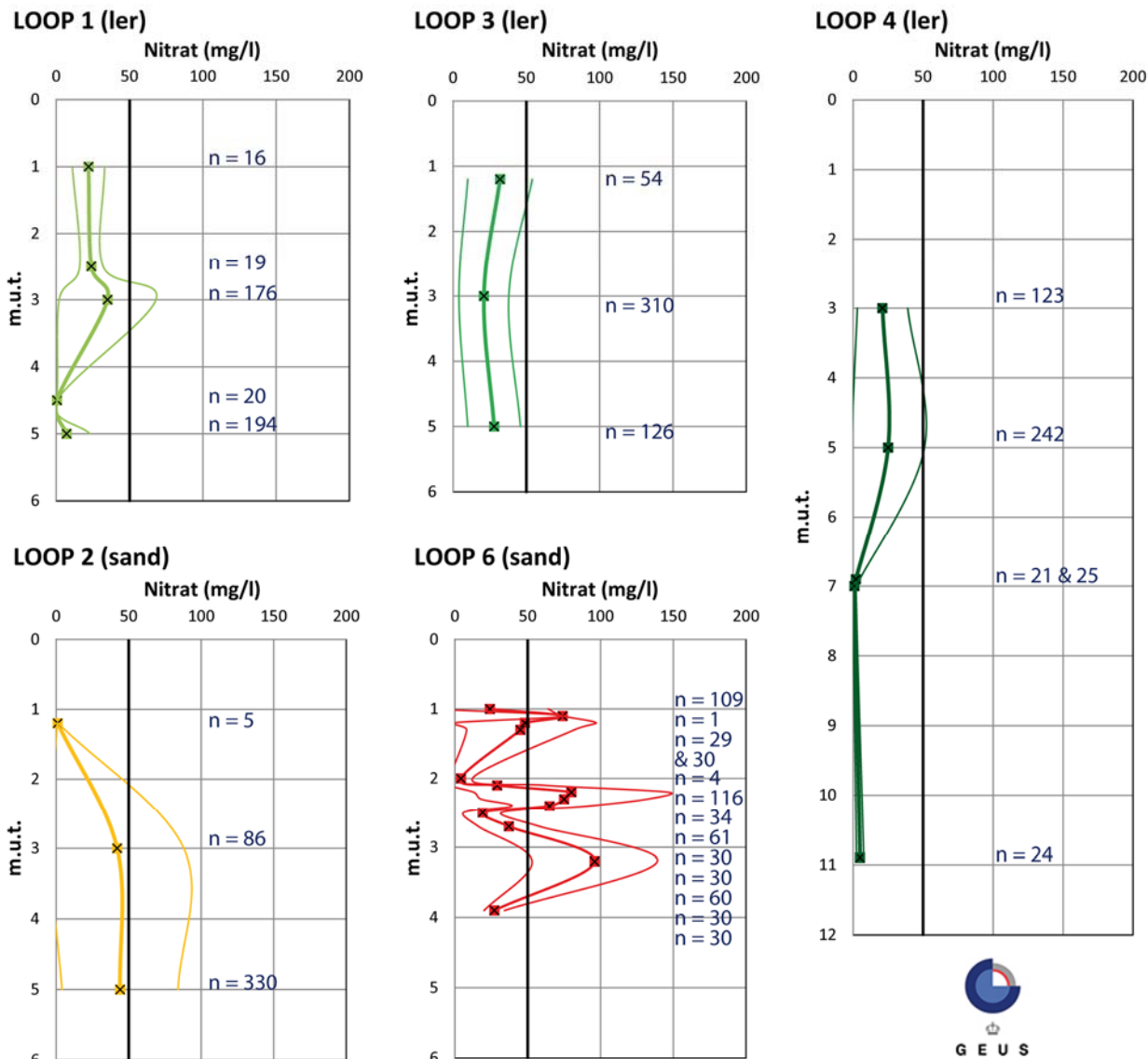
Figur 31. LOOP. Fordelingen af nitratkoncentrationen fra LOOP i samtlige prøver fra 2016 (til venstre) og for perioden 2012-16 (til højre) i de 5 målte LOOP-område afbilledet i et fraktildiagram. Grønlig signaturer viser lerjordsoplande: LOOP 1, 2 og 4, mens rødlige signaturer viser sandjordsoplande: LOOP 2 og 6.

Figur 32 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i LOOP områderne fra 2012-2016. Antallet af prøver, som ligger til grund for de beregnede gennemsnitlige nitratkoncentrationer varierer meget: fra en enkelt prøve (LOOP 6: indtagstop 1,1 m u.t.) til 330 prøver (LOOP 2: indtagstop 5 m u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning omkring den beregnede gennemsnitlige nitratkoncentration, og standardafvigelsen er i visse tilfælde 60-70 mg/l (LOOP 6: indtagstop 2,2 og 2,3 m u.t.).

Figur 32 viser, i overensstemmelse med Figur 31, at nitratkoncentrationerne i sandjordsoplandene er noget højere end i lerjordsoplandene. I to af lerjordsoplandene (LOOP 1 og 4) aftager nitratindholdet med

dybden, hvilket må tilskrives nitratreduktion, idet nitratfronten ligger forholdsvis tæt på terræn. I LOOP 4 (på Fyn) er der målinger til 11 m u.t. Her viser resultaterne, at nitratfronten ligger mere end 5 m u.t., da grundvandet er nitratfrit under denne dybde.

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



Figur 32. LOOP. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand i LOOP-indtag opgjort på filterdybder (indtagets top) i m u.t. for lerjords- og sandjordsoplandene for perioden 2012-2016. Gennemsnittet er baseret på alle målinger i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med tyndere streg. Antallet af målinger (n) i hver dybde er vist med rødt.

Tidslig udvikling i iltet grundvand i LOOP

I dette afsnit analyseres udviklingen i nitratinholdet i iltet grundvand i LOOP i forhold til kalenderåret, da der er valgt samme tilgang som i GRUMO. I andre sammenhænge rapporteres på basis af hydrologiske år (Blicher-Mathiesen, 2016). Udviklingen i nitratinholdet i det iltholdige grundvand i LOOP-områderne er direkte sammenlignelig med nitratudvaskningen fra rodzonen i disse oplande. Ændringer i nitratinholdet kan dermed bruges til at evaluere indsatserne for at nedbringe kvælstoftabet fra landbruget.

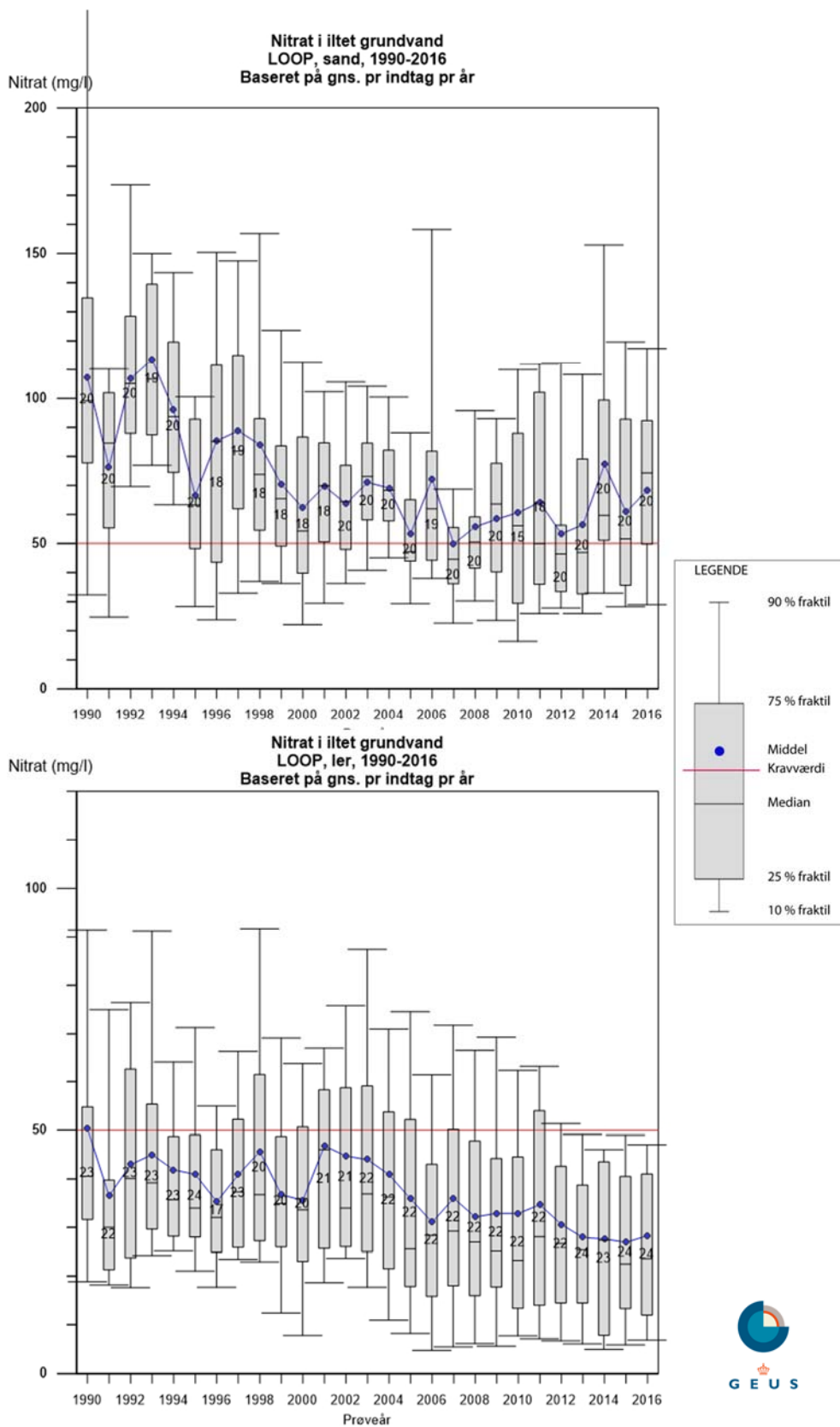
I det terrænære grundvand i LOOP analyseres udviklingen i det iltholdige grundvand i forhold til prøvetagningsåret. Grundvandets dannelsesår anvendes ikke, hvilket skyldes, at datering ikke er muligt i grundvandsprøver fra LOOP-indtagene af tekniske grunde.

Figur 33 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratinhold i LOOP-indtag for oplandene med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4) i forhold til prøvetagningsåret. Figuren er i år baseret på det gennemsnitlige nitratinhold pr. indtag.

I alt overvåges 20 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på sand (LOOP 2: 7 indtag og LOOP 6: 13 indtag) og i alt 24 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på ler (LOOP 1: 2 indtag, LOOP 3: 15 indtag og LOOP 4: 7 indtag). Disse indtag prøvetages om muligt seks gange om året, se bilag 3.

Figur 33 viser, at der er stor spredning i nitratinholdet mellem indtagene, når det illustreres som fordelingen af de årlige gennemsnit på indtagsniveau. Der er en tendens til, at denne spredning er blevet mindre de seneste år på lerjord. Generelt er der et højere nitratinhold i grundvandet i sandjordsoplandene end i lerjordsoplandene, således som det også fremgår af Figur 31 og Figur 32. I det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjorde er der hhv. ca. 70 % (14 ud af 20) og ca. 8 % (2 ud af 24) af indtagene, hvor nitratinholdet i gennemsnit ligger over 50 mg/l.

I første halvdel af overvågningsperioden frem til hhv. år 2000 og 2006 observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i både sandjords- og lerjordsoplandene. I hele måleperioden ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat for alle iltede indtag på sandjordene over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2016 ligger det gennemsnitlige nitratinhold på 68 mg/l og 28 mg/l i hhv. sand- og lerjordsoplandene, det vil sige, at nitratinholdet i det iltede grundvand i gennemsnit er mere end dobbelt så højt i sandjordsoplandene i forhold til lerjordsoplandene.



Figur 33. LOOP. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i LOOP-oplande opdelt på sandjord (LOOP 2 og 6) og lerjord (LOOP 1, 3 og 4) vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2016. Diagrammet er baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag. Antallet af indtag er angivet for hvert år.

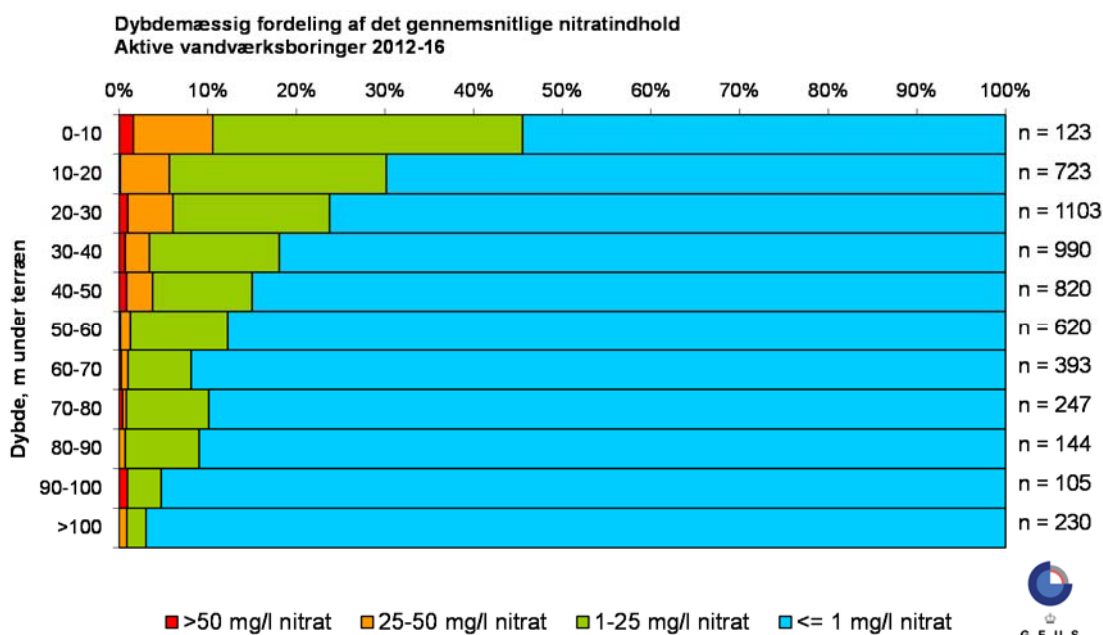
4.4 Vandværksboringer

Status for Nitrat

Figur 34 viser dybdefordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i aktive vandværksboringer i 2012-2016. Der kan optræde data fra boringer, som er sat ud af drift, men som stadig overvåges, og derfor optræder som aktive vandværksboringer i datasættet. Generelt er der lavere koncentrationer af nitrat i vandværkernes indvindingsboringer end i GRUMO-indtagene. Dette kan forklares med, at vandværker prøver at undgå indvinding fra den del af grundvandet, der overskrider kravværdien på 50 mg/l (Schullehner & Hansen, 2014 og DANVA, 2018).

I intervallet fra 0-10 m u.t. er der påvist nitrat i omkring 46 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 2 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 11 % af indtagene. Der er i perioden fra 2012-16 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 90-100 m u.t.

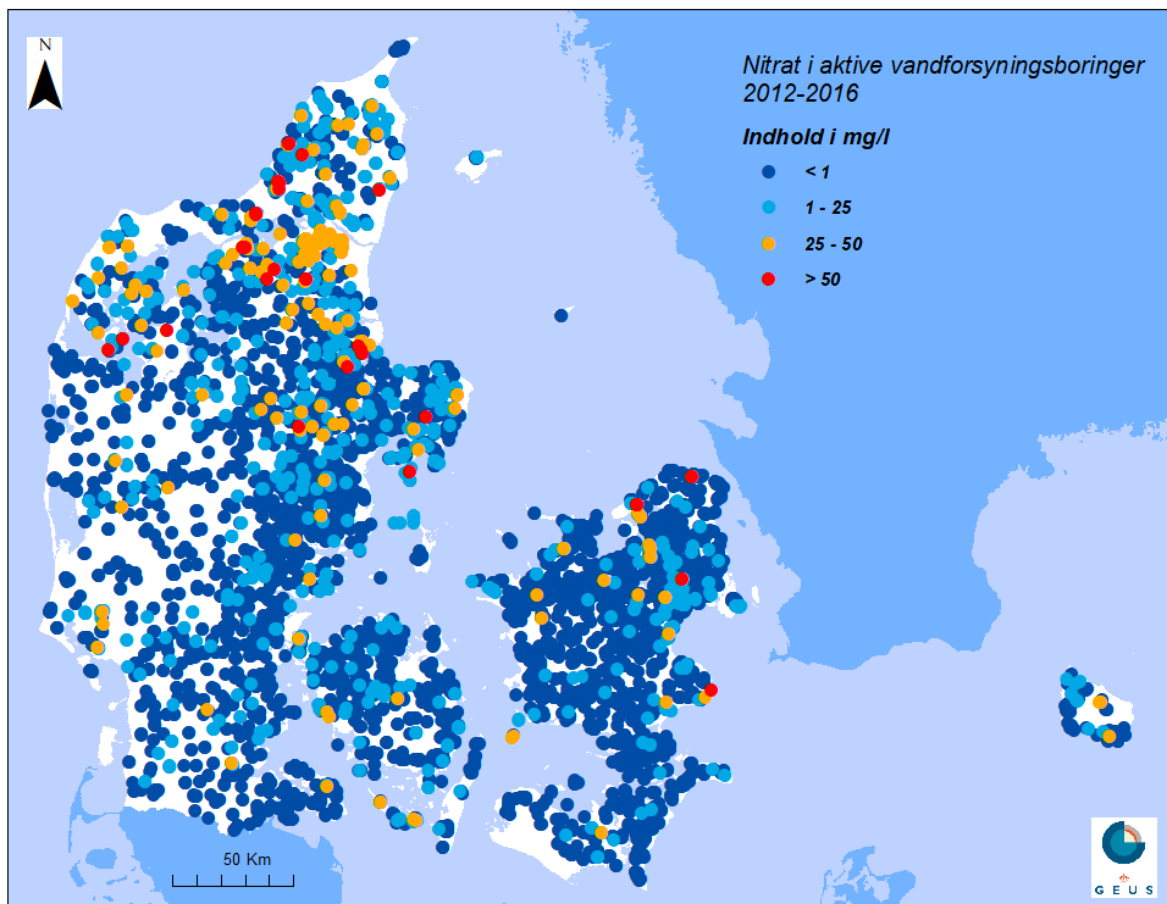
Der ses et gradvist fald i den nitratholdige andel af grundvandet med dybden. Nitrat er i få tilfælde fundet i koncentrationer over 25 mg/l i de dybeste vandværksboringer med top af indtag i en dybde af mere end 100 m u.t. Årsagen til disse dybe fund af nitrat i vandværksboringerne, sammenlignet med GRUMO-indtagene, kan skyldes, at indvindingen lokalt trækker nitrat dybt ned i grundvandsmagasinerne. Det kan muligvis også skyldes at der er flere data i de dybere dele af grundvandet for vandværksboringerne end for GRUMO-indtag, se Figur 60 i appendiks 2.



Figur 34. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2012-2016 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.951 indtag fra aktive vandværksboringer opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Figur 35 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 5.951 vandværksboringer hos aktive vandværker i 5-årsperioden (2012-2016). 36 boringer havde et gennemsnitligt nitratindhold over kravværdien for grundvand og drikkevand i denne periode. Det højeste nitratindhold i perioden var 135 mg/l.

Nitrat i grundvandet i vandværksboringer optræder særligt i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette hænger sammen med at den naturlige beskyttelse af grundvandsmagasinerne i disse områder er ringe på grund af tynde lerdæklag og en relativ dybtliggende nitratfront. Mulighederne for at finde nitratfrit grundvand til vandindvindingsforhold er derfor ringere i disse områder end i resten af landet.



Figur 35. Nitratindholdet i grundvandet i 5.951 aktive vandværksboringer fordelt på fire koncentrationsklasser. Kortet er baseret på gennemsnit pr. indtag i perioden 2012-2016. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

Referencer: Nitrat

Dansk lovgivning mv.

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017a: Lov om vandplanlægning, jf. lovbekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017. (Tidligere lov nr. 1606 af 23. december 2013 om vandplanlægning med senere ændringer)

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017b: Lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (*Miljømålsloven*), jf. lovbekendtgørelse nr. 119 af 26. januar 2017. (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1251 af 29. september 2016 og lovbekendtgørelse nr. 1531 af 8. december 2015 af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder)

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017d: Lov om udpegning af drikkevandsressourcer, jf. lovbekendtgørelse nr. 246 af 15. marts 2017.

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

EU direktiver.

EU, 1991: Nitratdirektivet: RÅDETS DIREKTIV af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, der stammer fra landbruget (91/676/EØF) med senere ændringer.

EU, 1998: Drikkevandsdirektivet: RÅDETS DIREKTIV 98/83/EF af 3. november 1998 om kvaliteten af drikkevand.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer.

Andre henvisninger:

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015: Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164
<http://dce2.au.dk/pub/SR205.pdf>

Dalgaard T, Hansen B, Hasler B, Hertel O, Hutchings N, Jacobsen BH, Jensen LS, Kronvang B, Olesen JE, Schjørring JK, Kristensen IS, Graversgaard M, Termansen M, Vejre H., 2014: Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. *Environmental Research Letters*, Environ. Res. Lett. 9 (2014) 115002 (16pp).
<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/115002>. (4-1-2018)

DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. *Environmental Science and Technology*, vol. 45 no. 1 pp 228-234.

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

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

Hansen, B., Thorling, L., Schullehner, J., Termansen, M. & Dalgaard, T., 2017: Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management. *Scientific Reports*, 7, 8566. DOI: 10.1038/s41598-017-07147-2.

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

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (4-1-2018)

Thorling, L., Ernstsens, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Troldborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (4-1-2018)

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Troldborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2015.aspx (4-1-2018)

Links:

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/> (4.1.2018)

5 Pesticider

Indledning

Pesticidkapitlet er opdelt i to hovedafsnit. Første hovedafsnit omhandler resultater fra grundvandsovervågningsprogrammet (GRUMO). Dernæst behandles i det efterfølgende afsnit resultater fra de almene vandværkers lovpligtige overvågning af vandværksboringerne (boringskontrollen).

I grundvand kan pesticider og deres nedbrydningsprodukter stamme fra erhvervs-mæssig brug af pesticider i skovbrug 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 af regionerne efter Jordforureningsloven (Miljøstyrelsen, 2014). Ifølge Drikkevandsdirektivet og Grundvandsdirektivet er kravværdien for pesticidindholdet i drikkevand og grundvand på 0,1 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l (EU, 1980, 1998 og 2006). Dette er i Danmark implementeret i Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø og fødevarerministeriet, 2017e) og bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål (Miljø og fødevarerministeriet 2017g). GEUS' erfaring viser, at hvis "sum-kriteriet" overskrides i et indtag, vil også kriteriet for mindst et enkeltstof være overskredet i indtaget. "Sum-kriteriet" bruges derfor ikke i denne rapport.

Udviklingen i analyseteknikker har muliggjort opbygningen af et dynamisk analyseprogram for grundvandsovervågningen og boringskontrollen, siden overvågningen af pesticider begyndte omkring 1990. Stofgruppen "pesticider" i analyseprogrammerne har derfor varieret i antal og sammensætning af pesticider og nedbrydningsprodukter over tid. I forbindelse med grundvandsovervågningen er der analyseret for knap 150 stoffer gennem tiden og i boringskontrollen ved de almene vandværker for mere end 200 stoffer. Mange af stofferne er kun analyseret i et meget begrænset antal prøver. Som udgangspunkt indgår alle godkendte prøver i Jupiterdatabasen i de samlede opgørelser af pesticidbelastningen, også data for pesticider der ikke har indgået i grundvandsovervågningens og boringskontrollens analyseprogrammer. Eneste undtagelser er, hvis der tilfældigvis opdages analyseresultater, som er indlysende fejlindberettede, fx hvis samtlige pesticider i en prøve er indberettet med værdien 0,01 µg/l i stedet for <0,01 µg/l, hvor data derfor udgår af rapporteringen.

Den indberettede detektionsgrænse fra laboratorierne har været den samme de sidste godt 25 år - nemlig 0,01 µg/l for stort set alle prøver, der anvendes i denne rapport. Tabel 8 viser, hvilke pesticider og nedbrydningsprodukter, der indgik i grundvandsovervågningen og boringskontrollen i 2016. 2,4-dichlorphenol og 2,6-dichlorphenol indgik også i analyseprogrammerne, men de medtages ikke i opgørelserne, idet de kan stamme fra industrielle processer.

Metalaxyl/metalaxyl-M udgør en særlig udfordring i afrapporteringen. Aktivstoffet metalaxyl findes i to former med forskellig rumlig struktur, to stereoisomerer, hvoraf kun den ene er biologisk aktiv som pesticid. Produkter med metalaxyl indeholder en blanding af de to stereoisomerer, hvorimod produkter med metalaxyl-M kun indeholder den ene stereoisomer. I princippet afhænger koncentrationen derfor af, om man analyserer for metalaxyl eller metalaxyl-M. Man kan derfor helt korrekt indberette to forskellige koncentrationer for den samme vandprøve til Jupiterdatabasen, afhængig af om der alene er målt for den ene stereoisomer (metalaxyl-M) eller begge stereoisomerer (metalaxyl). I rapporten er de to "stoffer" opgjort hver for sig. I praksis er det tilsyneladende lidt tilfældigt, hvilken af stofkoderne der bliver indberettet på til Jupiterdatabasen. Det er dog mest sandsynligt, at de indberettede koncentrationer i de fleste tilfælde vil være den totale koncentration af begge stereoisomerer (metalaxyl), selvom der indberettes på metalaxyl-M stofkoden. Denne antagelse er baseret på, at laboratorierne oftest ikke har lavet stereospecifikke analyser.

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Status	GRUMO	Boringskontrol	Stofgruppe
Glyphosat	Godkendt	X	X	Organofosfonat, ukrudtsmiddel.
AMPA (aminomethylphosphonsyre)*	Godkendt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra glyphosat.
Bentazon	Reguleret	X	X	Thiadiazin, ukrudtsmiddel.
ETU (ethylthiourea)*	Reguleret	X ^{nyt}	X	Nedbrydningsprodukt fra dithiocarbamat svampemidler, heraf er nogle forbudte (maneb, zineb), andre regulerede (mancozeb). Bruges også i nogle industrielle processer fx vulkanisering.
Dichlorprop	Reguleret	X	X	Phenoxysyre, ukrudtsmiddel.
Mechlorprop	Reguleret	X	X	Phenoxysyre, ukrudtsmiddel.
2,4-D	Reguleret	X ^{nyt}		Phenoxysyre, ukrudtsmiddel.
MCPA	Reguleret	X ^{nyt}	X	Phenoxysyre, ukrudtsmiddel.
4-CPP*	Reguleret	X	X	Urenhed i phenoxysyrerne dichlorprop og mechlorprop, sandsynligvis også nedbrydningsprodukt fra dichlorprop og mechlorprop.
2,6-DCPP*	Reguleret	X	X	Urenhed fra nogle phenoxysyrer fx dichlorprop og mechlorprop.
Atrazin	Forbudt	X	X	Triazin, ukrudtsmiddel.
Hydroxy-atrazin	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Desethyl-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra bl.a. atrazin.
Desisopropyl-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin og formentlig andre chlortriaziner.
DEIA (desethyl-deisopropyl-atrazin)*	Forbudt	X	X	Triazin. Nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin, simazin og formentlig andre chlortriaziner.
Desethyl-hydroxy-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin og formentlig andre chlortriaziner.
Deisopropyl-hydroxy-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre chlortriaziner.
Didealkyl-hydroxy-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre chlortriaziner.
Hexazinon	Forbudt	X	X	Triazin (triazinon), ukrudtsmiddel.
Metribuzin	Forbudt	X	X	Triazin (triazinon), ukrudtsmiddel.
Desamino-metribuzin*	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Diketo-metribuzin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Desamino-diketo-metribuzin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Simazin	Forbudt	X	X	Triazin, ukrudtsmiddel.
Hydroxy-simazin*	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra simazin.

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Status	GRUMO	Boringskontrol	Stofgruppe
Desethyl-terbuthylazin*	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin.
4-Nitrophenol*	Forbudt	X	X	Urenhed eller nedbrydningsprodukt fra insektmidlet parathion. Kan også være urenhed i andre midler eller stamme fra industrielle processer.
Metalaxyl/metalaxyl-M	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Acylalanin, svampemiddel.
CGA62826*	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
CGA108906*	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
Diuron	Forbudt	X ^{nyt}	X	Phenylurea, ukrudtsmiddel.
Dichlobenil	Forbudt	X	X	Benzonitril, ukrudtsmiddel.
BAM (2,6-Dichlorbenzamid)*	Forbudt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
2,6-Dichlorbenzoesyre*	Forbudt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.

Tabel 8. Pesticider og nedbrydningsprodukter, der indgik i GRUMO-analyseprogrammet eller boringskontrollen i 2016, sorteret efter administrativ status og stofgruppe. Nedbrydningsprodukter er markeret med *. Stoffer, der er tilføjet GRUMO-analyseprogrammet i 2016 eller boringskontrollen i 2014, er mærket med ^{nyt}. Den administrative status er pr. 19. juni 2017. For nedbrydningsprodukter gælder status for moderstoffet. Ud over stofferne i denne tabel indgår 2,4-dichlorphenol og 2,6-dichlorphenol i både GRUMO-analyseprogrammet og boringskontrollen, men indgår ikke her, da de også kan stamme fra industrielle processer.

5.1 Grundvandsovervågningen

Datagrundlag og metode

Der anvendes i dette afsnit pesticidanalyser fra grundvandsovervågningens GRUMO-indtag fra perioden 1990-2016. Grundvandsovervågningens stationsnet har gennemgået en række ændringer i denne periode dels af tekniske årsager, og dels for at dække forskellige forvaltningsmæssige behov, herunder en gradvis tilpasning til kravene i Vandrammedirektivet. Resultatet er, at der gennem årene er udgået indtag fra stationsnettet, og andre er kommet til, se appendiks 2.

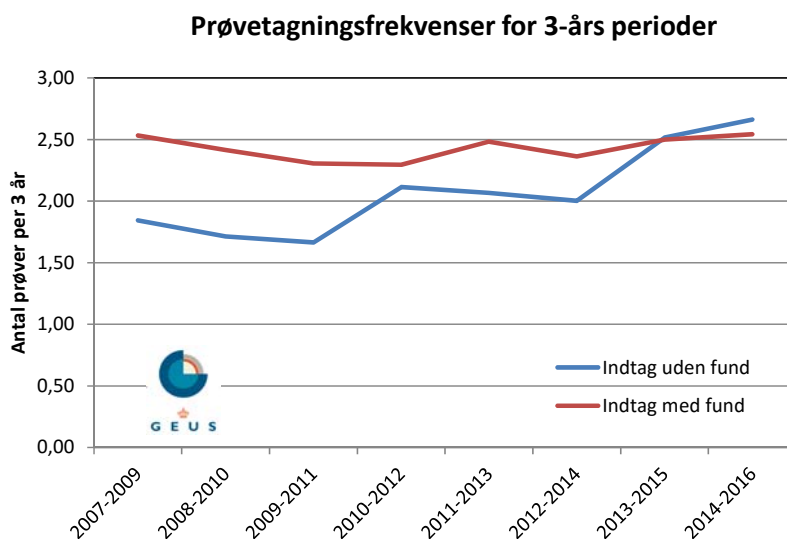
Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet, idet nye pesticider og nedbrydningsprodukter inddrages, når programperioderne revideres. Samtidig udgår stoffer, der kun sjældent eller aldrig påvises i grundvandet. En oversigt over stoffer og den periode de har indgået i analyseprogrammerne er givet i bilag 4. Ud over de obligatoriske stoffer blev der i flere amter udført supplerende analyser i årene op til 2007. I grundvandsovervågningen er der således over årene analyseret for 147 forskellige pesticider og nedbrydningsprodukter fordelt på 18.564 prøver.

Analyseprogrammet var i 2016 ændret sammenlignet med den foregående programperiode (2011-2015), idet alle stoffer, som obligatorisk kontrolleres i vandværkernes boringskontrol samt metalaxyl/metalaxyl-M og deres nedbrydningsprodukter blev tilføjet programmet (Naturstyrelsen, 2016). I analysepakken for 2016 indgik derfor 11 nye stoffer, hvoraf fem stoffer (2,4-D, diuron, ethylthiourea, hydroxysimazin og MCPA) tidligere har været med i grundvandsovervågningen (bilag 4). Samtidig udgik 8 stoffer: Triklordikesyre, CYPM (nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin), picolinafen, CL153815 (nedbrydningsprodukt fra picolinafen), 2-hydroxyterbutylazin og 2-hydroxy-desethyl-terbuthylazin (nedbrydningsprodukter fra ter-

buthylazin), samt PPU og PPU-desamino (nedbrydningsprodukter fra rimsulfuron). Seksten af de 34 stoffer i analyseprogrammet tilhører nu gruppen af triaziner, og seks tilhører gruppen af phenoxysyrer. Tilladte stoffer, hvor der ikke senere er indført restriktioner (regulering) på anvendelsen, er kun repræsenteret ved glyphosat/AMPA.

Bilag 5 viser planlagte prøvetagningsfrekvenser for forskellige typer indtag i de forskellige programperioder fra 1989 og frem. De programlagte prøvetagningsfrekvenser har generelt været meget varierende fra den ene programperiode til den næste, specielt er der stor forskel på perioderne før og efter 2007. Siden 2007 har den programlagte prøvetagningsfrekvens været afhængig af det enkelte indtags pesticidindhold, således at indtag med tidligere pesticidfund er programlagt til prøvetagning oftere end indtag uden fund. Dette skyldes blandt andet, at overvågningen er under tilpasning til Vandrammedirektivet, se kapitel 2. Ifølge de seneste programbeskrivelser skal nye indtag i overvågningen undersøges for pesticider det første år og derefter med en frekvens, der afhænger af analyseresultatet.

Figur 36 viser et overslag over de faktiske, gennemførte prøvetagningsfrekvenser for treårs-perioder siden 2007. Prøvetagningsfrekvenserne er beregnet som antallet af prøver indrapporteret til Jupiterdatabasen for hvert indtag i en treårs-periode baseret på Jupiters prøveID. I enkelte tilfælde er resultater for en prøve indrapporteret for to delprøver, som får tildelt hver deres prøveID, hvorved den beregnede prøvetagningsfrekvens bliver lidt for høj. Dette er fx tilfældet, når nogle pesticider i en prøve indimellem kræver en selvstændig analyse. Indtagene er inden for den enkelte treårs-periode opdelt i indtag med pesticidfund i perioden og indtag uden pesticidfund i perioden. Indtag med pesticidfund er prøvetaget med en stort set konstant frekvens fra 2007 til 2016. Indtag uden pesticidfund er derimod prøvetaget med en stigende frekvens, således at indtag uden fund i stigende grad repræsenteres i datasættets opgørelser for enkeltår. En hovedårsag synes at være årlig prøvetagning af nye indtag i det distribuerede stationsnet fra 2011 og fremefter. Derudover bidrager programbeskrivelsen for 2011-2016, idet indtag i grundvandsforekomster i ringe tilstand som noget nyt skal prøvetages årligt til analyse for pesticider. Disse grundvandsforekomster er ikke nødvendigvis i ringe tilstand pga. pesticider, da ringe tilstand fx også kan skyldes nitrat.



Figur 36. GRUMO. Gennemsnitlige prøvetagningsfrekvenser for treårs-perioder opdelt på indtag med pesticidfund indenfor treårs-perioden og indtag uden fund inden for treårs-perioden.

Variationen i prøvetagningsfrekvens betyder, at det er kompliceret at opstille meningsfulde generelle tidsserier baseret på enkeltår. I løbet af en treårs-periode er der udtaget mindst én prøve fra stort set alle aktive indtag, bortset fra ca. 55 indtag i naturområder, som ifølge programbeskrivelserne kun er prøvetaget én gang pr. 5 år siden 2011. En tidsperiode på tre år anvendes i mange af pesticidopgørelserne for at reducere effekterne af de varierende prøvetagningsfrekvenser. Rapporteringen af pesticidpåvirkning bygger således på en metode, der opgør, i hvor stor en andel af indtagene der mindst én gang i en periode på typisk tre år har været mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller mindst ét stof med overskridelse af kravværdien. Det helt centrale i vores opgørelser er, at hvert indtag kun tæller med

én gang i opgørelser over andelen af indtag i tre koncentrationsintervaller (ikke påvist; 0,01-0,1 µg/l; >0,1 µg/l), selv om der har været udtaget flere vandprøver, se Appendiks 1.

Det optælles ikke hvor mange stoffer, der har været påvist, eller hvor mange stoffer, der har overskredet kravværdien. Omvendt betyder metoden, at hvis der er udtaget flere vandprøver fra samme indtag over en periode, og der ikke er fund i alle prøver i perioden, men der dog er mindst ét fund, bliver indtaget talt med i kategorien med fund. Denne metode betegnes "periodeopgørelsen", idet formålet med opgørelsen er at karakterisere pesticidbelastningen inden for en given periode. Indimellem kan der forekomme flere stoffer på én gang i en vandprøve eller et indtag. Periodeopgørelser for enkeltstoffer eller stofgrupper (fx forbudte og tilladte pesticider) kan derfor ikke summeres på indtagsniveau på tværs af stofferne. Med andre ord, den samlede belastning overvurderes, hvis man lægger fundandele sammen for enkeltstoffer.

Status, pesticider i Grundvandsovervågningen

Tabel 9 viser, at der i 2016 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i ca. 34 % af de prøvetagede indtag, og kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 8,6 % af de prøvetagede indtag. Resultaterne for de enkelte år afhænger af hvilke indtag, der er prøvetaget det pågældende år, da ikke alle indtag prøvetages hvert år. Tabel 9 viser også en samlet opgørelse for perioden 2014-2016, hvor næsten alle indtag er prøvetaget mindst én gang. Opgørelsen for 2014-2016 viser, at der i perioden er påvist pesticider mindst én gang i ca. 43 % af indtagene, og mindst én gang over kravværdien i 12,7 % af indtagene. Perioden 2014-2016 viser dermed samme niveauer som perioden 2013-2015 med hhv. 43,1 % og 12,9 %, (Thorling mfl., 2016). Idet fundandele er opgjort som fund eller overskridelse af kravværdien for mindst ét stof er de generelle opgørelser domineret af de hyppigst påviste stoffer, dvs. nedbrydningsprodukterne BAM og DEIA. Samlede opgørelser for enkeltstoffer i 2016 og for hele monitoringsperioden 1990-2016 fremgår af bilag 6 og 7.

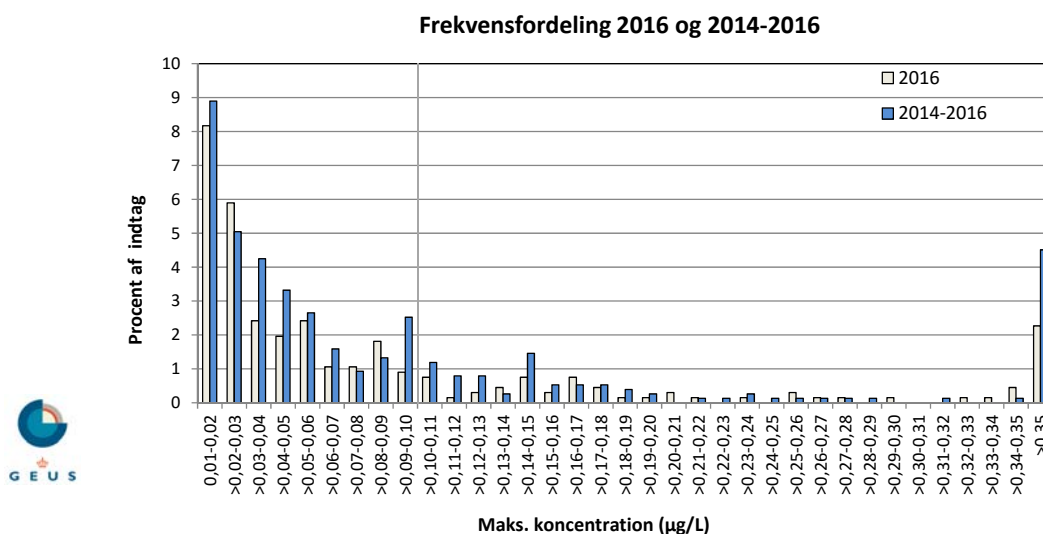
Periodeopgørelsen for 2014-2016 viser en større andel af fund end i de enkelte år, hvilket blandt andet hænger sammen med, at koncentrationen i nogle indtag kan variere lige omkring detektionsgrænsen eller kravværdien, og at nogle stoffer, fx bentazon, kan udvaskes i kortvarige pulse. Pesticidernes genfindning kan også påvirkes af en stor, men varierende vandindvinding (fx markvanding) i nærheden af et indtag, hvor grundvandets strømningsretning derfor varierer, således at grundvandet fra år til år kan have forskellig geografisk oprindelse og derfor varierende pesticidindhold. I alle disse tilfælde kan stoffer påvist i et enkeltår ikke altid påvises i efterfølgende eller forudgående prøver i en given periode. Indtag med varierende fund vil alle indgå i optællingen for perioden 2014-2016, men kun i nogle af optællingerne for de enkelte år.

GRUMO	Prøver antal	Indtag antal			Ind tag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2016	661	661	227	57	34,3	8,6
2015	617	617	220	58	35,7	9,4
2014	675	672	255	73	37,9	10,9
2014-2016	1966	753	326	96	43,3	12,7

Tabel 9. GRUMO. Pesticidfund i GRUMO-indtag vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år og for perioden 2014-2016, hvor alle indtag er analyseret mindst én gang.

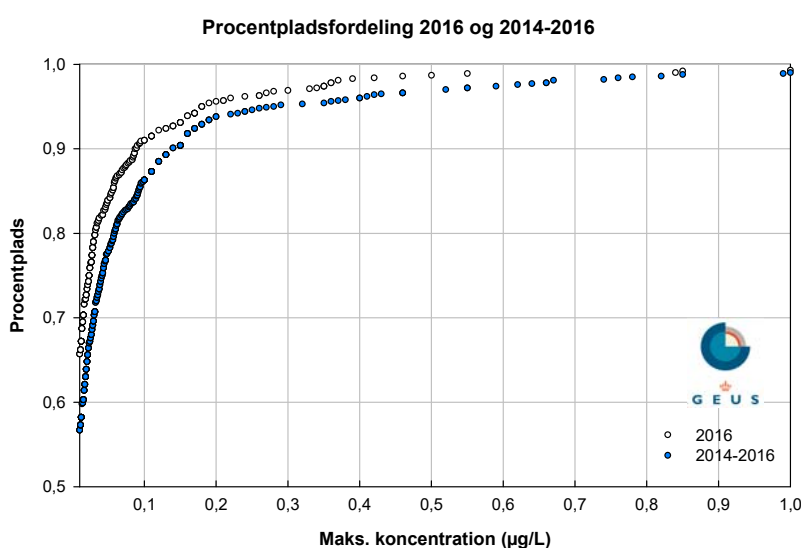
Figur 37 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordeles sig i opgørelsen for 2016 og for perioden 2014-2016. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i 2016 eller 2014-2016.

Det ses af Figur 37, at man får en mere jævn fordeling ved opgørelsen for perioden 2014-2016 sammenlignet med enkeltåret 2016, selvom antallet af indtag kun er lidt større for perioden (Tabel 9). Fundprocenten aftager hurtigt med stigende koncentration, men der er samtidig en "lang hale" af fund over kravværdien.



Figur 37 GRUMO. Frekvensfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjørt for GRUMO-indtag prøvetaget i 2016 og for perioden 2014-2016. Kravværdien på 0,1 µg/l er markeret med en lodret linje. I 2016 blev der ikke påvist pesticider i 66% af de undersøgte indtag, for perioden 2014-2016 blev der ikke påvist pesticider i 57% af de undersøgte indtag.

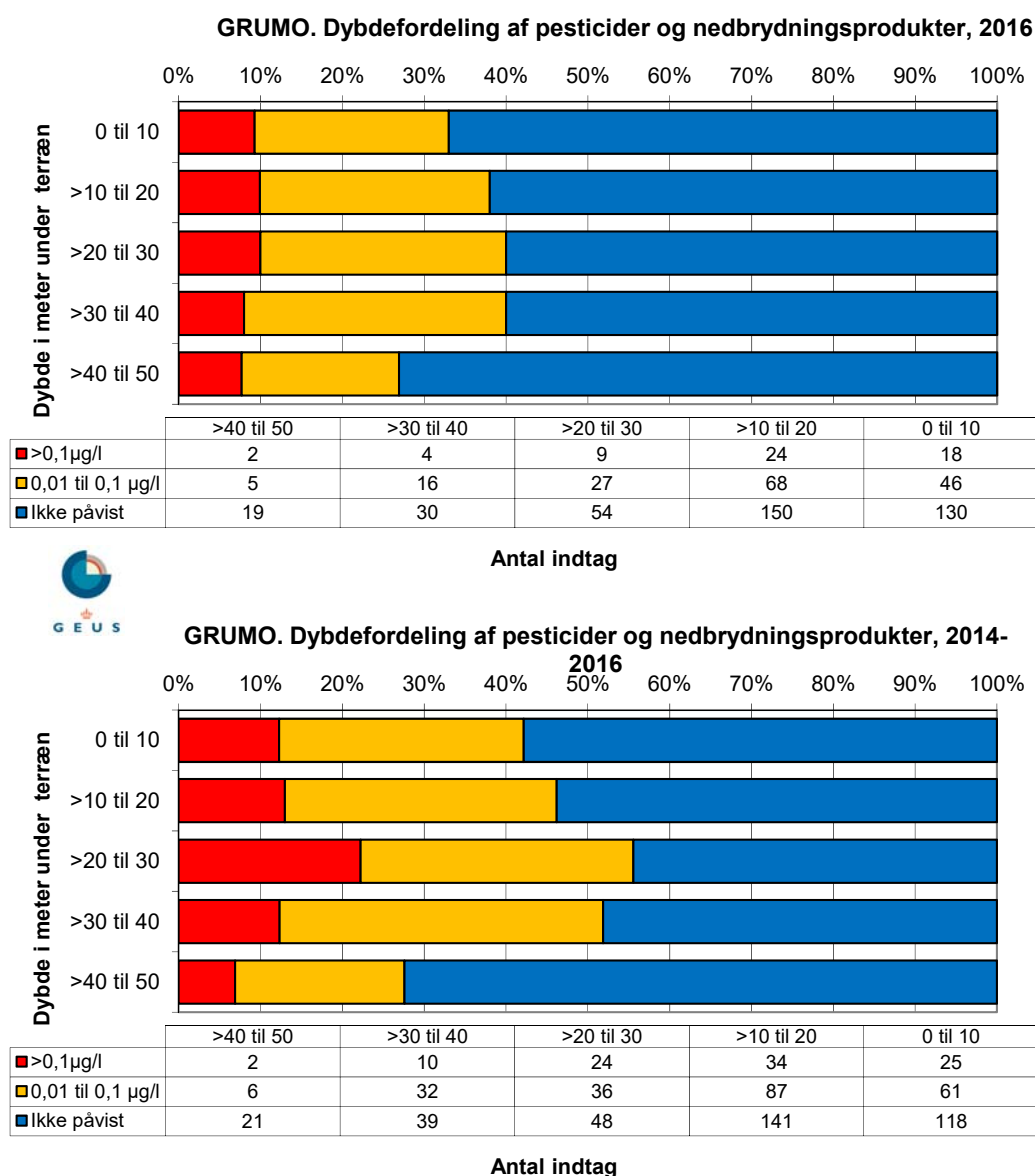
Procentpladsfordelingen i Figur 38 er en anden måde at vise datasættet på. Procentpladsen angiver placeringen i datasættet, fx giver koncentrationen 0,2 µg/l i 2016 resultatet 0,957, hvilket viser, at der i ca. 96 % af de undersøgte indtag i 2016 ikke er fundet koncentrationer over 0,2 µg/l, og at der i ca. 4 % af indtagene mindst én gang er fundet et stof i en koncentration over 0,2 µg/l. Når flere indtag har samme koncentration, er de repræsenteret af ét punkt. Figuren viser kun procentpladsen for indtag, hvor den højeste fundne koncentration i perioden er op til 1 µg/l. Der var i 2016 fire indtag med pesticidkoncentrationer på 1,7-3,1 µg/l og for perioden 2014-2016 syv indtag med mindst ét fund med koncentrationer på 1,7-6,0 µg/l.



Figur 38. GRUMO. Procentpladsfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjørt for GRUMO-indtag prøvetaget i 2016 og for perioden 2014-2016. NB: skala begynder ved 0,5, da der i mere end 50 % af indtagene ikke er påvist pesticider i nogen af prøverne.

Figur 38 viser også, at koncentrationerne er mere jævnt fordelt for perioden 2014-2016 end for enkeltåret 2016, hvilket indikerer, at periodeopgørelsen er mere robust end enkeltåret. Der er et "spring" i tætheden af punkter omkring 0,1 µg/l for både 2016 og perioden 2014-2016. Det skyldes, sandsynligvis, at koncentrationerne oftest indberettes med to betydende cifre, så der er 10 gange så langt mellem punkterne over 0,1 µg/l.

Figur 39 viser pesticidernes forekomst i forskellige dybder. I 2016 blev der inden for hvert af de anvendte dybdeintervaller påvist pesticider i 27-40 % af de undersøgte GRUMO-indtag med en svag tendens til stigende andele af fund indtil 20-40 m u.t. og derefter en faldende tendens. For indtag under 50 m u.t. er der for få prøver til at give en meningsfuld fordeling på de tre koncentrationsklasser. For perioden 2014-2016 blev der inden for hvert af de anvendte dybdeintervaller påvist pesticider i 28-56 % af de undersøgte indtag med en tydelig tendens til stigende andele af fund indtil 30 m u.t. og derefter en faldende tendens. Indtag med overskridelser af kravværdien viser tilsvarende tendenser i forhold til dybden for 2014 - 2016.



Figur 39. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider i GRUMO-indtag, der er analyseret i 2016 og perioden 2014-2016. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terrænet til overkanten af indtaget.

11 "nye" stoffer i Grundvandsovervågningens analyseprogram

Der blev i 2016 undersøgt for 11 "nye" stoffer, hvoraf de fire tidligere har indgået i analyseprogrammet for grundvandsovervågningen. Tabel 10 viser opgørelser for disse stoffer enkeltvis og samlet for de 11 stoffer. Nedbrydningsproduktet CGA 62826 var sammen med ethylthiourea de eneste "nye" stoffer, som overskred kravværdien. Det hyppigst fundne "nye" stof var CGA 62826, som blev påvist i 2,7 % af de undersøgte indtag. Tre "nye" stoffer (2,4-D, desamino-metribuzin og hydroxy-simazin) blev ikke påvist i 2016. De "nye" stoffer blev fundet enkeltvis i indtagene, bortset fra fem indtag, der indeholdt CGA 62826 og CGA 108906 eller CGA 62826 og moderstoffet metalaxyl.

11 "nye" stoffer i 2016	Prøver antal	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
"Nye" pesticider samlet	660	660	33	2	5,0	0,3
CGA 62826*	660	660	18	1	2,7	0,2
Terbutazin, desethyl*	660	660	5	0	0,8	0,0
Metalaxyl	642	642	4	0	0,6	0,0
Atrazin, hydroxy-*	660	660	4	0	0,6	0,0
MCPA	660	660	2	0	0,3	0,0
CGA 108906*	660	660	2	0	0,3	0,0
ETU (ethylthiourea)*	660	660	2	1	0,3	0,2
Diuron	660	660	1	0	0,2	0,0
2,4-D	660	660	0	0	0,0	0,0
Metribuzin-desamino*	660	660	0	0	0,0	0,0
Simazin, hydroxy*	660	660	0	0	0,0	0,0
Metalaxyl-M	18	18	0	0	0,0	0,0

Tabel 10. GRUMO. 11 "nye" stoffer i 2016. Nedbrydningsprodukter er markeret med *. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) i 2016. Aktivstoffet metalaxyl kan indberettes både som metalaxyl og metalaxyl-M, som derfor er opgjort hver for sig.

Tilladte og forbudte stoffer i Grundvandsovervågningen

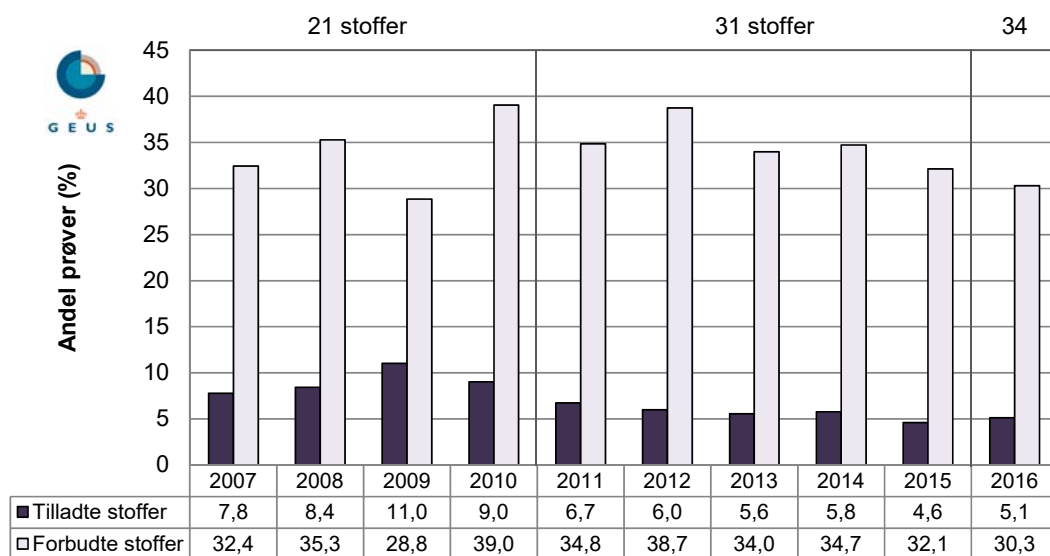
Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen for at beskytte grundvandet. Hvis et nedbrydningsprodukt kan dannes fra både regulerede og forbudte pesticider (fx ETU), medtages det som et reguleret stof. Den regulative status for stofferne i 2016-analyseprogrammet er vist i Tabel 8. Kun stoffer fra Tabel 8 indgår i opgørelserne i Tabel 11. 2,4-D har ændret status fra forbudt til reguleret, men da 2,4-D er et nyt stof i analyseprogrammet fra 2016, har ændringen ingen betydning for opgørelserne. Opgørelser fra enkeltårene 2007-2016 kan ses i bilag 8. Miljøstyrelsen har ikke inddelt i regulativ status for perioden før 2007.

2014-2016	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	≥0,1 µg/l
Tilladte stoffer	753	56	17	7,4	2,3
Forbudte stoffer	753	288	78	38,2	10,4

Tabel 11. GRUMO. Forekomst af tilladte og forbudte pesticider i perioden 2014-2016. Et indtag kan indeholde både tilladte og forbudte stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). Opgørelser fra enkeltårene 2007-2016 kan ses i bilag 8.

Med den seneste ændring af analyseprogrammet repræsenteres de godkendte stoffer nu af glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, ligesom det var tilfældet i programperioden 2007-2010. Glyphosat/AMPA er ikke repræsentative for de mange vidt forskellige godkendte stoffer. Godkendte stoffer er derfor ikke opgjort særskilt, men derimod sammen med regulerede stoffer, der tilsammen udgør gruppen tilladte stoffer, for at vise udviklingen i tilladte stoffer, dvs. stoffer der har en lovlig anvendelse i dag. Tabel 11 viser fordelingen af tilladte og forbudte stoffer opgjort for perioden 2014-2016. Mindst ét tilladt pesticid eller nedbrydningsprodukt blev fundet mindst én gang i 7,4 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 2,3 % af indtagene. Forbudte pesticider og deres nedbrydningsprodukter blev fundet mindst én gang i 38,2 % af indtagene med en overskridelse af kravværdien i 10,4 % af indtagene. Forbudte stoffer blev dermed fundet langt hyppigere end de tilladte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør den største andel af stoffer i analyseprogrammet.

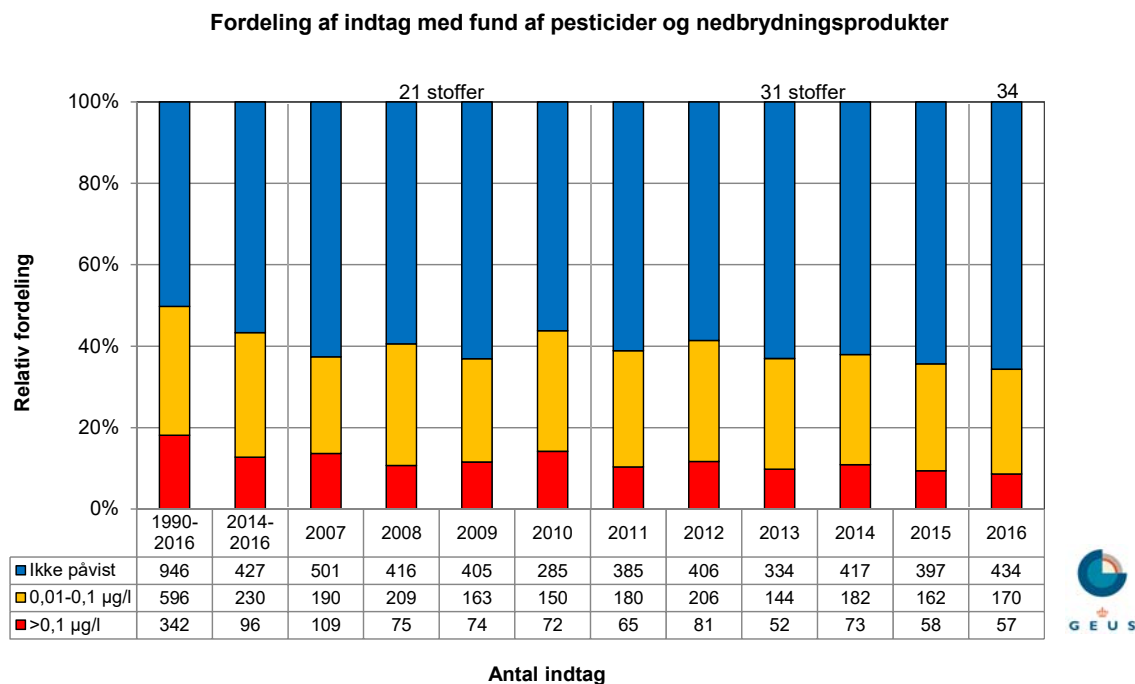
Figur 40 viser den tidlige udvikling i fund af tilladte og forbudte stoffer for de enkelte år med udgangspunkt i den administrative status i Tabel 8. I opgørelserne indgår de stoffer, som var en del af periodernes analyseprogram, dvs. også 8 stoffer fra overvågningsprogrammet for 2011-2015, som nu er udgået af programmet. Opgørelserne er baseret på prøver pr. år, fordi der kun i ganske få tilfælde i denne periode er udtaget mere end én vandprøve pr. år pr. indtag. Figur 40 viser også, at der overvejende påvises stoffer, der nu er forbudte. Andelen af prøver med tilladte stoffer toppede omkring 2009, hvor der var relativt mange fund af glyphosat og AMPA og har været stort set stabil fra 2012 og fremefter.



Figur 40. GRUMO. Fordeling af tilladte og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter, beregnet som andel prøver med fund for enkeltår for de to stofgrupper. Programperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal stoffer i analyseprogrammet i hver periode er angivet over figuren.

Udviklingstendenser i Grundvandsovervågningen

Figur 41 viser, hvor stor en del af det overvågede grundvand, der er eller har været påvirket af pesticider. Andelen af prøvetagede indtag med pesticidfund, over eller under kravværdien, har været forholdsvis konstant i opgørelser for enkeltår fra 2007 til 2016, men med nogen variation fra år til år. Periodeopgørelser for 1990-2016 og 2013-2016 er vist til sammenligning med enkeltårene. I hele overvågningsperioden 1990-2016 er der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 50 % af de undersøgte indtag, hvoraf der i 18 % var mindst én overskridelse af kravværdien på 0,1 µg/l.



Figur 41. GRUMO. Tidlig fordeling af pesticider i GRUMO-indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år samt for perioderne 1990-2016 og 2014-2016. Antal indtag i hver kategori er anført under de enkelte år og perioder. Programperioder er angivet med lodrette linjer, mens antal stoffer i analyseprogrammerne i hver periode er angivet over figuren.

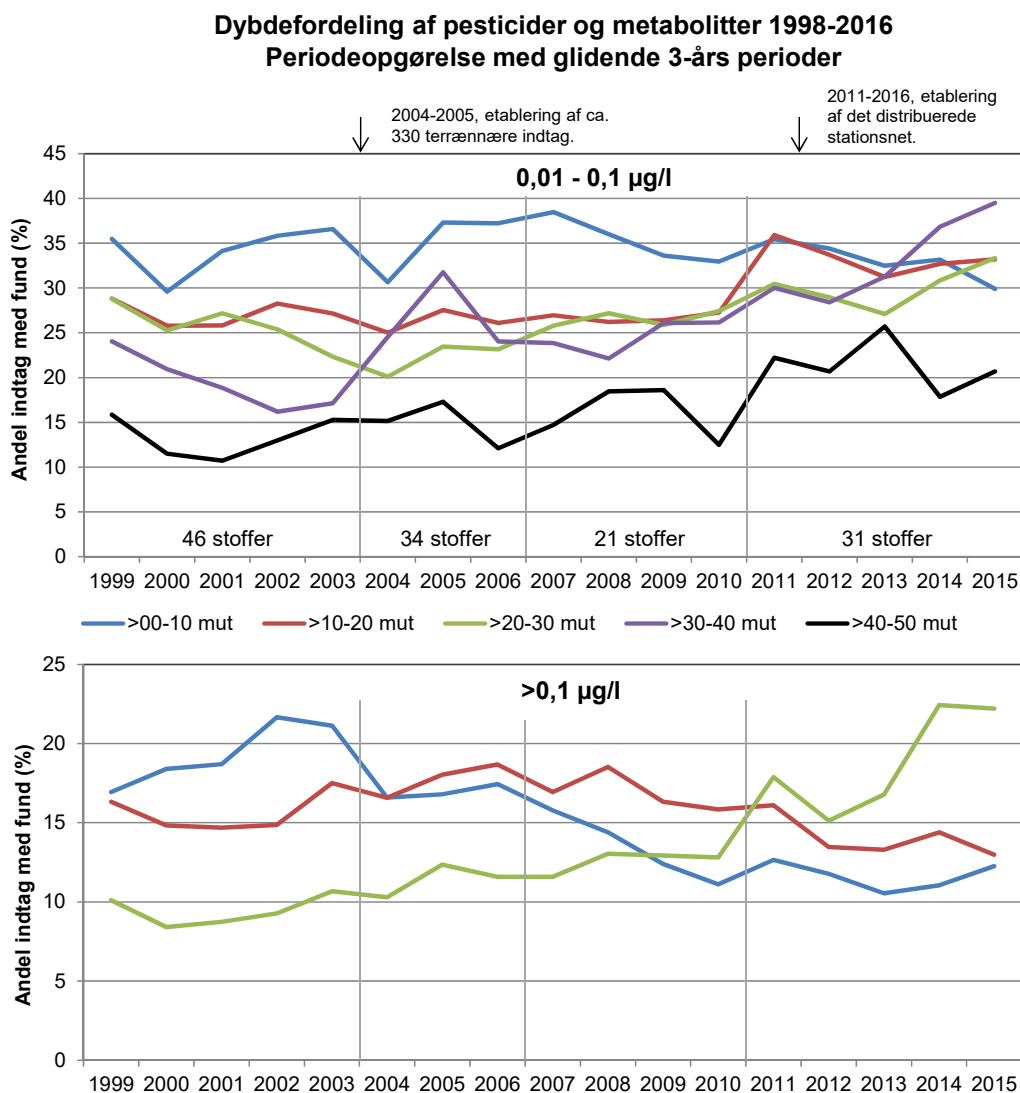
Tidlig udvikling i forskellige dybder

Effekten af de varierende prøvetagningsfrekvenser, der er i GRUMO-datasættet, kan som nævnt mindskes ved at beregne periodeopgørelser for treårs-perioder, hvor næsten alle aktive indtag er prøvetaget mindst én gang, og hvor indtag kun tæller med som værende påvirket af pesticider, hvis der mindst én gang enten har været fund over detektionsgrænsen eller over kravværdien i tre-års perioden. Denne tilgang er anvendt i Figur 42, som også er opdelt i dybdeintervaller, så effekter af stationsnettes varierende dybdefordeling elimineres. Andele for de enkelte år repræsenterer opgørelser for en tre-årsperiode (foregående, aktuelle og efterfølgende år).

Figur 42, øverste del, viser andele af indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Der er kun medtaget indtag indtil 50 m u.t. for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybdeinterval, dog er der kun få indtag i dybden 40-50 m u.t. fra 2009 og fremefter. Fundandelen under kravværdien viser ikke nogen tydelig tidlig udvikling i dybden 0-10 m u.t. i perioden 1999-2015. Dette skyldes til dels et begrænset datamateriale for tidsperioden 1998-2005 og derfor større usikkerhed. Fra 2006 og fremefter indgår flere terrænnære indtag, hvilket afspejles i en tydeligt faldende tendens for denne tidsperiode. Fra 10 til 50 m u.t. er der generelt stigende tendens i denne tidsperiode, tydeligst i 30-40 m u.t.

Figur 42 nederste del, viser andelen af indtag med fund over kravværdien (>0,1 µg/l). For fund over kravværdien er der kun tilstrækkelige data ned til 30 m u.t. I det øverste grundvand 0-10 m u.t. er der

omkring år 2002 et skift fra stigende til faldende andele over kravværdien (lineær regression for 2002-2015: $R^2 = 0,83$). I intervallet 10-20 m u.t. indtrådte skiftet fra stigende til faldende andele over kravværdien omkring 2006-2008 (lineær regression for 2008-2015: $R^2 = 0,80$). Faldet i andelen af indtag over kravværdien i det øvre grundvand (0-20 m u.t.) kan således betyde, at den samlede udvaskning af pesticider har toppet. I intervallet 20-30 m u.t. ses der for de seneste ca. 15 år en generelt stigende tendens for andelen af fund over kravværdien (lineær regression for 1999-2015: $R^2 = 0,81$), sandsynligvis fordi pesticider fra de øvre lag udvaskes til større dybde.



Figur 42. GRUMO. Tidlig udvikling i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i 10-m dybdeintervaller. Hvert år repræsenterer opgørelser af andelen af indtag, hvor mindst ét stof er påvist mindst én gang inden for en treårs periode (foregående, aktuelle og efterfølgende år). Øverste figur viser udviklingen i indtag med fund under kravværdien (0,01-0,1 µg/l). Nederste figur viser udviklingen i indtag med fund over kravværdien (>0,1µg/l). Dybderne angiver afstand fra terræn til top af indtag. Programperioder er angivet med lodrette linjer. For hver programperiode indgår forskellige stoffer i analysepakken. For fund over kravværdien er der kun tilstrækkelige data ned til 30 m u.t.

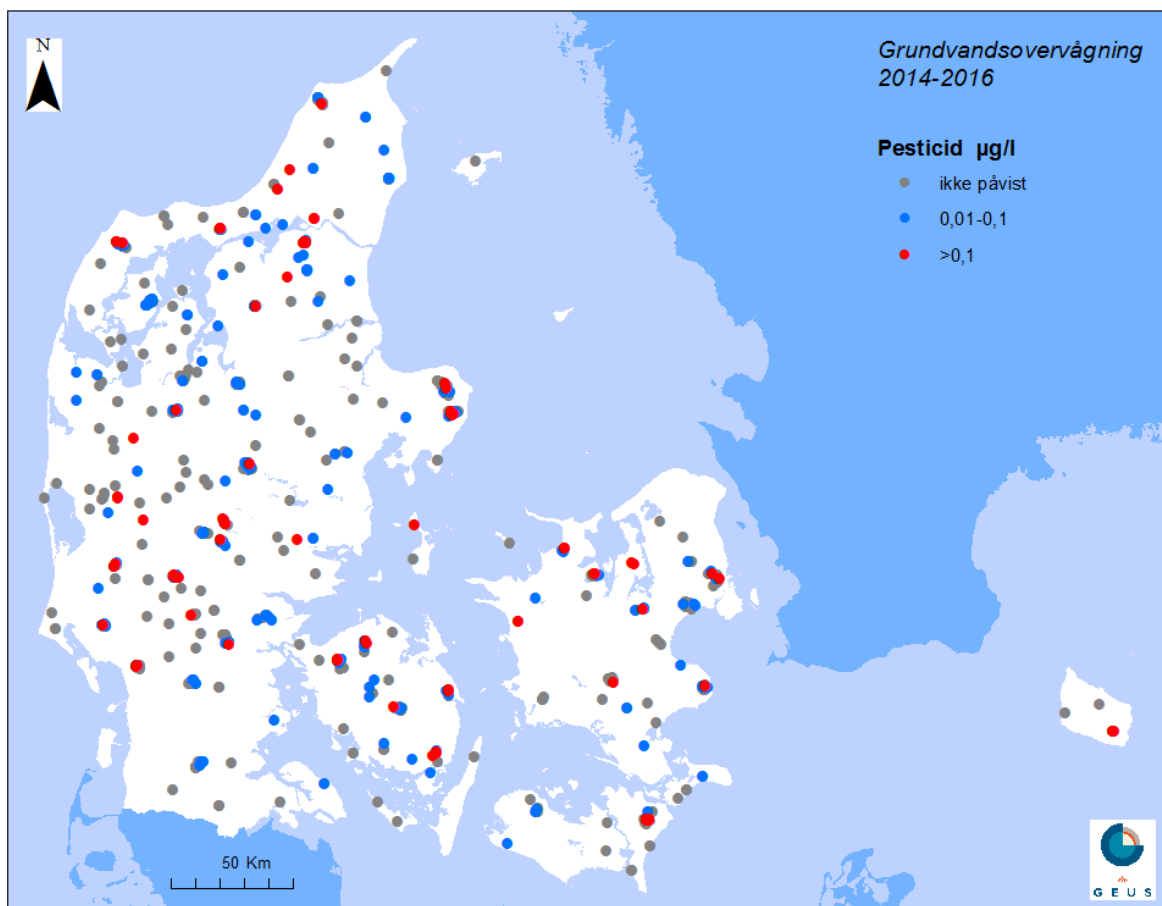
Figur 42 viser også, at når man korrigerer for dybde og varierende prøvetagningsfrekvens, er tidsserien i tidsrummet 1998-2010 generelt ikke påvirket af store udsving, når der skiftes fra én programperiode til den næste på trods af varierende analyseprogrammer i de forskellige programperioder. Dette skyldes sandsynligvis, at kun stoffer, som sjældent blev fundet, er taget ud af analyseprogrammet. Der er dog et "spring" for alle dybder fra 2010 til 2011 i kurverne for fund under kravværdien (Figur 42, øverst). Det

skyldes sandsynligvis, at analyseprogrammet her blev udvidet fra 21 til 31 stoffer, men derudover kan omlægningen af stationsnettet også have haft en effekt. De tidlige udviklinger er domineret af de hyppigst påviste stoffer, dvs. nedbrydningsprodukterne BAM og DEIA.

Når indtagene opdeles på dybdeintervaller, reduceres den usikkerhed, der ligger i stationsnettets varierende dybdefordeling. På den anden side stiger den statistiske usikkerhed, da der indgår færre indtag i hvert dybdeinterval. Dette ses af forholdsvis store udsving på kurverne for 30-40 m u.t. og 40-50 m u.t., idet der er færrest indtag i disse dybder, samt af at de mindste udsving på kurverne optræder for 10-20 m u.t. og 20-30 m u.t., hvor de fleste indtag findes. Efter 2004-2005 steg antallet af terrænnære indtag hvilket reducerede den statistiske usikkerhed på dybdeintervallet 0-10 m u.t., hvilket gav et jævner kurveforløb.

Geografisk fordeling af pesticider i Grundvandsovervågningen

Figur 43 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag i perioden 2014-2016, hvor de fleste aktive indtag er prøvetaget mindst én gang. Figur 43 viser, at der er påvist pesticider i hele landet. De største koncentrationer er udtegnet sidst og ligger derfor øverst på kortet. Dybe indtag kan indeholde vand, som er infiltreret mange km fra boringen, de fundne koncentrationer skyldes derfor ikke nødvendigvis anvendelse af pesticider tæt ved boringerne.



Figur 43. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen i perioden 2014-2016 (753 GRUMO-indtag). Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk $<0,01 \mu\text{g/l}$). Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

5.2 Vandværksboringer

Datagrundlag

I dette afsnit rapporteres pesticidanalyser fra de almene vandværkers boringer for perioden 1992-2016. Data fra grundvandet fra vandværksboringerne illustrerer forholdene i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand. Da vandværkerne løbende nedlægger og etablerer boringer, afspejler udviklingen i fund pr. år kun i mindre grad effekten af handleplaner rettet mod at forbedre tilstanden i grundvandsmagasinerne, men derimod vandværkernes håndtering af problemerne med pesticider i de boringer, hvorfra der indvindes grundvand (DANVA, 2018).

I hvert års opgørelser indgår kun data fra aktive vandværksboringer. Det betyder, at omfanget og antallet af boringer, og dermed datasættet, varierer fra år til år, fordi data fra inaktive boringer løbende udgår af datasættet. Eneste undtagelse er tidsserien i Figur 46, som viser, hvordan opgørelserne så ud i de enkelte rapporteringsår, og som således også medtager data fra boringer, der siden er lukkede. Boringer, som for en periode har været inaktive, kan senere inddrages igen i vandforsyningen og dermed igen indgå i datasættet, se appendiks 1. I det samlede datasæt for hele perioden 1992-2016 indgår pesticidresultater fra 35.440 prøver fordelt på 6154 vandværksboringer. Databehandlingen bliver meget kompleks, når der indgår mange stoffer. I de generelle opgørelser indgår derfor ikke pesticider, som kun er analyseret i en eller to prøver uden fund i hele overvågningsperioden 1992-2016.

Grundvandet i vandværksboringer skal som minimum analyseres for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der fremgår af Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e). Analyseprogrammet blev pr. 1. jan. 2012 udbygget med 18 stoffer og otte andre udgik fra programmet (Miljøministeriet, 2011). Pr. 1. april 2014 blev programmet udbygget med yderligere tre stoffer: metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter CGA62826 og CGA108906 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2014). 2,4-D udgik derefter fra programmet pr. 28/11-2015 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2015d).

Det obligatoriske analyseprogram har således været nogenlunde ensartet i perioden 2012-2016. Tabel 8 viser de stoffer, der var obligatoriske i 2016 i Boringskontrollen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2015d). I Boringskontrollen har vandværkerne over årene analyseret for flere stoffer end angivet i de obligatoriske analysepakker, idet kontrollen også skal omfatte andre pesticider, som vides at være anvendt i oplandet, og som vurderes at kunne udgøre en trussel for grundvandet (Miljø og Fødevareministeriet 2017e). Data for pesticider, der ikke er en del af det obligatoriske analyseprogram, medtages i de generelle opgørelser af pesticidbelastningen, hvis de er analyseret i mindst tre prøver. Det betyder, at opgørelserne bygger på data for 169 forskellige stoffer, hvoraf en del er analyseret i et meget begrænset antal prøver. Bilag 9 og 10 viser en samlet oversigt over stoffer, som indgår i beregningerne, samt deres forekomst i vandværksboringer, der var aktive i 2016. Udover stofferne i bilag 9 og 10 er yderligere 55 stoffer analyseret i en enkelt eller to prøver i perioden 1992-2016, dog uden fund. Disse stoffer fremgår af bilag 10, men indgår ikke i de generelle opgørelser.

Analysefrekvensen afhænger bl.a. af de oppumpede vandmængder. For de mindste vandværker (3.000-35.000 m³/år) skal vandværksboringerne prøvetages til analyse for pesticider mindst én gang i løbet af en 5-års periode, hvorimod boringer i større vandværker skal prøvetages mindst hvert fjerde eller hvert tredje år (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e). I løbet af 5 år kan alle aktive vandværksboringer forventes at være prøvetaget, hvorfor der er anvendt en 5-års periode i mange opgørelser.

Status for pesticider, grundvand i vandværksboringer

Tabel 12 viser den seneste udvikling i fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i grundvand fra vandværksboringer. Opgørelsen viser fundandele for de boringer, der var aktive de enkelte år, samt en samlet periodeopgørelse for 2012-2016 for boringer, der var aktive i 2016. Der blev i 2016 fundet mindst ét pesticid i ca. 25 % af de undersøgte vandværksboringer, hvor 2,9 % af de undersøgte boringer havde en overskridelse af kravværdien. Fundandelen for stoffer over kravværdien var i 2016 noget lavere end de foregående fire år. Dette skyldes hovedsageligt, at der for 12 boringer blev indberettet en maksimal koncentration på præcis 0,1 µg/l i 2016, hvorfor de ikke tæller med i opgørelsen af overskridelser. I Figur 46 over tidlig udvikling er overskridelser dog beregnet som $\geq 0,1$ µg/l for at kunne sammenligne med tidligere års data, hvor overskridelser blev beregnet på denne måde. I Figur 46 ses derfor kun et

ubetydeligt fald i andelen af boringer med overskridelser af kravværdien fra 2015 til 2016 (2015:3,8%; 2016: 3,5%).

I perioden 2012-2016 blev pesticider fundet mindst én gang i ca. 20 % af de undersøgte boringer, hvor 2,5 % af de undersøgte boringer havde mindst én overskridelse af kravværdien (Tabel 12). Opgørelsen for perioden 2012-2016 viser mindre fundandele sammenlignet med enkeltårene, hvilket også ses tydeligt i Figur 44.

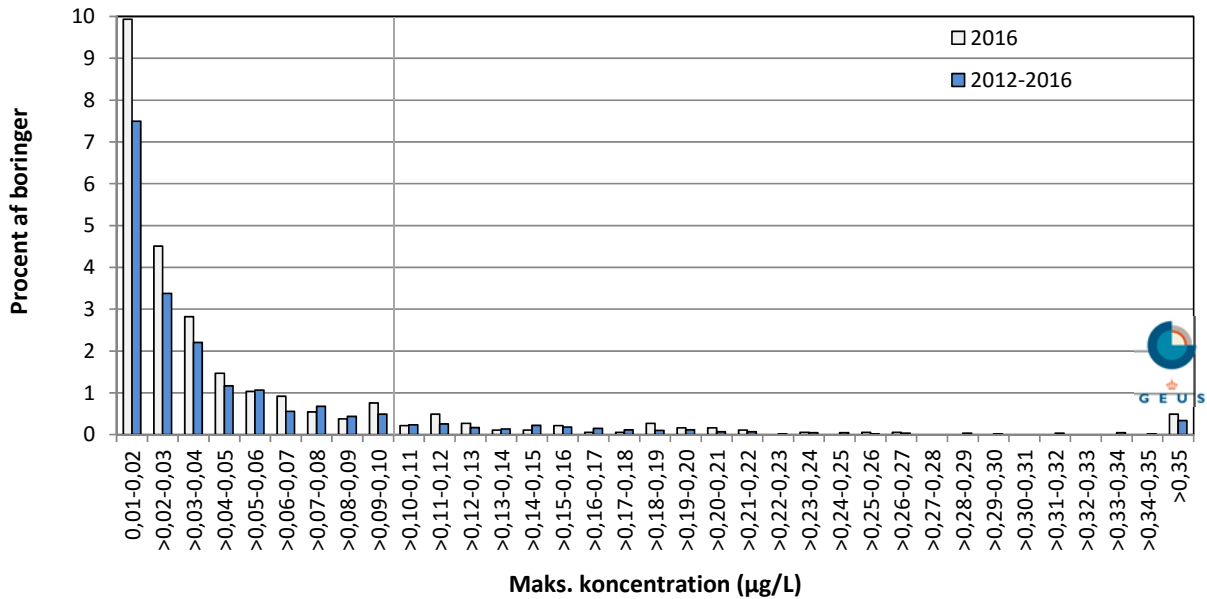
Figur 44 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordelte sig i 2016 og i perioden 2012-2016. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i 2016 eller 2012-2016. De lavere fundandele for periodeopgørelsen sammenlignet med enkeltårene skyldes, at boringer med fund prøvetages oftere end boringer uden fund. Boringer med fund i perioden 2012-2016 blev således prøvetaget gennemsnitligt 3,2 gange i perioden, hvorimod boringer uden fund blev prøvetaget 1,4 gange i perioden. Prøvetagningsfrekvenserne er beregnet som beskrevet for GRUMO-indtagene. BAM var langt det hyppigst forekommende stof, se Tabel 15. Hvis man ser bort fra BAM, var der i perioden 2012-2016 til sammenligning fund af andre pesticider eller nedbrydningsprodukter i 10,4 % af de undersøgte boringer (mod 20,2 % inklusiv BAM), og 1,0 % af de undersøgte boringer havde fund over kravværdien (mod 2,5 % inklusiv BAM).

Borings-kontrollen	Prøver antal	Boringer antal			Boringer andel (%)	
		I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2016	2.033	1.842	465	53	25,2	2,9
2015	1.581	1.370	372	50	27,2	3,6
2014	1.888	1.629	427	63*	26,2	3,9*
2013	1.986	1.717	431	60*	25,1	3,5*
2012	1.915	1.685	403	66*	23,9	3,9*
2012-2016	10.509	5.897	1.178	147	20,0	2,5

Tabel 12. Boringskontrollen. Pesticidfund i aktive vandværkboringer vist som antal og procentvis fordeling af undersøgte boringer. Boringerne er opdelt i boringer med mindst ét fund og boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år og for perioden 2012-2016. Opgørelser markeret med * er ≥0,1 µg/l.

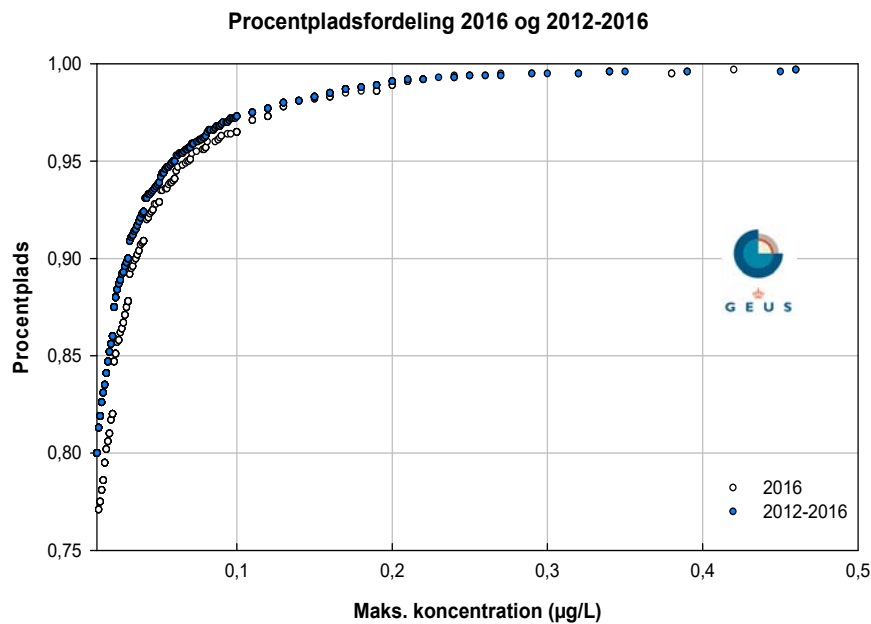
Når man sammenligner frekvensfordelingerne i GRUMO-indtagene (Figur 37) og vandværksboringerne (Figur 44), er det tydeligt, at boringer med høje pesticidkoncentrationer udgør en langt mindre del af de aktive vandværksboringer. Dette afspejler, at vandværkerne gennemsnitligt indvinder fra større dybde end de dybder, som GRUMO-indtagene generelt er placeret i. Samtidig afspejler det vandværkernes evne til at etablere nye boringer, når pesticidkoncentrationen overskrider kravværdien.

Frekvensfordeling 2016 og 2012-2016



Figur 44. Boringskontrollen. Frekvensfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjort for boringer prøvetaget i 2016 og for perioden 2012-2016. Kravværdien på 0,1 µg/l er markeret med en lodret linje. I 2016 blev der ikke påvist pesticider i 75% af de undersøgte boringer, for perioden 2014-2016 blev der ikke påvist pesticider i 80% af de undersøgte boringer.

Datasættene er også vist som procentpladsfordeling i Figur 45 for koncentrationer op til 0,5 µg/l. De tydelige "spring" i procentpladsfordelingen for koncentrationer <0,1 µg/l skyldes sandsynligvis, at nogle prøver er indrapporteret med kun ét betydende ciffer.



Figur 45. Boringskontrollen. Procentpladsfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjort for boringer prøvetaget i 2016 og for perioden 2012-2016. NB: Skala begynder ved 0,75, idet der i mere end 75 % af boringerne ikke er fundet pesticider i nogen prøver.

Tilladte og forbudte stoffer i grundvandet i vandværksboringer

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte. De regulerede er stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen for at beskytte grundvandet. Glyphosat/AMPA er de eneste godkendte stoffer i boringskontrollens obligatoriske analyseprogram, men de er ikke repræsentative for de mange vidt forskellige godkendte stoffer. Godkendte stoffer er derfor ikke opgjort særskilt, men derimod sammen med regulerede stoffer for at vise udviklingen i tilladte stoffer.

Tabel 13 viser en opgørelse over fordelingen af tilladte og forbudte stoffer for de stoffer, der indgik i analyseprogrammet i 2016 (se Tabel 8). Mindst ét af de forbudte stoffer forekom mindst én gang i 17 % af de undersøgte vandværksboringer, og 2,0 % overskred mindst én gang kravværdien på 0,1 µg/l. Mindst ét af de tilladte stoffer forekom mindst én gang i 4,4 % af de undersøgte boringer, mens kravværdien var overskredet mindst én gang i 0,5 %. Det skal bemærkes, at et indtag kan indeholde både forbudte og tilladte stoffer. Det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier.

2012-2016	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	5.848	258	32	4,4	0,5
Forbudte stoffer	5.886	1.007	115	17,1	2,0

Tabel 13. Boringskontrollen. Periodeopgørelse 2012-2016 for forekomst af tilladte og forbudte pesticider i aktive vandværksboringer. Et indtag kan indeholde både forbudte og tilladte stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

De hyppigst fundne pesticider og nedbrydningsprodukter i aktive vandværksboringer er generelt forbudte stoffer. Fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen, idet dannelsesstidspunktet ikke er kendt for grundvandet i de aktive vandværksboringer. Ofte er der tale om lange filtre, der opblander vand med forskellige aldre fra forskellige dybder i magasinet.

"Nye" stoffer i boringskontrollens analyseprogram

Det obligatoriske analyseprogram blev pr. 1. april 2014 udbygget med tre stoffer: metalaxyl/metalaxyl-M og to nedbrydningsprodukter herfra. Stofferne kan udgå af analysepakken for oplande, hvor der i årtier ikke har været kartoffelavl, (Miljø- og Fødevarerministeriet 2017). Tabel 14 viser en oversigt over analyseresultaterne for de tre "nye" stoffer opgjort for perioden 2012-2016.

3 "nye" stoffer 2012-2016	Prøver antal	Boringer antal			Boringer andel (%)	
		I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
"Nye" samlet	3.619	3.154	45	6	1,4	0,2
CGA 108906	3.609	3.150	40	5	1,3	0,2
CGA 62826	3.593	3.148	15	1	0,5	0,0
Metalaxyl	1.187	1.104	0	0	0,0	0,0
Metalaxyl-M	2.428	2.151	0	0	0,0	0,0

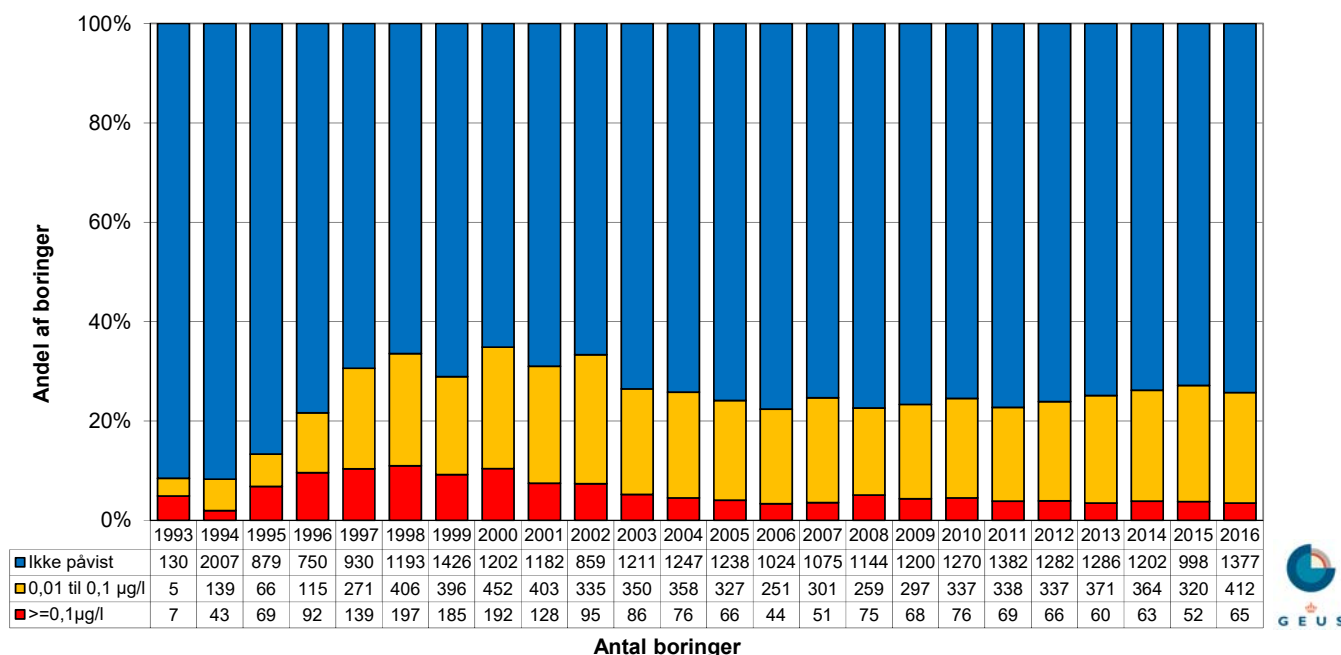
Tabel 14. Boringskontrollen. Forekomst af tre "nye" stoffer i grundvandet i aktive vandværksboringer for perioden 2012-2016. Aktivstoffet metalaxyl kan indberettes både som metalaxyl og metalaxyl-M, som derfor er opgjort hver for sig. Boringerne er opdelt i andel boringer med mindst ét fund og mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

Samlet set blev mindst ét af de 3 stoffer i 2012-2016 fundet mindst én gang i 1,4 % af de undersøgte boringer, og kravværdien blev overskredet mindst én gang i 0,2 % af de undersøgte boringer. Det hyppigst fundne "nye" stof var CGA108906, som også viste den største andel med overskridelse af kravværdien (0,2 %). Moderstoffet metalaxyl blev derimod ikke fundet i boringskontrollen.

Tidlig udvikling i grundvandet i vandværksboringer

Figur 46 viser udviklingen i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i perioden 1993-2016. For hvert år er fundandelene angivet for de vandværksboringer, der var aktive i det pågældende år. Den stigende andel af boringer med fund op gennem 90'erne hænger sammen med, at analyseprogrammerne gradvist omfattede flere og flere stoffer. Fra omkring år 2000 til 2006 faldt andelen af boringer med fund, og andelen har siden 2006 stabiliseret sig omkring 23-26 %. Et stabilt forløb over en årrække indikerer ikke nødvendigvis, at tilstanden i grundvandet har været uændret. Det kan lige så vel skyldes, at vandværkerne har etableret nye, uforurenede boringer, når ældre boringer blev lukket. Alderen af det vand, som vandværkerne indvinder til drikkevand, er oftest mere end 20 år. Faldet fra 2000 til 2006 afspejler derfor hovedsageligt vandværkernes evne til at etablere nye boringer uden pesticidforurening, og er ikke en effekt af reguleringen af pesticidanvendelsen, idet fund i denne periode oftest vil stamme fra anvendelse af moderstoffer, inden disse blev reguleret.

Fordeling af boringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

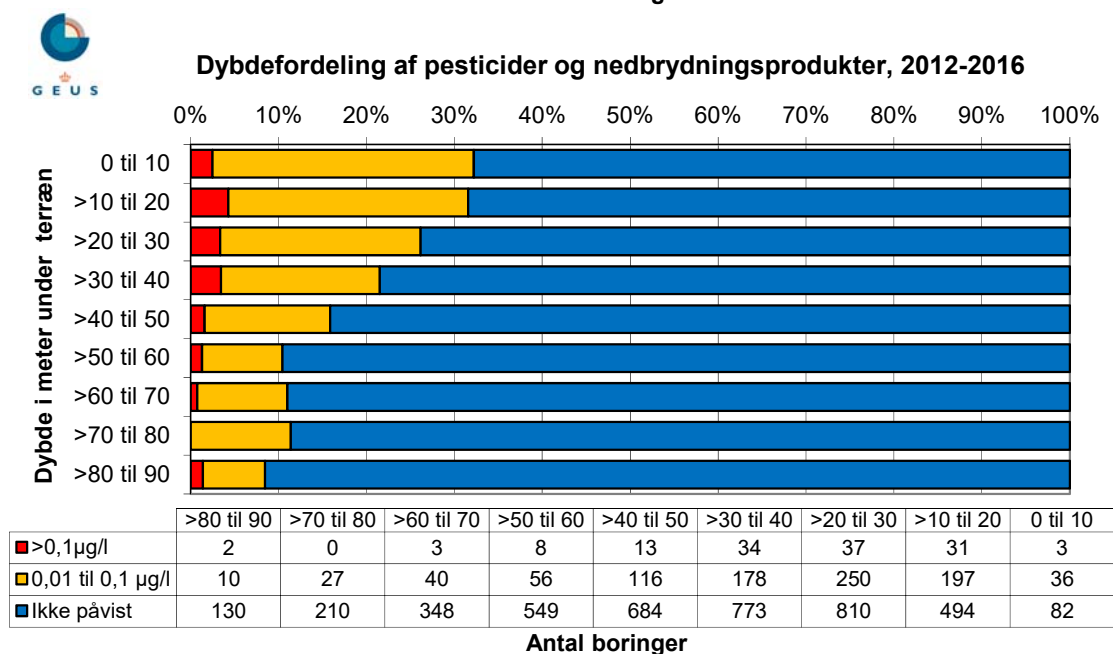
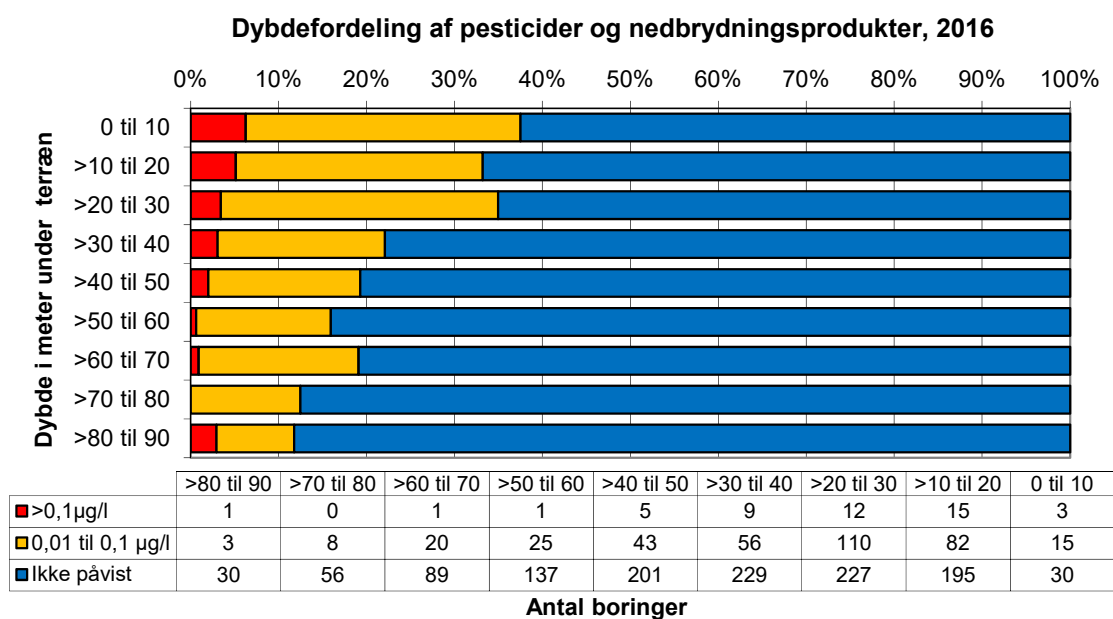


Figur 46. Boringskontrollen. Fordeling af pesticidindholdet i aktive vandværksboringer 1993-2016. Figuren viser status for vandværksboringer, der var aktive hvert af de viste år. Figuren indeholder ikke de samme boringer fra år til år, da disse analyseres i en turnus på op til fem år, og der løbende lukkes eller etableres nye vandværksboringer. Hvert år bygger på data fra årsspecifikke udtræk fra Jupiter, anvendt i den løbende rapportering. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $0,01-0,1 \mu\text{g/l}$, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk $< 0,01 \mu\text{g/l}$). BEMÆRK: Her anvendes koncentrationsklassen $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, da der sammenlignes med tidligere rapporters opgørelser.

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

Figur 47 viser andelen af pesticidfund for 2016 og perioden 2012-2016 i vandværksboringer mod dybden målt som afstanden fra terræn til toppen af aktive boringers indtag. Antallet af undersøgte indtag i intervallerne 0 til 10 m u.t. og 80-90 m u.t. var lavt for 2016, og derfor har opgørelserne for disse dybder større usikkerhed. Den store stigning i andelen af indtag med fund i 0-10 m u.t. i 2016 (38 % med fund, $n=48$) sammenlignet med opgørelsen for 2015 (28 % med fund, $n=29$, Thorling mfl., 2016) skyldes

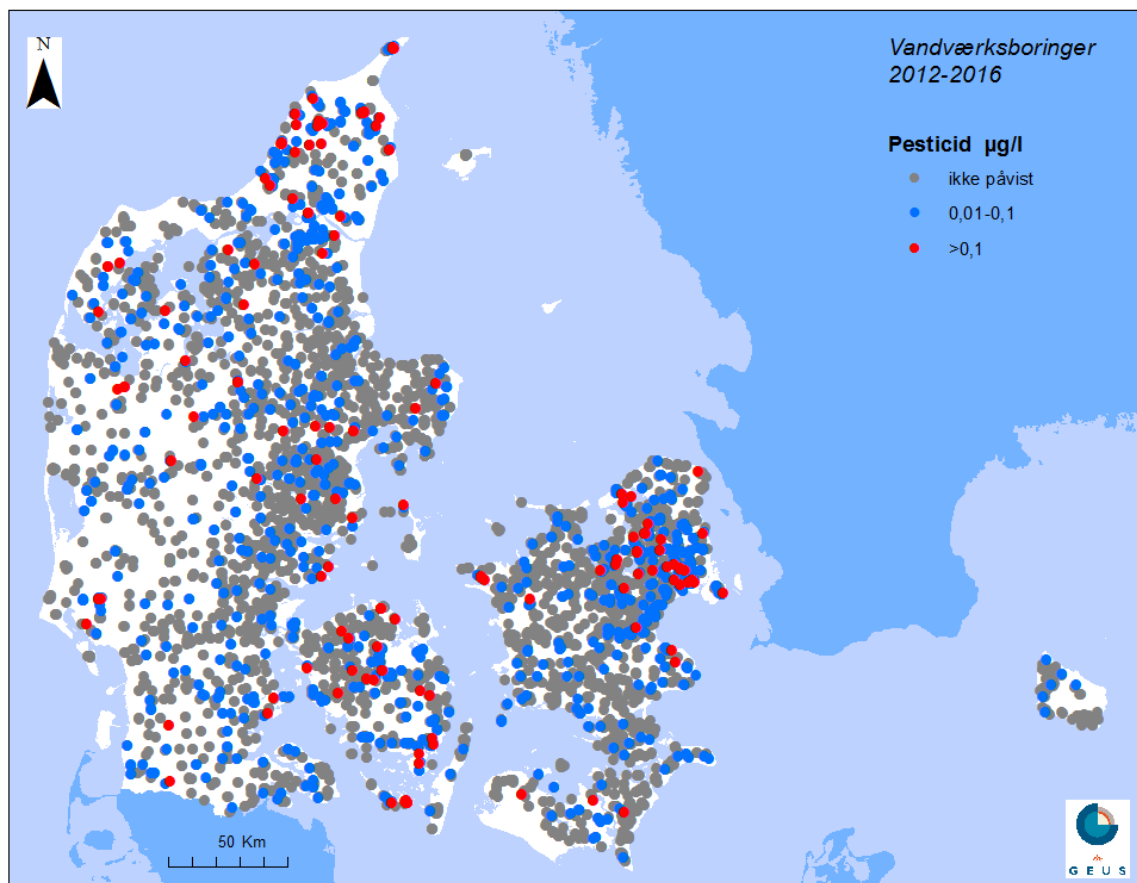
derfor snarere usikkerhed end reelle ændringer i pesticidforekomsten i det øverste grundvand. I perioden 2012-2016 er stort set alle aktive boringer prøvetaget mindst én gang til pesticidanalyse, og figuren for denne periode viser derfor dybdefordelingen korrigeret for varierende prøvetagningsfrekvenser. I periodeopgørelsen for 2012-2016 (Figur 47) er fundandelene lavere end for tilsvarende dybder i grundvandsovervågnings periodeopgørelse (Figur 39). Det er specielt overskridelser af kravværdien, der er mindre hyppige, hvilket sandsynligvis skyldes, at vandværkerne lukker mange boringer med højt pesticidindhold.



Figur 47. Boringskontrollen. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer, der var aktive i 2016. Øverst er vist data fra 2016, mens en periodeopgørelse for 2012 -2016 er vist nederst. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af filteret.

Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 48 viser den geografiske fordeling af grundvandets pesticidindhold i aktive vandværksboringer i perioden 2012-2016. De største koncentrationer er afbildet øverst. Kortet viser, at der i hovedstadsområdet, hvor boringerne ligger tættest, findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter, samt også, at der er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i det nordligste Jylland. Dybe indtag kan vise vand, som er infiltreret mange km fra boringerne, de fundne koncentrationer skyldes derfor ikke nødvendigvis anvendelse af pesticider tæt ved boringerne.



Figur 48. Boringskontrollen. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i 5897 aktive vandværksboringer i femårs-perioden 2012-2016. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst et pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), et pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk $<0,01 \mu\text{g/l}$). Femårsperioden er valgt, da aktive boringer skal prøvetages mindst hvert femte år. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

5.3 Grundvandsovervågning og boringskontrol: sammenligning af de hyppigst fundne stoffer i de to overvågningsprogrammer.

Tabel 15 viser for året 2016 de 20 hyppigst fundne pesticider i grundvand fra GRUMO-indtag og vandværkernes boringskontrol. Tabel 16 viser til sammenligning hvilke 20 stoffer, der hyppigst er fundet over de sidste ca. 25 år. Stofferne er listet med faldende relativ hyppighed inden for hvert program. Bilagene 6 og 7 viser opgørelser for alle stoffer i Grundvandsovervågningen. Bilagene 9 og 10 viser alle stoffer indrapporteret for vandværksboringer, der var aktive i 2016.

BAM. Nedbrydningsproduktet BAM var det hyppigst fundne stof i begge programmer. Det gælder både opgørelserne for 2016 og for de samlede opgørelser for de seneste ca. 25 år. BAM er et nedbrydningsprodukt fra det nu forbudte ukrudtsmiddel dichlobenil, som hovedsageligt blev brugt på gårdspladser, indkørsler og andre befæstede arealer. Midlet blev solgt i perioden 1969-1996 i en samlet mængde på 662 tons (Miljøstyrelsen, 2017a).

Bentazon var det hyppigst fundne aktivstof i både GRUMO-indtag og boringskontrollen i både 2016 og hele perioden. Bentazon er et reguleret ukrudtsmiddel, som blandt andet anvendes på majs, græs og kløver, ærter og vårsæd. Stoffet hører til gruppen af regulerede stoffer, hvor der er indført restriktioner på anvendelsen af hensyn til grundvandet. Bentazon har været solgt siden 1974 (Miljøstyrelsen, 2017a). Det nuværende forbrug er på 24,7 tons pr. år (middel af salgstal for 2013, 2014 og 2015, Miljøstyrelsen, 2017b). Man kan finde en grundig gennemgang af bentazons anvendelse, regulering og udvaskning i en orientering fra Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2013).

Triazinerne og de tilhørende nedbrydningsprodukter forekom med stor hyppighed sammenlignet med størstedelen af de øvrige stoffer. DEIA blev fx fundet i 1,4 % af de undersøgte vandværksboringer og i 14 % af GRUMO-indtag i 2016. Dette svarer stort set til den samlede hyppighed i hele perioden, hvor DEIA blev fundet mindst én gang i 1,7 % af de undersøgte vandværksboringer og 15 % af GRUMO-indtagene. I 2016 blev desamino-diketo-metribuzin påvist i 3,6 % af GRUMO-indtag og 1,6 % af de undersøgte vandværksboringer. Desamino-diketo-metribuzin er et nedbrydningsprodukt fra metribuzin, som tidligere var aktivstof i ukrudtsmidler til kartofler. Nedbrydningsprodukter fra triaziner var generelt blandt de hyppigst fundne stoffer både i opgørelserne for 2016 og for hele monitoringsperioden.

Phenoxysyrerne mechlorprop og dichlorprop var blandt de hyppigst fundne pesticider i de undersøgte indtag/boringer i hele perioden, mens de i 2016 var mindre udbredte i både GRUMO-indtag og aktive vandværksboringer. Phenoxysyrerne er blandt de pesticider, der er anvendt i størst mængde. Fx blev der i alt anvendt 29.500 tons dichlorprop i Danmark i perioden 1963-2004 (Miljøstyrelsen, 2017a). Dichlorprop er reguleret og det nuværende forbrug er på 580 kg pr. år (middel af salgstal for 2013, 2014 og 2015, Miljøstyrelsen, 2017b).

Metalaxyl. To nedbrydningsprodukter fra det forbudte svampemiddel metalaxyl (CGA 108906 og CGA 62826) er blandt de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol for 2016. Det hyppigste er CGA 108906, som blev påvist i 1,7 % af de undersøgte vandværksboringer, med 0,1 % over kravværdien. I grundvandsovervågningen har stofferne været en del af analyseprogrammet fra 2016, men her er det CGA 62826, som blev påvist hyppigst med fund i 2,7 % og overskridelse af kravværdien i 0,2 % af de undersøgte indtag. Moderstoffet metalaxyl/metalaxyl-M blev også påvist i GRUMO-indtag, men ikke i boringskontrollen. Metalaxyl/metalaxyl-M blev hovedsageligt anvendt til bekæmpelse af svampesygdomme i kartofler, samt til bejdsning af rapsfrø.

Azoxystrobin er ikke omfattet af den obligatoriske analysepakke i hverken grundvandsovervågning eller vandværkerne, se Tabel 8, men er alligevel analyseret i ca. 200 vandværksboringer de seneste år. Azoxystrobin er på nuværende tidspunkt påvist i 2,1 % af de undersøgte vandværksboringer, dog i alle tilfælde under kravværdien.

Desphenylchloridazon var i 2016 ikke omfattet af den obligatoriske analysepakke på hverken grundvandsovervågning se Tabel 8, eller vandværkerne, og derfor kun analyseret i prøver fra 12 vandværks-

boringer, hvoraf der var fund i en enkelt. Det giver en fundandel på 8,3 % af de undersøgte vandværksboringer i 2016, men med et så begrænset datamateriale kan man ikke sige noget om stoffets generelle udbredelse.

Grundvandsovervågning 2016			Vandværksboringer 2016		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
Alle pesticider, Samlet opgørelse	34,3	8,6	Alle pesticider, Samlet opgørelse	25,2	2,9
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	14,8	3,6	2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	16,2	1,8
DEIA	13,8	1,5	Desphenyl chloridazon*	8,3	0,0
Atrazin, desisopropyl-	7,3	0,3	Bentazon	2,3	0,4
Atrazin, desethyl-	3,6	0,5	CGA 108906	1,7	0,1
Metribuz-desamino-diketo	3,6	1,1	Mechlorprop	1,6	0,0
CGA 62826	2,7	0,2	Metribuzin-desamino-diketo	1,6	0,1
Bentazon	2,6	0,9	DEIA	1,4	0,0
Metribuzin-diketo	2,4	0,0	Dichlorprop	1,2	0,1
Atrazin	2,4	0,3	Atrazin, desethyl-	1,2	0,2
Dichlorprop	1,7	0,5	Hexazinon	1,0	0,2
Mechlorprop	1,5	0,6	CGA 62826	1,0	0,1
Simazin	1,5	0,2	Atrazin, desisopropy	0,9	0,1
Hexazinon	1,1	0,2	4-CPP	0,9	0,1
2,6-DCPP	0,8	0,3	ETU (ethylthiourea)	0,8	0,0
4-CPP	0,8	0,3	4-Nitrophenol	0,7	0,0
Terbuthylazin, desethyl	0,8	0,0	2,6-Dichlorbenzoylsyre	0,6	0,0
Glyphosat	0,8	0,0	Atrazin, hydroxy-	0,5	0,0
Metalaxyl	0,6	0,0	Didealkyl-hydroxy-atrazin	0,4	0,0
Didealkyl-hydroxy-atrazin	0,6	0,0	2,6-DCPP	0,4	0,0
Atrazin, hydroxy-	0,6	0,0	Deisopropyl-hydroxy-atrazin	0,3	0,0

Tabel 15. De 20 hyppigst fundne stoffer i 2016 i GRUMO-indtag og vandværksboringer, der var aktive i 2016. Indtag/boringerne er opdelt i andel med mindst ét fund og indtag/boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). *Kun analyseret i 12 boringer. Se også bilag 6 og 9.

Grundvandsovervågning 1990-2016			Vandværksboringer 1992-2016		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
Alle pesticider, Samlet opgørelse	49,8	18,2	Alle pesticider, Samlet opgørelse	29,1	5,3
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	20,3	7,8	2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	19,6	3,6
DEIA	14,9	3,5	Bentazon	3,2	0,5
Atrazin, desisopropyl	11,1	1,7	Mechlorprop	2,5	0,2
4-Nitrophenol	8,0	0,5	Dichlorprop	2,1	0,2
Didealkyl-hydroxy-atrazin	7,7	1,3	Azoxystrobin*	2,1	0,0
Atrazin, desethyl-	7,3	1,4	Atrazin	1,9	0,1
Bentazon	6,8	2,0	Atrazin, desethyl-	1,7	0,1
Glyphosat	6,3	1,3	DEIA	1,7	0,1
Atrazin	5,3	1,1	Hexazinon	1,6	0,1
Metribuzin-desamino-diketo	5,1	1,7	Atrazin, desisopropyl	1,5	0,0
Triklorreddikesyre	4,6	1,1	CGA 108906	1,4	0,1
AMPA	4,4	1,1	4-CPP	1,3	0,2
Dichlorprop	4,3	1,3	2,6-Dichlorbenzoesyre	1,0	0,0
Mechlorprop	3,7	1,0	Simazin	0,9	0,0
Metribuzin-diketo	3,6	1,2	4-Nitrophenol	0,9	0,0
Deisopropyl-hydroxyatrazin	3,6	0,2	Metribuzin-desamino-diketo	0,9	0,0
CGA 62826	2,8	0,1	MCPA	0,8	0,1
2,6-Dichlorbenzoesyre	2,8	0,3	Dichlobenil	0,7	0,0
Simazin	2,6	0,4	Atrazin, hydroxy-	0,7	0,1
4-CPP	2,3	0,8	C6MPP**	0,7	0,0

Tabel 16. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO-indtag (1990-2016) og vandværksboringer (1992-2016) der var aktive i 2016. Indtag/boringerne er opdelt i andel med mindst ét fund og boringer/indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). I tabellen indgår kun stoffer med mere end 200 prøver. *Kun analyseret i 194 boringer. ** 2-(2-chlor-6-methylphenoxy)-propionsyre, kun analyseret i 152 boringer. Se også bilag 7 og 10.

Referencer: Pesticider

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

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

Miljø- og Fødevareministeriet 2014: BEK nr. 292 af 26/03/2014, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

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

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

Miljø- og Fødevareministeriet 2017g: Bekendtgørelse nr. 1625 af 19 december 2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand

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

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

Miljøstyrelsen 2017a. Pesticider og biocider salgstal 1956-2014. Miljøstyrelsen 14. december 2017.

Miljøstyrelsen 2017b. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2015. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og Sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 17.

Naturstyrelsen, 2016a. NOVANA Det nationale program for overvågning af vandmiljø og natur 2016. Programbeskrivelse. [http://naturstyrelsen.dk/publikationer/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/\(4-1-2018\)](http://naturstyrelsen.dk/publikationer/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/(4-1-2018))

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, 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)

Links og andre referencer

DANVA, 2018: Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

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

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2015.aspx (4-1-2018)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/> (4.1.2018)

6 Fosfor

Målsætninger og relevans

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, transport af fosfor fra grundvandet udgør et problem i grundvandsfødte overfladevandområder, og hvorvidt stoftransporten er betinget af menneskelige aktiviteter og/eller naturlige processer. Fosforindholdet i mange vandværksboringer er højt, og her vurderes fosforkilden hovedsageligt at være geologisk indlejret fosfor, mens der ikke er indikationer på væsentlig påvirkning fra samfundsmæssige aktiviteter (Thorling, Hansen og Magid, 2010 og Thorling mfl., 2015).

Der mangler viden om, i hvilket omfang transport af fosfor fra grundvandsforekomster udgør et problem for f.eks. søer. Miljøstyrelsen har derfor iværksat to projekter, der skal belyse denne problemstilling og muliggøre vurdering af denne problemstilling for konkrete grundvandsforekomster og tilknyttede overfladevandområder, primært søer ved de kommende basisanalyser for vandområdeplanerne for perioden 2021-27.

Fosfor er et essentielt næringsstof, og for mennesker er det anbefalede daglige indtag er ca. 700 mg-P/dag (Netdoktor). Fosfor er derfor ikke sundhedsskadeligt selv i de højeste koncentrationer, der ses i vandværksboringerne. Der er i dag ikke længere nogen kravværdi for drikkevand for fosfor (Miljø og fødevareministeriet 2017e).

Datagrundlag

Fosfor kan optræde i en lang række kemiske forbindelser, se boks 1 nedenfor. I vandværksboringerne analyseres der alene for totalfosfor, P_{tot} . I grundvandsovervågningen blev orthofosfat-P, P_{ortho} , introduceret i 2011, som supplement til de hidtidige P_{tot} målinger. Målingerne af P_{ortho} forbedrer mulighederne for at sammenligne resultaterne fra grundvand og overfladevand, idet overvågning af overfladevand altid har inkluderet såvel P_{tot} som P_{ortho} . Da de forskellige bidrag af fosfor har forskellige kemiske egenskaber, kan det også forventes, at de vil transporteres og bindes forskelligt.

Boks 1 viser definitioner på de forskellige bidrag til fosfor i grundvandet. Man kan opdele efter fase i hhv. opløst og partikulært bundet fosfor. I praksis er den opløste fraktion bestemt af den delmængde i prøven, der kan passere et 0,45 μ m filter. Den opløste fraktion kan igen opdeles efter de kemiske egenskaber i hhv. opløst uorganisk ortho-P (P_{ortho}) og opløst organisk bundet P (P_{org}), idet det antages, at der kun er forsvindende lidt af andre uorganiske fosfor forbindelser. Der analyseres for P_{ortho} og P_{tot} i filtrat, hvorefter P_{org} bliver beregnet som forskellen mellem de to. Da størrelsen af den suspendede (partikulære) fraktion i grundvandsprøver afhænger af prøvetagningsteknikken, er det ikke meningsfuldt at måle den partikulært bundne fraktion.

Boks 1: Definitioner og kemiske fraktioner af fosfor i grundvand:

Det 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 (som kan passere et 0,45 μ m filter) er meningsfyldt i forhold til grundvand.

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

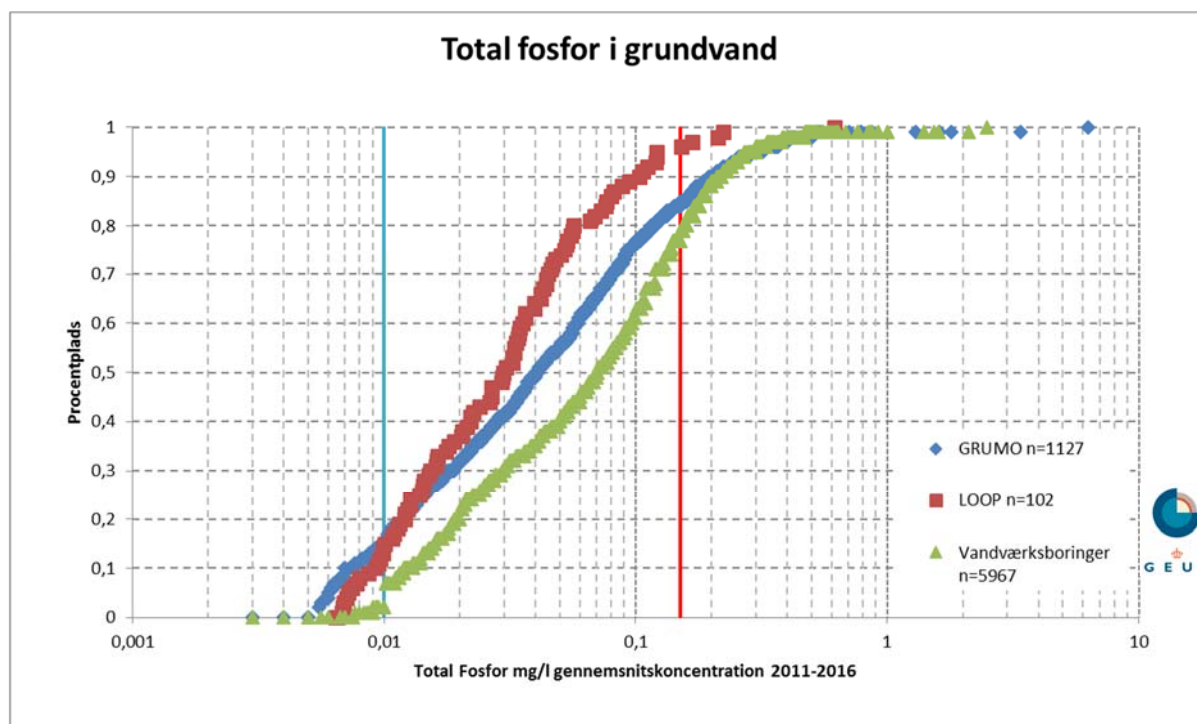
$$\text{Total-opløst-P} = P_{tot} = \text{uorganisk-P} + \text{organisk-P} = P_{ortho} + P_{org}$$

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

I 2016 er der analyseret for såvel P_{tot} som P_{ortho} i 773 GRUMO-indtag, hvoraf de 695 indtag også blev undersøgt i såvel 2015 som 2014. I alt 1127 indtag er analyseret i hele programperioden 2011-2016 (Programperiode 2011-15 og overgangsåret 2016). I Landovervågningen (LOOP) har både P_{tot} og P_{ortho} siden overvågningens start i 1989 været analyseret flere gange årligt i det øvre grundvand i ca. 100 terrænnære LOOP-indtag, heraf 93 LOOP-indtag i 2016.

Fordeling af fosfor i alle typer boringer i programperioden

Figur 49 viser fordelingen af totalfosfor, P_{tot} i samtlige indtag, som er analyseret i programperioden 2011-2016. Figuren viser data fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer. For hvert indtag er gennemsnitsværdien for perioden vist.



Figur 49. Fordelingen af de gennemsnitlige total-fosfor koncentrationer (P_{tot}) i alle analyserede indtag i programperioden 2011-2016 for GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer. Bemærk x-aksen er logaritmisk. Antallet af indtag fremgår af legenden. Derudover er den maksimale detektionsgrænse (DG- blå farve) i perioden vist sammen med den tidligere kravværdi for drikkevand (rød farve).

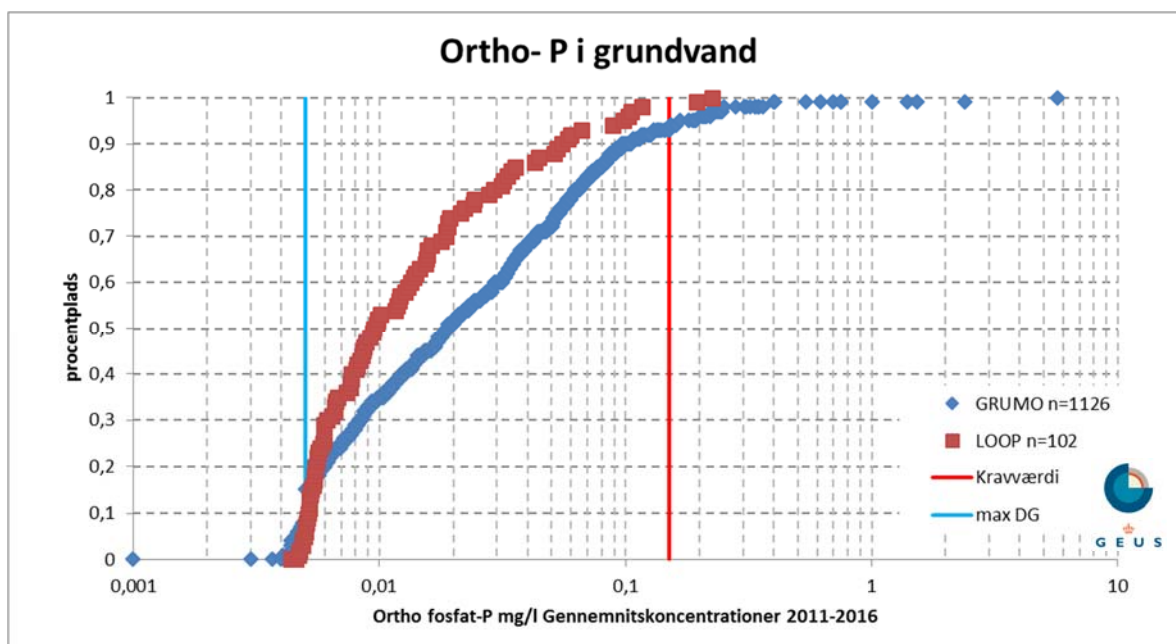
De maksimale værdier for P_{tot} i perioden 2011-2016 er ca. 6, ca. 2,5 og knap 1 mg/l for hhv. grundvand i GRUMO-indtag, aktive vandværksboringer og LOOP-indtag. Figur 49 anvender en logaritmisk skala til at vise koncentrationerne, da der er mere end en faktor 1.000 til forskel på de højeste og de laveste koncentrationer. Det fremgår, at koncentrationerne i det øvre grundvand i LOOP-indtagene generelt er lavere end i de øvrige indtag, og at de aktive vandværksboringer har højere koncentrationer end GRUMO/LOOP-indtag, idet der især er færre meget lave koncentrationer på vandværkerne.

Figur 49 viser, at det totale fosforindhold overskrider 0,15 mg/l i 16 % af GRUMO-indtag og 23 % af vandværksboringerne, mens den blot er overskredet i 4 % af indtagene i LOOP. Da der er en større andel af oxideret grundvand og dermed nitratholdigt grundvand i LOOP- og GRUMO-datasættene end ved vandværksboringerne, se Figur 24, er der tilsvarende et mindre indhold af fosfor, da fosfor binder sig til coatingen med jernoxider på de oxiderede sedimenter. Tidligere rapporteringer af fosfor i grundvand (Thorling mfl. 2013 og 2015), dokumenterede, hvorledes koncentrationen af fosfor i grundvandet afhænger af redoxforholdene og de geologiske aflejringsmiljøer, således at grundvandets fosforkoncentration stiger i takt med, at grundvandet bliver mere reduceret, og dermed også stiger med dybden.

Figur 50 viser fordelingen af den gennemsnitlige P_{ortho} -koncentration i GRUMO- og LOOP-indtag, for perioden 2011-2016, hvor der er anvendt en logaritmisk x-akse. På samme måde som for P_{tot} er den højeste detektionsgrænse i perioden og den tidligere kravværdi for drikkevand vist. P_{ortho} indgår ikke analyseprogrammet for vandværksboringer.

Figur 50 viser, at gennemsnitsværdien P_{ortho} i perioden 2011-2016 overstiger 0,15 mg/l i 6 % af GRUMO-indtag, mens den blot er overskredet i 1 % af LOOP-indtagene. Ved sammenligning til Figur 49, er det således en mindre andel af P_{ortho} , der har høje værdier end P_{tot} . Denne forskel kan forklares ud fra tilstedeværelsen af en organisk fraktion af fosfor i prøverne, som omtalt i tidligere rapportering, fx (Thorling mfl. 2013). Det fremgår også, at der især for LOOP-indtagene er en meget stor procentdel, der ligger tæt på detektionsgrænsen på 0,005 mg/l, som blev anvendt indtil 2016.

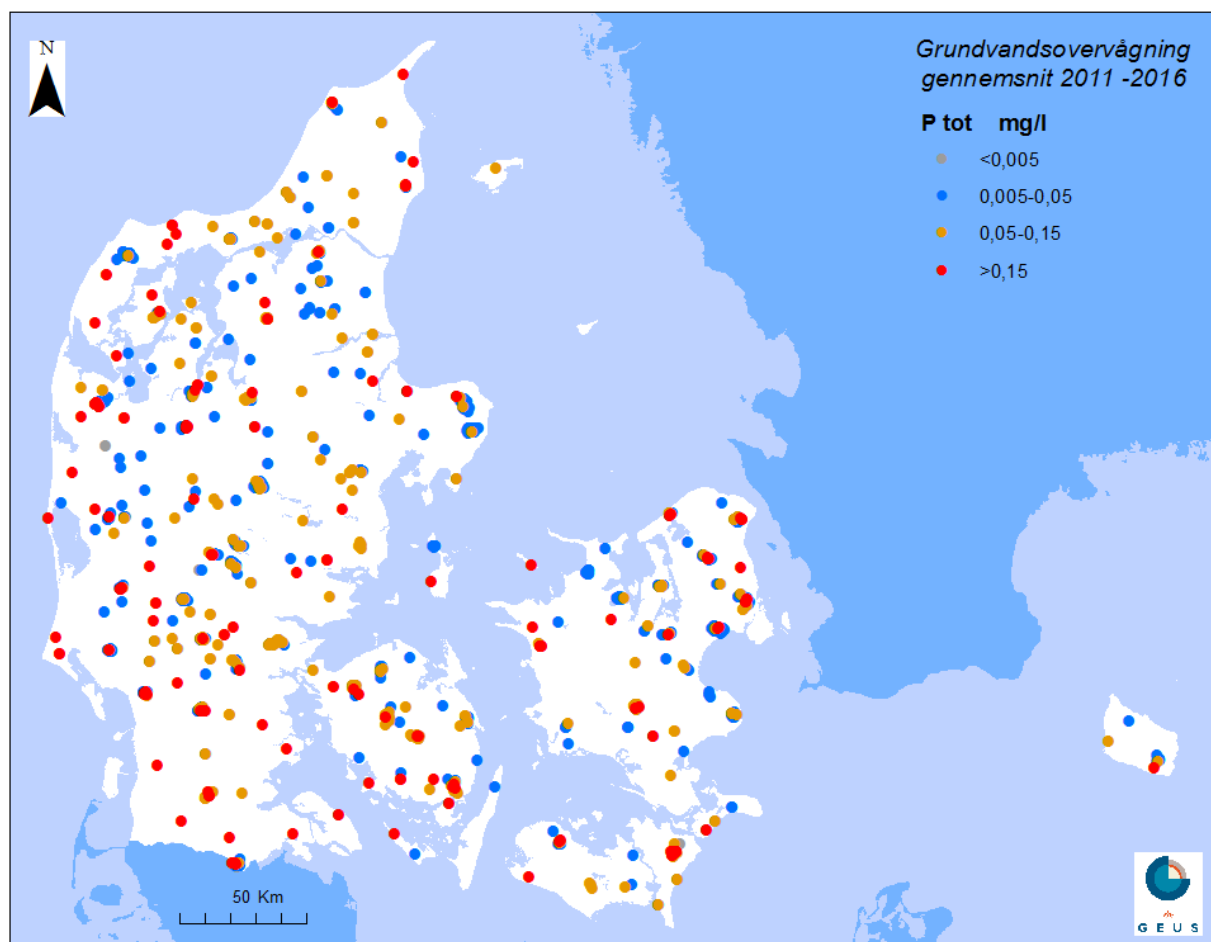
Som diskuteret i bilag 11 er der en særlig stor analyseusikkerhed tæt ved detektionsgrænsen. Begrebet tæt på detektionsgrænsen er i denne sammenhæng værdier i koncentrationer op til tre gange detektionsgrænsen, hvor den såkaldte kvantifikationsgrænse ligger (Miljø og fødevareministeriet, 2017f). Hhv. ca. 64 % og 44 % af LOOP og GRUMO-indtagene indeholder P_{ortho} under kvantifikationsgrænsen (3 gange den anvendte detektionsgrænse på 0,005 mg/l) svarende til 0,015 mg/l, og er derfor bestemt med en forventelig høj analyseusikkerhed.



Figur 50. Fordelingen af det gennemsnitlige ortho-fosfat-P, P_{ortho} indhold i alle analyserede GRUMO- og LOOP-indtag i programperioden 2011-16. Bemærk x-aksen er logaritmisk. Antallet af indtag fremgår af legenden. Derudover er den maximale detektionsgrænse (DG- blå farve) i perioden vist sammen med den tidligere kravværdi for drikkevand (rød farve).

6.1 Grundvandsovervågningen

Geografisk fordeling - totalfosfor



Figur 51. GRUMO. Geografisk fordeling af det gennemsnitlige totalfosfor (P_{tot}) i grundvand i 1127 GRUMO-indtag for perioden 2011-2016. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortet.

Figur 51 viser den geografiske fordeling i GRUMO-indtag af fosfor i grundvandet for P_{tot} . Kortet viser gennemsnitsværdier på indtagniveau for programperioden 2011-2016. På kortet er de laveste værdier udtegnet først, og de højeste værdier ligger øverst. I områder med kalkaflejringer optræder der hovedsageligt lave værdier, da fosfor bindes til kalkbjergarterne, som fx på Djursland, se også Figur 53. I de fleste områder optræder der såvel høje som lave værdier, idet de lave værdier optræder i iltet grundvand og de højere værdier optræder i reduceret grundvand.

6.2 Landovervågningen

Datagrundlag

Det øvre grundvand overvåges i landovervågningsområderne (LOOP), hvor der er målt for P_{tot} og P_{ortho} i perioden 1989-2016. Det terrænnære grundvand er fra borerer med indtag mellem 1,5 og 6 m u.t.

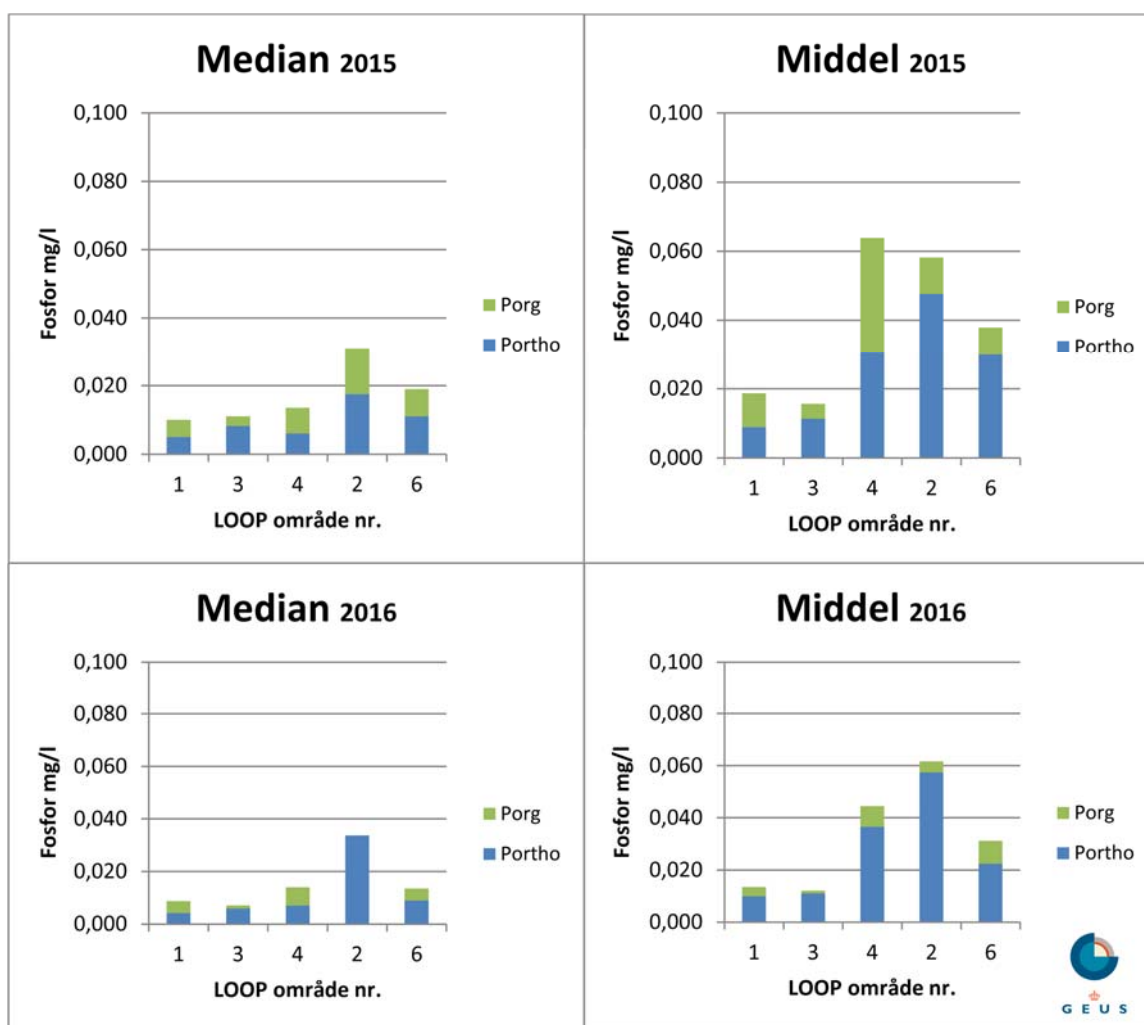
Fosfor i det øvre grundvand

I rapporteringen for 1989-2012 (Thorling mfl., 2013) 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 52 viser median- og middelværdierne for koncentrationen af P_{tot} opdelt på P_{ortho} og P_{org} i det øvre grundvand for såvel 2015 som 2016 for de 5 målte landovervågningsoplande, da skiftet i laboratorium og den lavere detektionsgrænse har stor betydning for resultaterne, se Bilag 11.

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). Koncentrationsfordelingen for fosfor i grundvandet i LOOP-indtagene fremgår af Figur 49 og Figur 50, hvor hhv. P_{tot} og P_{ortho} er vist som gennemsnitsværdier for de enkelte LOOP-indtag for programperioden 2011-2016.

Figur 52 viser tydeligt, at for alle LOOP-områder er såvel median som middelværdien af P_{tot} og P_{ortho} lavere i 2016 sammenlignet med 2015. I bilag 11 er effekten af laboratorieskift fra 2015 til 2016 diskuteret. Heraf fremgår det, at skønt medianværdien for såvel P_{tot} som P_{ortho} hidtil har ligget over detektionsgrænsen, kan forskellene på de to laboratoriers resultater ikke alene forklares ud fra ændrede detektionsgrænser. Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag at afgøre hvilke analyseresultater, der er mest retvisende.



Figur 52. Indholdet af fosfor (mg/l) i det øvre grundvand opdelt på P_{ortho} og P_{org} for de enkelte LOOP-områder i 2015 og 2016. For hvert LOOP område er beregnet hhv. middelværdien og median af hhv. årlige middelværdier og medianer på indtagsniveau.

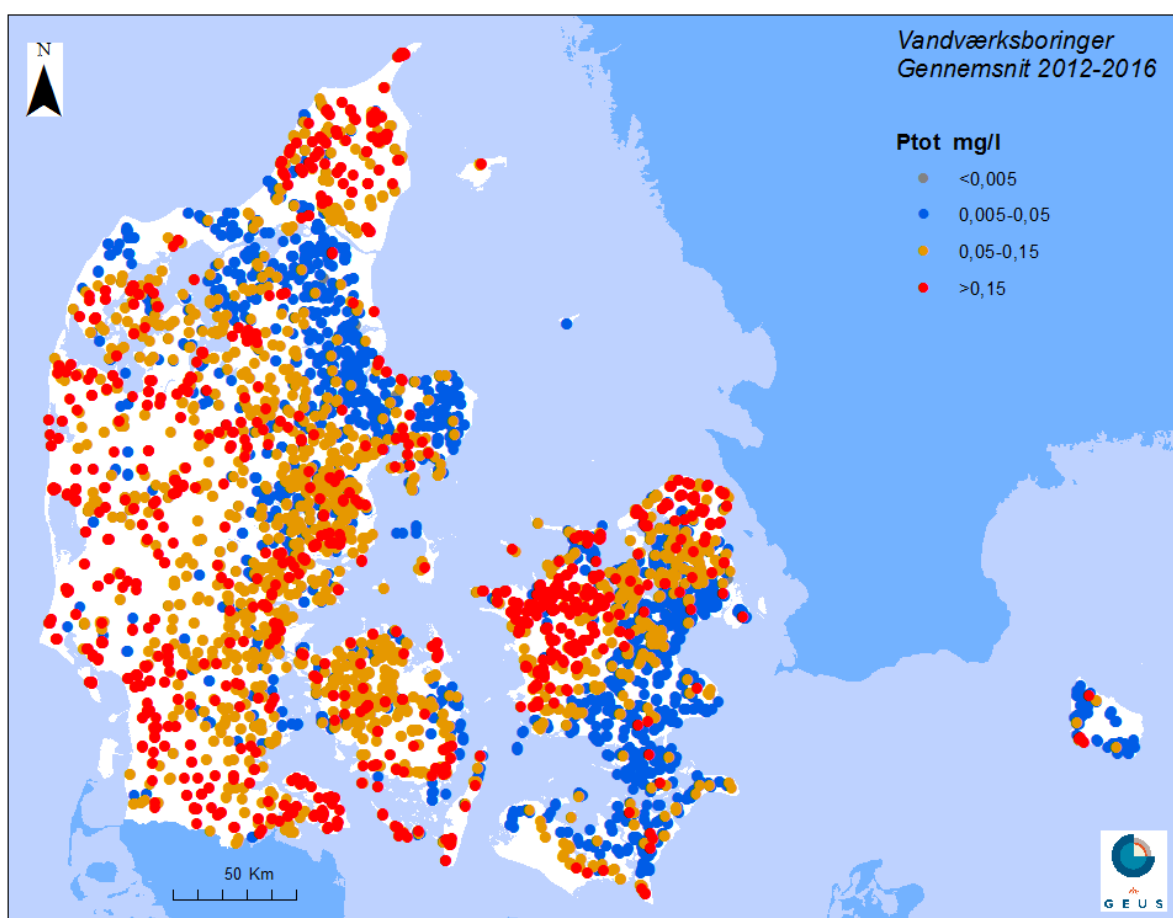
6.3 Vandværksboringer

Datagrundlag

Datagrundlaget er analyser af det totale indhold af opløst fosfor fra 5957 aktive vandværksboringer fra boringskontrollen for femårs perioden 2012-2016.

Status, udvikling og årsager

Medianværdien af det gennemsnitlige totalfosfor indhold i vandværkernes boringskontrol er 0,069 mg/l for perioden 2011-2016, se Figur 49 hvor forforindholdet i Vandværksboringerne er sammenlignet med forforindholdet i GRUMO/LOOP-indtag. Omkring 23 % af vandværksboringerne har et fosforindhold over det tidligere drikkevandskrav på 0,15 mg/l. Denne andel har ikke ændret sig væsentligt overvågningens start i 1988.



Figur 53. Total fosfor (mg/l) i 5957 vandværksboringer. Gennemsnit for perioden 2012-2016, hvor alle vandværksboringer kan forventes prøvetaget mindst én gang. Fosforindholdet afhænger i høj grad af geologien, og kan relateres til undergrunden. Indtag med den højeste koncentrationsklasse er vist øverst på kortene.

Figur 53 viser den geografiske fordeling af fosforindholdet i grundvandet i vandværksboringer. Fosforindholdet afhænger i høj grad af undergrundens geologiske sammensætning og kan relateres til de prækvarterable aflejringer vist på Figur 61. Især kalkområderne træder frem med lave fosforindhold, se fx Djursland og Sydsjælland. Det geologiske bidrag til grundvandets fosforindhold er særlig stort i reduceret nitratfrit grundvand, der typisk anvendes til vandforsyning, se Figur 24 og (Thorling mfl. 2013).

Referencer, Fosfor

Lovgivning mv. Danmark og EU:

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017f: bekendtgørelse nr. 1146 af 24. oktober 2017 om kvalitetskrav til miljømålinger. (*Analyse kvalitetsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 914 af 27. juni 2016 og bekendtgørelse nr. 1903 af 29. december 2015)

Andre referencer:

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

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., 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)

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

Links:

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (08.01.2018)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (08.01.2018)

NOVANA hjemmeside: [http:// http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/](http://http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/) (08.01.2018)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/> (08.01.2018)

Netdoktor, <https://www.netdoktor.dk/vitaminer/fosfor.htm> (4-1-2018)

7 Referencer

Dansk lovgivning, bekendtgørelser mv.

- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010.
- Miljø- og Fødevareministeriet 2014: BEK nr. 292 af 26/03/2014, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Miljø- og Fødevareministeriet 2015d: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 1310 af 25/11/2015.
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2016: bekendtgørelse nr. 1001 af 29. juni 2016 om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder (Overvågningsbekendtgørelsen).
- Miljø- og Fødevareministeriet 2016a: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 802 af 01/06/2016.(forældet).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017a: Lov om vandplanlægning, jf. lovbekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017. (Tidligere lov nr. 1606 af 23. december 2013 om vandplanlægning med senere ændringer).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017b: Lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven), jf. lovbekendtgørelse nr. 119 af 26. januar 2017. (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1251 af 29. september 2016 og lovbekendtgørelse nr. 1531 af 8. december 2015 af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017c: Lov om vandforsyning mv., jf. lovbekendtgørelse nr. 125 af 26. januar 2017. (Vandforsyningsloven). (Tidligere lovbekendtgørelse nr.1204 af 28. september 2016, lovbekendtgørelse nr. 1584 af 10. december 2015).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017d: Lov om udpegning af drikkevandsressourcer, jf. lovbekendtgørelse nr. 246 af 15. marts 2017.
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (Drikkevandsbekendtgørelsen). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017f: bekendtgørelse nr. 1146 af 24. oktober 2017 om kvalitetskrav til miljømålinger. (Analyse kvalitetsbekendtgørelsen). (Tidligere bekendtgørelse nr. 914 af 27. juni 2016 og bekendtgørelse nr. 1903 af 29. december 2015).
- Miljø- og Fødevareministeriet, 2017g: bekendtgørelse nr. 1625 af 17. december 2017 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. (Tidligere bekendtgørelse nr. 439, 19. maj 2016 og bekendtgørelse nr. 1070 af 9. sept. 2015).
- Miljøministeriet 2011: BEK nr. 1024 af 31/10/2011, Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, http://www.miljoportal.dk/myndighed/registrer_dataansvar/Sider/forside.aspx#MyndighedDataansvar (22-02-2018).
- Miljøstyrelsen, 2000b: Zonering. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen).
- Miljøstyrelsen, 2013: Bentazon, anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra MST nr. 1, 2013.
- Miljøstyrelsen, 2014a: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.
- Miljøstyrelsen 2017a. Pesticider og biocider salgstal 1956-2014. Miljøstyrelsen 14. december 2017.
- Miljøstyrelsen 2017b. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2015. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og Sprøjtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 17.

EU direktiver

- EU, 1980: Rådets direktiv 80/778/EØF af 15. juli 1980. (1. version af Drikkevandsdirektivet)
- EU, 1991: Nitratdirektivet: RÅDETS DIREKTIV af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, der stammer fra landbruget (91/676/EØF) med senere ændringer.
- EU, 1998: Drikkevandsdirektivet: RÅDETS DIREKTIV 98/83/EF af 3. november 1998 om kvaliteten af drikkevand.
- EU, 2000: Vandrammedirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer.
- EU, 2006: Grundvandsdirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer.
- EU, 2009: Analyse kvalitetsdirektivet: KOMMISSIONENS DIREKTIV 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF.

NOVANA: Nationale programbeskrivelser, rapporter mv.

- Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015: Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164
<http://dce2.au.dk/pub/SR205.pdf>
- Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsck, W., Ernstsen, V., Ellermann, T. & Bossi, R., 2015: Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Videnskabelig rapport fra DCE nr. 142. (242pp). <http://dce2.au.dk/pub/SR142.pdf>
- DMU, 2004: NOVANA, Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse. Faglig rapport fra DMU nr. 495.
- DMU, 2007a: NOVANA – det Nationale Program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508.
- DMU, 2007b: Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse 2007-2009. Faglig rapport fra DMU nr. 615, 2007.
- DMU, 2010a: Program NOVANA 2010. Opdatering af faglig rapport nr. 615 fra DMU – Programbeskrivelse for NOVANA del 2. NOTAT, 31. maj 2010.
- DMU, 2010b: DEVANO 2010. Decentral Vand og Naturovervågning. NOTAT, 31. maj 2010.
- Hansen, B., Rasmussen, B.B., Sivertsen, J., Sørensen, E., Kristoffersen, V. & Christensen, K.S., 2010: Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP). Særdokument fra GEUS.
- Miljøstyrelsen, 1988: Sammenstilling af det totale overvågningsprogram i henhold til vandmiljøplanen, okt. 1988
- Miljøstyrelsen, 1989: Vandmiljøplanens overvågningsprogram. Miljøprojekt nr. 115, Miljøstyrelsen 1989
- Miljøstyrelsen, 1993: Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1993-1997. Redegørelse fra Miljøstyrelsen nr.2/1993, Miljøstyrelsen
- Miljøstyrelsen 2000a: NOVA-2003. Redegørelse nr. 1, 2000, Miljøstyrelsen
- Miljøstyrelsen, 2013a: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the period 2008-2011. (83 pp)
- Miljøstyrelsen 2016: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2012-2015 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). September 2016.
- Nielsen, A.M., Hansen, B., Ernstsen, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014: Odder Bæk – LOOP 2. Lokaltid 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport, 2014/82.
- Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/NOVANA_2delrapport.pdf (08.01.2018)
- Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/> (08.01.2018)
- 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> (4-1-2018)
- Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (4-1-2018)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (4-1-2018)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (4-1-2018)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (4-1-2018)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (4-1-2018)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (4-1-2018)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (4-1-2018)
- Thorling, L., Brüsck, 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 (4-1-2018)
- 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 (4-1-2018)
- Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2014.aspx (4-1-2018)

Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/DK/publications/groundwater_monitoring/Sider/1989_2015.aspx (4-1-2018)

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>

Andre referencer

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

Dalgaard T, Hansen B, Hasler B., Hertel O., Hutchings N., Jacobsen B.H., Jensen L.S., Kronvang B., Olesen J.E., Schjørring J.K., Kristensen I.S., Graversgaard M., Termansen M., Vejre H., 2014: Policies for agricultural nitrogen management - trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. Environmental Research Letters, Environ. Res. Lett. 9 (2014) 115002 (16pp). <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/11/115002>. (4-1-2018)

DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

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.

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

Hansen, B., Thorling, L., Schullehner, J., Termansen, M. & Dalgaard, T., 2017: Groundwater nitrate response to sustainable nitrogen management. Scientific Reports, 7, 8566. DOI: 10.1038/s41598-017-07147-2.

Hansen, B., og Thorling L., 2018: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6, version 3, 2018. GEUS, Særudgivelse

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> (26-2-2018)

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> (26-2-2018)

Hvid, S. Kolind, 2011: Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (26-2-2018)

Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvarvære 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

Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivetridet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008. <http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (27-9-16)

Nygaard, E.(red), 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonerings. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (27-9-16)

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

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

Schullehner, J. & Hansen, B., (2014): Nitrate exposure from drinking water in Denmark over the last 35 years. Environmental Research Letters 9 095001 [doi:10.1088/1748-9326/9/9/095001](http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/095001) (17-2-2018)

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. og Kjølner, C., 2017: Datakilder til vurdering af grundvandets tilstand. GEUS notat 07-VA-2017-1

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

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

Links og hjemmesider:

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (08.01.2018)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (17.02.2018)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (08.01.2018)

GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (17.02.2018)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (08.01.2018)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (08.01.2018)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videntcenter for Miljø og ressourcer: <http://miljoeogressourcer.dk/> (08.01.2018)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (08.01.2018)

Netdoktor: <https://www.netdoktor.dk/vitaminer/fosfor.htm> (4-1-2018)

NOVANA hjemmeside: [http:// http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/](http://http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/) (08.01.2018)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (08.01.2018)

NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR495.PDF (08.01.2018)

NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (08.01.2018)

STANDAT og STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (17.02.2018)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/> (08.01.2018)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (17.02.2018)

Appendiks

Appendiks 1: Datagrundlag og metoder

Appendiks 1.1: Analyseindsats og dataindsamling

Datakilder

De data, der udgør grundlaget for grundvandsovervågningsrapporten er først og fremmest indsamlet i det Nationale Overvågningsprogrammes særlige overvågningsboringer (GRUMO- og LOOP-indtag) og i vandværkernes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (Thorling og Kjøller, 2017). De forskellige datakilder er beskrevet kort i Boks 2 nedenfor, mens en mere uddybende beskrivelse af stationsnettet er givet i Appendiks 2.

Boks 2: Datakilder i grundvandsovervågningsrapporten

Datakilde	Beskrivelse
GRUMO-boringer	<p>GRUMO-boringerne i Grundvandsovervågningen er en del af det nationale overvågningsprogram for vand og natur (NOVANA). Overvågningen finder sted i særlige overvågningsboringer (GRUMO-stationsnettet), der er designet til at kunne give dybdespecifikke prøver i grundvandsmagasinerne fra de såkaldte GRUMO-indtag. Stationsnettet er designet, så det særligt er muligt at overvåge det grundvand, hvor risikoen for at finde diffuse miljøpåvirkninger er størst, og hvor tilsigtede effekter af reguleringer bedst kan vurderes.</p> <p>Stationsnettet er i perioden 2007-2017 tilpasset vandrammedirektivets krav til overvågning.</p> <p>Prøvetagningshyppigheden i de enkelte boringer varierer afhængigt af den påvirkning, som et indtag afspejler, men alle indtag prøvetages mindst én gang i løbet af en seks-årig programperiode, jf. vandrammedirektivet (EU, 2000).</p> <p>Alle data fra GRUMO-boringer er tilgængelige i Jupiter.</p>
LOOP-boringer	<p>Boringerne i Landovervågningsprogrammet (LOOP) er en del af det nationale overvågningsprogram for vand og natur (NOVANA). Landovervågningen beskriver sammenhænge mellem forskelle i dyrkningspraksis og tabet af kvælstof til vandmiljøet, idet hovedformålet med LOOP-overvågningen er at få en detaljeret forståelse af, hvordan dyrkning i Danmark påvirker status for vandkvalitet i rodzonevand, drænvand og grundvand. Alle LOOP-boringer er placeret, hvor grundvandsspejlet ligger højt, idet LOOP-indtagene er placeret fra 1,5-5 m u.t. Der kan kun udtages prøver, når grundvandsspejlet ligger så højt, at det er muligt at pumpe vandet op fra indtagene.</p> <p>Der har siden overvågningens start i 1989 været tale om et fast stationsnet af ca. 100 LOOP-boringer - med kun ganske få ændringer. Indtagene prøvetages op til seks gange årligt.</p> <p>I LOOP-områderne overvåges der også rodzonevand, der opsamles med sugeceller placeret lige under rodzonen. Disse data må ikke forveksles med data fra LOOP-boringerne, og data fra den umættede zone (rodzonevand) anvendes ikke i grundvandsovervågningsrapporten.</p> <p>Alle data fra LOOP-boringer er tilgængelige i Jupiter.</p>
Indvindingsboringer	<p>I bekendtgørelsen om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (drikkevandsbekendtgørelsen) er der krav om kontrol af kvaliteten af det grundvand, som vandforsyningerne indvinder. Denne såkaldte boringskontrol gennemføres af vandforsyningerne og foretages på vandet fra indvindingsboringerne (dvs. råvandet) inden vandet kommer ind i vandværket og videre ud i forsyningsnettet til forbrugerne.</p> <p>Hyppigheden af boringskontrol afhænger af den indvundne vandmængde med en prøvetagningshyppighed mellem hvert 3. år og hvert 5. år.</p> <p>Alle resultater fra boringskontrollen indberettes til Jupiter.</p>

Analyseindsats vedr. grundvandskvalitet

Overvågningen af grundvandets kvalitet har siden grundvandsovervågningens start i 1988 taget udgangspunkt i fire stofgrupper:

- Hovedbestanddele
- Uorganiske sporstoffer
- Pesticider
- Organiske mikroforureninger

Analyseprogrammerne for miljøfremmede stoffer har udviklet sig gennem årene i takt med, at udviklingen af analysemetoderne har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser i forhold til kravværdierne for de relevante miljøfremmede stoffer og sporstoffer. Undervejs er stoffer, der kun sjældent eller aldrig findes i analyserne, udgået af programmerne. De aktuelle analyseprogrammer for indværende programperiode fremgår af de kapitler, hvor stofferne præsenteres. Bilag 4 viser en oversigt over den periode, hvor forskellige stoffer har indgået i det obligatoriske analyseprogram for grundvands- overvågningen.

Det samlede analyseprogram for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne (se litteraturlisten og NOVANA-hjemmesiden). Analyseprogrammerne for boringskontrollen fremgår af de forskellige versioner af drikkevandsbekendtgørelsen, der løbende ændres af Miljøstyrelsen. Seneste version er fra 2017 (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e).

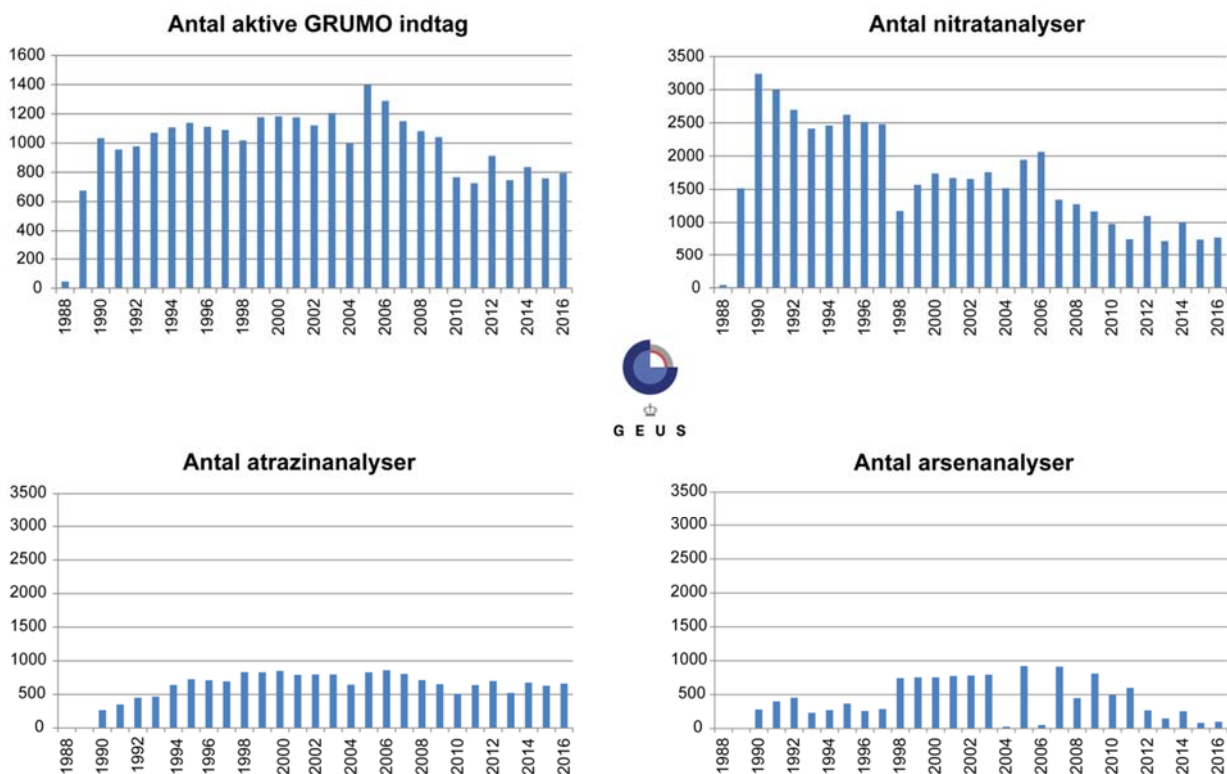
Specielt for pesticider gælder, at resultaterne fra "Varslingssystemet for pesticider" (VAP) anvendes til justering af analyseprogrammet for både grundvandsovervågningen og boringskontrollen, og ikke mindst som beslutningsgrundlag for screeninger i grundvandsovervågningen (se hjemmesiden for VAP). Resultaterne herfra indgår i beslutningsgrundlaget for justering af programperiodernes analyseprogrammer for grundvandsovervågningen og for drikkevandsbekendtgørelsens boringskontrol. I bilagene præsenteres resultater fra samtlige pesticidanalyser, opdelt på grundvandsovervågning og boringskontrol, i det omfang de foreligger i Jupiter.

Figur 54 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.

Antallet af prøvetagede indtag i de enkelte år viser, hvorledes overvågningen udbygges i løbet af 1988-1989 og derefter frem til 2004 har et nogenlunde konstant antal prøvetagede indtag hvert år. Udviklingen af stationsnettet og den løbende udbygning med boringer, herunder den store omlægning efter 2007 for at tilpasse stationsnettet til vandrammedirektivet (EU 2000) er diskuteret i appendiks 2.

I programperioden 2010-2016, udtages højst én prøve/år/indtag, bortset fra i redoxboringerne, der kun indgår i to af programperiodens år (2012 og 2014), men da med fire prøver/år/indtag.

Det fremgår af Figur 54, at mens der har været et fald i antallet af årlige analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider ligget mere konstant i hele overvågningsperioden, dog med et mindre fald, der svarer til det reducerede stationsnet efter 2010. Faldet i antallet af nitratanalyser pr. år er især begrundet i det forhold, at prøvetagningsfrekvensen/år for hovedbestanddele er faldet gennem tiden, mens prøvetagningsfrekvensen for pesticider til sammenligning har varieret mindre. Det større antal analyser for nitrat i 2012 og 2014 end i 2013, 2015 og 2016 viser, at der i 2012 og 2014 blev udtaget prøver i de 89 indtag i redoxboringerne, der ikke prøvetages hvert år.



Figur 54. Illustration af analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2016. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver i de enkelte år, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

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

Oppumpede vandmængder

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. I henhold til Vandforsyningsloven (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017c) og Drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e) skal alle almene indvindinger indberette indvindingen til kommunerne. Almene indvindinger er defineret som vandværker, der leverer til mindst 10 husstande. Ikke-almene indvindinger indberetter kun, såfremt kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne kvalitetssikrer og indberetter herefter vandmængderne til Jupiter.

Anden overvågning af grundvandet

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

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

Indberetning af data

Indberetningen af vandanalyser til Jupiter databasen fra såvel grundvandsovervågningen som boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af analyselaboratorierne. Efterfølgende godkender kommunerne eller Miljøstyrelsen data, jf. Dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2016) og Drikkevandsbekendtgørelsen (senest Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e), før de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen.

Vandværkernes aktive indvindingsboringer identificeres til rapporteringen på grundlag af bl.a. en kode for prøveformål, som laboratorierne angiver for hver analyseret vandprøve, der indberettes til databasen. For at en vandværksboring kategoriseres som aktiv, skal der desuden være taget en prøve inden for de sidste 5 år, med prøveformålet "boringskontrol".

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

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. Programmet fjerner dubletter, lige som andre datatekniske problemer som fx anvendelse af forskellige stofkoder for samme stof eller brug af forskellige enheder håndteres.

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

Til denne rapport er der lavet et udtræk af de kemiske data fra Jupiter d. 5. maj 2017, mens der pr. 3. juli 2017 er foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de indberettede vandmængder til Jupiter for perioden 1989 frem til og med 2016. Pejledata er endeligt udtrukket af Jupiter 31. august 2017.

Appendiks 1.2: 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.

Statistiske metoder

Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig i tid og rum. Der er fokus på hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kravværdien og detektionsgrænsen. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit for data fra flere forskellige indtag, men det kan fx være relevant i en udvalgt delmængde af data med fælles egenskaber. Almindeligvis vil data præsenteres som årlige aritmetiske gennemsnit for indtag, hvor der er udtaget mere end én prøve om året. I det omfang, der i øvrigt beregnes gennemsnitsværdier, præsenteres medianer også. Status mht. de enkelte stoffer/stofgrupper kan derudover illustreres gennem fraktildiagrammer, beregning af medianer og 25 og 75 % fraktiler mv., der samtidig illustrerer spredningen, se fx Figur 45.

Der er, i relevant omfang, lavet en opdeling efter geologi, geokemi, dybde eller strømningstid mv, specielt i de år, hvor der er særlig fokus på et enkelt emne. For miljøfremmede stoffer med lave fundprocenter er fundprocenten i sig selv en vigtig parameter.

Koncentrationsklasser.

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

Rapporten tager derfor afsæt i disse tre koncentrationsklasser:

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

Detektionsgrænse og kvantifikationsgrænse

Mens der i Danmark traditionelt opereres med detektionsgrænsen, opererer man i Analysekvalitetsdirektivet (EU, 2009) og Grundvandsdirektivet (EU, 2006) med kvantifikationsgrænsen (LQ, level of quantification), som er defineret som tre gange detektionsgrænsen (DG). Alle resultater i Jupiter er angivet i forhold til detektionsgrænsen. I Danmark implementeres brugen af kvantifikationsgrænsen med bekendtgørelse 1146 af 24/10/2017 (Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017f).

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

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

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

Ved beregning af udviklingstendenser på stoffer med indhold tæt ved DG er der særlige problemer knyttet til den store analytiske usikkerhed på måleresultater under LQ. Derfor anvendes $\frac{1}{2} * LQ$ for alle værdier under LQ, når der skal beregnes trends. Dette er især relevant for pesticider, hvor mange stoffer optræder meget tæt på DG, og variationer mellem fx 0,01 og 0,02 $\mu\text{g/l}$ ikke må fejltolkes som en reel fordobling af indholdet, men alene som usikkerheden på fastlæggelse af indhold ved værdier under LQ. Egentlige trendberegninger indgår normalt kun i forbindelse med temarapportering.

Databehandling

Fraktildiagrammer, hvor alle målinger indgår, anvendes til at præsentere stoffernes koncentrationsfordelinger. Afbildningsmetoden giver mulighed for at aflæse median og vurdere spredningen på resultaterne, se fx Figur 38.

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

- Under detektionsgrænsen, DG (i.p. = ikke påvist)
- Fra og med detektionsgrænsen og til og med kravværdien
- Over kravværdien

Når data fra indtag med forskellig prøvetagningsfrekvens skal sammenlignes, må opgørelser over status og udvikling i populationen baseres på en samlet periode af en vis længde. Hertil har GEUS gennem alle årene anvendt periodeopgørelser, der bygger på det princip, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i et givent koncentrationsinterval, selv om der har været udtaget flere vandprøver med fund, eller der er påvist flere stoffer i samme prøve.

På indtagsniveau opgøres således, hvor stor en andel af indtagene, der i en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller overskridelse af kravværdien, se boks 3. Det optælles ikke hvor mange stoffer, der har været påvist, eller hvor mange stoffer, der har overskredet kravværdien. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kravværdien, tælles derfor kun med én gang. Omvendt betyder metoden, at hvis der er udtaget flere vandprøver fra samme indtag over en periode, og der ikke er fund i alle prøver i perioden, men dog mindst ét fund, bliver indtaget talt med i kategorien med fund.

Boks 3: Principper for en periodeopgørelse

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

For enkeltstoffer optælles, i hvor mange indtag stoffet er fundet over en given periode.

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

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

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

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

Dybdefordelinger

Dybdefordelingen, er en illustration af fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet og illustreres fx som Figur 10. Her er dybden opdelt i intervaller typisk af 10 m.

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

- Under detektionsgrænsen, DG (i.p. = ikke påvist)
- Fra og med detektionsgrænsen og til og med kravværdien
- Over kravværdien

Dybden er angivet som "dybden til top af indtag" også kaldet "indtagstop". Dette er dybden til overkanten af indtaget, således som det er angivet i Jupiter i m u.t. GRUMO-indtagene er som regel korte med en længde på 1-2 m. I vandværksboringer er længden af indtaget ofte omkring 6 m, men indtagene kan være endog meget lange, fx kan indtaget i nogle kalkboringer være op til 50 m langt. Derfor kan overvågningen i GRUMO-indtag repræsentere en punktmåling i tid og sted i langt højere grad end den overvågning, der finder sted i vandværksboringer, hvor vand med meget forskellig alder blandes sammen i de længere indtag.

Tidsserier

De fleste indikatorer viser tidsserier med udgangspunkt i prøvetagningsåret, se Figur 28. Tidsserier, hvor alle målinger (evt. for en bestemt veldefineret delmængde af data) fra hvert år indgår, er præsenteret i boksdiagrammer. Disse diagrammer er især nyttige for stoffer med en stor andel af resultaterne over detektionsgrænsen. Her vises både gennemsnitsværdi og median sammen med 10, 25, 75 og 90 % fraktilerne, se fx Figur 28.

Egentlige statistiske analyser af tidsserier ligger uden for rammerne af den årlige normalrapportering, men kan udføres i forbindelse med temarapportering. Her kan resultaterne fra dateringerne også inddrages (se kap. 4), og tidsskalaen kan transformeres til infiltrationstidspunktet. Dette muliggør en stærkere effektmåling af samspillet mellem indsatsplaner og miljøtiltag og de målte koncentrationer i grundvandet, fx nitrat, se Figur 29.

Pejledata og oppumpede vandmængder

Pejledata og oppumpede vandmængder behandles ikke som de kemiske parametre.

Oppumpede vandmængder præsenteres alene som tidsserier opdelt på indvindingskategorier. Data præsenteres for alle indvindinger og for grundvandsindvindinger alene.

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 indtagniveau for udvalgte indtag. Der arbejdes med metodeudvikling for aggregering af data. De seneste år er dette sket som vist i Figur 23.

Appendiks 1.3: Repræsentativitet og bias

Som nævnt ovenfor er længderne af indtagene i vandværksboringer og GRUMO-boringer meget forskellige. Alene af denne grund er der forskel på, hvad de forskellige datasæt, der rapporteres i grundvandsovervågningen, repræsenterer. Derudover kan de enkelte datasæt være forbundet med en såkaldt bias. Som eksempel på en sådan bias tilrettelægges vandforsyningerne deres indvinding på en måde, så kvalitetskrav til drikkevandet så vidt muligt overholdes allerede i råvandet, hvorfor overskridelser af kravværdien må forventes at forekomme sjældnere i boringskontrollata end i data fra GRUMO-indtag (fx Schullehner og Hansen, 2014). Nedenfor er der for hvert af de anvendte datasæt i grundvandsovervågningsrapporten angivet en beskrivelse af datasættets repræsentativitet og de mulige bias, der kan være knyttet til det enkelte datasæt, se også (Thorling og Kjøller, 2017).

Vurderingen af de forskellige datasæts repræsentativitet og bias er baseret på en faglig systemforståelse af et komplekst system (dvs. viden om den danske geologi, hydrogeologi og geokemi) samt på konceptuelle modeller. Da konceptuelle modeller i sagens natur ikke er matematiske modeller, anvendes der derfor ikke statistik til at underbygge disse. Da man endvidere ikke kender den rumlige fordeling af alle landets grundvandsmagasiner, er det ikke muligt at foretage en stringent, geostatistisk vurdering af repræsentativiteten af datagrundlaget i forhold til samtlige grundvandsmagasiner.

Grundvandet fra de enkelte indtag kommer fra et opland, der kan ligge mange 100 m eller sågar mange km væk fra indtaget. Størrelsen af oplandet til et indtag og afstanden mellem opland og indtag afhænger i det enkelte tilfælde af geologien og grundvandets strømningsmønster i det helt konkrete område, hvor et indtag er placeret. Der foretages i forbindelse med denne rapportering ikke en konkret vurdering af oplandet eller arealanvendelsen i oplandet for specifikke indtag.

GRUMO-indtag:

Formålet med data fra GRUMO-indtagene er bl.a. at give dybdespecifikke prøver i grundvandsmagasinerne, så udviklingen i grundvandets kvalitet og mængde i forhold til specielt diffuse overfladeforureninger kan beskrives. Hertil kommer, at data fra GRUMO-indtagene skal bidrage til tilstandsvurdering af alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster. For data fra GRUMO-indtag vurderes endvidere følgende:

- Data er repræsentative i forhold til, at afspejle grundvandets kvalitet korrekt i målepunkterne. Data er typisk punktmålinger, og beskriver en mindre stikprøve af grundvandets kvalitet. Samtidig er der høje krav til boringernes tekniske kvalitet og indretning. GRUMO-prøverne kan derfor i særlig grad forventes at være repræsentative for den kvalitet, som grundvandet har ud for boringernes indtag.
- Data er repræsentative i forhold til at afspejle belastningen af grundvandet fra diffus overfladeforurening af de stoffer, der indgår i det aktuelle analyseprogram på en national skala. Stationsnettet er samlet set designet, så det kan give et landsdækkende billede, der skal afdække de meget store variationer, der er i de naturgivne geologiske forhold i Danmark.
- Punktkilder giver en ubetydelig bias på det samlede datasæt. Der er kun få og utilsigtede data fra punktkilder fx jordforurening i datasættet. GRUMO datasættet er derfor uegnet til at repræsentere påvirkninger fra punktkilder.
- Grundvandets alder kan give bias ved fortolkning af data. I appendiks 3 er aldersfordelingen af de daterede aktive GRUMO-indtag vist. Når fortolkninger af tidsserier skal relateres til påvirkninger fra menneskelige aktiviteter, er det derfor vigtigt, at skelne mellem prøvetagningsår og infiltrationsår, da effekten af reguleringer eller uønskede påvirkninger først vil vise sig i indtagene efter en årrække.
- Veldefinerede delmængder af data kan anvendes for at fokusere på bestemte problemstillinger. Som eksempel er fremstillinger af udviklingen for nitrat i iltholdigt grundvand valgt for på bedst mulig vis at undersøge effekter af vandmiljøplanerne og andre handleplaner. Data fra det iltfrie grundvand indgår derfor ikke i disse fremstillinger, da nitrat i iltfrit grundvand ikke afspejler den oprindelige udvaskning.
- Datatætheden falder generelt med dybden. Bias i datagrundlaget i forhold til den dybdemæssige fordeling af indtag håndteres i grundvandsovervågningsrapporten ved at beregne andelen af indtag med et vist indhold af fx nitrat og pesticider i forskellige dybder. De dybeste GRUMO-indtag anvendes hovedsageligt til at vurdere, at antagelserne i de konceptuelle modeller er rimelige, fx med hensyn til udbredelsen af nitrat i dybden.
- Der foretages i grundvandsovervågningen ikke volumenbaserede beregninger af, hvor stor en del af grundvandressourcen, GRUMO-data repræsenterer. Det er efter GEUS' vurdering ikke muligt isoleret set at benytte GRUMO-data til at opgøre, hvor stor en andel af hele grundvandressourcen, der er påvirket af en given forureningskomponent.

LOOP-indtag:

Overvågning af grundvand i LOOP-indtag finder sted i fem landbrugsområder med højtliggende grundvandsspejl ned til ca. 5 m u.t. Data fra LOOP-indtag benyttes i grundvandsovervågningsrapporten kun i forbindelse med beskrivelsen af nitrat og fosfat i grundvandet. Generelt vurderes det for data fra LOOP-indtag, at:

- Arealanvendelsen er meget forskellig i lerjordsområderne og sandjordsområderne. Derfor præsenteres data opdelt efter jordtype. De to sandede LOOP-områder har mange kvægbrug og har en forholdsvist højt husdyrintensitet.
- På grund af det højtliggende grundvandsspejl vil udvaskningen være påvirket af potentialet for denitrifikation tæt ved terræn på basis af det fornybare organiske stof i de øvre jordlag. LOOP-data er ikke repræsentative på landsbasis, da der ikke indgår områder med dybtliggende grundvandsspejl. Størrelsen af denne bias er ikke vurderet. LOOP-data er derfor ikke repræsentative for det øvre grundvands generelle tilstand på landsbasis.

- En mindre andel overskrider grænseværdien på 50 mg/l for nitrat i LOOP-data sammenlignet med data fra GRUMO-indtag. Det er ikke undersøgt, om dette skyldes, at vandet generelt er yngre i LOOP-områderne og således kan være udtryk for en generelt faldende nitratbelastning, eller om det skyldes en større andel af delvist reduceret anoxisk vand på grund af det højtliggende grundvandsspejl.

Vandværker/boringskontrollen:

Vandværkernes boringer er etableret og opretholdt med det formål at indvinde vand, der så vidt muligt ikke skal underkastes avanceret vandbehandling. Dette betyder, at man gennem tiden har lukket mange boringer, hvor kvaliteten af råvandet ikke overholder kravværdien for et givent stof. Nogle stoffer, som fx arsen, kan dog ofte fjernes i tilstrækkelig grad på vandværket uden avanceret vandbehandling, hvorfor en overskridelse af kravværdien i råvandet ikke nødvendigvis betyder, at boringen lukkes eller sløjfes. Om data fra boringskontrollen vurderes det, at:

- Data fra indvindingsboringerne illustrerer alene tilstanden i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand af vandværkerne – dvs. inden vandet er blevet til drikkevand. Boringskontroller udføres over tid for en skiftende population af indvindingsboringer, idet nye boringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager, fx tekniske problemer eller vandkvalitetsproblemer. Dermed sikres løbende en god drikkevandskvalitet for forbrugerne, hvilket ikke nødvendigvis er udtryk for en tilsvarende udvikling i grundvandets generelle tilstand.
- Vandværksboringerne er repræsentative for drikkevandsforsyningernes indvindingsboringer på landsplan, idet de udgør tæt ved 100 % af alle aktive almene vandværksboringer.
- Indvindingsboringerne indtag er gennemsnitligt placeret dybere end GRUMO-indtagene, hvorfor de i mindre grad kan anvendes til at beskrive påvirkninger fra diffus overfladeforurening.
- Indvindingsboringerne har ofte lange indtag (6 m eller derover), hvorfor vandprøver fra disse indtag repræsenterer grundvand af meget blandet alder og oprindelse.

Referencer appendiks 1: Datagrundlag og metoder

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

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

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017b: Lov om miljømål m.v. for internationale naturbeskyttelsesområder (*Miljømålsloven*), jf. lovbekendtgørelse nr. 119 af 26. januar 2017. (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1251 af 29. september 2016 og lovbekendtgørelse nr. 1531 af 8. december 2015 af lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017c: Lov om vandforsyning mv., jf. lovbekendtgørelse nr. 125 af 26. januar 2017. (*Vandforsyningsloven*). (Tidligere lovbekendtgørelse nr. 1204 af 28. september 2016, lovbekendtgørelse nr. 1584 af 10. december 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

Miljø- og Fødevarerministeriet, 2017f: bekendtgørelse nr. 1146 af 24. oktober 2017 om kvalitetskrav til miljømålinger. (*Analysekvalitetsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 914 af 27. juni 2016 og bekendtgørelse nr. 1903 af 29. december 2015)

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

EU- direktiver

EU, 2000: Vandrammedirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer.

EU, 2009: Analysekvalitetsdirektivet: KOMMISSIONENS DIREKTIV 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF.

Andre referencer

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/> (08.01.2018)

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/NOVANA_2delrapport.pdf (08.01.2018)

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 (17-2-2018)

Thorling, L. og Kjølner, C., 2017: Datakilder til vurdering af grundvandets tilstand. GEUS notat 07-VA-2017-1

Relevante hjemmesider og links

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/> (4.1.2018)

Grundvandskortlægningens hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (4-1-2018)

Grundvandsovervågningsens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (4-1-2018)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncenter for Miljø og ressourcer: <http://miljoeogressourcer.dk/> (4-1-2018)

Jupiter hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (4-1-2018)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (17.02.2018)

Appendiks 2: Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen

Alle vandprøver og pejlinger er indsamlet i borer udstyret med et eller flere filtre. Filteret er betegnelsen for det stykke af forerøret, der er perforeret, og hvor grundvandet kan strømme ind i boringen. Det dybdeinterval af boringen, hvor vandet trænger ind i boringen, kaldes et indtag. I nogle geologiske aflejringer, eksempelvis granit og kalk er der ikke behov for et forerør og her består indtaget ofte af et åbentstående hul i en boring. Begrebet indtag er defineret yderligere i Grundvands-rapporten fra 2001 (Stockmarr, 2001).

Langt de fleste borer i GRUMO stationsnettet (76 % i 2016) har blot ét indtag, mens de øvrige 24 % (196 borer) har mere end ét indtag. Langt den overvejende del af disse borer har to indtag (70 %) og de resterende 30 % (svarende til ca. 7 % af alle GRUMO-borer) har 3 til 23 indtag.

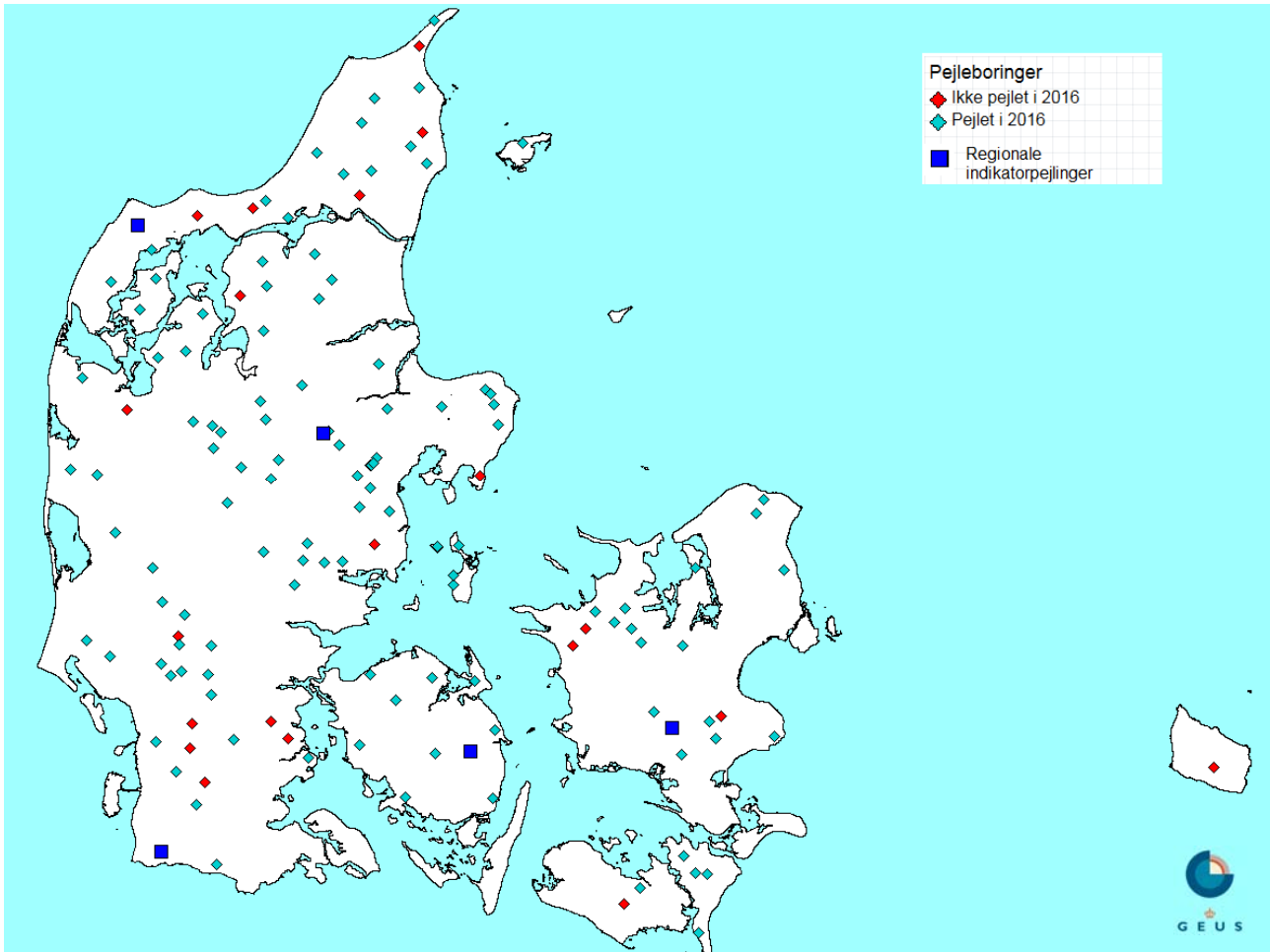
Tabel 17 giver et overblik over de forskellige sammenhænge, hvor grundvandet overvåges i Danmark. De forskellige aspekter af tabellen diskuteres gennem dette kapitel.

Hvad	GRUMO	LOOP	Det Nationale Pejlenet	Vandværker	Punktkilder
Hvor	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Indvindingsboringer	Overvågningsboringer mm.
Hvorfor	NOVANA	NOVANA	NOVANA	Drikkevandsbekendtgørelsen	Jordforureningsloven
Hvem	MST/GEUS	MST/DCE/GEUS	MST/GEUS	Vandværker/kommuner	Regioner
Hvor mange	Over alle år ca. 2.200 2016:770	I alt ca. 370 2016: 93	I alt ca. 150 2016: 133	I alt ca. 6.200 2016: 2127	I alt ca. >15.000 punktkilder > 10.000 indtag
Rapport	GEUS	GEUS/DCE	GEUS	GEUS	Region /rådgivere

Tabel 17. Oversigt over bidrag til og aspekter af overvågningen af grundvand i Danmark, herunder omfang af bidrag til datagrundlaget for forskellige typer af afrapportering. Bemærk: Punktkilder indgår ikke i nærværende rapportering. Antallet af punktkilder er skønnet på baggrund af svar fra flere regioner.

Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram

Figur 55 viser den geografiske fordeling af de 133 indtag, der i 2016 indgik i Det Nationale Pejleprogram. Her overvåges (pejles) grundvandsspejlets beliggenhed med fast installerede dataloggere, der registrerer og opsamler målinger hver dag. I programmet indgår pejlinger fra såvel terrænnære indtag som fra indtag placeret i de dybere dele af grundvandet.



Figur 55. Stationsnet for Det Nationale Pejleprogram. Pejlestationerne er opdelt i de der er pejlet i 2016 og de der ikke er pejlet i 2016. Derudover er vist de 5 udvalgte indtag, der bearbejdes nærmere i rapporteringen, se kapitel 3.

Appendiks 2.2: Grundvandsovervågning - vandkvalitet

Figur 56 viser det samlede stationsnet af boringer med indtag anvendt til grundvandsovervågningen i perioden 1989-2016. Boringerne er opdelt i de oprindelige GRUMO-boringer (beliggende i de gamle grundvandsovervågningsområder), boringer i de seks oprindelige landovervågningsområder (LOOP områder) og boringer i det distribuerede stationsnet, der etableres for at styrke datagrundlaget for vurderinger m.v. efter vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet.

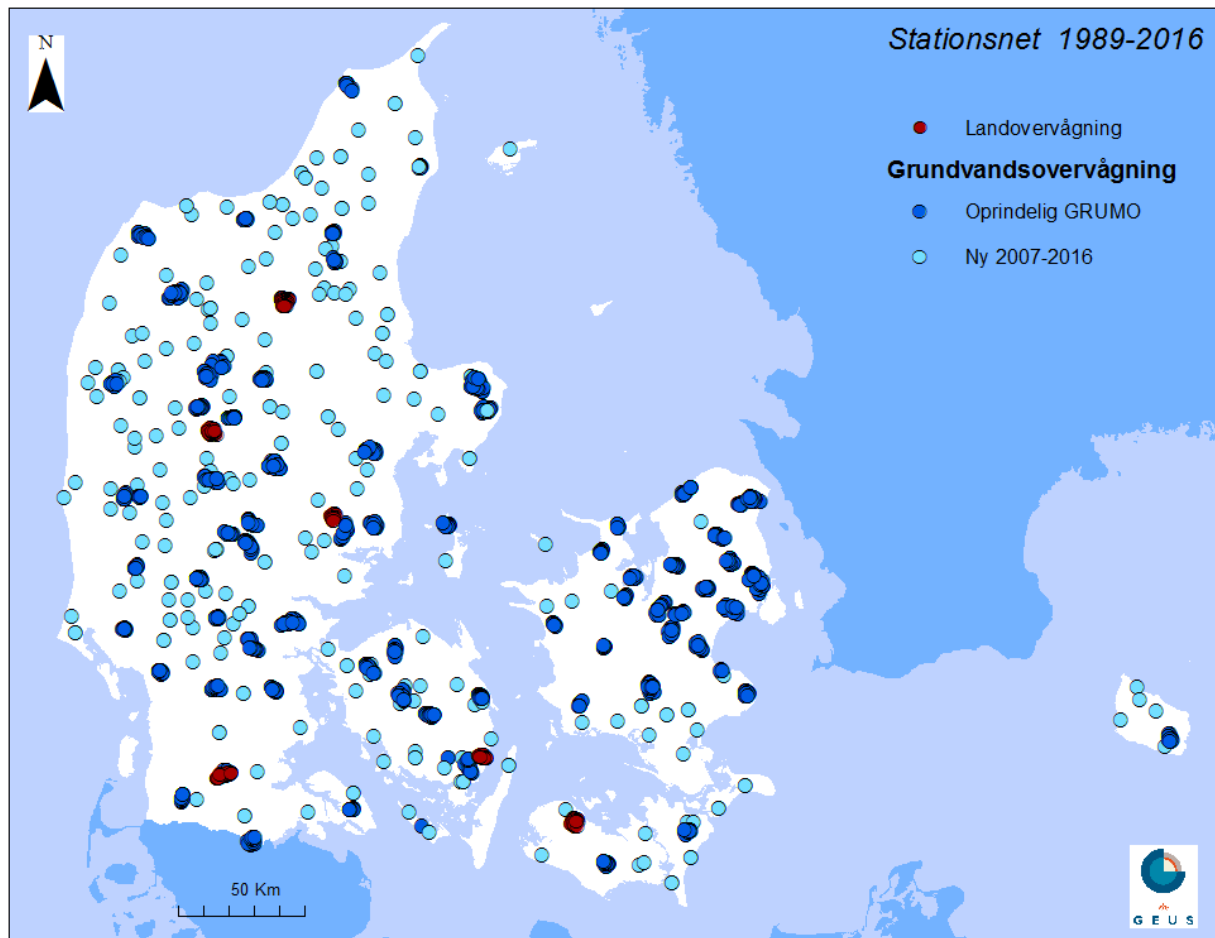
Det distribuerede stationsnet består af overvågningsboringer, der er etableret eller inddraget siden 2007. Samlet set har næsten 2.500 indtag været anvendt til overvågning af grundvandets kvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2016, se Tabel 18.

Stationsnettet for grundvandsovervågningen, GRUMO, blev i løbet af overvågningsens første år udbygget i 73 grundvandsovervågningsområder, der i perioden frem til 2007 kom til at omfatte ca. 1400 indtag. Overvågningen omfatter ydermere 112 meget korte (5 cm) indtag i multifilterboringer i Rabis bæk området. Boringerne blev etableret i forbindelse med et NPo-forskningsprojekt (Postma mfl. 1991) og anvendes i dag til at overvåge grundvandets hovedbestanddele. Endelig blev der i slutningen af 1990'erne etableret fem multifilterboringer, de såkaldte "redoxboringerne" med 15-23 korte (10 cm) indtag.

Indtag og overvågningsområder, som undervejs har vist sig uegnede til fortsat overvågning, er løbende blevet lukket. Dette kan fx være begrundet i tekniske forhold, der har gjort det vanskeligt eller umuligt at udtage vandprøver efter de standarder, der er beskrevet i de tekniske anvisninger. De GRUMO-indtag, der er udgået før 1989 eller som kun har indgået i et enkelt år, og derefter er udgået igen er ikke medtaget i Figur 56.

Periode	Etablerede i perioden	Fortsat Aktive	Lukkede i perioden	Bemærkning
	Antal indtag	Antal indtag	Antal indtag	
Før 1988	192	121	16	NPo forskningsprogrammet og Amternes egen overvågning
1988-1992	1101	445	166	Etablering af GRUMO områder
1993-1997	148	61	128	Teknisk kvalitetssikring og forbedringer af indtag
1998-2003	221	155	142	Inkl. 5 redoxboringer
2004-2009	440	300	509	380 terrænnære boringer. Fra 2007 også det distribuerede stationsnet
2010	1	0	37	Det distribuerede stationsnet
2011-2015	248	185	86	
2016	25	23	2	
I alt	2376	1290	1086	

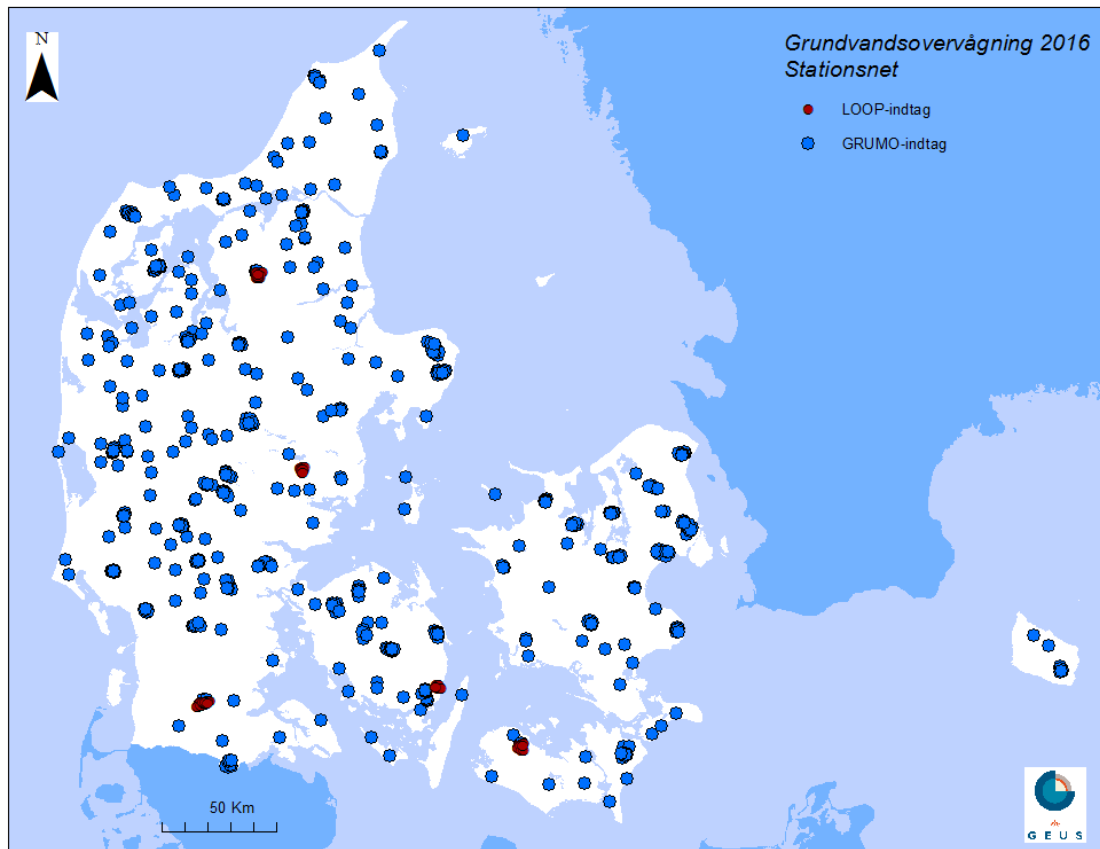
Tabel 18. Udviklingen i grundvandsovervågningsens stationsnet (GRUMO-indtagene) frem til 2016. Tabellen viser antallet af indtag, der er etableret og hvor mange indtag fra hver programperiode, der stadig er aktive. Desuden ses antallet af indtag, der blev lukket i løbet af de forskellige programperioder. I perioden frem til 2003 var det primært tekniske forhold, der resulterede i lukning af indtag. Bemærk, at der i en given programperiode lukkes både ældre og nye indtag, der efter etableringen har vist sig uegnede til overvågningsformål, se Kapitel 2.



Figur 56. Det samlede stationsnet for grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1989-2016. Kortet viser indtag i de oprindelige 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO-områder) og seks landovervågningsoplande (LOOP), hvoraf det ene i Midtjylland ved Herning er lukket. Ligeledes ses overvågningsboringerne i det distribuerede stationsnet, som er etableret uden for de oprindelige GRUMO-områder i perioden 2007-2016. Indtag, som kun har indgået i et år og derefter er udgået igen, er ikke vist.

Figur 57 viser det stationsnet, der i 2016 er anvendt i overvågningen af grundvandets kvalitet. Der blev i 2016 udtaget vandprøver fra i alt 773 GRUMO-indtag og 93 LOOP-indtag placeret i fem LOOP-områder.

Figur 57 viser de fem aktive landovervågningsoplande (LOOP-områder), der siden overvågningens start i slutningen af 1980'erne har indgået med ca. 100 indtag. I denne rapport medtages kun resultater fra LOOP-overvågningen af den mættede zone, dvs. af grundvand, mens rapporteringen af de øvrige aktiviteter i LOOP-områderne - herunder overvågning af udvaskning til den umættede zone - rapporteres af DCE, Århus Universitet, senest i Blicher-Mathiesen mfl. (2017).



Figur 57. Stationsnettet anvendt til grundvandsovervågning i 2016 opdelt på grundvandsovervågning (773 GRUMO-indtag) og landovervågning (93 LOOP-indtag)

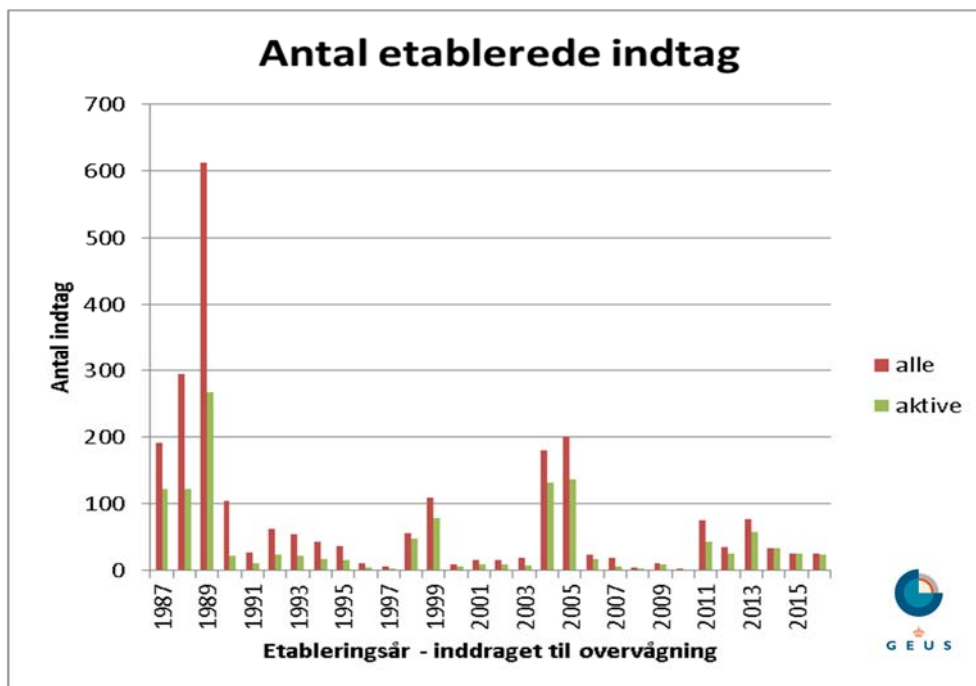
Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2016

Som led i en løbende og fortsat tilpasning af grundvandsovervågningen til at understøtte forpligtelserne til overvågning og tilstandsvurdering i vandrammedirektivet er stationsnettet udbygget i perioden 2011-2016 og vil fortsat blive udbygget og/eller tilpasset fremover. Udbygningen sker ved inddragelse af eksisterende borer eller etablering af borer med indtag placeret i grundvandsforekomster eller grupper heraf, hvor der hidtil ikke er overvåget, eller overvågningen har været begrænset. Disse nye indtag er i programbeskrivelsen betegnet som "det distribuerede stationsnet" (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011, og Naturstyrelsen og DCE, 2016).

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.

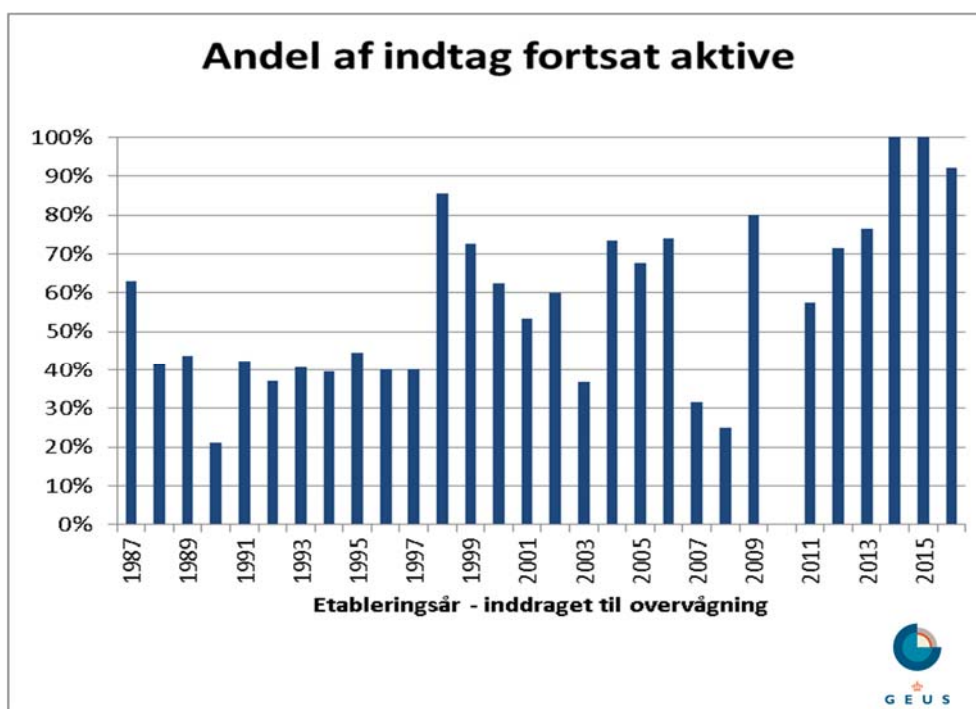
Figur 58 viser hvor mange indtag, der er etableret pr. år for perioden 1987-2016. Et meget stort antal særlige overvågningsboringer blev udført i perioden 1987-1989, hvor de oprindelige GRUMO-områder blev etableret. Større borekampagner optrådte også i perioderne 1998-1999, 2004-2005 og 2011-2013.

Figur 58 viser også hvor mange indtag fra de enkelte år, der stadig var aktive i 2016.



Figur 58. Antal af etablerede GRUMO-indtag som funktion af etableringsåret for perioden 1987-2016. "Alle" angiver antallet af GRUMO-indtag etableret det pågældende år, mens "aktive" angiver antallet af stadig aktive indtag i 2016.

I Figur 59 illustrerer hvor stor en andel af indtag, der stadig er fortsat er aktive, som funktion af etableringsåret. Omkring 40 % for de indtag, der blev etableret i perioden 1988-1997 er stadig aktive. For 2003, 2007 og 2008 er andelen af stadig aktive indtag blot 25-35 %, men disse år blev der kun etableret ganske få indtag. Andelen af stadig aktive indtag for de for perioden 1999-2016 varierer mellem 50 og 100 %.



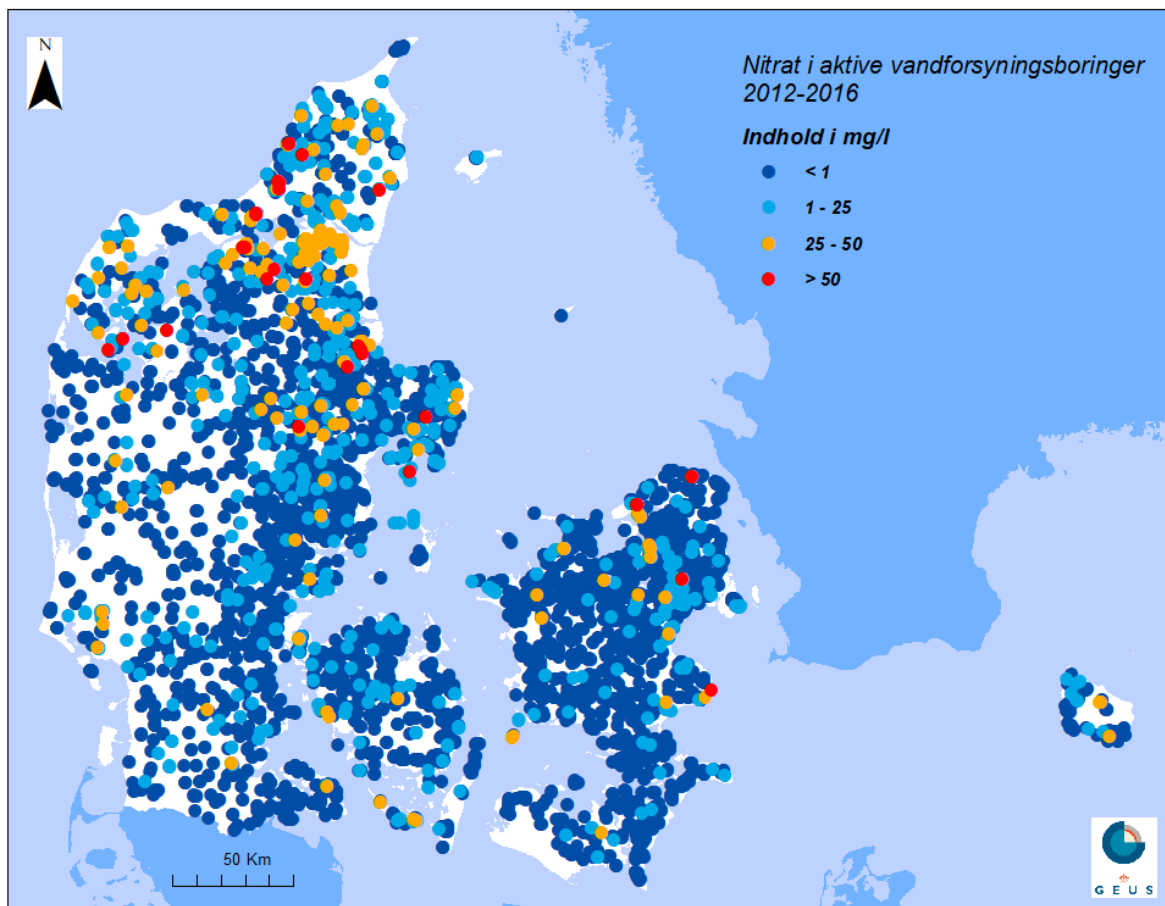
Figur 59. Andelen af GRUMO-indtag, der fortsat er aktive i 2016, som funktion etableringsåret.

Appendiks 2.3 Vandværksboringer

I bekendtgørelsen om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, den såkaldte Drikkevandsbekendtgørelse (senest Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e), 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 vandværksboringer 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 vandværksboringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager, fx tekniske problemer. Dermed sikres løbende den bedst mulige drikkevandskvalitet for forbrugerne, hvilket ikke nødvendigvis er udtryk for en tilsvarende udvikling i grundvandets kvalitet. Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral vandforsyningsstruktur. I 2012 var der godt 2.600 almene vandværker (Sørensen, 2013). De almene vandværker er defineret ved, at de forsyner mere end 10 husstande. Værkerne indvinder fra ca. 7.800 boringer, men har derudover sammenlagt flere tusind boringer til pejling, monitorering og reserve. Heraf bliver der indberettet data til Jupiter fra ca. 8.000 boringer. De seneste årtier har der været en udvikling mod færre og større vandværker i Danmark.

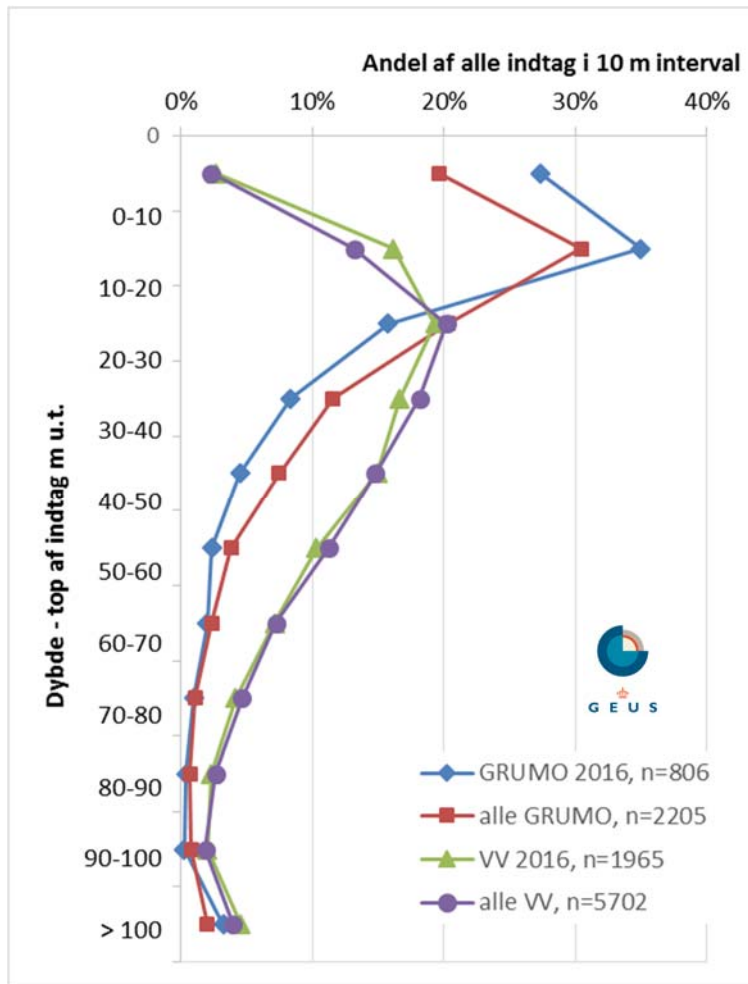
Vandværksboringerne ligger fordelt over hele Danmark således, som det fx fremgår af



Figur 35, der viser nitratindholdet i vandværksboringer prøvetaget i perioden 2011-2016, hvor man kan forvente, at alle aktive vandværksboringer er prøvetaget mindst én gang i perioden. Tætheden af boringerne afspejler især befolkningstætheden.

Figur 60 viser dybdefordelingen til toppen af indtaget for GRUMO boringer og vandværksboringer, hvorfra der er analyseresultater i form af en boringskontrolanalyse. Figur 60 viser dels fordelingen for samtlige

GRUMO-indtag vandværksboringer med en prøve fra hhv. 2016 og perioden 1990-2016. Det ses, at dybdefordelingen af vandværksboringerne er den samme i 2016 som for hele perioden, mens der er flere indtag fra GRUMO i højtliggende grundvand i 2016 end for hele perioden. Samtidig kan det udledes af Figur 60, at kun ca. 30 % af vandværksboringerne har toppen af indtaget beliggende i større dybde end 50 m u.t. Mere end halvdelen af alle vandværksboringer har toppen af indtaget beliggende mellem 20 og 50 m u.t.



Figur 60. Dybdefordeling af overkant af indtag (m u.t.) for aktive vandværksboringer (VV) og GRUMO-indtag, hvorfra der er udtaget prøver for hhv. en boringskontrol og hovedbestanddele i forbindelse med overvågningen, og hvor der er oplysninger om dybden. Fordelingen er vist for perioden (1990-2016) og for 2016.

Referencer: Appendiks 2. Stationsnet

Dansk lovgivning mv.

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

Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e: bekendtgørelse nr. 1147 af 24. oktober 2017 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg (*Drikkevandsbekendtgørelsen*). (Tidligere bekendtgørelse nr. 802 af 1. juni 2016 og bekendtgørelse 1310 af 25. november 2015)

Programbeskrivelser mv.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <http://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2016/maj/novana-det-nationale-program-for-overvaagning-af-vandmiljoe-og-natur-2016-programbeskrivelse/> (08.01.2018)

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/NOVANA_2delrapport.pdf (08.01.2018)

EU direktiver

EU, 2000: Vandrammedirektivet: EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer.

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2015: Landovervågningsoplande 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 150 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 164 <http://dce2.au.dk/pub/SR205.pdf>

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.

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.

Relevante hjemmesider og links

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (08.01.2018)

JUPITER hjemmesiden: www.Geus.dk/jupiter/index-dk.htm (08.01.2018)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur/> (08.01.2018)

Appendiks 3: Grundvandets strømning og opholdstid

Appendiks 3.1 Grundvandets hydrogeologi

Geologiske forudsætninger

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

Figur 61 viser et geologisk kort over den danske undergrund. Kortet er et prækvartærkort dvs. at det viser de lag, der ligger umiddelbart under istidsaflejringerne. Grundvandsmagasiner i Skrivekridt (mørk grøn farve) og Danienkalk (lys gulgrøn farve) findes under istidslagene i den østlige del af Sjælland, på Lolland, Falster, Møn, i den østlige del af Fyn ved Nyborg og på det nordlige Langeland samt i et strøg fra Djursland til Aalborg til Thy. Derudover findes der også grundvandsmagasiner i glacielle sandlag i disse områder.

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

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

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

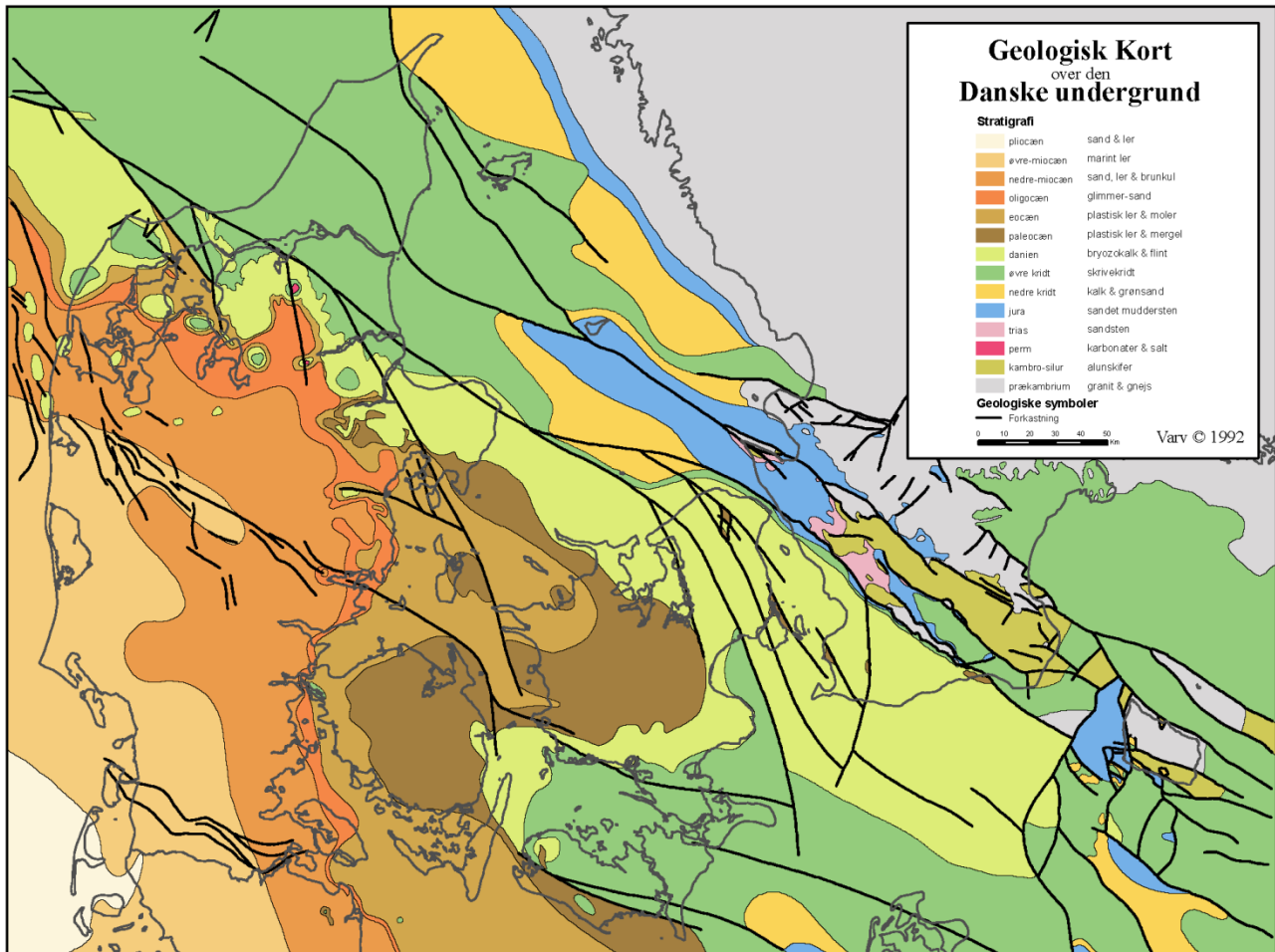
Grundvandsdannelse

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

Grundvandsmagasiner

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

Der foregår også en opmagasinering og transport af grundvand i lag der ikke kan karakteriseres som et grundvandsmagasin. Dette er tit mere lavpermeable geologiske lag, og ofte påvirkes grundvandskvaliteten i betydeligt omfang af disse lag, det være sig fx i form af nitratreduktion eller frigivelse af arsen.



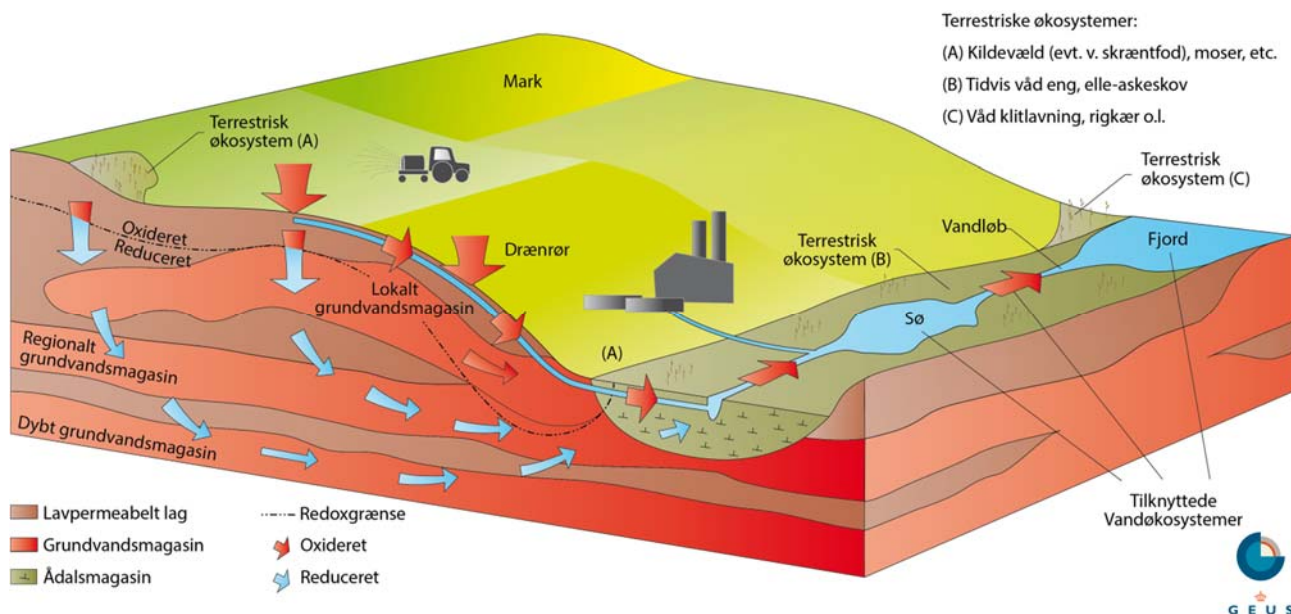
Figur 61. Den prækvartære overflade i Danmark, dvs. udbredelsen af ældre geologiske lag umiddelbart under istidsaflejringerne fra den kvartære periode, der begyndte for ca. 1,6 mio. år siden. (Håkansson & Schack Pedersen, 1992)

Figur 62 viser en principskitse for grundvandsdannelse og -strømning samt magasintyper. Grundvandsmagasiner kan opdeles i frie, spændte eller artesiske.

Frie grundvandsmagasiner er karakteriseret ved, at der over grundvandsspejlet findes en umættet zone, som normalt er i direkte kontakt med atmosfæren via luften i den umættede zone. Frie grundvandsmagasiner findes i sandlag i store dele af Jylland, og i kalkmagasiner eksempelvis ved Aalborg, på Djursland, på Stevns og Møn. Grundvandet i frie grundvandsmagasiner er ofte relativt ungt. Der kan dog forekomme relativt gammelt grundvand i frie magasiner, hvor der er opadrettede hydrauliske gradienter fx tæt på åer. Grundvandet i frie magasiner er ofte relativt sårbart overfor påvirkninger fra terræn, da der ikke er overliggende, beskyttede lerlag, som ved spændte magasiner.

Spændte grundvandsmagasiner er højpermeable vandførende aflejringer, der ligger under lavpermeable geologiske lag, se det regionale grundvandsmagasin på Figur 62. Når grundvandsmagasiner er spændte, vil grundvandsstanden i borer stå over lagets øvre grænse og op i lag, der er mere eller mindre vandstandsende.

Artesiske Grundvandsmagasiner, er betegnelsen for den særlige situation hvor trykniveauet står over terræn. Dette fænomen blev første gang beskrevet i egnen Artois i Frankrig, og har derfor fået betegnelsen artesiske.



Figur 62. Konceptuel figur over grundvandets strømningsmønster. Frie grundvandsmagasiner med dominerende lokal grundvandsstrømning og spændte grundvandsmagasiner med regionale grundvandsstrømninger.

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

Figur 62 viser områder med nedadrettet hydraulisk gradient (grundvandsdannelse) og områder med opadrettet gradient (grundvandsudsivning) mod åen.

Grundvandets strømning

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

Grundvandets strømning i undergrunden er betinget af fordelingen af vandets hydrauliske potentiale, der udtrykker grundvandets energitilstand. Grundvandets energi er givet ved summen af den potentielle energi og vandets tryk. Grundvandet strømmer fra områder med højt hydraulisk potentiale til områder med lavere hydraulisk potentiale.

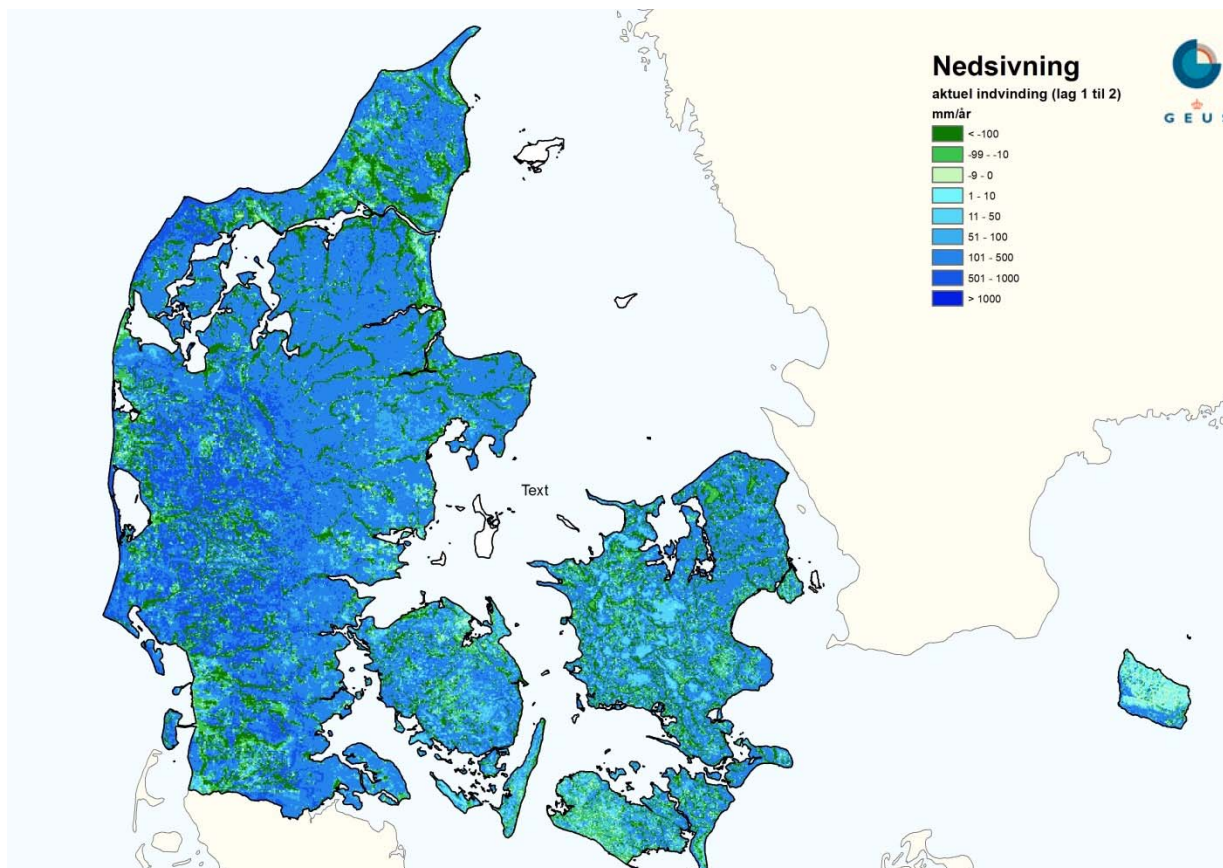
Grundvandets konkrete detaljerede strømningsmønster påvirkes af de geologiske lags rumlige udbredelse. Derfor er det vigtigt at kende grundvandsmagasinerne geologiske opbygning, hvis man skal kunne forudsige grundvandets strømningsmønster.

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



Figur 63. Grundvandsdannelsen i Danmark udtrykt ved den gennemsnitlige beregnede nedsvivning (blå)/opsivning (grøn) mellem beregningslag 1 og 2 i DK modellen i perioden fra 2005 til 2010 i mm/år (Henriksen mfl., 2014). Terrænnære lag findes i beregningslag 1 i DK modellen, og den vertikale strømning heri har betydning for grundvandsdannelsen til de lag, der er relevante for vandforsyningen og for størrelsen af en hurtig afstrømning til overfladevand.

Grundvandets kvalitet

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

Ud over grundvandets pH forhold er redoxprocesser i grundvandszonen af stor betydning for grundvandets kemiske sammensætning, ikke mindst i forhold til forekomst af nitrat og fosfor. Undergrundens reducerede sedimenter reagerer med oxiderede stoffer i grundvandet, så det strømmende grundvand bevæger sig ind i stadigt mere reducerede miljøer, hvor reaktioner med grundvandets opløste mere iltede

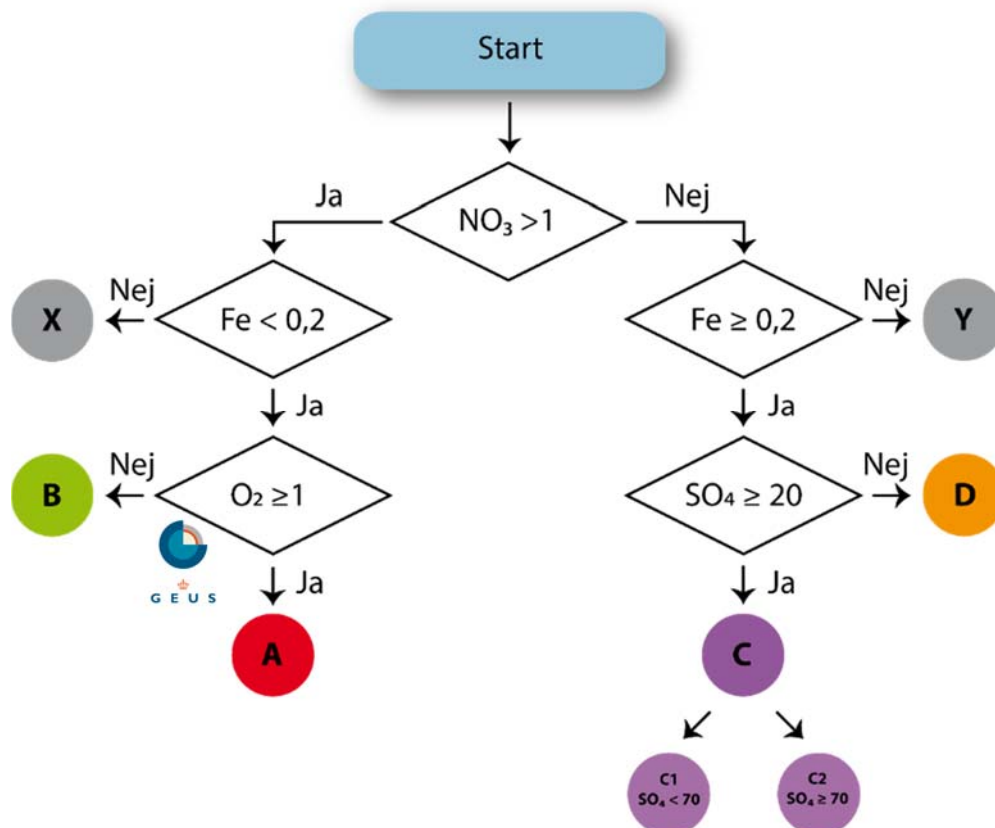
bestanddele resulterer i en ændret kemiske sammensætning- grundvandet bliver mere reduceret. Samtidig udvikles en stadig mere iltet tilstand i sedimentet.

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

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

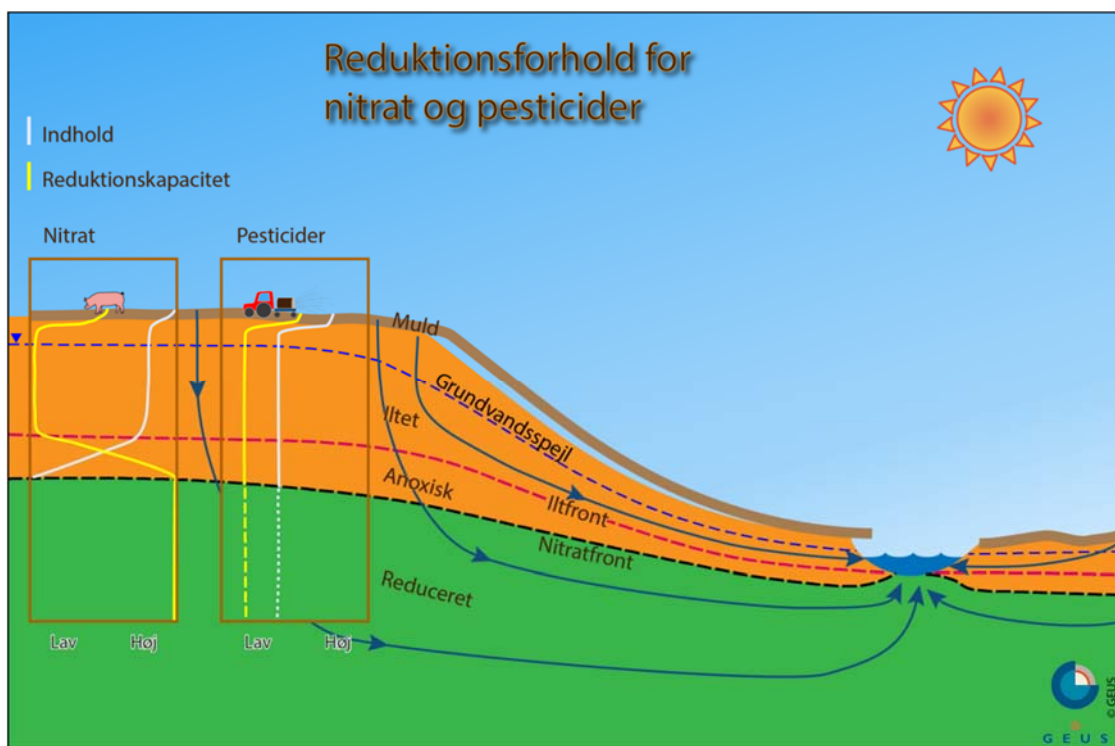
I de tilfælde, hvor der er kemiske ligevægt, vil nitratfronten og redoxfronten være sammenfaldende. Kemisk uligevægt kan dog forekomme, og her vil nitratfronten og redoxfronten ikke være sammenfaldende. Denne situation kan forekomme når grundvandets strømningshastighed er større end reaktionshastigheden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

Figur 64 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 (Hansen og Thorling, 2018). I kapitel 4 er denne algoritme anvendt til generelt fastlæggelse af grundvandets redoxforhold. Andre algoritmer anvendes, hvis der fx er prøvetagningstekniske problemer (ilt i LOOP boringer) eller færre tilgængelige parametre.



Figur 64. Algoritme til fastlæggelse af vandtyperne A, B, C og D, ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt og sulfat. X og Y angiver, at algoritmen ikke giver noget entydigt svar, og der fx er behov for flere støt-teparametre eller, at der er tale om en prøve med blandingsvand (Hansen og Thorling, 2018).

Figur 65 viser en principskitse over nitratfrontens beliggenhed i forhold til et vandløb. I de to bokse i figuren vises med hvid signatur en konceptuel model for, hvorledes nitrat og pesticidkoncentrationen kan forventes at ændre sig ned gennem lagene. Nitratreduktionen i grundvandet finder sted mellem iltfronten og nitratfronten. Fordelingen af reduktionskapaciteten (gul signatur) for nitrat er omvendt af nitratkoncentrationen dvs. der er lille kapacitet i det iltede miljø og stor kapacitet i det reducerede miljø.



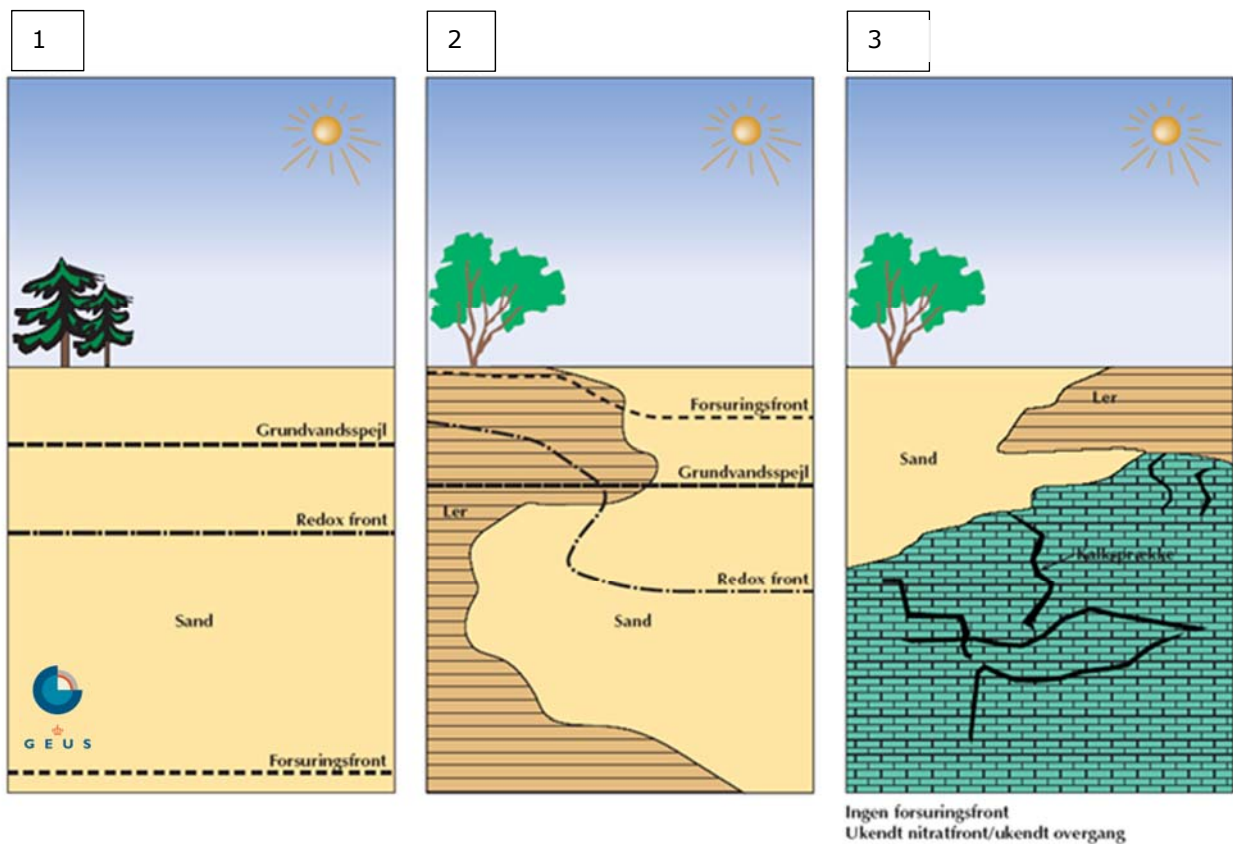
Figur 65. Principskitse over nitratfrontens beliggenhed i forhold til et vandløb, og udbredelse og reduktionsforhold af nitrat og pesticider i undergrunden. De hvide grafer i boksene viser koncentrationer af nitrat og pesticider, mens gule grafer viser potentialet for reduktion af stofferne. Forløbet af pesticidkurven skal illustrere, at i grundvandet nedbrydes nogle pesticider bedst i et reduceret miljø, mens andre nedbrydes bedst i et iltet miljø.

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

Typiske konceptuelle modeller for geologi og geokemi

Figur 66 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 strømningsmønstret vil redoxfronten kunne ligge mange meter 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 strømningsmønster i både sprækker og matrix, et såkaldt dobbeltporøst medie (Nielsen og Jørgensen, 2008).



Figur 66. Principskitse over beliggenheden af forsuringfronten 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 61, hvor sprækkedannelser gør fastlæggelse af nitratfronten i selve kalklagene svær at forudsige. Bemærk, at forsuringfronten kan ligge både over og under redoxfronten.

Appendiks 3.2 Grundvandets Opholdstid

Relevans af datering

Tolkning af årsager til ændringer i grundvandets kvalitet kræver kendskab til grundvandets opholdstid (alder) i de enkelte indtag. Opholdstiden er her defineret som det antal år, vandet har strømmet i undergrunden inden det når frem til indtaget, hvorfra vandprøverne er udtaget. Det vil sige, at hvis datering af en vandprøve udtaget i år 2007 viser, at dannelsesetidspunktet 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 overvågningsboringer indtag er bl.a. en forudsætning for at kunne dokumentere en effekt på grundvandets nitratindhold af ændret landbrugspraksis og nitratudvaskning. Samtidig kan datering af grundvandet bruges til at demonstrere, hvordan udbygningen af stationsnettet i overvågningen med nye boringer og flere indtag påvirker aldersfordelingen af det overvågede vand. Det samme gælder for effektmålinger på pesticidreguleringen, hvilket dog er en vanskeligere opgave, idet

pesticiderne i højere grad vekselvirker med sedimenterne, gennem nedbrydning og sorption i et langt mere komplekst mønster end nitrat.

Datagrundlag

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

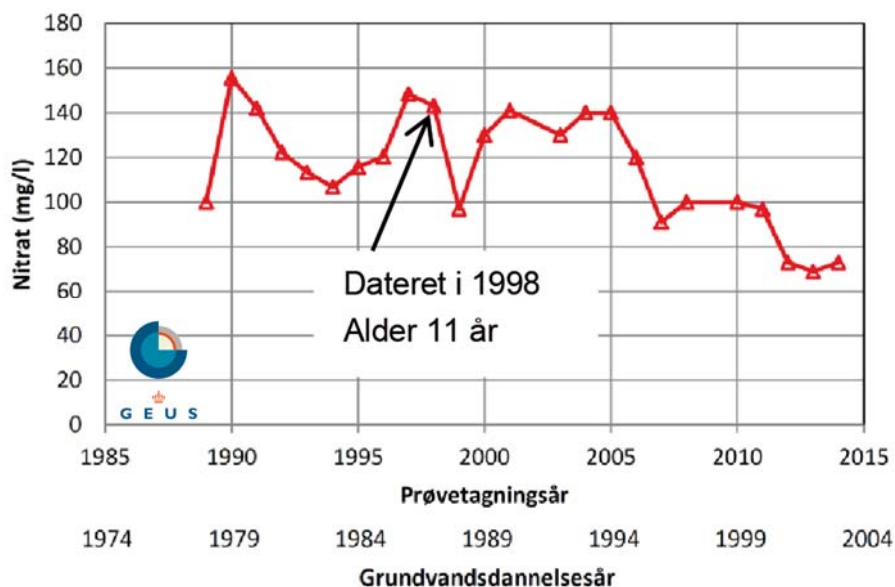
Opholdstiden for det overvågede grundvand.

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 analyseusikkerhed på få år (Laiet & Thorling, 2005, Thorling m.fl., 2015a). Dette siger dog ikke noget om, hvor præcist denne bestemmelse er, da der kan være en systematisk fejl i fortolkningen af data, som for hvert enkelt indtag hænger sammen med aldersfordelingen af vandet i det enkelte indtag, hvor vandet i de langt de fleste indtag vil være en blanding af vand fra en periode på mere end et år.

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

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

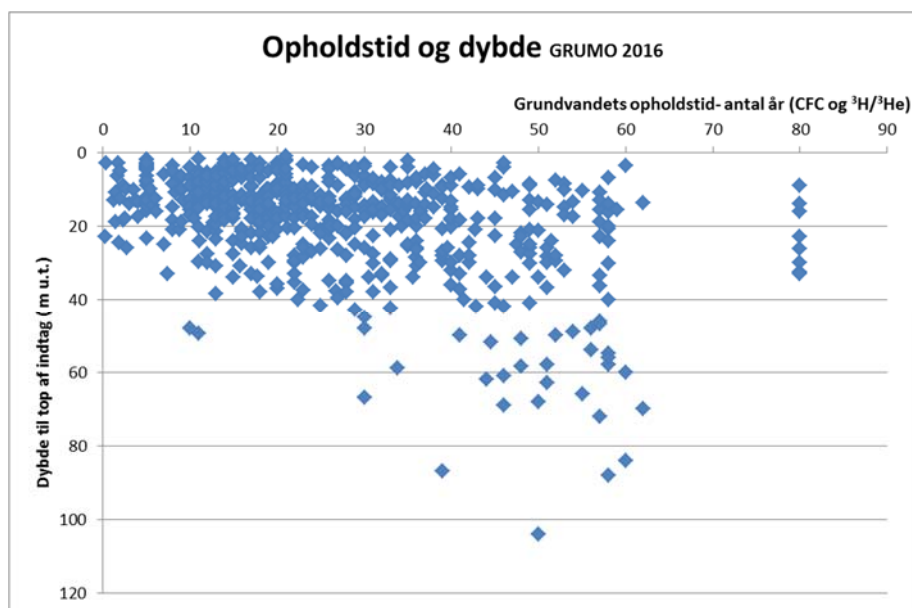
Figur 67 viser et eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag placeret i iltholdigt grundvand. Denne metode er anvendt i kapitel 4.



Figur 67. Eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag (DGU nr. 131.1052) placeret i iltholdigt grundvand.

Figur 68 viser grundvandets opholdstid som funktion af dybden for de 581 daterede aktive indtag i 2016 (ca. 75 % af de prøvetagne indtag i 2016). Det fremgår af figuren, at der i de øverste 40 m optræder grundvand med meget forskelligt dannelsesår og dermed opholdstid, og at der i de øverste 20 m ikke er nogen simpel sammenhæng mellem dybde og alder. Det skal dog bemærkes, at gennemsnitsalderen stiger med stigende dybde, da andelen af ungt vand falder med dybden. Årsagen til det billede, man

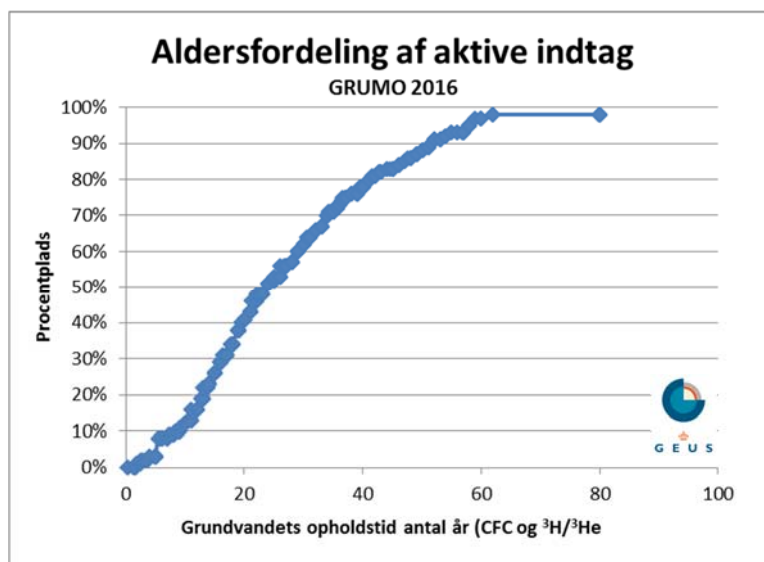
ser på Figur 68, er forskelle i grundvandsdannelse, hydrauliske barrierer og andre variationer i de hydrogeologiske strømningsforhold. I udstrømningsområder med opadrettet gradient, kan der træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terræn, se Figur 65.



Figur 68. Dybdefordeling af opholdstiden for 581 daterede overvågningsindtag ud af de 773 aktive indtag i GRUMO boringer i 2016.



Figur 69 viser aldersfordelingen for de 581 daterede ud af 773 aktive indtag i 2016. I hovedparten (ca. 90 %) af disse indtag har grundvandet en opholdstid under 50 år. Dateringen af grundvandet giver en vigtig parameter i analyse af udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold. I kapitel 4 indgår 340 daterede indtag med iltet grundvand, som har en alder under 50 år, til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på udviklingen i grundvandets indhold af nitrat.



Figur 69. Fordelingen af opholdstiden (alderen dateret ved $^3\text{H}/^3\text{He}$ eller CFC) for grundvandet i de 581 daterede overvågningsindtag ud af de 773 indtag, der var aktive i 2016,

Referencer: Grundvandets strømning og alder

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

Hansen, B., og Thorling L., 2018: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 6, version 3, 2018. GEUS, Særdugivelse

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> (4-1-2018)

Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvarter 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

Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivekridtet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008.

<http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (4-1-2018)

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 (4-1-2018)

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 (4-1-2018)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: www.vandmodel.dk (4-1-2018)

Grundvandskortlægningens hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (4-1-2018)

GEUS, 1998: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (4-1-2018)