

GRUNDVANDSOVERVÅGNING

1989-2017



Grundvandsovervågning

Status og udvikling 1989 – 2017

GEUS 2019

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling
Christian Nyrop Albers
Claus Ditlefsen
Vibeke Ernstsén
Birgitte Hansen
Anders R. Johnsen
Lars Trolldborg

Dato 19. februar 2019

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets status og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989-2017 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 er baseret på oplysninger fra indvindere af grundvand og overfladevand, dvs. vandværker, industrier, markvandere mv. For at sikre rapportens aktualitet er der for pesticider inddraget data fra 2018 for udvalgte nye stoffer.

Denne rapport er en national, årlig rapportering. Rapporten har et landsdækkende fokus og indeholder ikke vurderinger af grundvandsforekomsternes tilstand efter lovgivningen om vandplanlægning, og dækker på ingen måde tilstandsvurderingerne af grundvandsforekomsterne i relation til vandrammedirektivet, der gennemfører væsentlige dele af EUROPA-PARLAMENTETS og RÅDETS Direktiv 2000/60/EØF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer (vandrammedirektivet).

De indsamlede data er præsenteret i en række figurer og tabeller, der indgår hvert år. Med udgangspunkt heri præsenteres supplerende resultater og konklusioner. Derudover kan der være en uddybende data-præsentation i varierende omfang, typisk i form af et tema. Ikke alle emner rapporteres hvert år. I dette års rapport indgår der ikke overvågningsresultater for fosfor eller redoxboringerne.

Målgrupperne for denne rapportering er Folketing og Regering, myndigheder 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.

Rapportens faglige kapitler er udarbejdet af medarbejdere ved GEUS, der har de pågældende fagdiscipliner som deres arbejdsområde:

Vandindvinding	Lars Troldborg
Det Nationale Pejleprogram	Claus Ditlefsen
Nitrat	Birgitte Hansen
Pesticider	Anders R. Johnsen
Uorganiske sporstoffer	Vibeke Ernstsén
Organiske mikroforureninger	Christian N. Albers
Appendiks 1: Datagrundlag og metoder	Lærke Thorling
Appendiks 2: Stationsnet	Vibeke Ernstsén
Appendiks 3: Faglig baggrundsviden om grundvand	Lærke Thorling

© 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., Albers, C.N., Ditlefsen, C., Ernstsén, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., & Troldborg, L., 2019: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2017. Teknisk rapport, GEUS 2019.

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning.....	4
1.1 Grundvandsressourcen og dens udnyttelse	4
1.2 Nitrat.....	6
1.3 Pesticider	10
1.4 Uorganiske Sporstoffer	16
1.5 Organiske mikroforureninger.....	19
2 Formål	21
2.1 Retligt grundlag for overvågningen.....	22
2.2 Rapportering af data fra grundvandsovervågningen	23
3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram	26
3.1 Vandindvinding	26
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 Sammenligning af hyppigt fundne stoffer i grundvandsovervågningen og boringskontrollen.	72
6 Uorganiske sporstoffer	79
6.1 Grundvandsovervågningen.....	80
Arsen, nikkel, kobber og zink.....	83
6.2 Vandværksboringer.....	87
7 Organiske mikroforureninger	91
Indledning	91
7.1 Organiske mikroforureninger, Grundvandsovervågning	93
7.2 Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer.....	98
8 Referencer.....	104
Appendiks 1: Datagrundlag og metoder	109
Appendiks 1.1: Analyseindsats og dataindsamling.....	109
Appendiks 1.2: Metoder til databehandling	112
Appendiks 1.3: Repræsentativitet og bias	115
Appendiks 2: Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen	119
Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram.....	119
Appendiks 2.1: Grundvandsovervågning - vandkvalitet.....	120
Appendiks 2.3 Vandværksboringer.....	125
Appendiks 3: Faglig baggrundsviden om grundvand	129
Appendiks 3.1 Grundvandets hydrogeologi	129
Appendiks 3.2 Grundvandets opholdstid	137

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 1991-2015 steget 4,4 % i forhold til den forudgående klimaperiode 1961-1990. 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 drænvandsafstrømningen til vådområder. GEUS har tidligere vurderet, at overordnet set er grundvandsstanden efter år 2000 steget med op til 1-2 m primært som følge af øget nedbør, (se Thorling mfl. 2016), hvilket pejledataene frem til 2017 generelt underbygger.

Drikkevandsforsyningen i Danmark er baseret på oppumpning af grundvand med Christiansø som den eneste undtagelse, hvor der også benyttes afsaltet havvand som drikkevand. Omkring 2.600 almene vandværker står for hovedparten af grundvandsindvindingen til drikkevand. Derudover indvindes 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. I tørre år benyttes samlet set omkring 1/3 del af alt oppumpet grundvand i Danmark til markvanding, men med meget store regionale forskelle.

Miljømål og formål med overvågningen af ressourcen

Grundvandsressourcen overvåges med henblik på en løbende vurdering af den generelle vandbalance, med henblik på en bæredygtig udnyttelse af den tilgængelige vandressource.

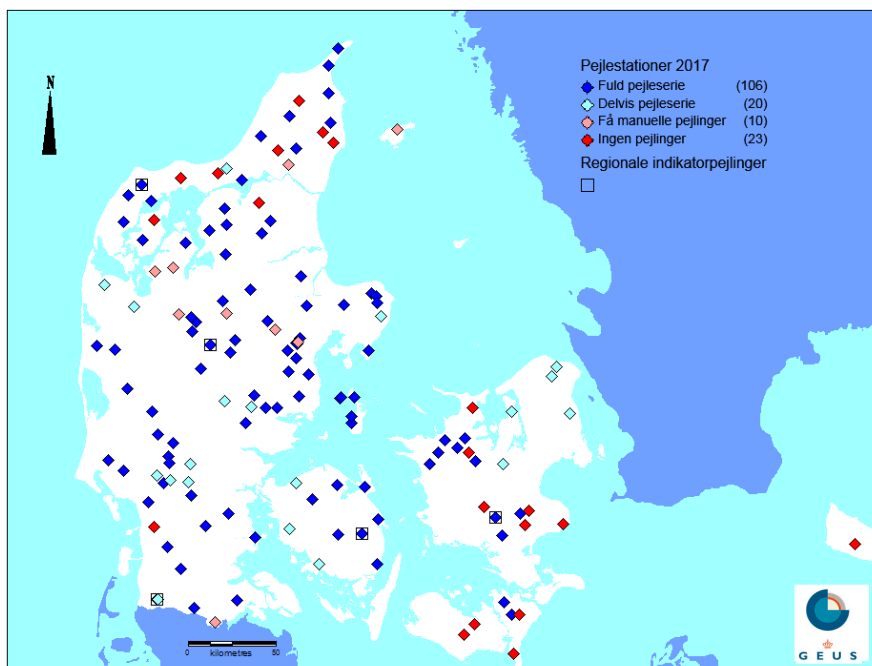
Datagrundlaget

Grundvandsstanden registreres i Det Nationale Pejleprogram med automatisk dataopsamling i ca. 160 pejlestationer, se Figur 1. Opgørelsen over indvinding af grund- og overfladevand er baseret på et udtræk fra Jupiter databasen pr. 7. juni 2018. Udtrækket dækker perioden 1989-2017.

Status og udvikling

Grundvandsstandens status og udvikling er vurderet ud fra lange pejleserier inden for fem geografiske områder. For samtlige de udvalgte serier ses en tydelig reduktion i den karakteristiske 'vintertop' i sen vinter 2017 i forhold til begyndelsen af de fire forudgående år, hvilket formodentlig skyldes en mindre grundvandsdannelse i den forholdsvis tørre periode fra september 2016 til og med februar 2017. Der er en væsentlig geografisk variation i dette mønster, idet der er en overordnet tendens til, at boringer med lavere vandstand primo 2017 træffes i det vestlige Jylland, mens boringer uden tydelig reduktion i vandstanden primo 2017 findes rundt om Kattegat: i Østjylland, Samsø og Nordfyn, samt på det sydlige Sjælland og Falster.

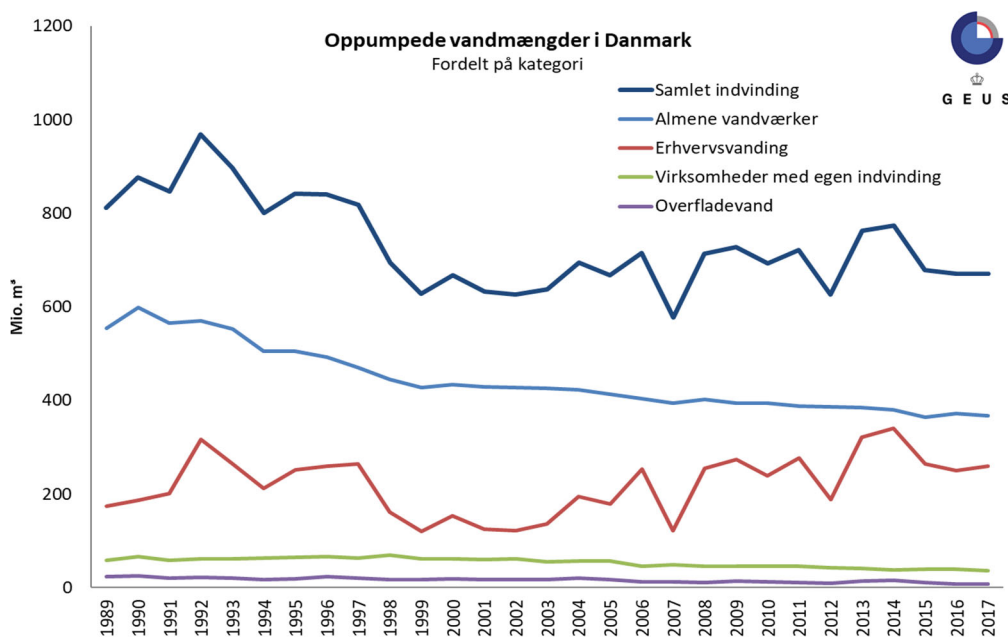
Figur 2 viser indvinding af grundvand opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Med en fed, mørk blå linje er den samlede indberettede indvinding vist. Den samlede årlige indvinding (uden markvanding) var omkring 1990 på 700 mio. m³/år. Den faldt frem til 1999 til omkring 530 mio. m³/år, og har en svagt faldende tendens i perioden 1999-2017 fra omkring 530 mio. m³/år til ca. 475 mio. m³/år, og lå i 2017 på 473 mio. m³/år. Oppumpning til markvanding har de seneste 25 år varieret mellem ca. 100 og 300 mio. m³/år med store udsving fra år til år afhængigt af nedbørsmængden.



Figur 1. Geografisk fordeling af de 159 stationer der indgik i Det nationale Pejlenet 2017, herunder 5 regionale indikator pejlestationer med lange tidsserier. En detaljeret præsentation af resultaterne for de 5 regionale indikator-pejlestationer kan findes i bilag 1.

For de almene vandværker faldt indvindingen gennem perioden 1989-2000 fra omkring 600 mio. m³ til 400 mio. m³/år. Derefter faldt forbruget langsommere, og lå i 2017 på ca. 370 mio. m³/år. Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien 'Erhvervsvanding') var i 2017 omkring 259 mio. m³, hvilket er over medianen (210 mio. m³/år) for hele perioden (1989-2017).

Indvindingen af overfladevand i Danmark er meget begrænset og halveret i perioden 1989-2016 og ligger nu på omkring 8 mio. m³/år. Overfladevand indgår ikke i drikkevandsforsyningen.



Figur 2. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2017 opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Med en fed, mørk blå linje er den samlede indberettede indvinding vist. Bemærk, hvorledes den varierer med erhvervsvandingen, hvoraf markvanding udgør hovedparten.

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 drikkevandet kan være sundhedsskadeligt og at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering af vandløb, søer og det marine miljø ved udstrømning til overfladevand. Kravværdien for 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 efter bekendtgørelse om udpegnings af drikkevandsressourcer.

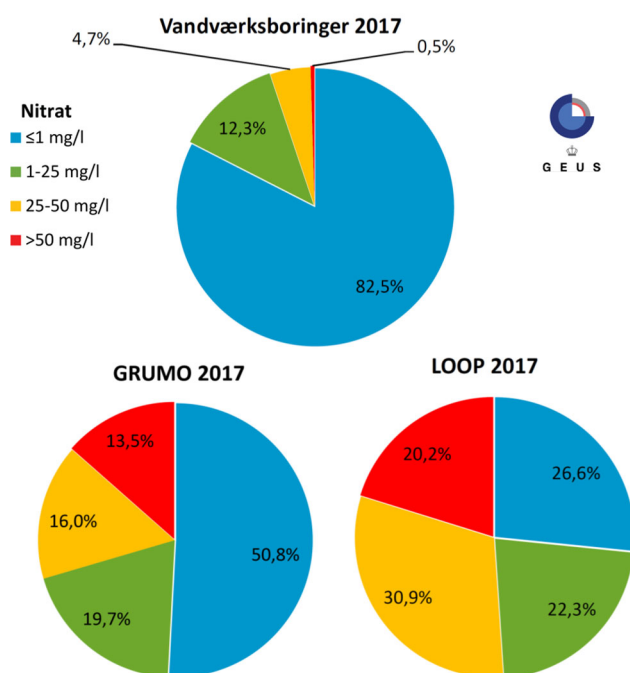
Datagrundlag

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 perioden 2013-2017 er grundvandsprøver fra 1.225 GRUMO-indtag, 98 LOOP-indtag og 5.949 vandværksboringer analyseret for nitrat.

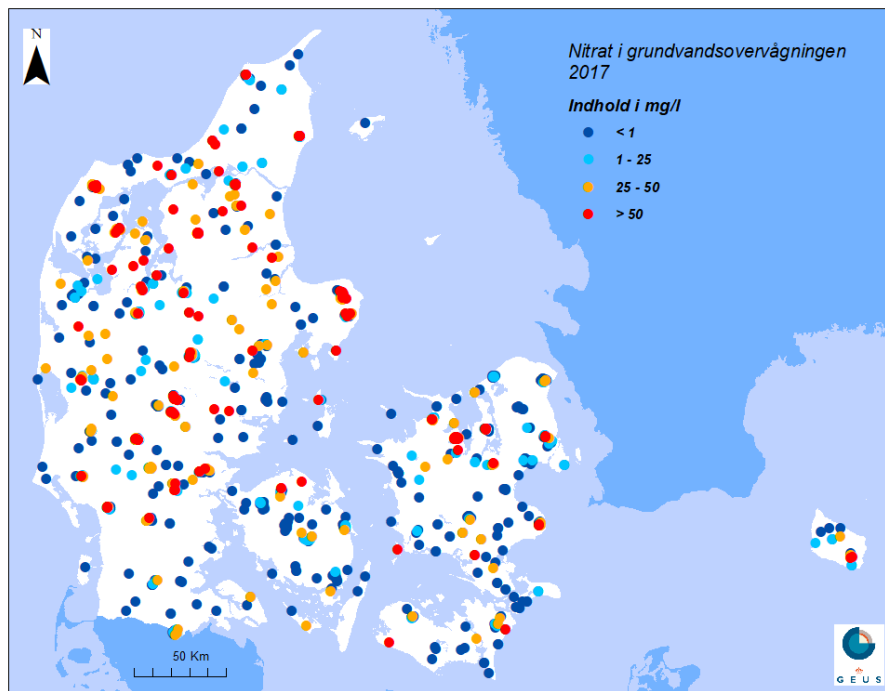
Status og udvikling, grundvandsovervågning

Figur 3 viser indholdet af nitrat i GRUMO- og LOOP-indtag samt aktive vandværksboringer, der er prøvetaget i 2017. Nitrat er beregnet som årligt gennemsnit for de enkelte indtag. I omkring 14 % af GRUMO- og 20 % af LOOP-indtagene lå nitratindholdet over 50 mg/l, mens mindre end 1 % af indtagene i vandværksboringer havde mere end 50 mg/l nitrat. I GRUMO- og LOOP-indtagene er nitratkoncentrationen mellem 25 og 50 mg/l i hhv. ca. 16 og 31 % mod blot 4,7 % i vandværksboringer. Nitratfrit grundvand, (nitratkoncentration ≤ 1 mg/l) optræder i ca. 51 % af GRUMO-, og i ca. 27 % i LOOP-indtagene og i ca. 83 % af vandværksboringerne.

Figur 4 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 2017 i GRUMO-indtag, hvoraf det ses, at nitratindhold over kravværdien på 50 mg/l er fundet fordelt i hele landet.

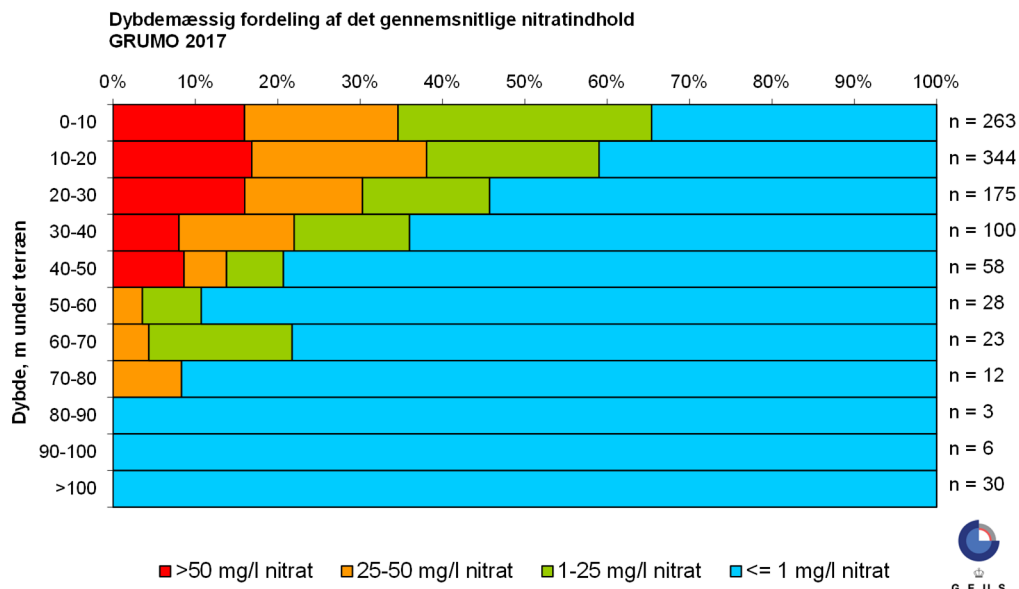


Figur 3. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold 2017 i 1.043 GRUMO-, 94 LOOP-indtag og 1.681 aktive vandværksboringer.



Figur 4. GRUMO. Nitratindholdet i grundvand i 2017 (1.043 GRUMO-indtag). Nitratindholdet er opdelt på fire koncentrationsklasser. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 5 viser dybdefordelingen for nitrat i GRUMO-indtag prøvetaget i 2017. Dybden er opdelt i 10 meters intervaller. Tættest på terræn (0-10 m u.t.) er nitrat tilstede (>1 mg/l) i ca. 65 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 17 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 35 % af indtagene i dybdeintervallet 0-10 m u.t. Overordnet set falder nitratindholdet gradvist med dybden. Fra 50 m u.t. er der ikke påvist et gennemsnitligt nitratindhold over 50 mg/l, og fra omkring 80 m u.t. er nitratkoncentrationen generelt under 1 mg/l.



Figur 5. GRUMO. Dybdemæssig fordeling (til top af indtag i m u.t.) af det gennemsnitlige nitratindhold i 2017 i 1.042 GRUMO-indtag. Rød signatur viser den procentvise andel af indtag med koncentrationer over kravværdien på 50 mg/l. Antal indtag i hvert dybdeinterval er vist til højre for figuren.

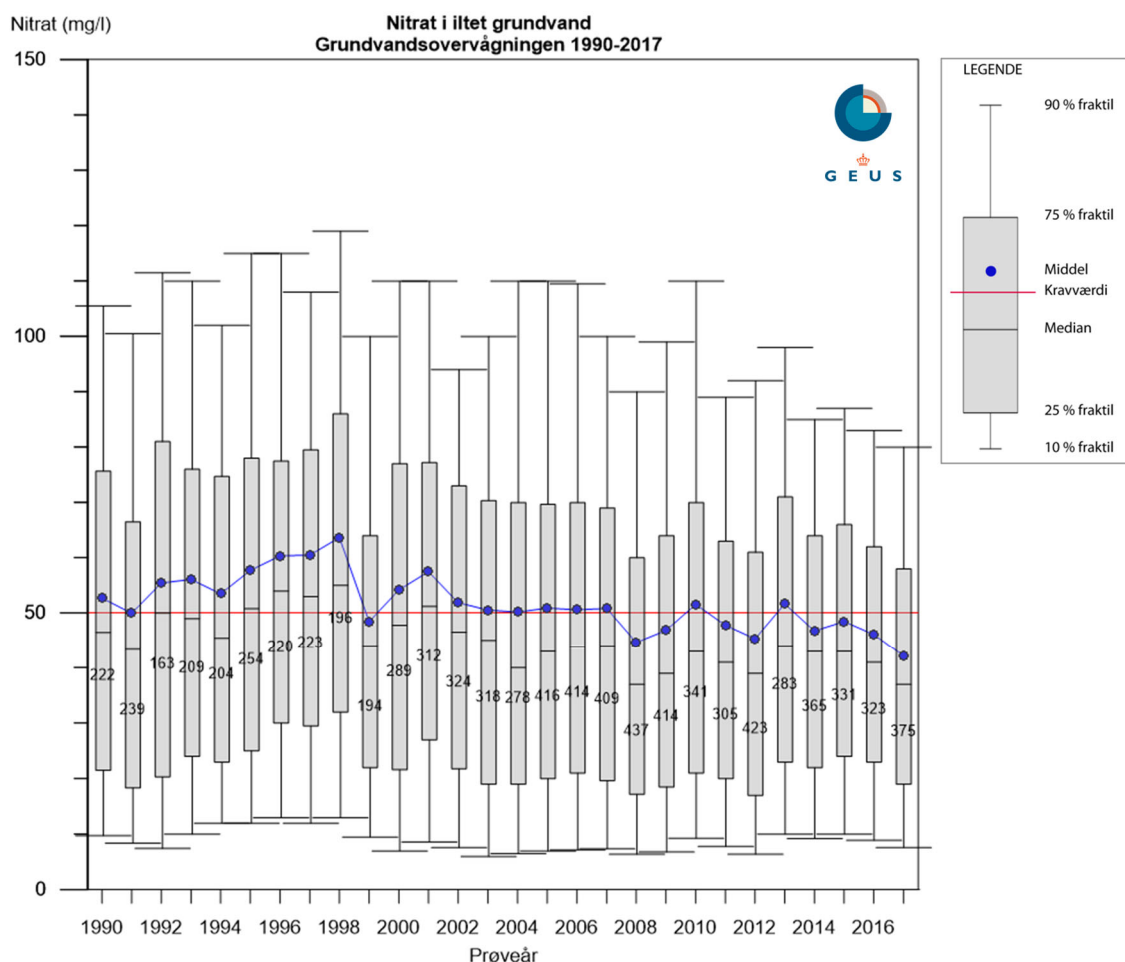
Figur 6 viser det iltholdige grundvands nitratindehold i GRUMO-indtag fra 1990-2017 i forhold til prøvetagningsåret. Figuren er baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag, i de indtag der indgik i overvågningen gennem tiden. Det iltholdige grundvands nitratindehold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår. 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktilerne samt gennemsnitsværdi (middelværdi) og kravværdi er vist.

Figuren viser nitratindeholdet i grundvandet på prøvetagningstidspunktet og afspejler ikke en egentlig tidslig udvikling af påvirkningen fra nitratudvaskningen. Det skyldes, at grundvandet alder varierer fra få år og op til 50 år, således som dateringerne af grundvandet har vist (Hansen mfl., 2017)

Nitratindeholdet i det iltholdige grundvand udviser alle år en stor spredning. Medianværdien ligger igennem hele overvågningsperioden (1990-2017) 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 gennemsnitsværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand i forhold til prøvetagningsåret fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l, dog med flest årlige gennemsnitsværdier under kravværdien og en tendens til, at færre indtag har meget høje koncentrationer (faldende 90 % fraktil).

I 2017 er den målte gennemsnitsværdi i det iltholdige grundvand på 42 mg/l og medianværdien på 37 mg/l nitrat, som er det hidtil laveste niveau i overvågningsperioden.



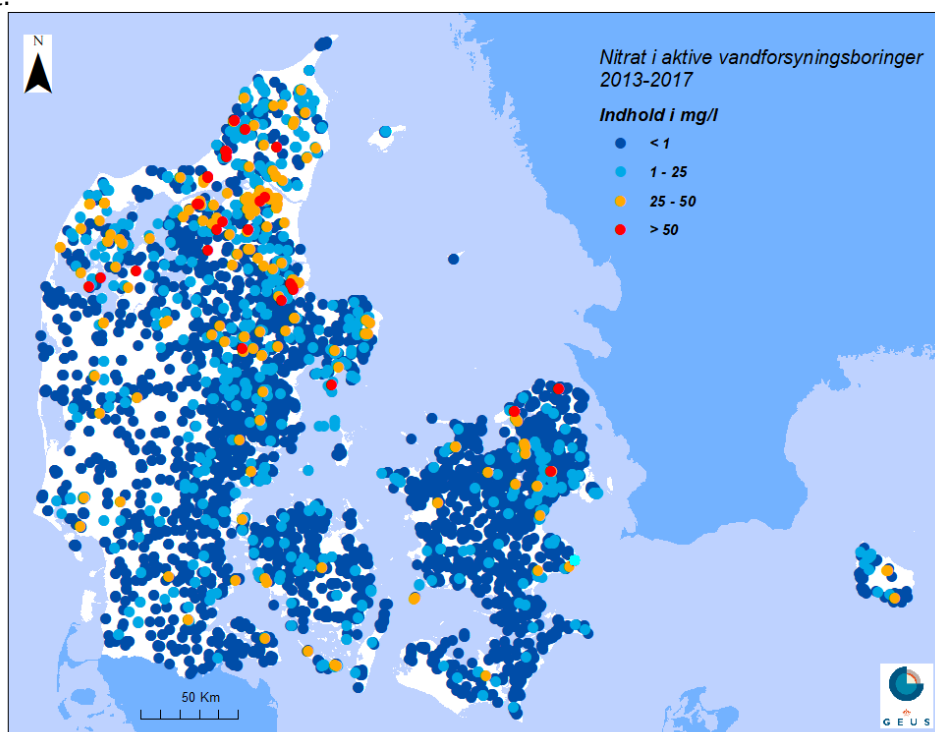
Figur 6. GRUMO. Tidsserie for nitrat i iltholdigt grundvand i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2017. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag pr. år. Antal af indtag er angivet for hvert år.

Vandværksboringer

Figur 7 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer gennem de seneste fem år (2013-2017), beregnet som gennemsnittet i perioden af det årlige gennemsnit for nitrat i de enkelte indtag.

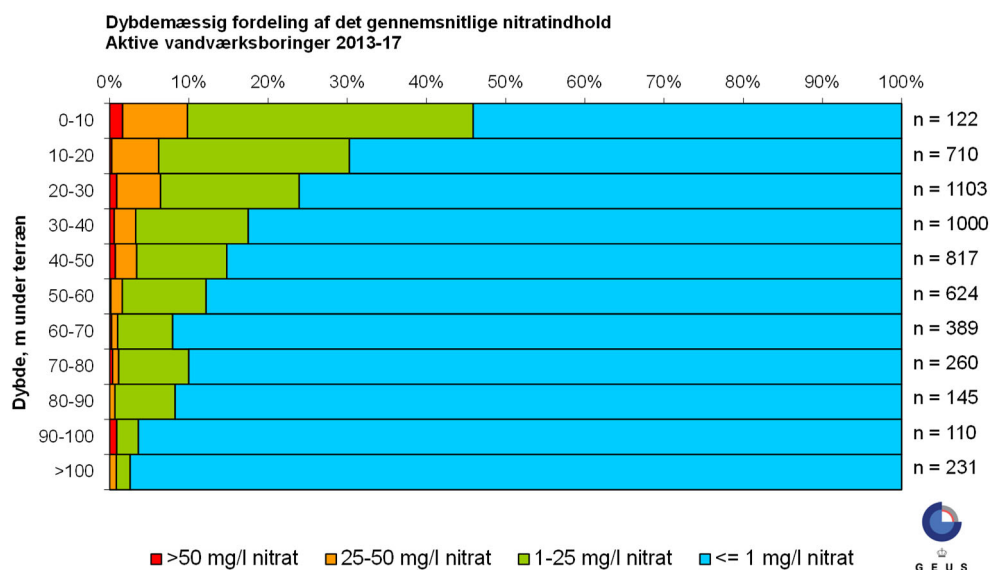
De højeste nitratkoncentrationer i vandværksboringer optræder især i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette skyldes en ringe naturlig beskyttelse af grundvandsmagasinerne i disse områder som følge af fraværet af et beskyttende, leret dæklag og en relativt dybtliggende nitratfront, som er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

Figur 8 viser dybdefordelingen af nitrat i aktive vandværksboringer i perioden 2013-2017. Nitratkoncentrationerne er lavere i vandværksboringerne sammenlignet med nitrat i GRUMO-indtagene (Figur 5). I de aktive vandværksboringer blev der dog i perioden 2013-2017 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 90-100 m u.t. I enkelte boringer. Der er et gradvist fald i nitratindholdet med dybden. Der er også fundet nitratkoncentrationer med op til 50 mg/l i de dybeste vandværksboringer, som er dybere end 100 m u.t.



Figur 7. Boringskontrollen. Nitratindholdet i grundvandet i aktive vandværksboringer (5.949) fordelt på fire koncentrationsklasser. Data viser gennemsnit pr. indtag i perioden 2013-2017. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Udbredelsen af nitrat på større dybder i vandværksboringerne kan forekomme mange steder, hvor nitratholdigt grundvand som følge af pumpning i nogle tilfælde kan trækkes ned til stor dybde i grundvandsmagasinerne. Derudover er der et langt større datagrundlag for den dybde del af grundvandet for vandværksboringerne end for GRUMO-indtagene. Det generelt lavere nitratindhold i aktive vandværksboringer, sammenlignet med nitratindholdet i GRUMO-indtagene, hænger sammen med, 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 2013-2017 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.511 indtag fra aktive vandværksboringer. Rød signatur viser den procentvise andel af indtag over kravværdien på 50 mg/l. 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 erhvervsmæssig eller privat anvendelse af pesticider i skov- og jordbrug, parker, haver, sportsanlæg og på befæstede arealer samt ved infrastrukturanlæg. Nogle pesticider anvendes også, eller har været anvendt, som bejdsemidler i såsæd og som biocider fx i maling og træbeskyttelsesprodukter.

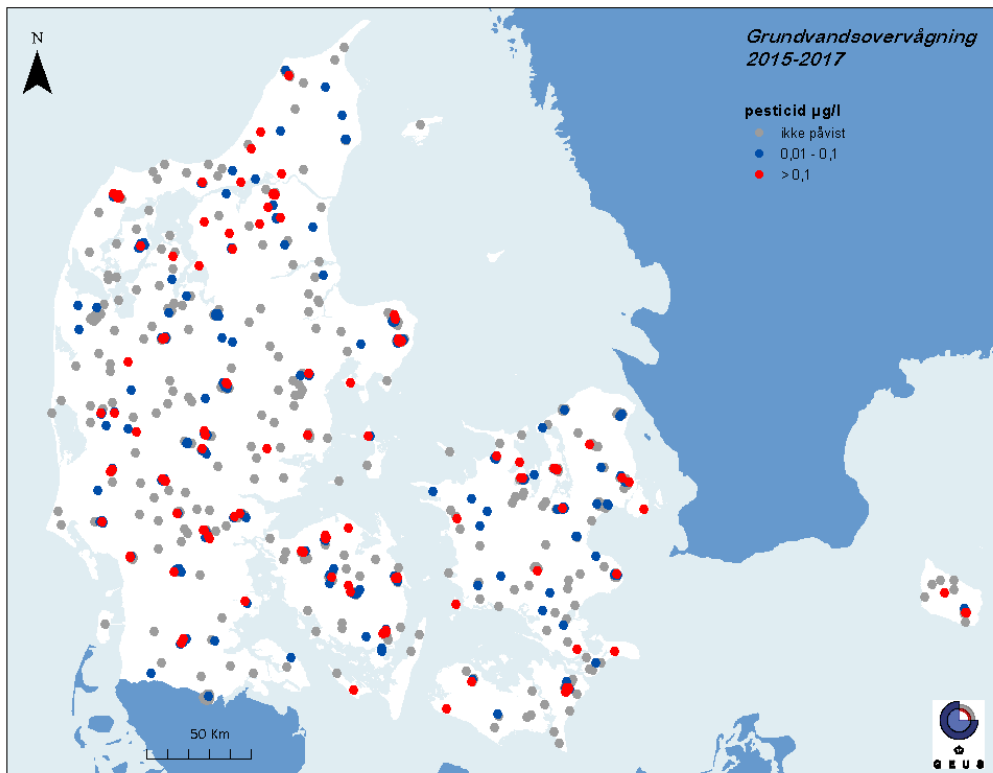
Miljømål og formål med overvågning

For enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter er kravværdien (grænseværdien) i grundvand og drikkevand fastsat til 0,1 µg/l, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l. Kravværdien på 0,1 µg/L gælder både for anvendelse som pesticid og som biocid. Grundvandet overvåges for dets indhold af pesticider bl.a. for at vurdere, om reguleringen af pesticidforbruget har de ønskede effekter.

Datagrundlag

I denne rapport indgår pesticidanalyser fra perioden 1990-2017 fra grundvandsovervågningen (GRUMO-indtag) og grundvandsprøver fra aktive vandværksboringer (boringskontrol), herunder resultater fra screeningsundersøgelser for desphenylchloridazon (DPC), methyldesphenylchloridazon (MDPC) og 1,2,4-triazol. For at give en mere præcis og opdateret status for forekomsten af DPC og MDPC indgår resultaterne af en nyere opgørelse præsenteres også. Opgørelsen (GEUS notat, 2018) er udarbejdet for Vandpanelets Arbejdsgruppe om Pesticider og Drikkevandskontrol, som har haft til opgave at indsamle oplysninger om DPC. Opgørelsen omfatter godkendte data i Jupiter pr. 23. oktober, 2018.

I 2017 blev 1046 GRUMO-indtag prøvetaget til pesticidanalyse, idet Miljøstyrelsen i 2017 gennemførte overvågning af alle programlagte indtag for programperioden. I den forbindelse inddrog Miljøstyrelsen 126 'hvilende' indtag, som ellers ikke er prøvetaget til pesticidanalyse i de seneste programperioder. Derudover har Miljøstyrelsen etableret nye indtag i det distribuerede stationsnet for at repræsentere alle danske grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster. Datasættet for 2017 afviger derfor markant fra de forudgående år.

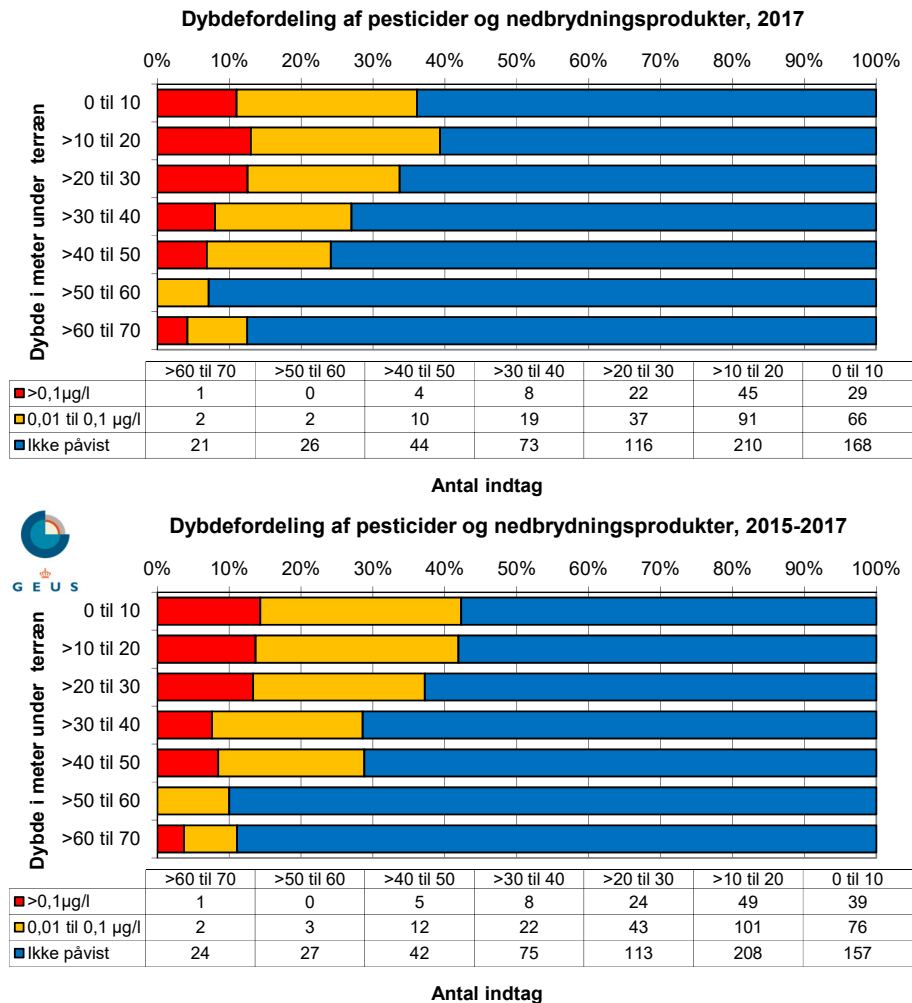


Figur 9. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag prøvetaget i perioden 2015-2017 (1.087 indtag). Resultaterne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), mindst ét pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet. En oversigt over analyseprogrammerne for grundvandsovervågningen gennem årene fremgår af bilag 4. Ved opgørelser over pesticider tæller et indtag kun med i én koncentrationsklasse, selvom der er fundet flere pesticider med forskellig koncentration i samme prøve fra et indtag. Hvis der mindst én gang i den relevante periode er fundet mindst et stof i en koncentration $>0,1 \mu\text{g/l}$, tælles indtaget med som $>0,1 \mu\text{g/l}$. Hvis der kun er påvist stoffer i lavere koncentrationer tælles indtaget med i koncentrationsintervallet $0,01-0,1 \mu\text{g/l}$. 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 2015-2017, 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 10 viser en dybdefordeling af pesticider i GRUMO-indtag, prøvetaget hhv. i 2017 og i treårsperioden 2015-2017. I 2017 blev der inden for hver af de anvendte dybdeintervaller ned til 50 m u.t. påvist pesticider i 24-39 % af de undersøgte indtag.



Figur 10. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag, der er analyseret i 2017 og perioden 2015-2017. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

Dybdefordelingerne for 2017 og 2015-2017 ser anderledes ud end de tilsvarende figurer i de forudgående rapporter, idet fundandelene nu generelt falder med dybden. Der er ikke længere en markant top med større fundandele i dybderne 10-40 m u.t. Denne forskel ses tydeligst for periodeopgørelsen for 2015-2017. Forskellen skyldes sandsynligvis en kombination af, at der er mange nye indtag i opgørelsen (nyetablerede indtag og geninddragelse af 'hvilende' indtag) og resultater fra screeningen for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol i udvalgte indtag. Man må forvente, at dybdefordelingerne i de kommende år vil se væsentlig anderledes ud, idet kun få indtag var screenet for desphenylchloridazon (DPC), metyldesphenylchloridazon (MDPC) og 1,2,4-triazol frem til dataudtrækket., og ingen indtag var testet for det i 2018 senest identificerede problemstof N,N-dimethylsulfamid (DMS).

Tilladte og forbudte pesticider fundet i Grundvandsovervågningen

Pesticider kan inddeles i tre grupper: godkendte, regulerede og forbudte, på basis af stoffernes status pr. 22. juni 2018. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført begrænsninger på anvendelsen for at beskytte grundvandet. De tilladte pesticider er således både de godkendte og de regulerede.

Med den seneste ændring af analyseprogrammet repræsenteres de godkendte stoffer fortsat blot af glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Glyphosat/AMPA er imidlertid ikke repræsentative for de mange vidt forskellige godkendte stoffer. Godkendte stoffer er derfor ikke opgjort særskilt, men derimod

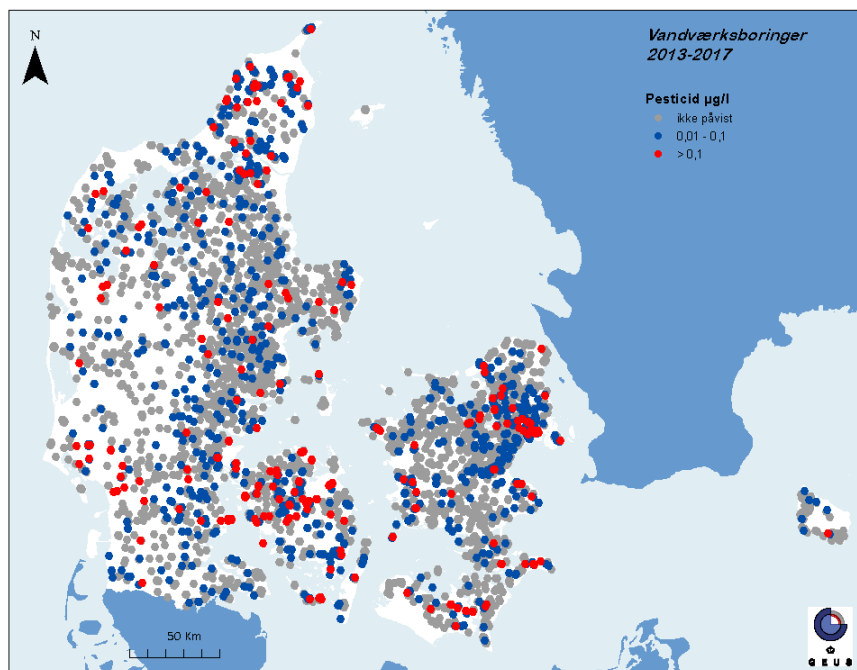
sammen med de regulerede stoffer, der tilsammen udgør gruppen tilladte stoffer, dvs. stoffer der har en lovlig anvendelse i dag. Tabel 1 viser fordelingen af tilladte og forbudte stoffer opgjort i perioden 2015-2017. Mindst ét tilladt pesticid eller nedbrydningsprodukt blev fundet mindst én gang i 5,9 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 1,6 % af indtagene. Forbudte pesticider og deres nedbrydningsprodukter blev fundet mindst én gang i 27,3 % af indtagene med en overskridelse af kravværdien i 7,2 % af indtagene. Forbudte stoffer blev dermed fundet langt hyppigere end de tilladte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør langt den største andel af stoffer i analyseprogrammet. Dertil kommer, at forbudte stoffer optræder i grundvandet i mange år efter anvendelsen forbydes. Fundandelene er betydeligt lavere end i tidligere opgørelser, hvilket sandsynligvis skyldes de mange nye indtag (nyetablerede indtag og geninddragelse af ' hvilende ' indtag), som har lave fundandele. Fund af regulerede stoffer kan skyldes en tidligere anvendelse, der ikke læn- gere er godkendt.

Tabel 1. GRUMO. Forekomst af tilladte og forbudte pesticider i perioden 2015-2017. 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 7. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

2015-2017	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	1.086	64	17	5,9	1,6
Forbudte stoffer	1.086	296	78	27,3	7,2

Pesticider i vandværksboringer

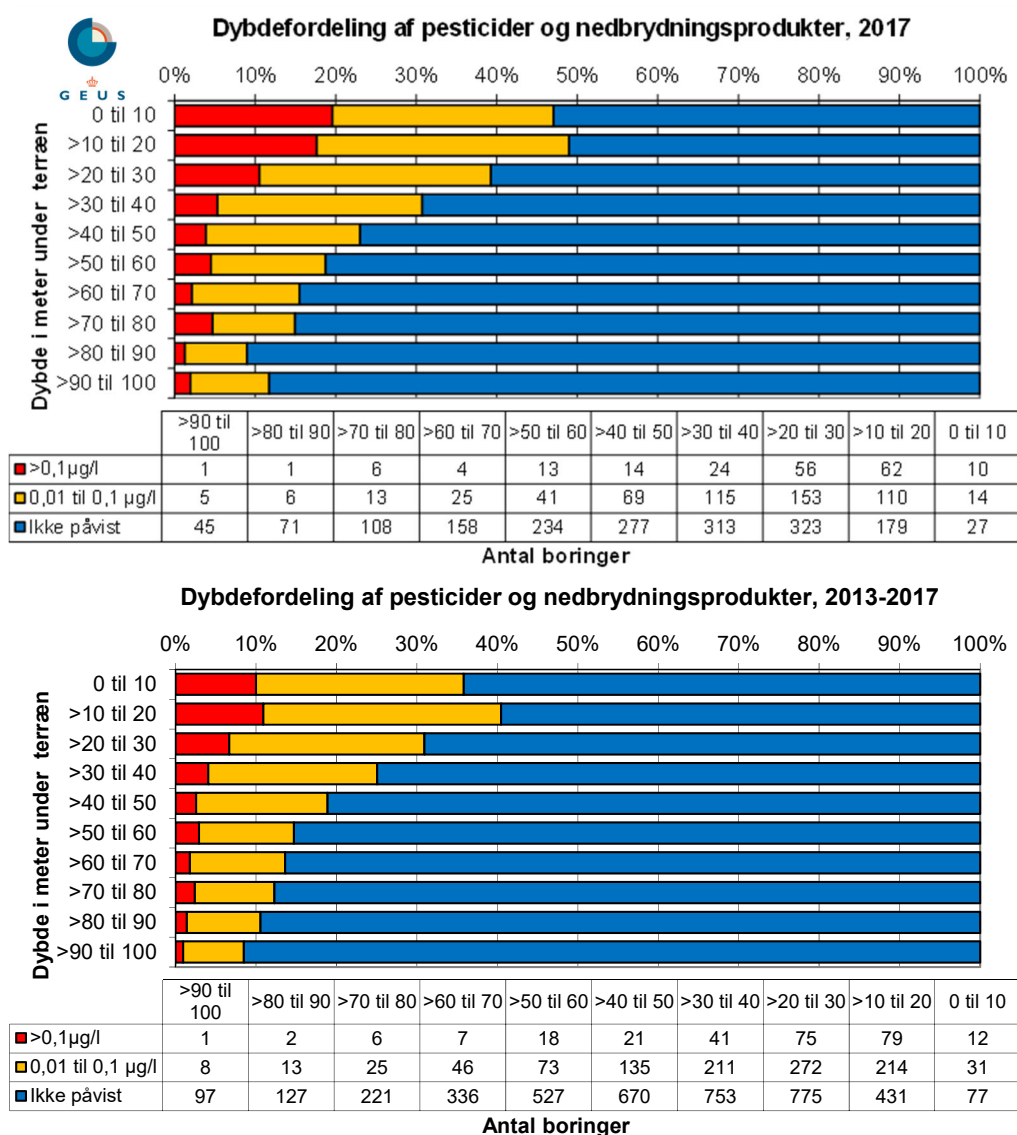
Figur 11 viser den geografiske fordeling af grundvandets pesticidindhold i aktive vandværksboringer i perioden 2013-2017, hvor de fleste aktive vandværksboringer kan forventes at være prøvetaget mindst én gang.



Figur 11. Boringskontrollen. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i aktive vandværksboringer (5.971 indtag) i femårsperioden 2013-2017. Resultaterne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor enten mindst ét 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 hvor pesticider ikke er påvist. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Der vurderes, at hyppigheden af overskridelser af kravværdien er overrepræsenteret i det nordligste Jylland, i et bælte tværs over Syddjylland og Fyn samt den sydvestlige del af hovedstadsområdet. Kortet viser dermed en anderledes udbredelse end det tilsvarende kort for GRUMO. Forskellene skyldes dels, at vandværkerne over årene har taget boringer med forhøjede pesticidkoncentrationer af fx BAM og DEIA ud af drift, når det var muligt, dels at en større del af de aktive vandværksboringer er testet for DPC og MDPC med mange fund.

Figur 12 viser andelen af pesticidfund i 2017 og perioden 2013-2017 i vandværksboringer mod dybden målt som afstanden fra terrænen til toppen af aktive boringers indtag. Fundandele og overskridelser af kravværdien aftager med dybden, men der er fund og overskridelser af kravværdien i boringer, som har filtertop i mere end 100 m u.t. I 2017 var der en stigning i andelen af indtag med fund og overskridelser af kravværdien for dybderne 0-50 m u.t. sammenlignet med dybdefordelingen i 2016. Tendensen skyldes fund af DPC og MDPC.



Figur 12. Boringskontrollen. Dybdemæssig fordeling af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i vandværksboringer. Øverst er vist data fra 2017, mens en periodeopgørelse for 2013-2017 er vist nederst. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét 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 (under detektionsgrænsen, typisk <0,01 µg/l). Dybden angiver afstanden fra terrænen til overkanten af filteret. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser og dybder fremgår af tabellen under hver delfigur.

Tabel 2 viser en opgørelse over fordelingen af tilladte og forbudte stoffer for de stoffer, der indgik i analyseprogrammet i 2017 (se Tabel 8, i kap. 5). Mindst ét af de forbudte stoffer forekom mindst én gang i 21,8 % af de undersøgte vandværksboringer, og i 4,3 % 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 4,0 % 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.

Tabel 2. Boringskontrollen. Periodeopgørelse 2013-2017 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).

2013-2017	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	5.863	237	29	4,0	0,5
Forbudte stoffer	5.968	1.299	256	21,8	4,3

Fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen fandt sted, men da alderen af grundvandet, der indvindes fra vandværksboringerne, ikke er nøjagtigt kendt, kan disse forhold ikke kvantificeres. Ofte er der tale om prøver fra lange filtre, hvor der forekommer opblanding af grundvand med forskellige aldre fra forskellige dybder i grundvandsmagasinerne. Vandets alder er ofte mere 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.

Screeninger og nye stoffer

Desphenylchloridazon (DPC) og methyldesphenylchloridazon (MDPC) er nedbrydningsprodukter fra det nu forbudte herbicid chloridazon, som blev solgt i Danmark i perioden 1964-1996, overvejende til brug i bederoer (sukkerroer og foderroer). Miljøstyrelsen igangsatte i 2017 en screeningsundersøgelse af stoffernes forekomst i udvalgte GRUMO-indtag (Miljøstyrelsen, 2017d) efter fund i flere regioners punktkildeundersøgelser. Pr. 27. oktober 2017 blev boringskontrollens obligatoriske liste udvidet med DPC og MDPC (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e). Antallet af prøver for disse stoffer er meget begrænset i GRUMO og boringkontrollens datasæt for 2017, der er grundlaget for denne rapport. Det skyldes, dels at mange prøveresultater fra boringskontrollen er indberettet og godkendt, efter etableringen af rapportens standardiserede dataudtræk fra Jupiter, dels at kun en mindre del af GRUMO-indtagene er screenet for disse stoffer i 2017.

For at give en mere præcis og opdateret status for DPC og MDPC præsenterer vi derfor resultaterne af en nyere opgørelse. Opgørelsen (GEUS, 2018) er udarbejdet til Vandpanelets Arbejdsgruppe om pesticider og drikkevandskontrol, som har haft til opgave at indsamle oplysninger om DPC (Miljøstyrelsen 2017e). Opgørelsen dækker data, som er indrapporteret og godkendt i Jupiter frem til 23. oktober 2018.

Tabel 3 viser, at frem til denne dato blev DPC påvist i 34,5 % af de undersøgte GRUMO-indtag med et indhold højere end kravværdien i 19,4 % af de undersøgte GRUMO-indtag.

Tabel 3. GRUMO. Forekomst af desphenylchloridazon (DPC) og methyl-desphenylchloridazon (MDPC) i det omfang de er indberettet til og godkendt i Jupiter pr. 23. oktober 2018. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor stofferne er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l).

GRUMO	Prøver antal	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
DPC	439	386	133	75	34,5	19,4
MDPC	427	377	74	25	19,6	6,6

I modsætning til andre pesticider er koncentrationen af DPC oftere over end under kravværdien, når der er fund af stoffet. MDPC blev påvist i 19,6 % af de undersøgte indtag, og indholdet var højere end kravværdien i 6,6 % af de undersøgte indtag. Idet opgørelserne bygger på de data, der var tilgængelige i Jupiter på udtrækstidspunktet 23. oktober 2018, kan fundprocenterne blive anderledes, når hele GRUMO-stationsnettet på et tidspunkt er undersøgt. DPC's geografiske udbredelse er ikke begrænset til områder, der har haft intensiv dyrkning af roer til sukkerproduktion som fx Fyn, Syd- og Vestsjælland, Lolland og Falster, hvor anvendelsen af chloridazon kunne forventes at have været størst.

1,2,4-triazol er et nedbrydningsprodukt fra en række triazol-fungicider. Miljøstyrelsen besluttede i januar 2017 at screene for 1,2,4-triazol i udvalgte GRUMO-indtag, fordi 1,2,4-triazol var påvist hyppigt og i nogle tilfælde over kravværdien i Varslingsystem for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP). I GRUMO-screeningen blev 1,2,4-triazol påvist i 32,7 % af de undersøgte indtag med overskridelse af kravværdien i 1,4 % af indtagene. Miljøstyrelsen inddrog i 2014 efterårsanvendelsen af tebuconazol i korn, nedsatte den tilladte dosis for 4 triazol-svampemidler og satte loft over den samlede mængde, der må anvendes i landbruget pr. vækstsæson. Derudover kan 1,2,4-triazol i grundvandet sandsynligvis stamme fra et udbredt og fortsat brug af triazol-fungicider i træbeskyttelsesmidler samt muligvis fra anvendelse som nitrifikationshæmmer i gylle og handelsgødning.

1.4 Uorganiske Sporstoffer

Indledning

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

Datagrundlag

Dette års rapport beskriver analyseresultater indsamlet i overvågningsprogrammet for grundvand (GRUMO) i perioden 2011-2017 og for vandværksboringer i perioden 2013-2017. For GRUMO rapporteres for såvel 2017 som for programperioden 2011-2016, idet denne programperiode ikke tidligere er afrapporteret samlet.

Tabel 4 viser hvilke analyseparametre, der pt. indgår i overvågningsprogrammet for grundvand for programperioden 2017-2021, samt hvilke parametre, der indgår ved overvågning af grundvandskvaliteten i vandværksboringerne i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (drikkevandsbekendtgørelsen). Prøvetagningsfrekvensen i såvel GRUMO som i vandværksboringerne varierer fra årlige prøver til én prøve hvert 5 år.

Tabel 4. GRUMO & Boringskontrol. Analyseparametre 2017-2021 for uorganiske sporstoffer i grundvands-
overvågningen og obligatoriske stoffer i boringskontrollen for vandværksboringer (drikkevandsbekendtgørel-
sen).

Uorganiske sporstoffer	GRUMO	Vandværksboringer
Aluminium (Al)	X	X ^a
Arsen (As)	X	X
Barium (Ba)		X
Beryllium (Be)	X	
Bly (Pb)	X	
Bor (B)	X	X
Cadmium (Cd)	X	
Jod (I)	X	
Kobber (Cu)	X	
Kobolt (Co)		X
Nikkel (Ni)	X	X
Strontium (Sr)		X ^b
Zink (Zn)	X	
a) Analyseres, hvis pH i grundvandet er under 6. b) Analyseres ved indvinding i områder med skrivekridt.		

Grundvandsovervågning

I 2017 er 678 GRUMO-indtag analyseret for stofferne aluminium, arsen, beryllium, bly, bor, cadmium, jod, kobber, nikkel. Der er i 2017 konstateret overskridelser af kravværdien for drikkevand for fem stoffer: aluminium, arsen, bly, bor og nikkel. Overskridelsen af kravværdien er 5,6 % for aluminium, 9,0 % for arsen, 0,4 % for bly, 0,9 % for bor og 3,2 % for nikkel. Overskridelserne er fundet i 130 indtag, svarende til 19 % af de undersøgte indtag. I 17 indtag (2,5 %) overskrives kravværdien for to stoffer (aluminium og arsen i kombination med bor, nikkel eller bly). Indholdet af cadmium, kobber og zink i alle undersøgte indtag er under kravværdien.

Der er i perioden 2011-2016 konstateret overskridelser af kravværdien for seks af de målte stoffer, nemlig aluminium, arsen, bly, bor, cadmium og nikkel. Overskridelsen af kravværdien er 8,0 % for aluminium, 7,6 % for arsen, 1,4 % for bly, 0,4 % for bor, 0,2 % for cadmium og 5,6 % for nikkel. Overskridelserne er fundet i 212 indtag, svarende til 23 % af de undersøgte indtag. I 41 indtag (4,5 %) overskrives kravværdien for to af de målte stoffer (aluminium i kombination med bly, cadmium og nikkel eller arsen i kombination med aluminium, bor og nikkel). I 6 indtag (0,7 %) overskrives kravværdien for tre af de målte stoffer (aluminium i kombination med bly/cadmium og nikkel) og i ét indtag (0,1 %) overskrives kravværdien for 4 af de målte stoffer (aluminium, arsen, bly og nikkel).

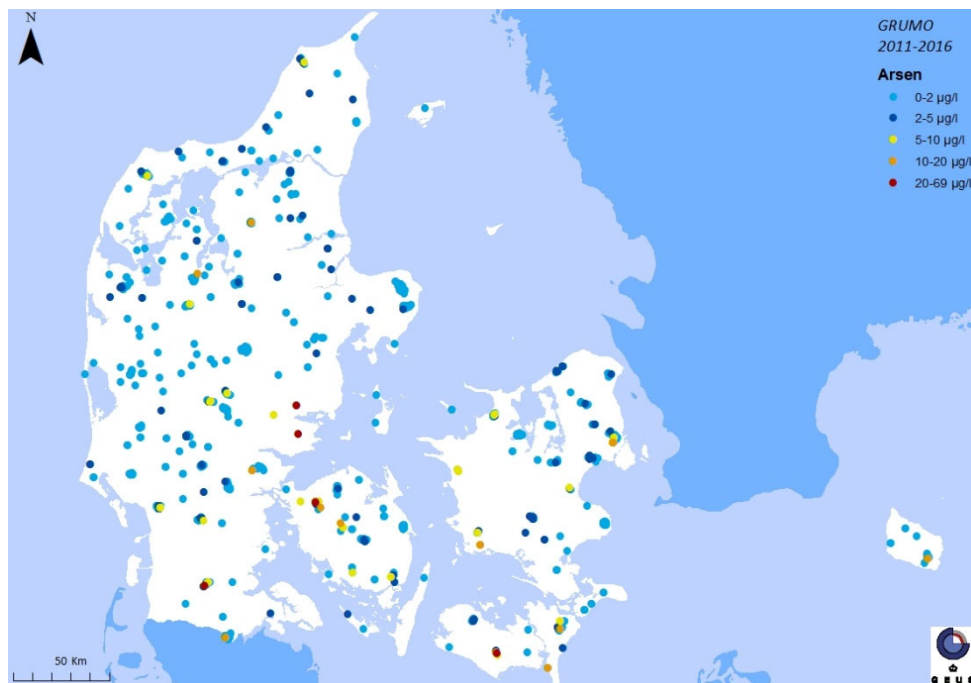
For perioden 2011-2016 var indholdet af kobber og zink under kravværdien for drikkevand i alle GRUMO-indtag.

Arsen

I hovedrapporten, kap. 6, er fire stoffer beskrevet uddybende, nemlig arsen, nikkel, kobber og zink. Her præsenteres alene arsen, der er det sporstof, der hyppigst overskrider kravværdien for drikkevand.

Arsen forekommer naturligt i en række mineraler, eksempelvis arsenpyrit (Arsenkis, FeAsS) og andre sulfider. Mobiliteten af arsen er begrænset af dets stærke binding til ler, jernoxid/hydroxider og organisk stof. Oxidation/reduktionsprocesser er stærkt styrende for mobiliteten af arsen i jordlagene. Iltfattigt grundvand indeholder som hovedregel mere arsen end iltholdigt grundvand.

Figur 13 viser, at arsen i GRUMO-indtag i perioden 2011-2016 optræder i koncentrationer under kravværdien for drikkevand (5 µg/l) jævnt fordelt over hele landet. Vand med højere indhold af arsen findes forholdsvis kystnært rundt om på Sjælland, på Falster og Lolland, i et NV-SØ-ligt bånd hen over Fyn, i Sønder- og Midtjylland, Himmerland, Thy og Vendsyssel.



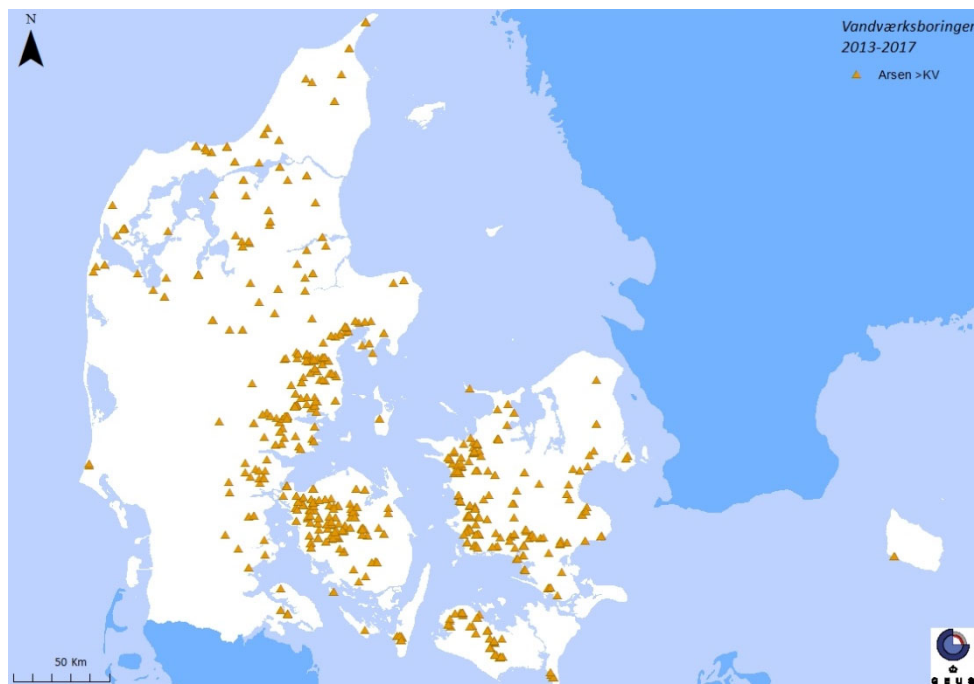
Figur 13. GRUMO. Arsenkoncentrationer i 911 GRUMO-indtag i perioden 2011-2016. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Vandværksboringer

For 2017 er der indberettet analyser for uorganiske sporstoffer fra 1.684 vandværksboringer. Hovedparten af boringerne er analyseret for de obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel (drikkevandsbekendtgørelsen). Ud af de 1.684 vandværksboringer er der fundet overskridelse af kravværdien for ét eller flere stoffer i 270 boringer, svarende til 15 %. En samtidig overskridelse på to stoffer (nikkel med arsen eller kobolt) og tre stoffer (bor, kobolt og nikkel) forekommer i henholdsvis 5,3 % og 2,0 % af boringerne.

For perioden 2013-2017 er der indberettet analyser for uorganiske sporstoffer for 5.966 vandværksboringer. Hovedparten af boringerne er analyseret for de obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel (drikkevandsbekendtgørelsen). Desuden er et større antal boringer analyseret for strontium (indvinding fra skrivekridt) og aluminium (hvis pH <6). Ud af de 5.966 vandværksboringer er der fundet overskridelse af kravværdien for ét eller flere stoffer i 842 boringer, svarende til 14 %. Der er overskridelser af kravværdien for arsen (11,9 %), nikkel (1,7 %), kobolt (0,5 %), bor (0,3 %) og aluminium (0,2 %).

Figur 14 viser den geografiske fordeling af vandværksboringer med et arsenindhold, der overskrider kravværdien. Overskridelser af kravværdien for arsen optræder i store dele af Danmark med den største tæthed i Vestsjælland, i områderne langs Køge bugt, på store dele af Lolland, Midt- og Vestfyn og i den østligste del af Jylland, fra Mols Bjerge ned til Kolding. Desuden findes en del boringer med høje indhold af arsen i Himmerland og Vendsyssel.



Figur 14. Boringskontrollen. Arsenkoncentrationer over kravværdien for drikkevand (5 µg/l) i 704 vandværksboringer i 2013-2017. I de fleste tilfælde vil optimeret indvinding og behandling af grundvandet nedbringe indholdet af arsen væsentlig i vandet, der distribueres fra vandværkerne.

1.5 Organiske mikroforureninger

Indledning

Organiske mikroforureninger er en meget forskelligartet stofgruppe med mange forskellige detektionsgrænser og kravværdier. I rapporten er de enkelte stofgruppers anvendelse og risikoprofil ganske kort præsenteret. Stofferne anvendes i mange forskellige sammenhænge, hvor de kan tabes til vandmiljøet. Da disse organiske stoffer samtidig har meget forskellige kemiske egenskaber, varierer deres opførsel i miljøet meget mht. nedbrydelighed, opløselighed osv. Det stofferne har til fælles er, at der er tale om organiske stoffer, der som regel træffes i grundvandet i lave koncentrationer. Der er særligt fokus på stoffer, der har en bred anvendelse i samfundet, og hvor den miljømæssige effekt ved tab fra den tilsligtede anvendelse er uønsket. Dette skyldes, at en del af stofferne er giftige for mennesker eller økosystemer, eller kan have hormonforstyrrende effekter selv ved lave koncentrationer.

Datagrundlag

Grundvandsovervågningen omfatter for hver programperiode et antal udvalgte stoffer. Dette års rapport beskriver analyseresultater indsamlet i perioden 2011-2017. Hovedvægten ligger på det samlede resultat for programperioden 2011-2015, hvor data for PFAS og diklorfenoler indsamlet i overgangsåret 2016 er inkluderet i opgørelsen.

Ved vandværkernes boringskontrol afhænger valget af analyseparametre af, hvilke formodede eller kendte risici for forurening af grundvandet, der optræder inden for de enkelte vandværkers indvindingsoplande. Det fremgår af drikkevandsbekendtgørelsen at: 'Kontrol for andre organiske mikroforureninger vælges efter de forureningskilder, der er i området... Hvis der i indvindingsoplandet vides at være arealer, som er eller kan være forurenede med organiske mikroforureninger, skal der kontrolleres for disse stoffer, med mindre stofferne vurderes ikke at udgøre en trussel for grundvandet'.

Grundvandsovervågningen

Indholdet af de enkelte organiske mikroforureninger lå under detektionsgrænsen (DG) for langt den overvejende del af indtagene, idet hyppigheden af koncentrationer \geq DG typisk var mindre end én procent for de enkelte stoffer i perioden 2011-2016. 9 af de 33 målte stoffer havde en fund-procent over én, nemlig

kloroform (9,7 %), PFOA (6,2 %), PFOS (5,0 %), m+p-xylene (3,4 %), PFHxS (2,7 %), PFBA (2,6 %), toluen (2,2 %), PFHpA (1,6 %) samt 2,4-diklorfenol (1,1 %). 5 af de 9 stoffer tilhører gruppen af perfluorerede stoffer, de såkaldte PFAS.

I Grundvandsovervågningen er kloroform det absolut hyppigst fundne enkeltstof inden for de organiske mikroforureninger, både hvad angår udbredelse og omfang af overskridelser af kravværdien. Samtlige indtag med indhold af kloroform over drikkevandskravet forekommer i borer, der ligger i eller nær skove/plantager med nåletræsbevoksning. Det forekommer derfor sandsynligt, at det høje indhold af kloroform i disse indtag skyldes naturlig dannelse i skovbunden.

Vandværksboringer

I perioden 2013-2017 er der i vandværksboringerne gennemført analyser af 142 forskellige stoffer i et meget forskelligt antal borer (fra 1 til 5.849). 109 af de undersøgte stoffer er analyseret i mindst 10 borer.

Anioniske detergenter er absolut den parameter (sumparameter) inden for de organiske mikroforureninger, der har den største fundprocent (45 %). Koncentrationen ligger langt under de tilladte 100 µg/l i hovedparten af de undersøgte vandværksboringer. Ud af 449 borer med fund havde 45 borer koncentrationer over 10 µg/l, dvs. kun ca. 10 % af borerne med fund lå over 1/10 af kravværdien og heraf lå indholdet i blot 2 borer (0,2 % af de undersøgte borer) over kravværdien.

Det næstmest hyppigt fundne stof var cis-1,2-diklorethylen (cis-DCE), der blev fundet i 99 borer (5,8 %). Cis-DCE er et nedbrydningsprodukt fra de to klorerede opløsningsmidler triklorethylen (TCE) og tetraklorethylen (PCE), som i øvrigt er de stoffer, der blev fundet i 3. og 4. flest antal borer. Cis-DCE ophobes ofte ved nedbrydning af TCE og PCE og udgør ofte den største trussel mod grundvandskvaliteten fra punktkildeforureninger med klorerede opløsningsmidler. Cis-DCE nedbrydes til vinylklorid, som optræder som det syvende-hyppigst fundne stof. Kravværdien for vinylklorid er på grund af den højere giftighed lavere end for de øvrige stoffer i gruppen af klorerede alifatiske kulbrinter. Skønt antallet af borer med fund af vinylklorid er lavere end for de forskellige moderstoffer, er såvel fundprocenten (8,1 %) som andelen borer med overskridelser af kravværdien inden for opgørelsesperioden (1,4 %) højere end for moderstofferne hver for sig.

Såvel fundprocent som andelen af vandværksboringer med overskridelser af kravværdien er steget markant for vinylklorid i forhold til sidste opgørelsesperiode (2010-2014, Thorling mfl., 2015a). Det undersøgte antal borer (ca. 500 i begge perioder svarende til knap 10 % af de aktive danske vandværksboringer) er dog så lavt, at det er svært at konkludere, om der er tale om et generelt stigende indhold af vinylklorid i indvindingsvand, eller om vandværkerne er blevet bedre til at målrette prøvetagning for vinylklorid i forhold til forureningsrisikoen. Det er også muligt, at vandværkerne i højere grad end tidligere accepterer at indvinde vand med lave koncentrationer af vinylklorid, hvilket vil give anledning til en stigning i antallet af fund i den obligatoriske boringskontrol.

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 programbeskrivelsen for NOVANA i perioden 2017-21, (Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017):

- *At levere data, der beskriver den generelle kemiske tilstand og udvikling, herunder langtidsændringer i grundvandet (kontrolovervågning)*
- *At levere data, der beskriver status og udvikling for miljøfarlige forurenende stoffers forekomst i grundvand (kontrolovervågning)*
- *At levere data, der beskriver den kemiske tilstand for grundvandsforekomster, som anses for at være truet, herunder om der er en langsigtet menneskeskabt tendens til stigning i koncentrationen af nogen af de forurenende stoffer (operationel overvågning).*
- *At levere data, der dokumenterer effekten af nationale vandmiljøplaner, vandområdeplaner, nitrathandlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag (operationel overvågning).*
- *At bidrage med data, som mhp. den årlige opdatering af kravene til vandværkernes boringskontrol belyser, hvorvidt der er grund til at antage, at der i grundvandet og dermed drikkevandet findes stoffer, der ikke hidtil har været undersøgt for, og som kan udgøre en potentiel fare for sundheden.*
- *At levere data, der beskriver tilstand og udvikling i ændringerne i grundvandsstanden (kvantitativ overvågning)*
- *At levere data, der for grundvandsforekomster, som er i risiko for manglende opfyldelse af vandrammedirektivets mål om kvantitativ tilstand, beskriver hvordan indvinding og afstrømning påvirker grundvandsstanden (kvantitativ overvågning)*
- *At bidrage til datagrundlaget for udvikling af modeller til brug i blandt andet vandområdeplanerne*

Historik for grundvandsovervågningen, GRUMO

Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur, NOVANA, som grundvandsovervågningsprogrammet, GRUMO, er en del af, var oprindeligt et program for en national overvågning af vandmiljøet og blev iværksat som en del af i den første Vandmiljøplan i 1987. Det daværende program havde da 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 og udvikling i en række udvalgte oplande, GRUMO-områderne. Det blev vurderet, at disse områder kunne repræsentere grundvandet i på landsplan. 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 5 giver et overblik over de forskellige programperioder siden overvågningens start, og giver referencerne til programbeskrivelserne gennem tiden.

Tabel 5. Historik for Det Nationale overvågningsprogram af Vand og Natur, NOVANA.

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
2017-2021	NOVANA 2017-2021	5		Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017

2.1 Retligt grundlag for overvågningen

Overvågningsbekendtgørelsen

Bekendtgørelse nr. 1001 af juni 2016 om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder (overvågningsbekendtgørelsen) 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 EUROPA-PARLAMENTETS OG RÅDETS DIREKTIV 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse med senere ændringer (grundvandsdirektivet) og 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 (nitratdirektivet).

Drikkevandsbekendtgørelsen

Bekendtgørelsen fastsætter reglerne for de kravværdier som drikkevand skal opfylde, og hvordan det kontrolleres, at kravværdierne 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 efter 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 RÅDETS DIREKTIV 98/83/EF af 3. nov. 1998 om kvaliteten af drikkevand med senere ændringer (drikkevandsdirektivet) og i vandrammedirektivet.

Bemærk, at ved gennemførelse af 2017-overvågningen, der afrapporteres her, gjaldt tidligere udgaver af drikkevandsbekendtgørelsen, bekendtgørelse nr.1147 af 24. oktober 2017 og bekendtgørelse nr. 802 af 1.juni 2016. Der er angivet, hvor dette har betydning, dvs. at overvågningen er gennemført efter andre regler end de nugældende.

Analysekvalitetsbekendtgørelsen

Bekendtgørelse nr. 974 af 27. juni 2018 om kvalitetskrav til miljømålinger. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen). fastsætter bl.a. kravene til kemiske og mikrobiologiske analyser og de prøveudtagninger, der udføres som grundlag for myndigheders forvaltning 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 2009/90/EF af 31. juli 2009 om tekniske specifikationer for kemisk analyse og kontrol af vandets tilstand som omhandlet i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF (analysekvalitetsdirektivet).

Bemærk, at ved gennemførelse af 2017-overvågningen, der afrapporteres her, var gældt tidligere udgaver af analysekvalitetsbekendtgørelse nr. 1146 af 24. oktober 2017 og bekendtgørelse nr. 914 af 27. juni 2016.

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 rapportering af resultaterne for udvalgte dele af overvågningsresultaterne, og den udgør en væsentlig del af den løbende nationale formidling af oplysninger udviklingen i grundvandets kvalitet og kvantitet. GEUS har som fagdatacenter for grundvand siden 1990 udarbejdet en årlig landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen (Grundvandsovervågningens hjemmeside, se litteraturlisten).

Siden 2005, der var det første rapporteringsår for NOVANA-programmerne (se Tabel 5), er der rapporteret således, at en række figurer og tabeller for vandbalance og for grundvandets indhold af nitrat og pesticider opdateres hvert år. Det er typisk med figurer eller tabeller af generel, landsdækkende karakter. Der suppleres med relevante og aktuelle figurer og diskussioner. Nogle emner rapporteres ikke hvert år: fosfor, organiske mikroforureninger, sporstoffer samt resultater fra redoxboringerne. Vurderingen af udviklingen i grundvandets nitratindhold som funktion af grundvandets alder (opholdstid) ved brug af aldersdateringer rapporteres ca. 1 gang i hver programperiode. Dette har til formål at knytte udviklingen i grundvandskvaliteten bedre sammen miljøindsatserne. 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.

Betydningen af ændringer i overvågningsstrategien for afrapportering af resultaterne fra overvågningen, og hvordan dette kan håndteres, er beskrevet, hvor det er relevant i de enkelte fagkapitler og i appendiks 2.

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 og grundvandsdirektivet.

Vandrammedirektivet, der trådte i kraft i 2000, har blandt andet til formål at forebygge yderligere forringelse, og beskytte og forbedre grundvandets tilstand med henblik på at 'opnå og bevare god tilstand i grundvandet'. Efter vandrammedirektivet skal medlemsstaterne hvert 6. år udarbejde vandområdeplaner. Disse skal bl.a. indeholde 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 (Trolsborg mfl.

2014) forud for 2. vandplanperiode (2015-21). Afgrænsningen af grundvandsforekomsterne har bl.a. betydning for den løbende tilpasning af stationsnettet i grundvandsovervågningen.

Vurderingerne af forekomsternes kvantitative og kemiske tilstand er grundlaget for at vurdere, om forekomsterne kan opfylde de fastsatte målsætninger om god tilstand, og i fortsættelse heraf om der i den sammenhæng vil være behov for skærpet overvågning af visse forekomster eller særlige indsatser for at beskytte forekomsters tilstand.

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. Nitratdirektivrapporteringen for grundvand er alene baseret 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. Nitratindholdet 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 som udgangspunkt hvert år til det Europæiske Miljøagentur (EEA) efter en såkaldt EEA request. Data indgår i den internationale rapportering, som EEA forestår (EEA hjemmesiden, se litteraturlisten).

Referencer: Formål

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.

GEUS, 2003: Udkast til teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen, version 3 af 2. dec. 2003. www.geus.dk/media/16125/midlertidig_anvisning_2003.pdf (11.01.2019)

GEUS, 2018: Notat vedr. datapådeligheden for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen – en opsummering. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland.

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.

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.

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf> (11.01.2019)

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 (11.01.2019)

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/> (11.01.2019)

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2019. Landovervågningsoplände 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx 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)

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/media/16124/g03_pejlinger.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/media/16123/g02-proevetagning-version-12.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 19. dec 2018. www.geus.dk/media/20444/pejledata.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Ernstsens, V., Hansen, M., Thomsen, C.T., Wandall, T. & Sørensen, E.N, 2014: Datateknisk anvisning Kemidata- GRUNDVAND. Teknisk rapport. Senest opdateret 20. dec. 2018. www.geus.dk/media/20445/kemidata-grundvand.pdf (11.01.2019)

Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/ <https://www.geus.dk/media/20668/lthorling-2014-78pdf-adobe-acrobat-pro.pdf> (12.2.2019)

Troldborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. https://www.geus.dk/media/20669/geus_rapport_54_2014_grundvandsforekomster.pdf (12.2.2019)

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

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsens, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Troldborg, L. 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. www.geus.dk/media/18835/grundvand1989-2016-enderlig-momslag.pdf (11.01.2019)

Relevante hjemmesider og links

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (11.01.2019)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (11.01.2019)

Grundvandsovervågningsens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer: <http://miljoeogressourcer.dk/> (11.01.2019)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)

NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (11.01.2019)

NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR495.PDF (11.01.2019)

NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (11.01.2019)

STANDAT og STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (11.01.2019)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (11.01.2019)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (11.1.2019)

3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram

Mængden af det grundvand, der pumpes op, kaldet 'oppumpede vandmængder', er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse. Disse data er uundværlige for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i arbejdet med vandplanlægningen efter lov om vandplanlægning, jf. lovbekendtgørelse nr. 126 af 26. januar 2017 (lov om vandplanlægning). For at muliggøre en optimal allokering af den tilgængelige vandressource er der behov for, at kommunerne fortsat sikrer, at de oppumpede vandmængder i videst mulige omfang indberettes til den fælles offentlige database Jupiter, jf. drikkevandsbekendtgørelsen.

Det Nationale Pejleprogram er etableret for at kunne overvåge og vurdere udviklingen af vandstanden og dermed udviklingen i 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. Data fra pejleprogrammet indgår endvidere i grundvandsmodeller til vurderinger af såvel vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål, som påvirkningen af grundvand og økosystemer. Pejledata af god kvalitet er afgørende for, at man kan foretage pålidelige vurderinger og modelberegninger. I datasættet fra 2017 mangler der pejlinger fra en række områder, hvor der hidtil er blevet pejlet.

3.1 Vandindvinding

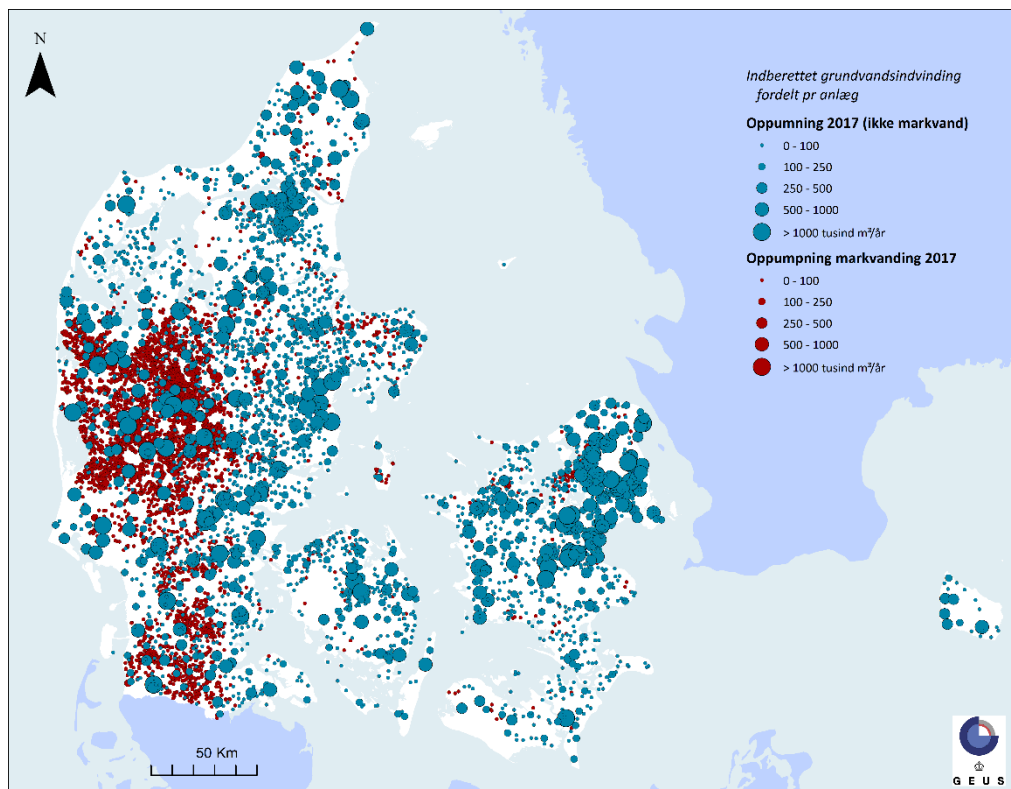
Indledning

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 2.600 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 hovedformålet 'lille enkeltvandværk (eller få husstande)'. Ca. 1.800 af disse anlæg har indberettet mængderne af deres vandindvinding mindst en gang siden 1989. For 2017 er der indberettet vandindvinding på ca. 631 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 markvanding udgør den største andel. Markvandingen er primært koncentreret vest for Hovedopholdslinjen i det vestlige og sydlige Jylland. Herudover anvendes grundvand til en lang række forskellige formål inden for industri, institutioner, gartneri og dambrug. Samlet set blev der indberettet vandindvinding fra 11.772 anlæg i 2017.

Figur 15 viser den geografiske fordeling af indberettede vandmængder for 2017 på anlægsniveau, opdelt i markvandingens anlæg og øvrige anlæg.

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.



Figur 15. Grundvandsindvinding i Danmark i 2017 fordelt på anlæg. Anlæg (7.206) anvendt til markvandning er markeret med rød signatur, mens resten af anlæggene (4.566) er angivet med blå.

Målsætning

Af hensyn til forsyningssikkerheden og miljøpåvirkninger og det stigende fokus på klimaets betydning for den fremtidige vandindvinding er det 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 og fordampningen 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 og 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.

Det følger af lov om vandplanlægning, at "forringelse af tilstanden af alle overfladevandområder og af alle grundvandsforekomster forebygges, og balancen mellem indvinding og grundvandsdannelse sikres". 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, se også Kapitel 2. De indsamlede data i grundvandsovervågningen er et vigtigt bidrag hertil.

Datagrundlag

Data om oppumpede vandmængder indberettes af kommunerne til Jupiter efter drikkevandsbekendtgørelsen og i overensstemmelse med 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 6 ikke vil være helt identiske med tidligere rapporterede data, fx Thorling mfl. (2018).

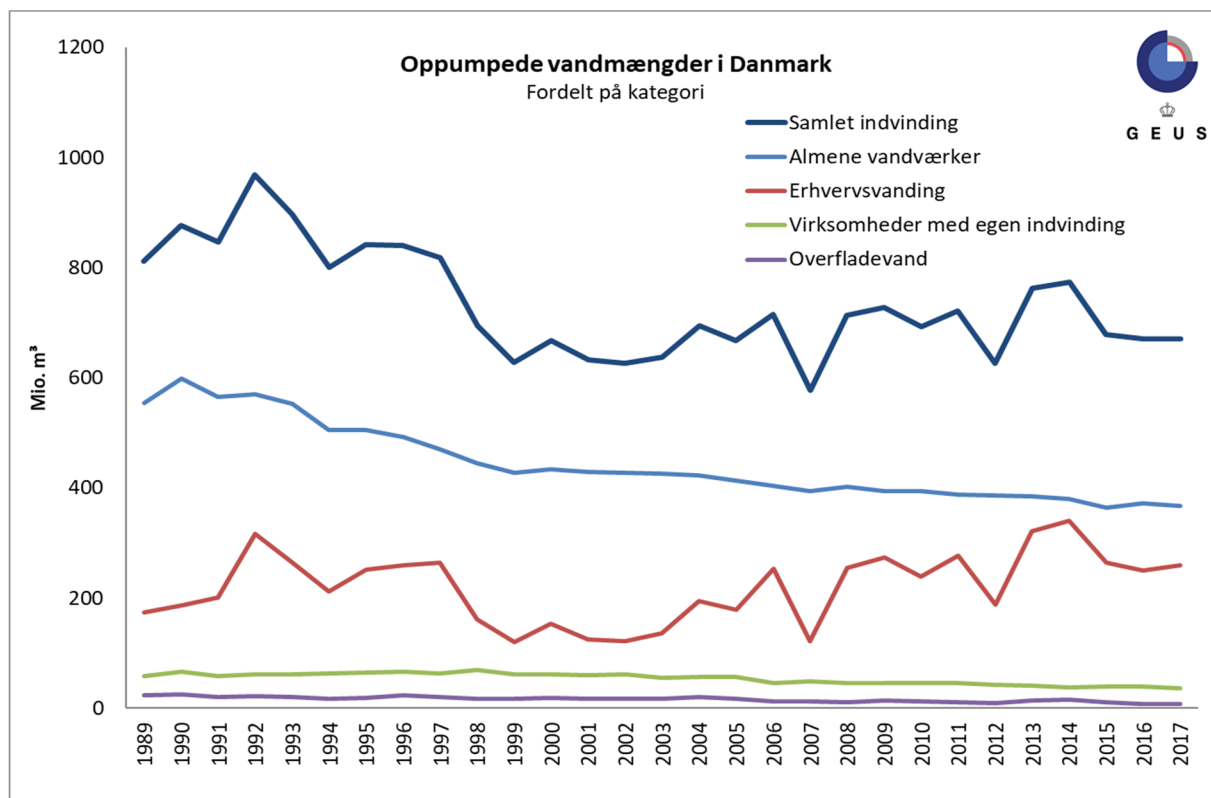
Ti kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2017 inden tidsfristen 1. april 2018. Det er ikke usædvanligt, at der mangler indberetninger, efter tidsfristen er overskredet, men da det sjældent er de samme kommuner, der mangler indberetninger af indvindinger fra år til år, er det til denne rapport skønnet hvor store vandmængder, der ikke er indberettet, på baggrund af de samme kommuners indberetninger de forudgående år. Samlet set vurderes der på denne baggrund at mangle indberetninger (data udtrykket 7. juni 2018) af omkring 24 mio. m³ for 2017, svarende til ca. 5 % af de samlede indvindinger på vandværkerne, hvilket er på niveau med de seneste år.

Til tabeller og figurer i denne rapport er de udtrukne indberettede data derfor justeret manuelt, hvis der som følge af ovennævnte manglende indberetninger er væsentlige afvigelser fra de foregående år.

Status og udvikling for vandindvinding

Figur 16 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier i perioden 1989-2017. 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 16. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2017 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.

Indvindingen af overfladevand på 8 mio. m³ er vanskelig at erkende i figuren og er ikke meget forskellig fra de forudgående år. Indberetningerne fra dambrug (opgjort i kategorien erhvervsvandning) vurderes at være behæftet med stor usikkerhed, og varierer betydeligt fra år til år. Overordnet antages det, at dambrugenes 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.

Tabel 6 viser de data, der ligger til grund for Figur 16. 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 2017 med en forsat svagt faldende tendens efter årtusindskiftet.

Tabel 6. 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., 2018).

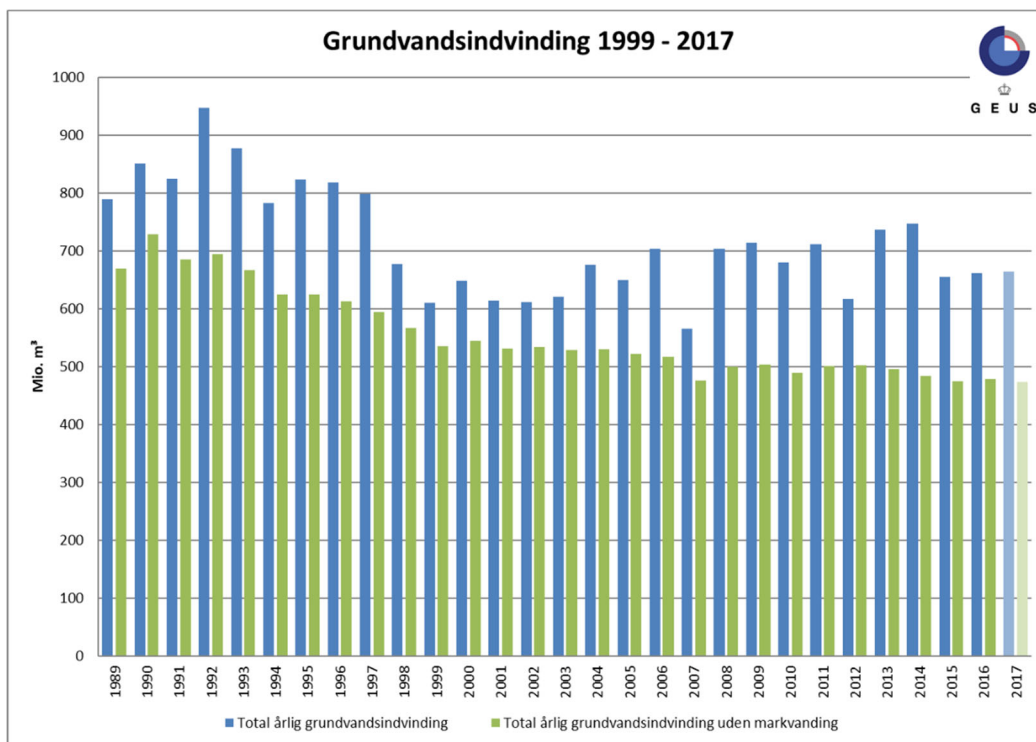
Årstal	Almene vandværker	Erhvervsvanding	Virksomheder med egen indvinding	Overfladevand
	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år	Mio. m ³ /år
1989	555	175	59	23
1990	598	187	66	25
1991	565	201	59	21
1992	570	316	61	22
1993	552	264	61	21
1994	506	212	64	18
1995	506	252	65	19
1996	492	260	66	23
1997	471	264	63	20
1998	445	161	70	18
1999	427	121	62	18
2000	434	153	61	19
2001	429	125	60	18
2002	427	122	61	17
2003	426	137	56	18
2004	423	195	57	20
2005	414	179	57	18
2006	404	253	46	12
2007	394	122	49	12
2008	402	255	46	11
2009	394	274	46	14
2010	395	239	46	13
2011	388	277	46	11
2012	386	188	42	10
2013	385	322	41	14
2014	380	341	38	15
2015	365	264	39	11
2016	372	250	40	8
2017	368	259	36	8

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien Erhvervsvanding) er for 2017 opgjort til 250 mio. m³/år, hvilket er tæt på medianen (239 mio. m³/år) for hele perioden (1989-2017). Markvandingen udgør 74 % af Erhvervsvanding i 2017. 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 17 viser de totale oppumpede mængder grundvand i perioden 1989-2017 med blå søjler, mens de grønne søjler viser de totale oppumpede mængder grundvand uden markvanding. 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 i vækstsæsonen.

Udviklingen i de oppumpede vandmængder i Danmark (uden markvanding) viser en faldende tendens frem til år 2000 og en svagt faldende tendens siden. Den samlede oppumpede mængde af grundvand i Danmark (uden markvanding) er for 2017 opgjort til 473 mio. m³/år, mens den for 1990 er opgjort til ca. 700 mio. m³/år. Medregnes markvandingen, der udgør 15-35 % af de samlede mængder oppumpede grundvand i Danmark, er det sværere at se eventuelle udviklingstendenser fra 2000 og frem.



Figur 17. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2017) baseret på indberettede data. Data fra 2017 er justeret med skøn over manglende rapportering og er vist med nedtonede farver.

I alt er der i 2017 indberettet grundvandsindvindinger på 664 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 17. 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 i perioden 1990-2012 (Henriksen mfl., 2014 og 2015). Analysen viser, at der er betydelige variationer i kvaliteten af data-indberetningen 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 mfl., 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 udgør meget betragtelige andele af oppumpningen på såvel lokal som national skala.

3.2 Det nationale pejleprogram

Indledning og målsætning

Det 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.

Pejlestationsnettet bliver i perioden 2010-2019 løbende revideret for at give en bedre dækning af grundvandsforekomsterne og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet. Denne revision er dermed ikke endeligt afsluttet.

Pejledata er en indikator for udviklingen i grundvandsressourcens størrelse. Ændringer i ressourcens størrelse har 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 planlægning for fx oversvømmelsesrisiko i bebyggede områder m.m.

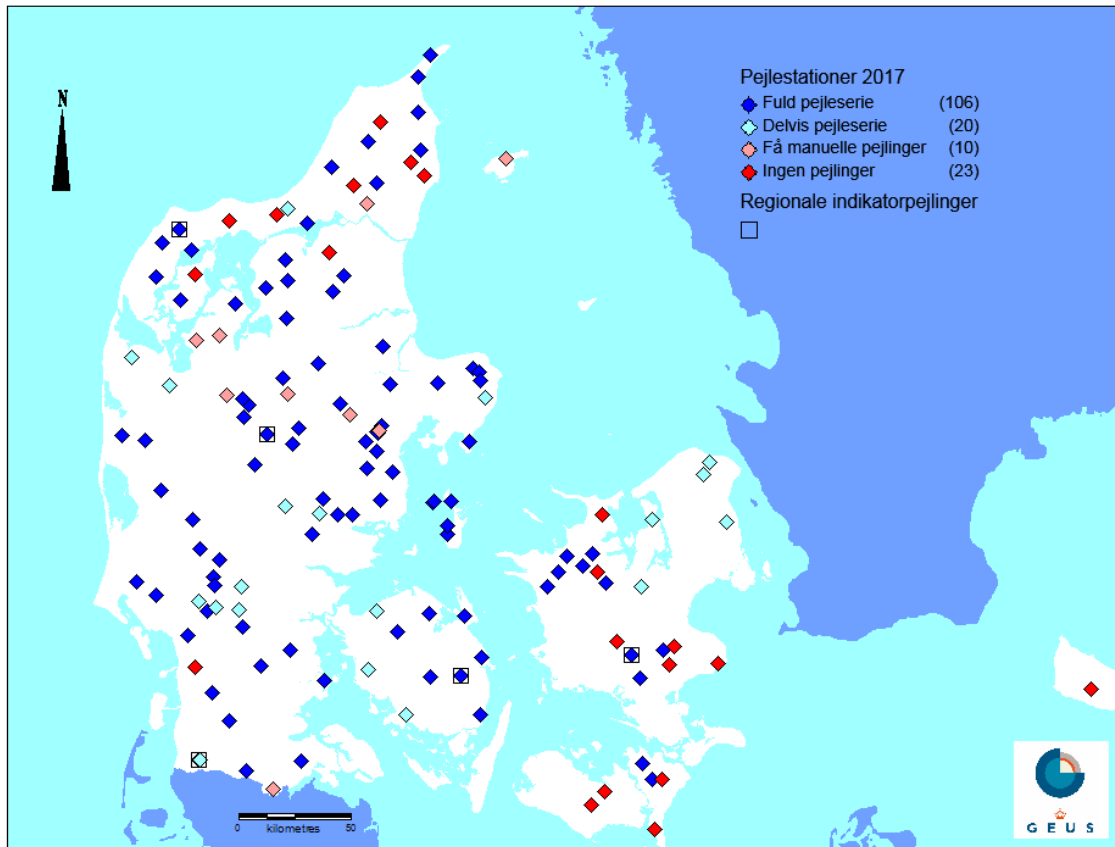
Datagrundlag

Grundvandsstanden registreres dagligt med dataloggere i de fuldt udbyggede pejlestationer tilknyttet overvågningsindtagene i det nationale pejlestationsnet. Tidligere, før dataloggernes tid, blev vandstanden registreret manuelt og med lavere hyppighed, hvilket i bedste fald var én gang månedligt.

Opmåling af referencepunkter og pejlinger af grundvandsstanden har fundet sted gennem mange årtier (i nogle tilfælde over 70 år), og kvaliteten af de indsamlede data er meget følsom over for ændringer i fx målepunkter, personale og målemetoder. Den meget lange tidshorizont udgør en udfordring mht. at fastholde en ensartet og sammenlignelig kvalitet i indsamlingen af data til pejletidsserier. Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejleprogram har et forløb, der indikerer, at fejl i data er opstået ved fx ændringer i boringers referencepunkt eller udfald i en datalogger. For at udbedre dette pågår et løbende arbejde med at rette oplagte datafejl i dialog med Miljøstyrelsen.

For at fastholde en ensartet kvalitet, er der desuden udarbejdet tekniske anvisninger for indsamling af nye pejledata i felten og efterfølgende håndtering af data (Thorling, 2012a og Thorling, 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 2017 omfattede pejlestationsnettet i alt 159 indtag fordelt på 146 boringer. Af disse er 106 indtag logget automatisk gennem hele året, mens 20 periodevis er logget automatisk med tekniske udfald i perioder. 10 indtag er pejlet manuelt nogle få gange i løbet af året, mens 23 ikke er pejlet i 2017. De manglende pejlinger skyldes primært den igangværende renovering af de automatiske dataloggere og indkøring af en række nye overvågningsindtag etableret i 2016. Figur 18 viser et kort over pejlenettet i 2017. Det fremgår, at der i 2017 ikke er pejlet på Bornholm, på Lolland, på Stevns eller i Odsherred, samt at der på Læsø kun er udført få manuelle pejlinger. Derudover er der 19 indtag af de 159 indtag, hvor de indrapporterede data kun går til primo november. Her formodes det dog umiddelbart, at data fra november og december blot ikke er indberettet til GEUS på tidspunktet for udtrækket (medio 2018).



Figur 18. Beliggenhed af de 159 stationer, der indgik i Det nationale Pejlenet 2017, inklusiv de 5 regionale indikator pejestationer med lange tidsserier.

Udvikling af grundvandsstanden

Grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand afhænger af balancen mellem grundvandsdannelsen fra nettonedbøren (nedbør minus fordampning, se appendiks 3) og mængderne af oppumpet grundvand til forskellige formål, se kapitel 3.1. De seneste 100 år har årsnedbøren i Danmark været stigende, se appendiks 3, Figur 73.

I 2017 faldt der på landsplan 849 millimeter nedbør, hvilket er 137 millimeter eller 19 % over normalen (1961-90; 712 mm), og 57 millimeter eller 7 % over det seneste tiårs-gennemsnit (2006-2015; 792 mm). Således blev 2017 et relativt vådt år (det 10. vådeste registreret til dato). I modsætning hertil var 2016 relativt tør med en samlet nedbør på blot 701 mm. Især var efteråret 2016 og vinterperioden 2016-2017 tør. Her faldt 107 mm (26 %) mindre end gennemsnittet for efterår og vinter i perioden 2006-2015 (DMI's hjemmeside).

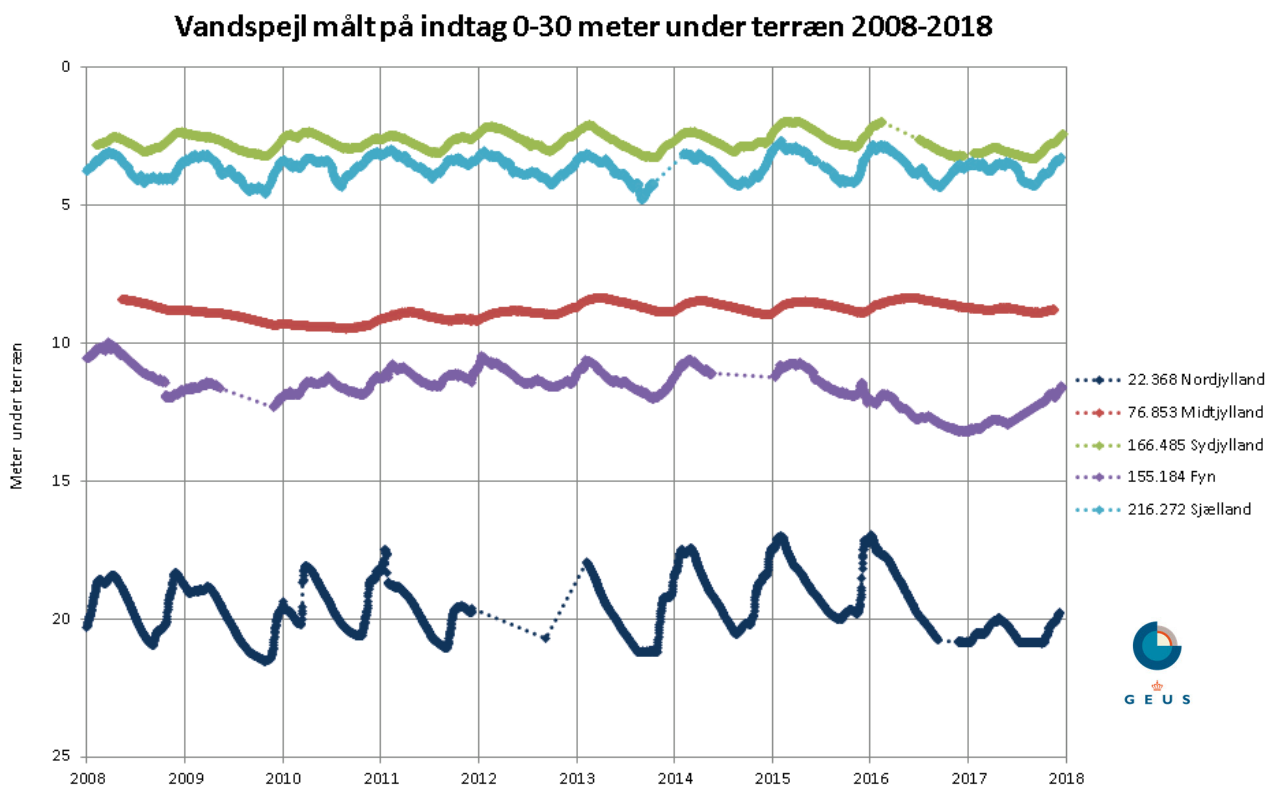
For at forstå udviklingen i grundvandets mængdemæssige forhold er det vigtigt at skelne mellem effekter fra ændret oppumpning og ændringer i nettonedbør og grundvandsdannelse. Således er effekterne af variationer i klima og nedbør et af fokuspunkterne i pejleprogrammet. Da disse forventes at kunne spores først i de overfladenære grundvandsmagasiner, har der i de forudgående afrapporteringer været særlig fokus på vandstandsudviklingen i disse magasiner.

På baggrund af en analyse af pejeseriernes kvalitet (Thorling mfl. 2016) blev der udpeget fem lange, repræsentative tidsserier for terrænnære indtag (0-30 m u.t.), se Figur 18:

- 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).

Vandstandsvariationerne i disse borer i perioden 1960-2015 er beskrevet i Thorling m. fl (2016). Analysen af de lange pejletidsserier viser bl.a. effekten af 2 tidligere tørkeperioder i hhv. 1975-76 og 1996. Endvidere blev der set eksempler på, at vandstanden er steget med op til 1-2 m siden 2000, formodentlig som følge af den øgede nedbør.

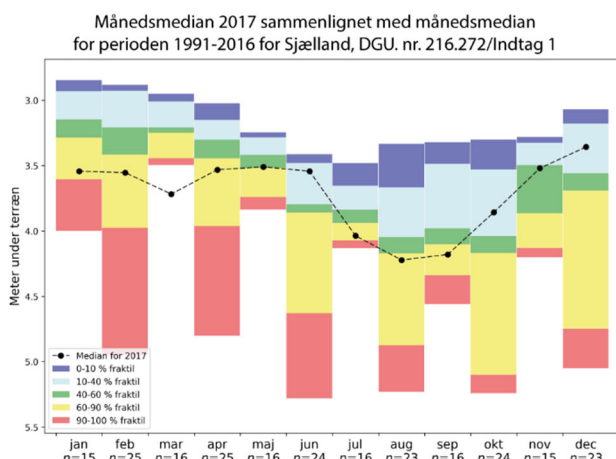
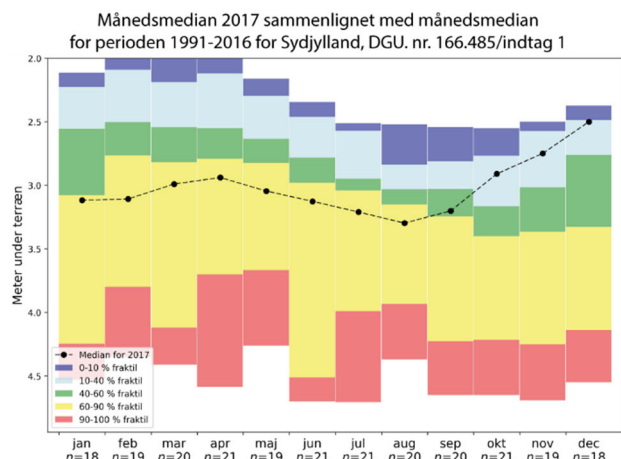
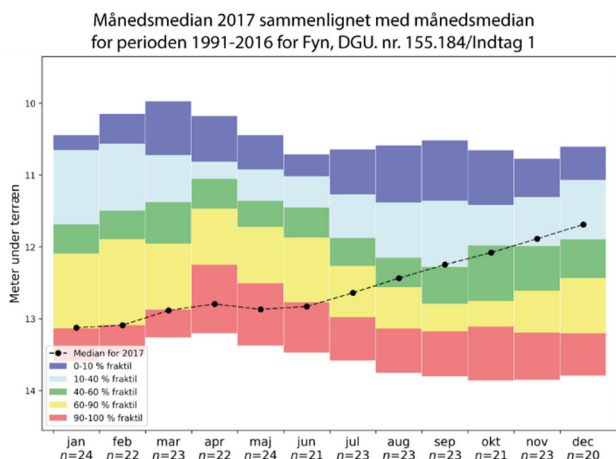
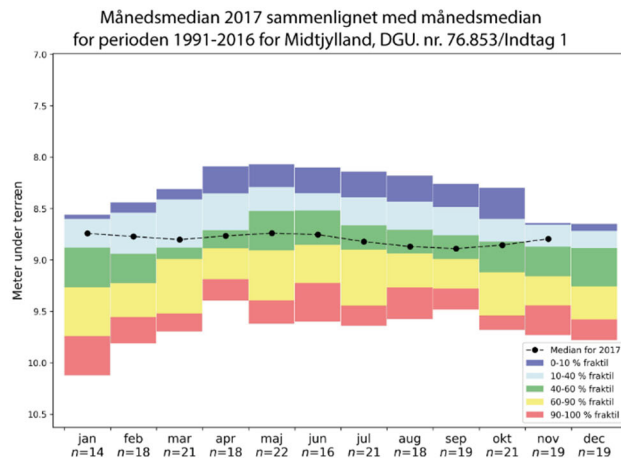
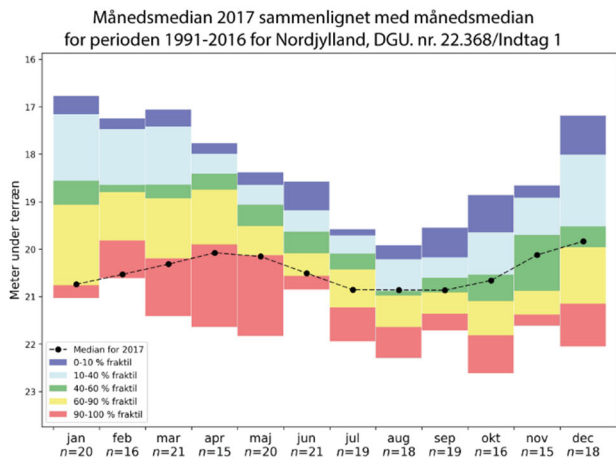
Figur 19 viser pejleserierne for disse 5 indtag i perioden 2008-2017. For samtlige de udvalgte serier ses en tydelig en reduktion i den karakteristiske 'vintertop' i sen vinter 2017 i forhold til begyndelsen af de fire forudgående år, hvilket formodentlig skyldes en mindre grundvandsdannelse i den forholdsvis tørre periode fra september 2016 til og med februar 2017, se ovenstående.



Figur 19. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) i udvalgte regionale borer, 2008-2018, Se Thorling m. fl. 2016, for en samlet beskrivelse af udviklingen 1960-2015.

Figur 20 viser en analyse af, hvordan vandstanden i de 5 udvalgte borer har udviklet sig i 2017 hen over de enkelte måneder i året i forhold til fordelingen af vandstanden de enkelte måneder i den forudgående periode (1991-2016). De enkelte diagrammer viser for hver måned i 2017 en markering af medianværdien af alle pejlinger i det enkelte indtag. Denne månedsmedian sammenlignes med tidligere data fra samme indtag for hver måned i perioden (1991-2016). Dette gøres ved at illustrere, hvorledes vandstanden tidligere har fordelt sig hen over årets enkelte måneder, idet der hhv. beregnes 0-10, 10-40, 40-60, 60-90 og 90-100 % fraktiler, der er 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 i forhold til den forudgående periode. Diagrammerne findes endvidere i et større format i bilag 1.

Figur 20 viser, at vandstanden for hovedparten af indtagene i begyndelsen af 2017 ligger under det gennemsnitlige niveau for den forudgående periode (1991-2016), samt at de ved udgangen af 2017 (igen) er oppe på et niveau, der ligger på eller over niveauet for de forudgående år (Thorling mfl. 2017).



Figur 20. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) vist som månedsmedian i 2017 sammenlignet med fordelingen af månedsværdier i perioden 1991-2016, 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. n angiver antal år, der indgår i beregningen af månedsfordelingerne. De enkelte diagrammer findes i et større format i bilag 1.

For at vurdere i hvilket omfang det registrerede fald i vandspejlet i begyndelsen af 2017 beskriver en udbredt tendens, er samtlige borer i pejleprogrammet, som har sammenhængende, troværdige målinger af vandstanden inden for de seneste 4 år, undersøgt. Figur 21 viser vandstanden primo 2017 sammenlignet med de forudgående tre år for 83 pejlestationer fordelt over hele landet. Pejleserierne er på baggrund af en kvalitativ vurdering inddelt i tre kategorier.

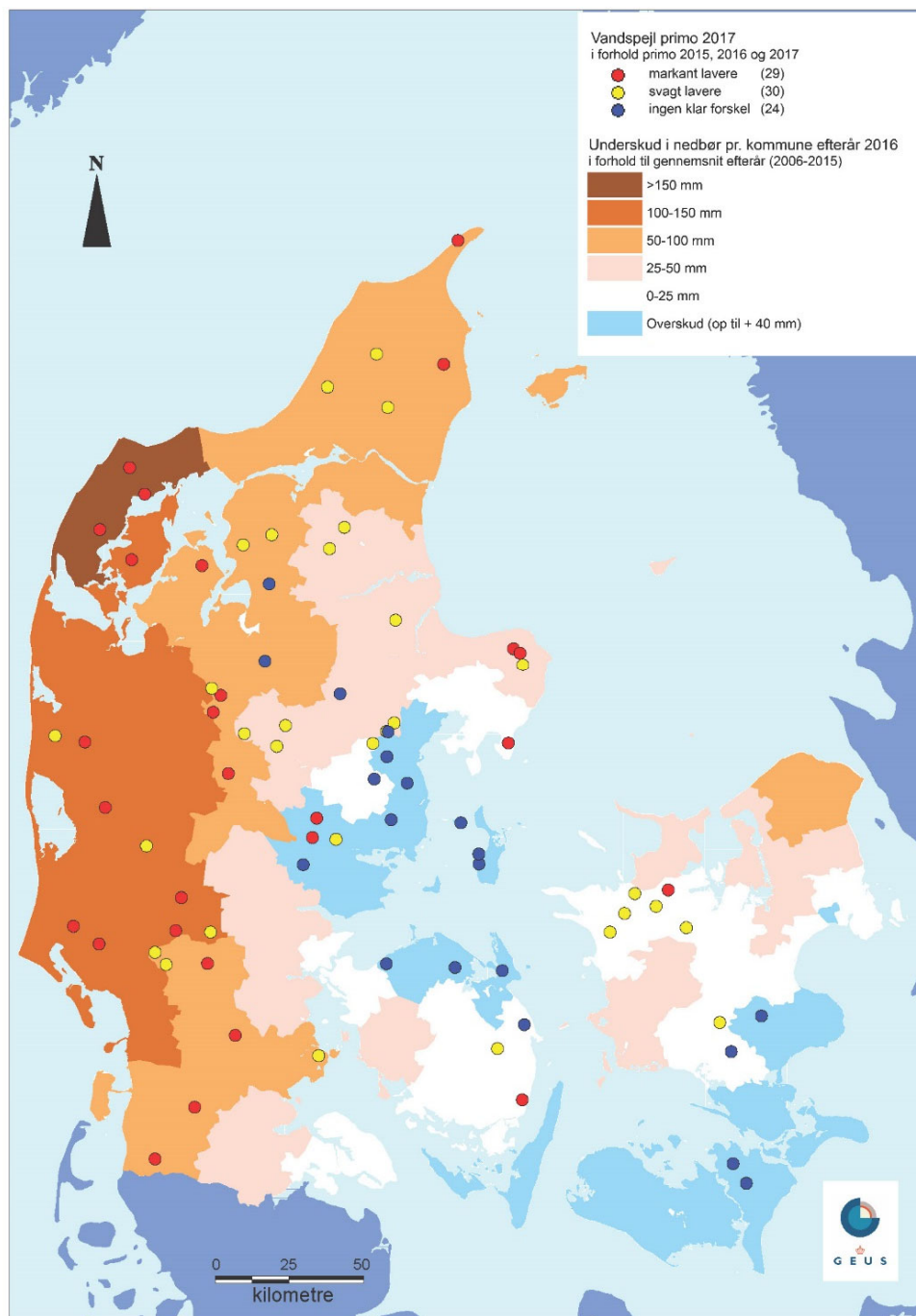
- Pejletidsserier, hvor højeste vandstand i første kvartal af 2017 er væsentlig lavere end ved starten på de tre forudgående år.
- Pejletidsserier, hvor der er en vis begrænset reduktion i vinterens vandstand i forhold til de tre tidligere år og
- Pejletidsserier, hvor der ikke ses nogen entydig reduktion.

Der ses en tydelig reduktion i vandstanden i 29 indtag og en mindre (mere usikker) reduktion i yderligere 30 indtag. Overordnet ses en tendens til, at borer med lavere vandstand primo 2017 end i de forudgående år træffes i det vestlige Jylland, mens borer uden tydelig reduktion i vandstanden primo 2017 findes rundt om Kattegat: i Østjylland, Samsø og Nordfyn, samt på det Sydlige Sjælland og Falster, se Figur 21.

Figur 21 viser til sammenligning desuden en kommunevis opgørelse over nedbøren i efteråret 2016 i forhold til den gennemsnitlige efterårsnedbør i perioden 2006-2015 (Scharling og Cappelen 2016). Det ses, at der i efteråret 2016 især var mindre nedbør i det vestlige Jylland, mens der i området fra Østjylland over Fyn til Lolland-Falster og Sydsjælland faldt normalt til svagt øget nedbør i forhold til den forudgående tiårsperiode.

Der synes således at være en sammenhæng mellem nedbørsfordelingen i efteråret 2016 og vandstanden i de undersøgte pejleboringer primo 2017. Den specielle situation med lavere vandspejl synes dog at have rettet sig i løbet af 2017, som var et relativt vådt år. Effekten af denne kortere periode med ekstraordinære nedbørsforhold synes således udlignet i løbet af et års tid. Om det også vil være tilfældet efter den meget tørre sommer 2018, vil blive vurderet ved næste års afrapportering.

Hvorvidt vandstanden i et indtag påvirkes af en kortere periode med ekstraordinær nedbør vil naturligvis også afhænge af dybden til indtaget, samt om dette sidder i et spændt eller et frit grundvandsmagasin. På figuren i bilag 2 er dybden til toppen af de 83 undersøgte indtag vist for hver af de tre kategorier af indtag. Overordnet ses, at de upåvirkede og de svagt påvirkede indtag træffes i alle dybder, mens hovedparten af de tydeligt påvirkede indtag ligger mindre end 60 m u.t. Der er således tegn på, at effekten af en kortere periode med mindre nedbør som forventet har størst effekt på de mere overfladenære indtag.



Figur 21. Vandspejl i 83 af de nationale pejleindtag primo 2017 (1. kvartal) i forhold til primo 2014, 2015 og 2016. Underskuddet i nedbøren (mm) for efteråret 2016 i forhold til den gennemsnitlige efterårsnedbør i perioden 2006-2015 er opgjort kommunevist.

Referencer: Det Nationale Pejleprogram

Vejledninger mv.

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

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, http://www.miljoportal.dk/myndighed/registrer_dataansvar/Sider/forside.aspx#MyndighedDataansvar (11.01.2019).

Andre referencer:

Henriksen, H., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, L.F. & Trolborg, L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding, GEUS rapport 2014/74 https://www.geus.dk/media/20708/geus-rapport-om-implementering-af-modeller-til-brug-for-vandforvaltning2014_74.pdf (11.01.2019)

Henriksen, H., Stisen, S., Trolborg, L., He, X. & Jørgensen, L.F., 2015: Analyse af øget indvinding til markvanding, GEUS rapport 2015/29. https://www.geus.dk/media/20707/geus-rapport-om-oeget-vandindvinding-til-markvanding29_2015.pdf

Hvid, S. Kolind, 2011: Videncenter for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (11.01.2019)

Scharling, M. & Cappelen, J. (2016): Klimadata Danmark. Kommunale referenceværdier 2006-2015. DMI rapport 16-19 v. 2. https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2016/DMIREP16-19_ver2.pdf

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/media/16124/g03_pejlinger.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 19.dec 2018. www.geus.dk/media/20444/pejledata.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/media/16424/g-o-2010.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/media/16420/g-o-2011.pdf (11.01.2019)

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/media/16359/g-o-2014.pdf (11.01.2019)

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/media/16356/g-o-2015.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L., 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. www.geus.dk/media/18835/grundvand1989-2016-endelig-momslog.pdf (11.01.2019)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (11.01.2019)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (11.01.2019)

EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (11.01.2019)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (11.01.2019)

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, idet nitrat stedvist kun findes tæt på terrænet og andre steder 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:

- Kvælstofudvaskning fra landbrugsarealer
- Nedbørsoverskud (nedbør minus fordampning = nettonedbør)
- Nitratomsætning 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 iltede grundvand muliggør, at der kan tages højde for transporttiden for nitrat fra rodzonen til det iltede grundvand, sådan 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 vandmiljøet. Det skyldes, at nitrat i drikkevandet kan være sundhedsskadeligt, og at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering af vandløb, søer og det marine miljø ved udstrømning til overfladevand. Der er i grundvandsdirektivet fastsat et grundvandskvalitetskrav på 50 mg/l svarende til grænseværdien for indholdet af nitrat i drikkevand i drikkevandsdirektivet. I Danmark er grundvandskvalitetskravet fastsat i bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål, mens drikkevandsbekendtgørelsen fastlægger kravværdien for drikkevand.

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 i form af nationale handlingsplaner siden 1985 og ved udarbejdelse af kommunale indsatsplaner i forbindelse med Den Nationale Grundvandskortlægning. I Danmark er der udarbejdet nitrathandlingsprogrammer gældende for hele landet som led i implementeringen af nitratdirektivet. Derudover er ca. 16 % af Danmarks areal udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder.

4.1 Sammenligning af datasæt

Det samlede datagrundlag

Rapporteringen om nitrat i grundvandet er baseret på 1) det seneste prøvetagningsår (2017) og 2) en periodeopgørelse for den seneste 5-årsperiode (2013-17). 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 (2013-2017). Antallet af prøver i 2017 ligger på niveau med de fire forudgående år, med undtagelse af et større antal nitratanalyser fra grundvandsovervågningen i 2017 i forhold til

de forudgående år, da alle GRUMO-indtag er søgt prøvetaget i 2017 (på nær i redoxboringerne, se appendiks 2).

Prøvetagningsfrekvens

I 2017 stammer de 1.175 nitratanalyser fra prøver fra 1.043 GRUMO-indtag, da 132 indtag er prøvetaget 2 gange. I landovervågningen er der 425 nitratanalyser i 2017, som stammer fra prøvetagning i 94 LOOP-indtag. Prøvetagningsfrekvensen har varieret for LOOP-indtagene siden 2016, idet indtag med nitratholdigt grundvand almindeligvis er prøvetaget seks gange, mens indtag med reduceret nitratfrit grundvand oftest er prøvetaget én gang. I 2017 er der 1.753 nitratanalyser fra prøver fra 1.681 aktive vandværksboringer, hvoraf de fleste indtag er prøvetaget én gang.

I perioden fra 2013-2017 er der analyseret for nitrat i 15.478 prøver fra i alt 7.272 indtag, som stammer fra 1.225 GRUMO-indtag (prøvetaget én til seks gange), 98 LOOP-indtag (prøvetaget én til 31 gange) og 5.949 vandværksboringer (prøvetaget én til 16 gange).

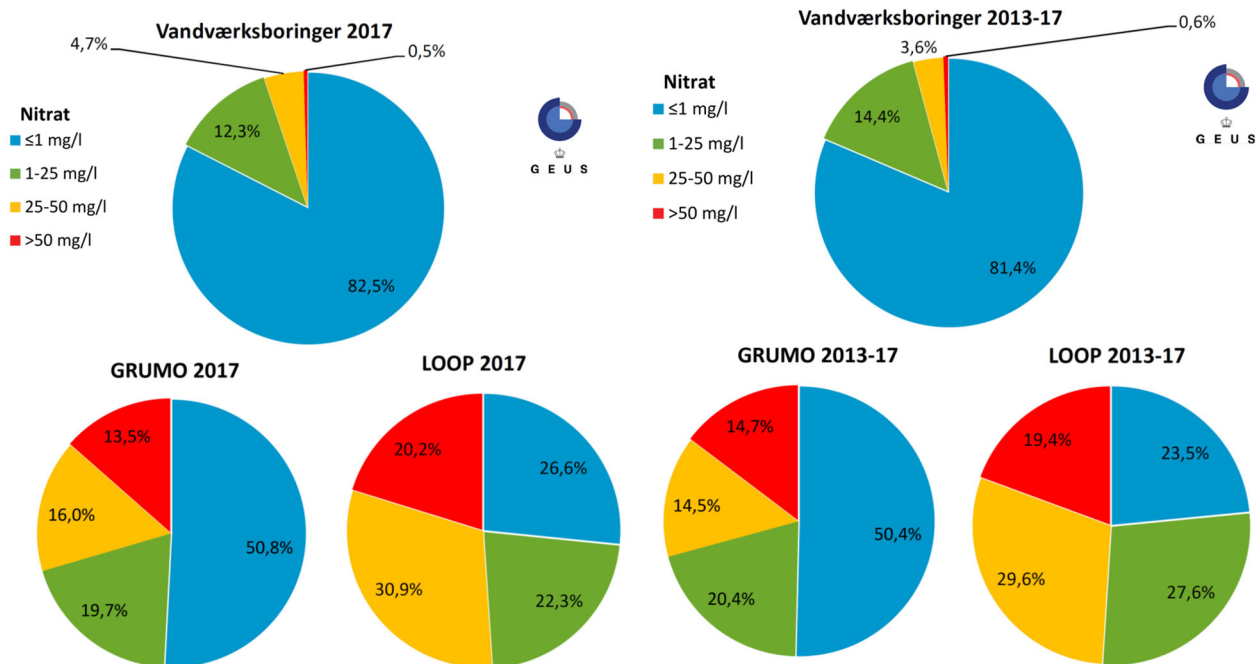
Tabel 7. GRUMO, LOOP & Boringskontrollen. Antal prøver analyseret for nitrat fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og aktive vandværksboringer for hvert år og den samlede periode 2013-2017. I parentes er vist antallet af indtag i hele perioden.

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	I alt
Årstal	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver	Antal prøver
2013	720	455	1.741	2.916
2014	1.001	485	1.734	3.220
2015	744	468	1.734	2.946
2016	775	413	1.855	3.043
2017	1.175	425	1.753	3.353
2013-2017	4.415 (1.225)	2.246 (98)	8.817 (5.949)	15.478 (7.272)

Fordeling af nitrat

Figur 22 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag analyseret i 2017 og i perioden 2013-2017. Nitratindeholdet er opdelt i koncentrationsintervaller for tre grupper af data: LOOP, GRUMO og i vandværksboringer. I 2017 har hhv. 20,2 % og 13,5 % af de prøvetagede LOOP- og GRUMO-indtag et gennemsnitligt nitratindehold over 50 mg/l. For grundvand i vandværksboringer er den tilsvarende andel 0,5 %. I 2017 er der fundet nitratholdigt grundvand med >1 mg/l nitrat i hhv. 73,4 %, 49,2 % og 17,5 % af de prøvetagede indtag i hhv. LOOP- og GRUMO-indtag og vandværksboringer.

Det fremgår af Figur 22, at nitratkoncentrationerne i GRUMO-indtagene ligger på omtrent samme niveau i 2017 sammenlignet med perioden 2013-17. I LOOP-indtagene er flere indtag nitratholdige i perioden 2013-2017 (76,5 %) i forhold til i 2017 (73,4 %). Forskelle i koncentrationsniveauer fra 2017 til perioden 2013-2017 kan skyldes, at alle indtag ikke prøvetages lige hyppigt, men kan sandsynligvis også skyldes variationer i nitratudvaskningen og nettonedbøren fra år til år, som nævnt indledningsvis.



Figur 22. GRUMO, LOOP & Boringskontrollen. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag analyseret i 2017 for 1.043 GRUMO-indtag, 94 LOOP-indtag og 1.681 vandværksboringer og i perioden 2013-17 for 1.225 GRUMO-indtag, 98 LOOP-indtag og 5.949 aktive vandværksboringer.

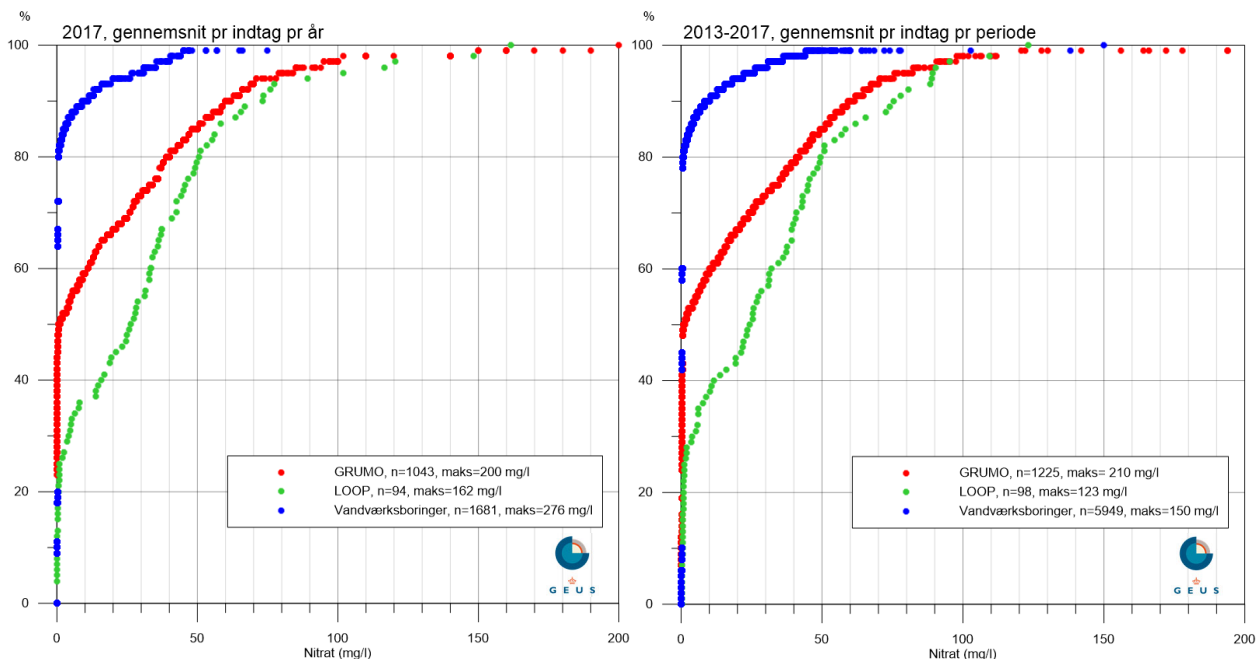
Figur 23 viser et fraktildiagram af fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold på indtagsniveau i grundvandet i 2017 og i perioden 2013-2017 i hhv. GRUMO- og LOOP-indtag og aktive vandværksboringer. Formålet med figuren er at illustrere fordelingen af indtagenes gennemsnitlige nitratindhold i 2017 og i perioden 2013-2017.

Det ses, at der for hver af de tre datagrupper er nogle få indtag med høje nitratkoncentrationer (>50 mg/l). En anden delpopulation af data kan identificeres der, hvor kurverne 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 2017 i hhv. 50,8 %, 26,6 % og 82,5 % af indtagene i hhv. GRUMO- og LOOP-indtag samt i aktive vandværksboringer (se Figur 22).

Forskellene mellem de tre datasæt er hovedsageligt et resultat af forskelle i dybdefordelingen og indtagslængder af indtagene i de forskellige stationsnet (se Figur 24 og Figur 32, samt appendiks 2), og det forhold at GRUMO-indtag og vandværksboringerne monitorer nitratudvaskningen fra et større geografisk område end LOOP-indtagene.

GRUMO- og LOOP data i 2017 adskiller sig først og fremmest ved andelen af nitratfrit grundvand, hvilket, som før omtalt, bl.a. hænger sammen med indtagenes dybdefordelingen. En anden væsentlig forskel er det relativt højtliggende grundvandsspejl i LOOP-indtagene sammenlignet med GRUMO-indtagene. Samlet set vurderes data at være repræsentative for hhv. nitratudvaskningen til det øvre grundvand og nitratfrit grundvand på landsplan.

Fordelingen af nitrat i LOOP- og GRUMO-indtag samt i vandværksboringer lå i 2017 på nogenlunde samme niveau som i den forudgående 5-årsperiode, 2013-2017 (se Figur 22). Dette indikerer, at koncentrationerne i 2017 er repræsentative for det overvågede grundvand, trods variationer i prøvetagningsfrekvens og stationsnet fra år til år.



Figur 23. GRUMO, LOOP & Boringskontrollen. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i grundvandet i 2017 (venstre del af figuren) og i perioden 2013-2017 (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.

4.2 Grundvandsovervågningen

Status for Nitrat

Figur 24 viser fordelingen af nitrat i GRUMO-indtagene i 2017 og i perioden 2013-2017 opdelt på dybdeintervaller á 10 m og i fire koncentrationsklasser (<1, 1-25, 25-50 og >50 mg/l). Tættest på terræn, fra 0-10 m u.t., er nitrat påvist i ca. 65 % af indtagene både i 2017 og i perioden 2013-2017. Koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 17 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 35 % af indtagene i dybdeintervallet 0-10 m u.t. både i 2017 og i perioden 2013-2017.

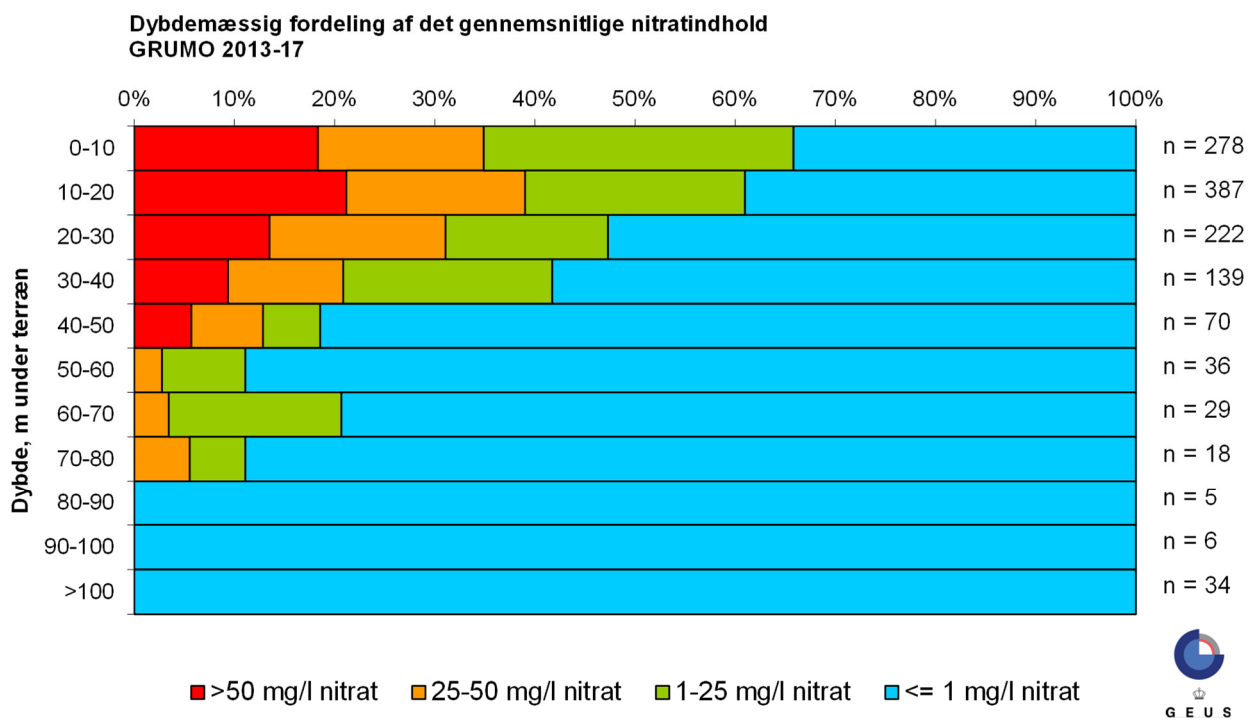
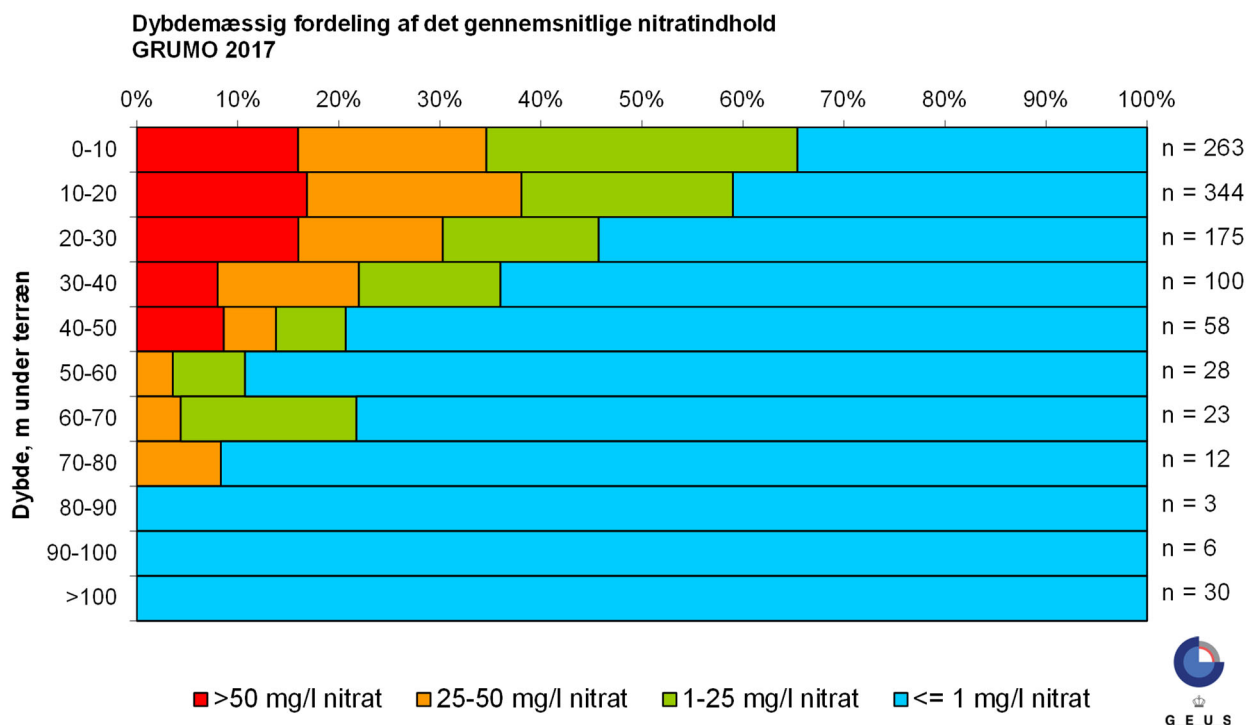
Der ses et gradvist fald i nitratindholdet med dybden med omtrent det samme mønster i 2017 som i perioden 2013-2017. Det gradvise fald, hvor den relative andel af indtag i reduceret grundvand stiger med dybden (andel med nitratkoncentration <1 mg/l), skyldes et samspil af flere faktorer:

1. Kilden til nitrat i grundvandet stammer fra arealanvendelsen, dvs. tættest på terræn
2. Den tidlige variation i nitratudvaskningen og infiltrationstiden til indtaget
3. Nitratreduktion og den dybdemæssige afhængighed af nitratfronten på landsplan (Ernstsen & Platen, 2014)
4. Den ulige fordeling af indtag med dybden (se Figur 24 og Figur 67)

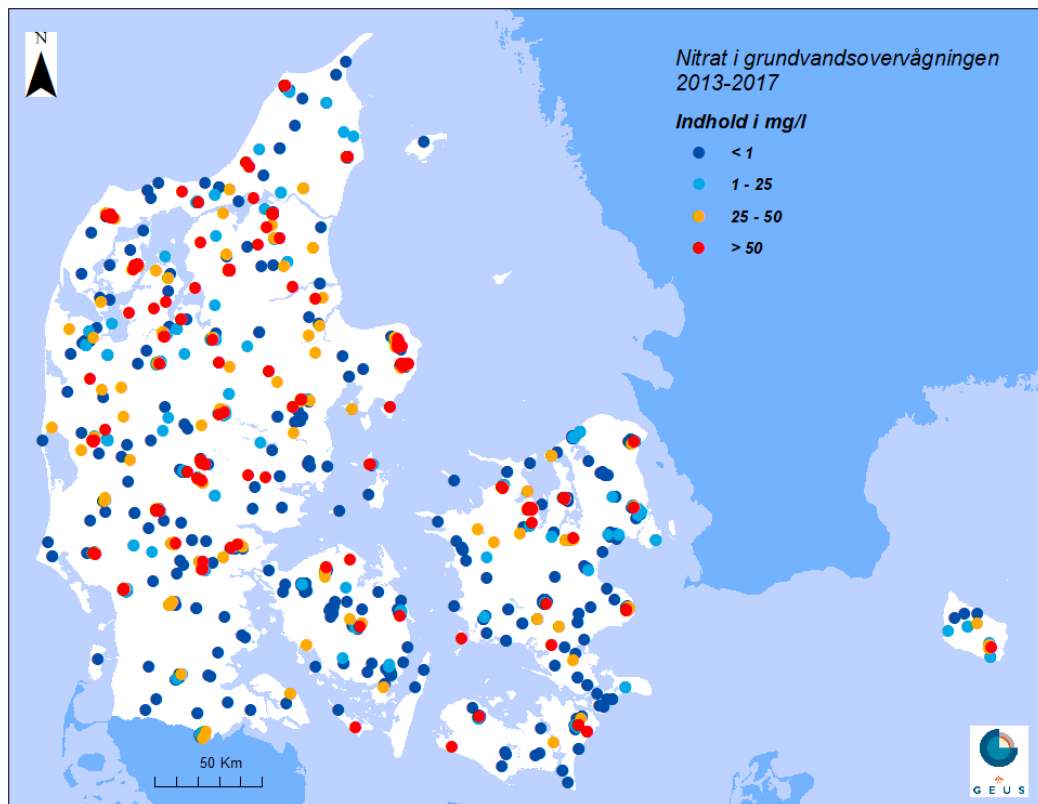
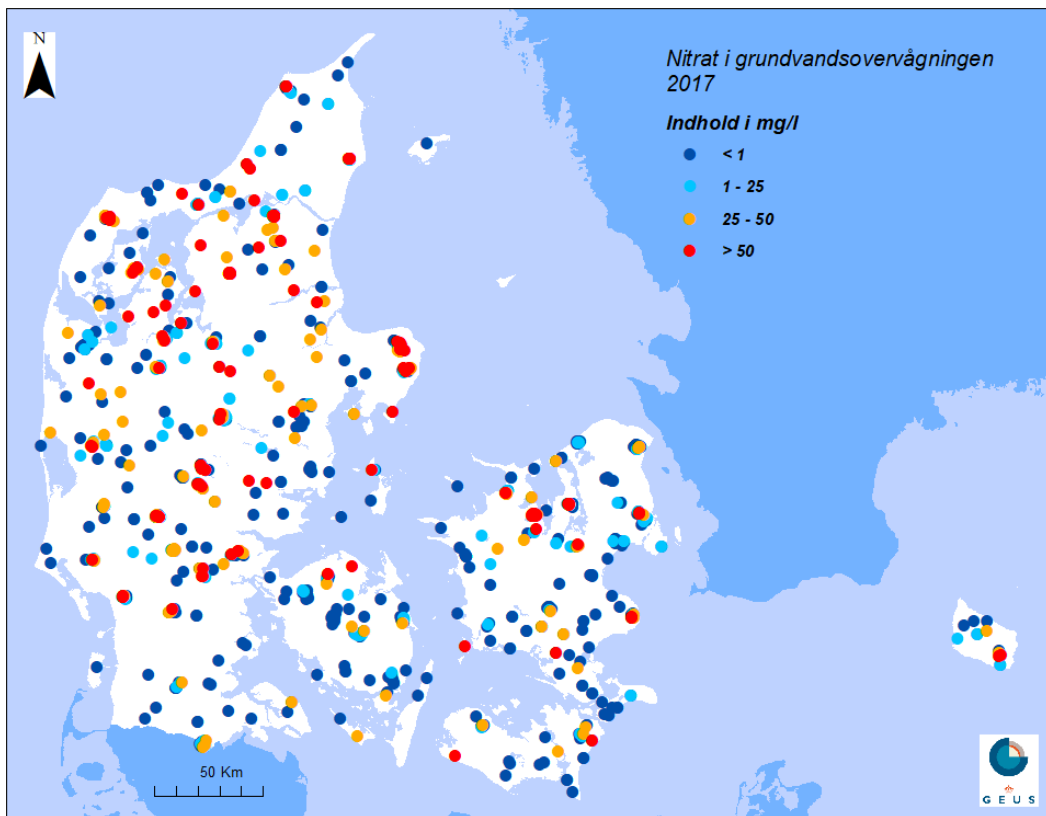
Fra 50 m u.t. er der ingen indtag med et gennemsnitligt nitratindhold over 50 mg/l i GRUMO-indtag i 2017 eller i perioden 2013-2017, og fra omkring 80 m u.t. er nitratkoncentrationen generelt under 1 mg/l. Det skal bemærkes, at antallet af GRUMO-indtag under 50 m's dybde er meget begrænset.

Forskellen i fordelingen af nitrat med dybden i 2017 i forhold til 2013-2017 kan forklares med det forskellige datagrundlag fra hhv. 1.042 og 1.224 GRUMO-indtag. Endelig mangler der information om dybden til ét GRUMO-indtag, som er inkluderet i Figur 22 og Figur 23.

Figur 25 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 1.043 og 1.225 GRUMO-indtag i hhv. 2017 og 2013-2017. Det ses, at nitrat optræder i koncentrationer over kravværdien jævnt fordelt i hele landet.



Figur 24. GRUMO. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i forhold til top af indtag i m u.t. i 1042 og 1224 GRUMO-indtag for hhv. 2017 og 2013-17 og opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren (n).

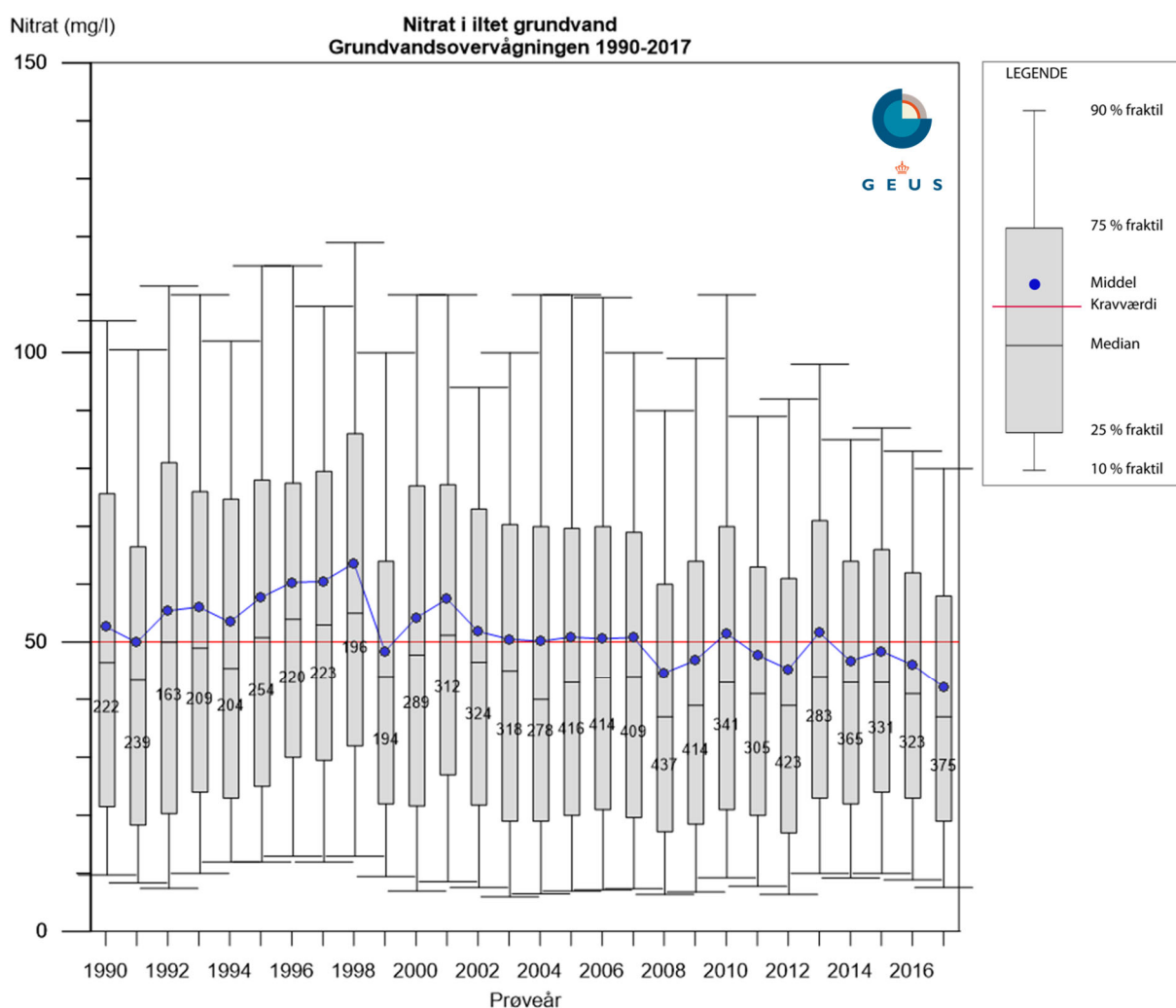


Figur 25. GRUMO. Gennemsnitligt nitratindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag 2017 (øverst) og 2013-2017 (nederst). Nitratindholdet i de hhv. 1.043 og 1.225 indtag er opdelt på fire koncentrationsklasser. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 26 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindehold i GRUMO-indtag fra prøvetagnings-årene 1990-2017. Indtag med iltholdigt grundvand er identificeret ved hjælp af algoritmen i bilag 3 (se også appendiks 3 om grundvandskemi). Figuren er baseret på det årlige gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag. Omkring 36 % (375 indtag) af de prøvetagede GRUMO-indtag i 2017 indeholdt iltholdigt grundvand, mens ca. 49 % (513 indtag) af GRUMO-indtagene indeholdt nitrat. Det iltholdige grundvands nitratindehold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktilerne samt gennemsnitsværdi og kravværdi er vist.

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

Nitratindeholdet 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 nitratsværdier. De højeste median- og gennemsnitsværdier ses i 1996-1998. De sidste 10 prøvetagningsår har gennemsnitsværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand fluktueret omkring kravværdien på 50 mg/l, dog med flest årlige gennemsnitsværdier under kravværdien og en tendens til, at færre indtag viser meget høje koncentrationer (faldende 90 % fraktil). I 2017 er den målte gennemsnitsværdi i det iltholdige grundvand på 42 mg/l og medianværdien på 37 mg/l nitrat, som er det hidtil laveste niveau i overvågningsperioden.



Figur 26. GRUMO. Tidsserie for det iltholdige grundvands nitratindehold i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2017. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag pr. år. Antal af indtag er angivet for hvert år.

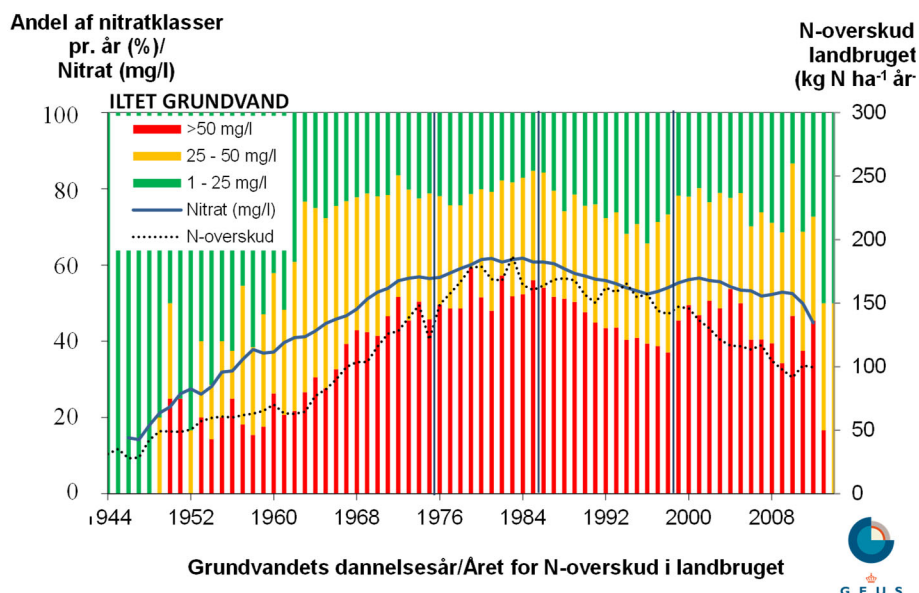
Tidslig udvikling i iltet grundvand

Udviklingen i nitratinholdet i grundvandet vurderes på baggrund af GRUMO-indtag med iltholdigt grundvand sammenholdt med grundvandets dannelsesår. Datering af det iltholdige grundvand bruges til at estimere grundvandets dannelsesår, og dermed nitrattens 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 mfl., 2010a), (Hansen mfl., 2011), (Hansen mfl., 2012) og (Dalsgaard mfl., 2014) blev der præsenteret en trendanalyse af nitratinholdet 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 nitrattrendanalysen kunne gøres større og bedre. I rapporteringen af grundvand 1989-2014 (Thorling mfl., 2015b), 1989-2015 (Thorling mfl., 2016), Hansen & Larsen (2016) og Hansen mfl. (2017) er resultaterne af en ny og større trendanalyse af nitratinhold i iltet grundvand præsenteret, baseret på prøvetagninger fra 1988-2014 med iltet aldersdateret grundvand i 340 indtag.

Figur 27 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 en række af vandmiljøhandlingsplaner. I 1. periode er nitratinholdet kraftig stigende og i 2. periode nås et maksimum omkring det tidligere fundne knæpunkt i 1980 (Hansen mfl., 2011; Hansen mfl., 2012). I 3. periode blev NPo (1985), VMP I (1987) og Handlingsplan for bæredygtigt landbrug (1991) igangsat, mens VMP II (1998), Ammoniak-handlingsplanen (2001), VMP III (2004) og Grøn vækst (2009) er initialiseret i 4. periode.



Figur 27. 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) som funktion af grundvandets dannelsesår. Baseret på 5.506 prøver fra 340 iltede daterede indtag. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten.

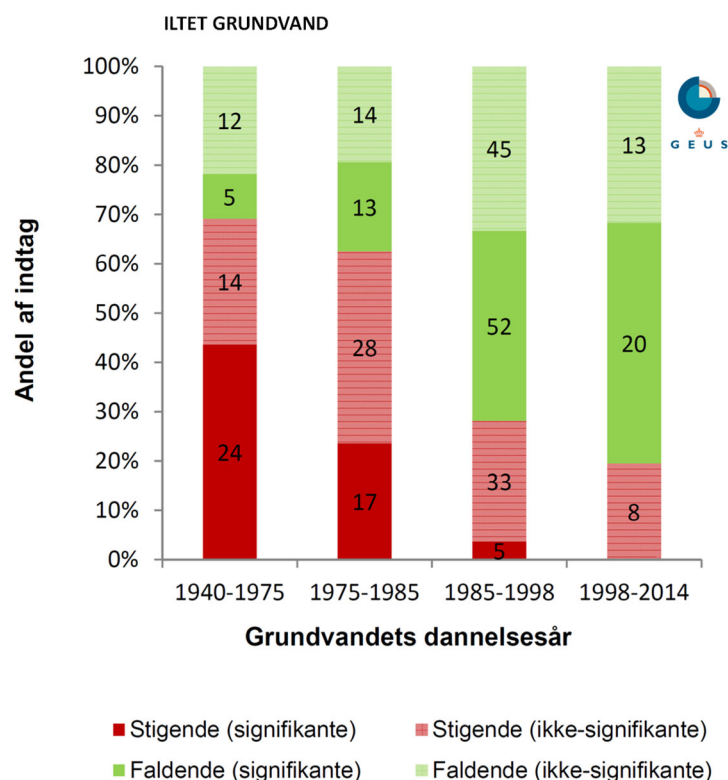
Figur 27 viser også N-overskuddet i dansk landbrug beregnet på baggrund af data fra Danmarks Statistik fra den primære danske landbrugssektor. N-overskuddet er den mængde kvælstof, der ikke udnyttes i landbrugsproduktionen, og som dermed potentielt kan tabes til miljøet fx i form af nitratudvaskning 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; Hansen mfl., 2017).

Udviklingen i nitratkoncentrationen i individuelle GRUMO-indtag med iltet grundvand er undersøgt med en lineær regressionsanalyse af nitrat-tidsserier fra de enkelte indtag. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst otte år i de enkelte delperioder. I alt 303 tidsserier indgår i de fire delperioder i Figur 28 (1940-75, 1975-85, 1985-1998 og 1998-2014), hvilket betyder, at nogle af de 250 indtag går igen i flere delperioder.

En nitrat-trend tolkes som stigende, hvis hældningskoefficienten af regressionslinjen gennem målepunkterne er positiv, og faldende, hvis den er negativ. Figur 28 viser det akkumulerede resultat af de 303 beregnede nitrat-trends fordelt på de fire perioder med både signifikante og ikke-signifikante trends ved et 95 % konfidensniveau.

Figur 28 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 ikke-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 28. GRUMO. Iltet grundvand: nitrat-trends i 303 overvågningsindtag i iltet grundvand i 4 perioder baseret på grundvandets dannelsesår. Analysen inkluderer i alt 3.233 prøver fra 250 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst 8 år. Tallene inden i søjlerne angiver antallet af indtag. Der er vist både signifikante og ikke-signifikante nitrat-trends på 95 % konfidensniveau.

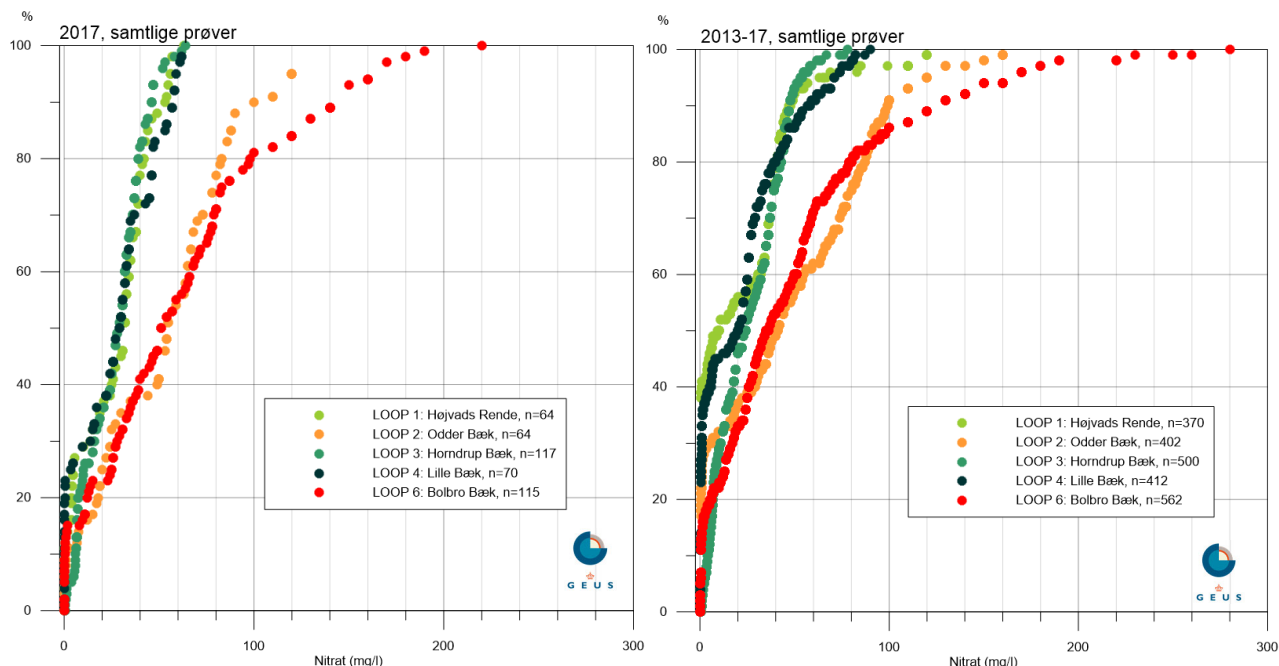
4.3 Landovervågningen

Status for Nitrat

Figur 29 viser fordelingen af nitratkoncentrationen i alle prøver i 2017 og i perioden 2013-2017 i de fem målte LOOP-områder afbildet i et fraktildiagram, ligesom for de samlede fordelinger for alle indtag i LOOP-områderne vist i Figur 23.

Fordelingen af nitratkoncentrationer i 2017 og i perioden 2013-2017 i de 5 målte LOOP-områder har tilnærmelsesvis det samme overordnede forløb. Dette illustrerer, at et enkelt års målinger giver en repræsentativ fordeling sammenlignet med målinger over fem år. Generelt viser Figur 22 og Figur 29, at der i 2017 sammenlignet med perioden 2013-2017 er flere indtag med gennemsnitlige nitratkoncentrationer over 25 mg/l. Dog er der i særligt i lerjordsoplandene (LOOP 1,3,4) generelt færre høje koncentrationer (>60 mg/l nitrat) i 2017 sammenlignet med perioden 2013-2017. Samtidig er der en lavere andel af indtag med nitratholdigt grundvand i 2017 (24 %) sammenlignet med perioden 2013-2017 (27 %) som vist i Figur 22.

Generelt ses en større andel af meget høje koncentrationer i sandjordsoplandene (rødlige signaturer, LOOP 2 og 6) end i lerjordsoplandene (grønne 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 i perioden 2013-2017. Det skyldes dels, at nitratudvaskningen ofte er højere på sandjordene end på lerjordene på grund af forskelle i dyrkningspraksis, flere husdyr og en højere kvælstoftilførsel (Blicher-Mathiesen mfl., 2019), men også at flest indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand.

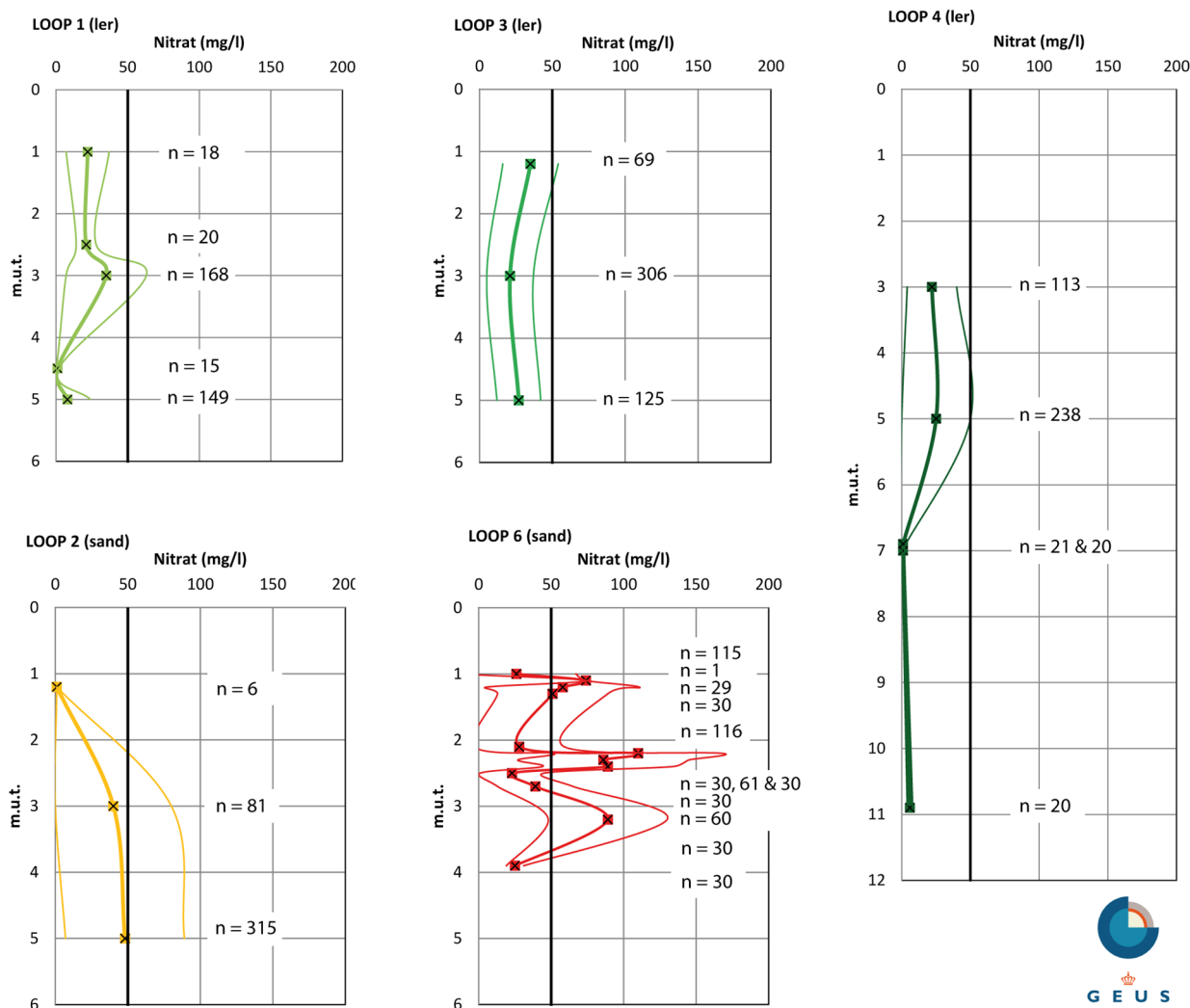


Figur 29. LOOP. Fordelingen af nitratkoncentrationen fra LOOP i samtlige prøver fra 2017 (til venstre) og i perioden 2013-17 (til højre) i de 5 målte LOOP-områder afbildet i et fraktildiagram. Grønne signaturer viser lerjordsoplande: LOOP 1, 3 og 4, mens røde signaturer viser sandjordsoplande: LOOP 2 og 6.

Figur 30 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i LOOP-områderne fra 2013-2017. 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 315 prøver (LOOP 2: indtagstop 5 m u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning omkring den gennemsnitlige nitratkoncentration, og standardafvigelsen er op til 60 mg/l (LOOP 6: indtagstop 2,2 og 2,3 m u.t.).

Figur 30 viser, i overensstemmelse med Figur 29, at nitratkoncentrationerne i sandjordsoplandene er væsentligt 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 terrænet. I LOOP 4 (på Fyn) er der målinger til 11 m u.t. Her viser resultaterne, at nitratfronten ligger mellem 5 og 7 m u.t., da grundvandet er nitratfrit herunder.

I LOOP 2 og 6 (sandjord) og LOOP 1 (lerjord) er der stor variation i nitratindholdet med dybden. Dette 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 30. LOOP. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand i LOOP-indtag opgjort på filterdybder (indtagetets top) i m u.t. for lerjords- og sandjordsoplandene i perioden 2013-2017. Gennemsnittet er baseret på alle målinger i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med tyndere streg. Antallet af målinger (n) er vist for hver dybde.

Tidslig udvikling i iltet grundvand i LOOP

I dette afsnit analyseres udviklingen i nitratindholdet i iltet grundvand i LOOP i prøvetagningsåret, da der er valgt samme tilgang som i GRUMO. I andre sammenhænge rapporteres på basis af hydrologiske år (Blicher-Mathiesen, 2019). Udviklingen i nitratindholdet i det iltholdige grundvand i LOOP-områderne er direkte sammenlignelig med nitratudvaskningen fra rodzonen. Ændringer i nitratindholdet kan dermed bruges til at evaluere indsatserne for at nedbringe kvælstoftabet fra landbruget.

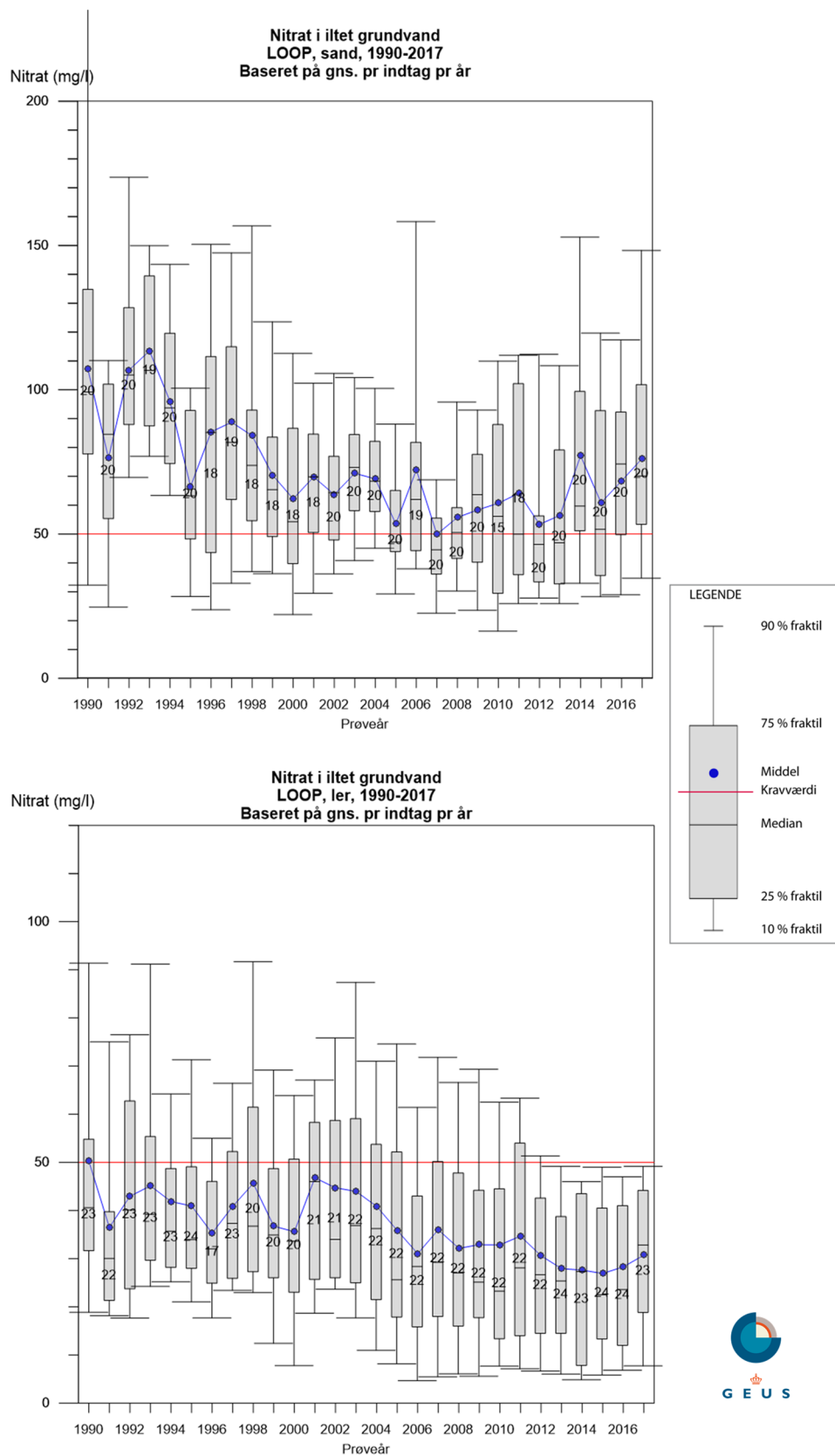
I det terrænære grundvand i LOOP analyseres udviklingen i det iltholdige grundvand som funktion af prøvetagningsåret. Grundvandets dannelsesår anvendes ikke, hvilket skyldes, at datering af tekniske grunde ikke er muligt i grundvandsprøver fra LOOP-indtagene.

Figur 31 viser udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold 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 nitratindhold pr. indtag.

I 2017 overvåges i alt 20 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på sand (LOOP 2: 7 indtag og LOOP 6: 13 indtag) og i alt 23 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på ler (LOOP 1: 2 indtag, LOOP 3: 14 indtag og LOOP 4: 7 indtag), se bilag 3. Disse indtag prøvetages om muligt seks gange om året.

Figur 31 viser, at der er stor spredning i nitratindholdet 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 nitratindhold i grundvandet i sandjordsoplandene end i lerjordsoplandene, således som det også fremgår af Figur 29 og Figur 30. I 2017 er der i det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjordsoplandene hhv. ca. 80 % (16 ud af 20) og ca. 4 % (1 ud af 23) af indtagene, hvor nitratindholdet i gennemsnit ligger over 50 mg/l. Det vil sige, at forskellen mellem nitratkoncentrationer fra ler- til sandjordsoplandene er større i 2017 sammenlignet med tidligere.

På sandjords- og lerjordsoplandene observeres det største fald i nitratkoncentrationerne i første halvdel af overvågningsperioden frem til hhv. år 2000 og 2006. I hele perioden 1990-2017 ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat for alle iltede indtag på sandjordene over kravværdien, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kravværdien. I 2017 ligger det gennemsnitlige nitratindhold på 76 mg/l og 31 mg/l i hhv. sand- og lerjordsoplandene, det vil sige, at nitratindholdet i det iltede grundvand i gennemsnit er mere end dobbelt så højt i sandjordsoplandene som i lerjordsoplandene, hvilket må betegnes som en markant forskel.



Figur 31. 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 1990-2017. Diagrammet er baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag. Antallet af indtag er angivet for hvert år.

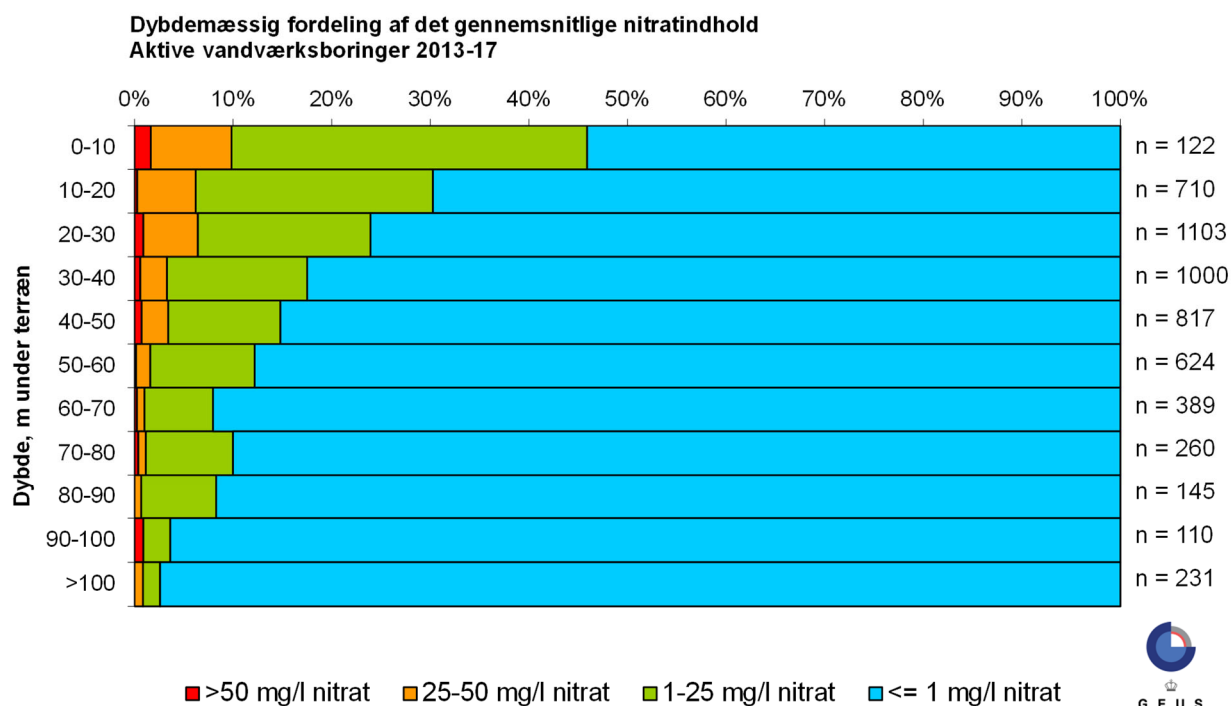
4.4 Vandværksboringer

Status for Nitrat

Figur 32 viser dybdefordelingen af det gennemsnitlige nitratindhold i aktive vandværksboringer i perioden 2013-2017. 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 vandværksboringerne 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 0-10 m u.t. er der påvist nitrat i omkring 46 % af indtagene. Her er koncentrationen af nitrat i grundvandet er over 50 mg/l i omkring 2 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 10 % af indtagene. Der er i perioden 2013-2017 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 90-100 m u.t.

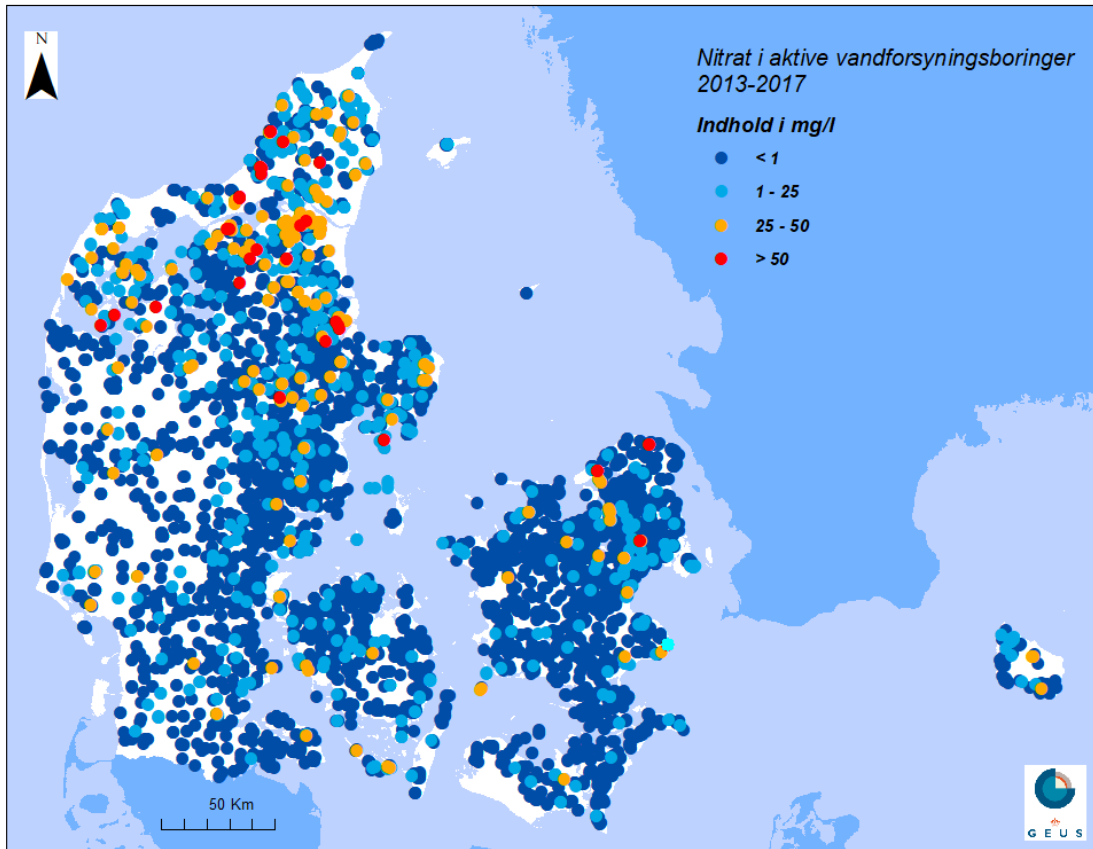
Der ses et gradvist fald med dybden i den nitratholdige andel af grundvandet. Nitrat er i få tilfælde fundet i koncentrationer over 25 mg/l i de dybeste vandværksboringer med top af indtag i en dybde af mere end 100 m u.t. Forklaringen på den større hyppighed af fund af nitrat i dybe indtag i vandværksboringerne, sammenlignet med GRUMO-indtagene, kan være, at indvindingen lokalt trækker nitrat dybt ned i grundvandsmagasinerne. Det kan også forklares ved, at der er flere data i de dybere dele af grundvandet for vandværksboringerne end for GRUMO-indtag, se Figur 67 i appendiks 2.



Figur 32. Boringskontrollen. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i 2013-2017 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.511 indtag med kendt dybde fra aktive vandværksboringer opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Figur 33 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 5.949 vandværksboringer hos aktive vandværker i 5-årsperioden (2013-2017). 36 boringer havde et gennemsnitligt nitratindhold over kravværdien for grundvand og drikkevand i denne periode. Det højeste nitratindhold i perioden var 150 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 vandindvinding er derfor ringere i disse områder end i resten af landet.



Figur 33. Boringskontrollen. Nitratindholdet i grundvandet i 5.949 aktive vandværksboringer fordelt på fire koncentrations-klasser. Kortet er baseret på gennemsnit pr. indtag i perioden 2013-2017. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Referencer: Nitrat

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2019. Landovervågningsoplande 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx

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>. (11.01.2019)

DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

Ernstsen, V. & Platen, F.v., 2014: Opdatering af det nationale redoxkort fra 2006- til brug for den Nationale Kvælstofmodel 2015. GEUS rapport 2014/20.

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. & Thorling, L., 2018. Kemisk grundvandskortlægning. GEO-VEJLEDNING 2018/2. Særudgivelsen fra GEUS. http://www.geusvejledning.dk/2018_2/ (11-1-19)

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) (11-1-19)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/media/16430/g-o-2008.pdf (11.01.2019)

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/media/16359/g-o-2014.pdf (11.01.2019)

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/media/16356/g-o-2015.pdf (11.01.2019)

Links:

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)

5 Pesticider

Indledning

Pesticidkapitlet er opdelt i tre hovedafsnit. Første hovedafsnit omhandler resultater fra NOVANA delprogram grundvandsovervågning (GRUMO). Dernæst behandles resultater fra de almene vandværkers lovpligtige overvågning af aktive vandværksboringer (boringskontrollen). I sidste hovedafsnit rapporteres de seneste resultater for screeninger i grundvandsovervågningen og de nyeste stoffer i boringskontrollen, og resultaterne fra de to programmer sammenlignes.

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 anvendelse på befæstede arealer og ved infrastrukturanlæg. Nogle pesticider anvendes også, eller har været anvendt, som bejdsemidler i såsæd og som biocider fx i maling og træbeskyttelsesprodukter. Dertil kommer udvaskning fra spild og punktkilder fx vaskepladser. Ifølge drikkevandsdirektivet og grundvandsdirektivet er kravværdien for pesticidindholdet i drikkevand og grundvand 0,1 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l. Dette er i Danmark implementeret i drikkevandsbekendtgørelsen og bekendtgørelsen om fastlæggelse af miljømål. Kravværdien på 0,1 µg/l gælder både for anvendelse som pesticid og som biocid. GEUS' erfaring viser, at hvis 'sum-kriteriet' overskrides i ét indtag, vil også kriteriet for mindst ét enkeltstof være overskredet i indtaget. 'Sum-kriteriet' bruges derfor ikke i denne rapport.

Tabel 8 viser, hvilke programlagte pesticider og nedbrydningsprodukter, der indgik i grundvandsovervågningen og boringskontrollens obligatoriske liste i 2017. I grundvandsovervågningen er der analyseret for knap 150 stoffer gennem tiden og i boringskontrollen ved de almene vandværker for mere end 200 stoffer, se bilag 4.4. 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 generelle 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, hvorefter data 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.

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' derfor opgjort hver for sig.

Phenoxysyreherbiciderne (fx 2,4-D, dichlorprop og 2,4,5-T) og deres synteseenheder (fx 4-CPA og 2,6-DCPP) nedbrydes til en række forskellige klorfenoler. Af disse indgår 2,4-diklorfenol og 2,6-diklorfenol i analyseprogrammerne for GRUMO og boringskontrollen. Derudover er en række klorfenoler analyseret i et begrænset antal grundvandsprøver. Klorfenolerne indgår ikke i pesticidopgørelserne i dette kapitel, da klorfenoler kan have andre oprindelser end fra pesticider i det åbne land. Mest kritisk er den tidligere udbredte anvendelse af pentaklorfenol til træbeskyttelse, idet pentaklorfenol kan indeholde lette klorfenoler, eller nedbrydes til lette klorfenoler. Ifølge gældende lov må nogle træbeskyttelsesmidler indeholde op til 1 g/kg pentaklorfenol, og i teknisk pentaklorfenol må indholdet af andre klorfenoler højst være 120 g/kg (Miljøstyrelsen, 2009). Data for 2,4-diklorfenol og 2,6-diklorfenol indgår i kapitel 7 om organiske mikroforureninger.

Nedbrydningsprodukterne ETU og 4-nitrofenol kan også have industrielle anvendelser, men modsat klorfenolerne har de, så vidt vides, ikke haft en anvendelse, der indebærer bevidst spredning i det åbne land. Det forventes derfor, at grundvandsprøver udtaget i det åbne land kun i ringe grad vil være påvirket af

stoffernes industrielle anvendelse. ETU og 4-nitrofenol medtages derfor i beregningerne af pesticidbelastningen.

Tabel 8. Pesticider og nedbrydningsprodukter, der indgik i GRUMO-analyseprogrammet eller boringskontrollen i 2017, sorteret efter administrativ status og stofgruppe. Nedbrydningsprodukter er markeret med *. Stoffer, der er tilføjet GRUMO-analyseprogrammet i 2016 eller boringskontrollen i perioden 2014-2017, er mærket med nyt. Den administrative status er pr. 22. juni 2018. For nedbrydningsprodukter gælder status for moderstoffet. Ud over stofferne i denne tabel indgår 2,4-diklorfenol og 2,6-diklorfenol i både GRUMO-analyseprogrammet og boringskontrollen, men indgår ikke her, da de også kan stamme fra industrielle anvendelser.

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Status	GRUMO	Borings- kontrol	Stofgruppe
Glyphosat	Godkendt	X	X	Organofosfonat, ukrudtsmidler.
AMPA (aminomethyl-phosphorsyre)*	Godkendt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra glyphosat.
Bentazon	Reguleret	X	X	Thiadiazin, ukrudtsmidler.
ETU (ethylthiourea)*	Reguleret	X ^{nyt}	X	Nedbrydningsprodukt fra dithiocarbamat svampemidler, heraf er nogle forbudte (maneb, zineb), andre regulerede (mancozeb). Bruges også i industrielle processer fx vulkanisering.
Dichlorprop/dichlorprop-P	Reguleret	X	X	Phenoxysyre, ukrudtsmidler.
Mechlorprop/mechlorprop-P	Forbudt	X	X	Phenoxysyre, ukrudtsmidler.
2,4-D	Reguleret	X ^{nyt}		Phenoxysyre, ukrudtsmidler.
MCPA	Reguleret	X ^{nyt}	X	Phenoxysyre, ukrudtsmidler.
4-PPP*	Reguleret	X	X	Urenhed i phenoxysyrerne dichlorprop (reguleret) og mechlorprop (forbudt), sandsynligvis også nedbrydningsprodukt fra dichlorprop og mechlorprop.
2,6-DCPP*	Reguleret	X	X	Urenhed fra phenoxysyren dichlorprop (reguleret) og muligvis også fra mechlorprop (forbudt).
Atrazin	Forbudt	X	X	Triazin, ukrudtsmidler.
Hydroxy-atrazin	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Desethyl-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Desisopropyl-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin simazin og formentlig andre chlortriaziner fx cyanazin.
DEIA (desethyl-desisopropyl-atrazin)*	Forbudt	X	X	Triazin. Nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin, simazin cyanazin og formentlig andre chlortriaziner.
Desethyl-hydroxy-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Desisopropyl-hydroxy-atrazin*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre chlortriaziner fx cyanazin.
Didesalkyl-hydroxy-atrazin (hydroxy-DEIA)*	Forbudt	X	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin, cyanazin og formentlig andre chlortriaziner.
Hexazinon	Forbudt	X	X	Triazin (triazinon), ukrudtsmidler.
Metribuzin	Forbudt	X	X	Triazin (triazinon), ukrudtsmidler.
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, ukrudtsmidler.

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Status	GRUMO	Borings- kontrol	Stofgruppe
Hydroxy-simazin*	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra simazin.
Desethyl-terbuthylazin*	Forbudt	X ^{nyt}	X	Triazin, nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin.
4-Nitrophenol*	Forbudt	X	X	Urenhed eller nedbrydningsprodukt fra insektmidler med parathion. Kan også være urenhed i andre midler eller stamme fra industrielle processer.
Metalaxyl/metalaxyl-M	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Acylalanin, svampemidler.
CGA-62826*	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
CGA-108906*	Forbudt	X ^{nyt}	X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
Diuron	Forbudt	X ^{nyt}	X	Phenylurea, ukrudtsmidler.
Dichlobenil	Forbudt	X	X	Benzonitril, ukrudtsmidler.
BAM (2,6-dichlorbenzamid)*	Forbudt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil og chlorthiamid.
2,6-Dichlor-benzosyre*	Forbudt	X	X	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil og chlorthiamid
Desphenyl-chloridazon* (DPC)	Forbudt		X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra pyridazon-ukrudtsmidler med chloridazon
Methyl-desphenyl-chloridazon* (MDPC)	Forbudt		X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra pyridazon-ukrudtsmidler med chloridazon

5.1 Grundvandsovervågningen

Datagrundlag

Der anvendes i dette afsnit pesticidanalyser fra grundvandsovervågningens GRUMO-indtag fra perioden 1990-2017. De samlede opgørelser for hele perioden 1990-2017 indeholder alle indberettede og godkendte prøver for alle undersøgte stoffer frem til udtræksdatoen (7. maj 2018, dvs. inklusiv 29 prøver fra 2018) for at få et så opdateret datasæt som muligt. 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 programlagte stoffer og den periode de har indgået i analyseprogrammerne, er givet i bilag 4.4. Ud over de programlagte stoffer blev der i flere amter udført supplerende analyser i årene op til 2007.

De programlagte stoffer er suppleret med screeningsundersøgelser i udvalgte indtag. I 2013 blev der screenet for metalaxyl og nedbrydningsprodukter herfra, mens der i 2017 blev screenet for desphenylchloridazon (DPC), methyl-desphenylchloridazon (MDPC) og/eller 1,2,4-triazol.

Analyseprogrammet blev i 2016 ændret sammenlignet med den forudgående programperiode (2011-2015), idet alle stoffer, som obligatorisk kontrolleres i vandværkernes boringskontrol samt metalaxyl/metalaxyl-M og deres nedbrydningsprodukter blev tilføjet programmet (Naturstyrelsen og DCE, 2016). I analysepakken for 2017 indgik derfor 11 nye stoffer, hvoraf fem stoffer (2,4-D, diuron, ethylthiourea, hydroxy-simazin og MCPA) tidligere har været med i grundvandsovervågningen (bilag 4.4). Samtidig udgik 8 stoffer: Trikloredikesyre, CYPM (nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin), picolinafen, CL153815 (nedbrydningsprodukt fra picolinafen), 2-hydroxyterbutylazin og 2-hydroxy-desethyl-terbuthylazin (nedbrydningsprodukter fra terbuthylazin), samt PPU og PPU-desamino (nedbrydningsprodukter fra rimsulfuron). 16 af de 34 stoffer i analyseprogrammet tilhører nu gruppen af triaziner, og 6 tilhører gruppen af

phenoxyr. Tilladte stoffer, hvor der ikke senere er indført restriktioner (regulering) på anvendelsen, er kun repræsenteret ved glyphosat/AMPA.

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. De faktiske, gennemførte prøvetagningsfrekvenser for treårs-perioder har siden 2007 været meget varierende for indtag uden pesticidfund i treårs-perioderne (Thorling mfl., 2018). En hovedårsag synes at være årlig prøvetagning af nye indtag i det distribuerede stationsnet.

Metode

Variation 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 indtag, som har været aktive mht. pesticidovervågning. Ca. 55 indtag i naturområder udgør en undtagelse, idet de ifølge programbeskrivelserne kun er prøvetaget én gang pr. 5 år i årene 2011-2016. En tidsperiode på tre år anvendes derfor i mange pesticidopgørelser for at reducere effekterne af de varierende prøvetagningsfrekvenser. Rapporteringen af pesticidbelastningen 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 opgørelsen 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. Der kan forekomme flere stoffer 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.

Over årene har der også været variation i antallet af indtag, som er prøvetaget til pesticidanalyse. Fra 2007 til 2016 har antallet ligget forholdsvis konstant på 630 til 700 indtag, dog med lidt flere i 2007 (800) og lidt færre i 2010 (507) og 2013 (530). I 2017 steg antallet af prøvetagede indtag til 1.046, da Miljøstyrelsen i 2017 gennemførte kontrolovervågning efter overvågningsbekendtgørelsen, hvor samtlige programlagte indtag undersøges for pesticider. Dette omfattede også 126 'hvilende' indtag, som ellers ikke er prøvetaget til pesticidanalyse i de seneste programperioder, og de nye indtag i det distribuerede stationsnet, se appendiks 2.

Datasættet for 2017 afviger derfor markant fra de forudgående år, idet der indgår del-datasæt med meget forskellige egenskaber på grund af de omfattende ændringer af hvilke typer indtag, der er prøvetaget. De generelle opgørelser for alle prøvetagede indtag er derfor i nogle tilfælde suppleret med fundprocenter for udvalgte grupper af indtag.

Status, pesticider i Grundvandsovervågningen

Tabel 9 viser, at der i 2017 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 32,5 % af de prøvetagede indtag, og kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 10,5 % 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 i perioden 2015-2017, hvor næsten alle indtag er prøvetaget mindst én gang. Opgørelsen for 2015-2017 viser, at der i perioden er påvist pesticider mindst én gang i 36 % af indtagene, og mindst én gang over kravværdien i 11,7 % af indtagene. 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, og i screeningsindtag DPC, MDPC og 1,2,4-triazol. Samlede opgørelser for enkeltstoffer i 2017 og for hele monitoringsperioden 1990-2017 fremgår af bilag 6 og 7. Summen af prøver for enkeltårene fra tidligere års udtræk giver 2.801, hvilket er 15 prøver mindre end den samlede opgørelse i perioden 2015-2017 (2.816 prøver). Forskellen skyldes sandsynligvis, at nogle prøver de enkelte år er godkendt senere end dataudtrækket det pågældende år.

Periodeopgørelsen for 2015-2017 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 et 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 koncentrationer vil alle indgå i optællingen i perioden 2015-2017, men kun i nogle af optællingerne for de enkelte år.

Tabel 9. GRUMO. Pesticidfund i GRUMO-indtag vist som antal og procentvis fordeling af 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 i perioden 2015-2017, hvor alle indtag er analyseret mindst én gang. a: Opgørelse uden screeningsstofferne DPC, MDPC og 1,2,4-triazol. b: Kun indtag som er prøvetaget i både 2016 og 2017, med screeningsstoffer. c: Opgørelser uden screeningsstoffer for indtag som er prøvetaget i både 2016 og 2017.

GRUMO	Prøver antal	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2017	1.523	1.046	340	110	32,5	10,5
(2017) ^a	-	(1.045) ^a	(271) ^a	(75) ^a	(25,9) ^a	(7,2) ^a
(2017) ^b	-	(627) ^b	(253) ^b	(85) ^b	(40,4) ^b	(13,6) ^b
(2017) ^c	-	(627) ^c	(212) ^c	(67) ^c	(33,8) ^c	(10,7) ^c
2016	661	661	227	57	34,3	8,6
2015	617	617	220	58	35,7	9,4
2015-2017	2.816	1.087	391	127	36,0	11,7

Effekt af screeninger. I fundandelene for 2017 indgår data fra screeningsundersøgelser for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol i udvalgte indtag. Når der ses bort fra screeningsstofferne, er der påvist pesticider i 25,9 % af de 1045 indtag, med overskridelse af kravværdien i 7,2 % af indtagene (Tabel 9). Analyseprogrammet i 2016 og 2017 var det samme, når der ses bort fra screeningsstofferne. En sammenligning mellem 2016 og 2017 uden screeningsstoffer viser, at andele for fund og for overskridelser af kravværdien var betydeligt lavere i 2017 end 2016, idet der blev påvist pesticider i henholdsvis 25,9 % og 34,3 % af indtagene og overskridelse af kravværdien i hhv. 7,2 % og 8,6 % (se Tabel 9). Der kan være en række årsager til, at fundandelene afveg fra det forventede i 2017. For det første blev der i 2017 inddraget 126 'hvilende' indtag, det vil sige indtag, som ikke var en del af prøvetagningsprogrammet for pesticider i årene 2011-2016. For det andet blev der i 2017 etableret nye indtag som led i udbygningen af det distribuerede stationsnet.

Effekt af 'hvilende' indtag. I de 126 'hvilende' indtag blev der i 2017 påvist pesticider i 22 indtag (17,3 %) med overskridelse af kravværdien i 7 indtag (5,6 %). De samlede fundprocenter er altså betydeligt lavere i de gen-inddragede 'hvilende' indtag sammenlignet med det samlede stationsnet i 2017 og de indtag, der blev prøvetaget i 2016. 31 'hvilende' indtag blev screenet for DPC, MDPC og/eller 1,2,4-triazol. Mindst et af disse stoffer forekom i 12 indtag (38,7 %) og kravværdien var overskredet i 6 indtag (19,4 %). 12 indtag (9,5 %) indeholdt i 2017 mindst et af stofferne fra det programlagte analyseprogram og kravværdien var overskredet i 1 indtag (0,1 %).

Indtag prøvetaget i både 2016 og 2017. Tabel 9 viser også 2017-fundandele opgjort for de indtag, som blev prøvetaget i både 2016 og 2017. For disse indtag var fundandelen i 2017 (40,4 %) og andelen med overskridelser af kravværdien (13,6 %) betydeligt højere end de forudgående års fundandele. Dette skyldes, at udvalgte indtag blev screenet for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol, som er stoffer med meget høj forekomst, og som ikke indgik i undersøgelserne i 2016. Det skal bemærkes, at forskellen sandsynligvis ville have været betydeligt større, hvis alle indtag var testet for disse stoffer i 2017. Hvis man beregner 2017-fundandele for indtag, der er prøvetaget begge år, samt udelader screeningsundersøgelserne, var andelen af indtag med fund stort set den samme i 2017 (33,8 %) og 2016 (34,3 %). Andelen med overskridelser af kravværdien var derimod lidt højere i 2017 (10,7 %) end 2016 (8,6 %), hvilket kan skyldes at 34 indtag udgik af prøvetagningen fra 2016 til 2017.

Effekt af etableringsår. Tabel 10 viser pesticidfund i 2017 opgjort efter indtagenes etableringsår. Indtagene i det distribuerede stationsnet (etableringsår 2011-2017) havde lavere fundandele end indtag etableret før 2011. BAM og DEIA er de to hyppigst påviste stoffer, hvis man ser bort fra screeningsstofferne. For BAM og DEIA var forskellene størst mellem de senest etablerede indtag og indtag etableret før 2011. Tabel 11 viser, at fundandelen var 6,5 % for BAM i indtag etableret i 2017 sammenlignet med 13,2 % i indtag etableret før 2011.

Tabel 12 viser tilsvarende, at fundandelene for DEIA var 2,4 % i indtag etableret i 2017 sammenlignet med 9,9 % i indtag etableret før 2011. Indtagene i det 'gamle' stationsnet og indtagene i det nyetablerede, distribuerede stationsnet har altså meget forskellige pesticidbelastninger. I opgørelserne indgår kun indtag, som er analyseret for alle stoffer i analyseprogrammet. To indtag indgår ikke, fordi de kun er analyseret for enkelte stoffer. I gruppen af 'gamle' indtag indgår også de 126 'hvilende' indtag etableret før 2011, som generelt indeholdt pesticider i begrænset omfang. En del af indtagene etableret i 2017 findes i boringer med to indtag. I ca. 10 af disse boringer forventes det øverste indtag at udgå i de kommende år, og det vil fremover kun være det dybeste indtag, der prøvetages til pesticidanalyse. Dette må forventes at øge forskellen på 'nye' og 'gamle' indtag, se i øvrigt appendiks 2.

Tabel 10. GRUMO. Pesticidfund i 2017 opgjort efter indtagenes etableringsår. Opgørelsen dækker alle pesticider analyseret i 2017 inklusiv screening for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). Det distribuerede Stationsnet blev etableret i perioden 2011-2017. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

Alle pesticider	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Indtag alle	1.044	340	110	32,6	10,5
Indtag etableret 2017	123	26	9	21,1	7,3
Indtag etableret 2011-2017	310	68	22	21,9	7,1
Indtag etableret før 2011	734	272	88	37,1	12,0

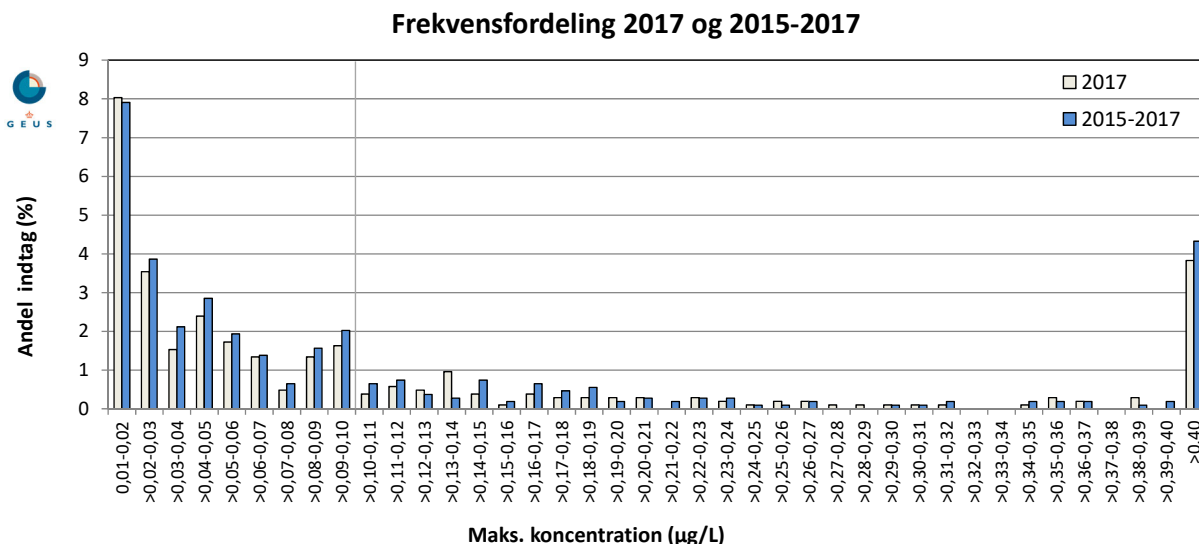
Tabel 11. GRUMO. BAM-fund i 2017 opgjort efter indtagenes etableringsår. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) i 2017. Det distribuerede Stationsnet blev etableret i perioden 2011-2017

BAM	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Indtag alle	1.044	123	38	11,8	3,6
Indtag etableret 2017	123	8	2	6,5	1,6
Indtag etableret 2011-2017	310	26	8	8,4	2,6
Indtag etableret før 2011	734	97	30	13,2	4,1

Tabel 12. GRUMO. DEIA-fund i 2017 opgjort efter indtagenes etableringsår. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) i 2017. Det distribuerede Stationsnet blev etableret i perioden 2011-2017.

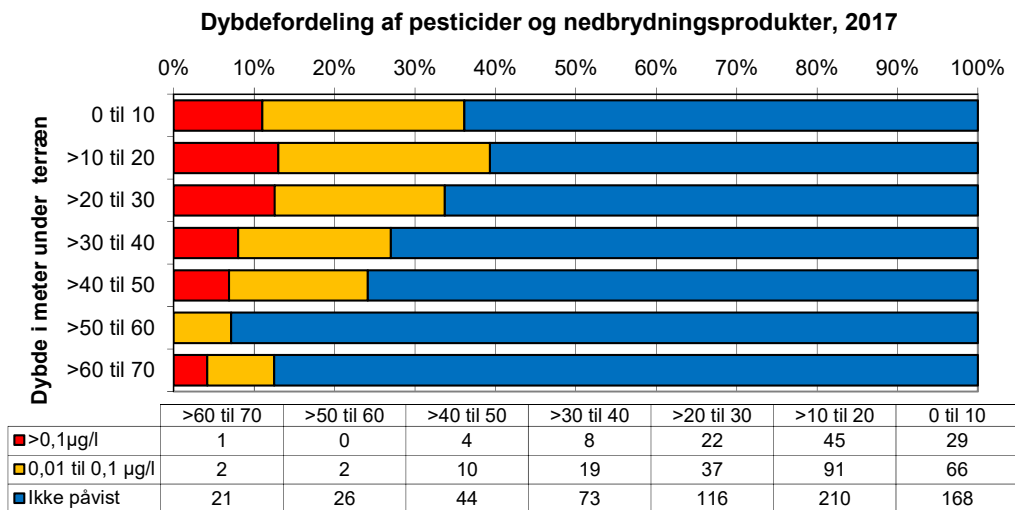
DEIA	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Indtag alle	1.044	87	13	8,3	1,2
Indtag etableret 2017	123	3	1	2,4	0,8
Indtag etableret 2011-2017	310	14	1	4,5	0,3
Indtag etableret før 2011	734	73	12	9,9	1,6

Frekvensfordeling. Figur 34 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordeles sig i opgørelsen for 2017 og i perioden 2015-2017. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i 2017 eller i perioden 2015-2017. Fundandelen angiver, hvor mange procent af indtagene, der indeholdt pesticider for hvert koncentrationsinterval. Det ses af Figur 34, at fundandelen aftager hurtigt med stigende koncentration, men der er samtidig en 'lang hale' af fund over kravværdien.

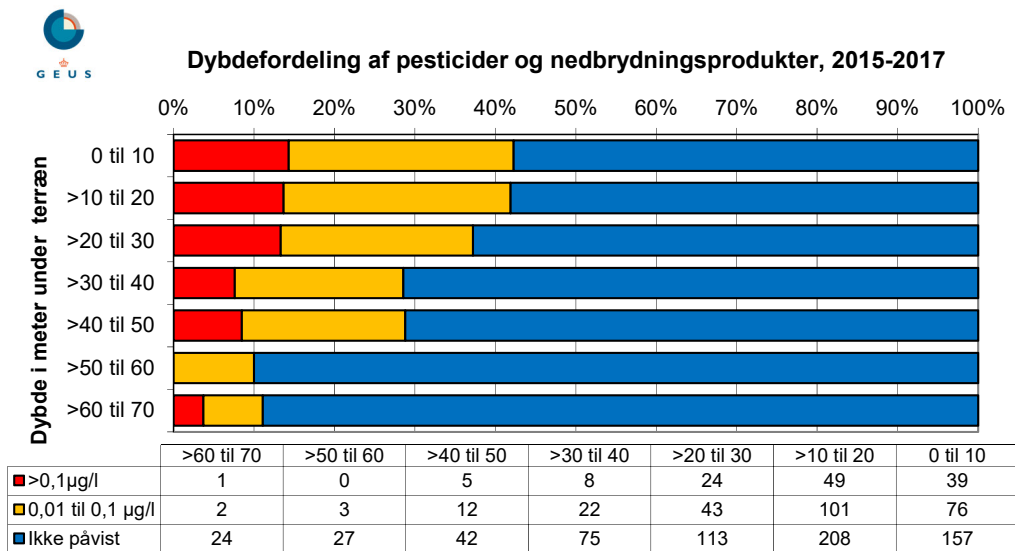


Figur 34. GRUMO. Frekvensfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjort for GRUMO-indtag prøvetaget i 2017 og i perioden 2015-2017. Kravværdien på 0,1 µg/l er markeret med en lodret linje. I 2017 blev der ikke påvist pesticider i 68 % af de undersøgte indtag, i perioden 2015-2017 blev der ikke påvist pesticider i 64 %. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

Dybdefordeling. Figur 35 viser pesticidernes forekomst i forskellige dybder. For indtag under 70 m u.t. er der for få prøver til at give en meningsfuld fordeling på de tre koncentrationsklasser. Dybdefordelingerne for 2017 og 2015-2017 ser anderledes ud end de tilsvarende figurer i forudgående rapport, idet fundandelene nu generelt falder med dybden. Der er ikke længere en top med større fundandele i dybderne 10-40 m u.t. Denne forskel ses tydeligst for periodeopgørelsen for 2015-2017. Forskellen skyldes sandsynligvis en kombination af mange nye indtag i opgørelsen (nyetablerede indtag og geninddragelse af 'hvilende' indtag) og screeningsundersøgelse for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol i udvalgte indtag. Man må forvente, at dybdefordelingerne i de kommende år vil se væsentlig anderledes ud, idet kun få indtag var screenet for DPC, MDPC og 1,2,4-triazol frem til dataudtrækket, og ingen indtag var analyseret for det senest identificerede problemstof N,N-dimethylsulfamid (DMS).



Antal indtag



Antal indtag

Figur 35. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag, der er analyseret i 2017 og perioden 2015-2017. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, 0,01-0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

'Nye' stoffer i Grundvandsovervågningens analyseprogram

Der blev i 2017 undersøgt for 11 'nye' stoffer, som blev tilføjet analyseprogrammet i 2016, hvoraf de fire tidligere har indgået i analyseprogrammet for grundvandsovervågningen (bilag 4.4). Tabel 13 viser opgørelser for disse stoffer enkeltvis og samlet for de 11 stoffer. Metalaxyl og nedbrydningsprodukterne CGA 62826 og ethylenthiourea var de eneste 'nye' stoffer, som overskred kravværdien. Det hyppigst fundne 'nye' stof var CGA 62826, som blev påvist i 1,8 % af de undersøgte indtag. Hydroxysimazin var det eneste 'nye' stof, som ikke blev påvist i 2017. De 'nye' stoffer blev fundet enkeltvis i indtagene, bortset fra seks indtag, der indeholdt metalaxyl nedbrydningsprodukterne CGA 62826 og CGA 108906 eller CGA 62826 og moderstoffet metalaxyl. I grundvandsovervågningen blev der derudover screenet for tre 'nye' stoffer (DPC, MDPC og 1,2,4-triazol) i et begrænset antal udvalgte indtag. Screeningsundersøgelsesresultater afrapporteres sidst i dette kapitel.

Tabel 13. GRUMO. Forekomst af 11 'nye' stoffer i det generelle analyseprogram i 2017. 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 2017. Data fra screeninger indgår ikke i beregningerne.

11 'nye' stoffer 2017	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	1.175	1.044	37	6	3,5	0,6
CGA-62826*	1.175	1.044	19	4	1,8	0,4
Hydroxy-atrazin*	1.175	1.044	4	0	0,4	0,0
Metalaxyl	1.175	1.044	4	1	0,4	0,1
CGA-108906*	1.175	1.044	4	0	0,4	0,0
Ethylenthiourea	1.175	1.044	4	2	0,4	0,2
MCPA	1.175	1.044	3	0	0,3	0,0
Desethyl-terbutylazin*	1.175	1.044	2	0	0,2	0,0
2,4-D	1.175	1.044	1	0	0,1	0,0
Desamino-metribuzin*	1.175	1.044	1	0	0,1	0,0
Diuron	1.175	1.044	1	0	0,1	0,0
Hydroxy-simazin*	1.175	1.044	0	0	0,0	0,0

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 2017-analyseprogrammet er vist i Tabel 8. Med den seneste ændring af analyseprogrammet repræsenteres de godkendte stoffer fortsat blot af glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Glyphosat/AMPA er imidlertid ikke repræsentative for de mange vidt forskellige godkendte stoffer. Godkendte stoffer er derfor ikke opgjort særskilt, men derimod sammen med de regulerede stoffer, der tilsammen udgør gruppen tilladte stoffer, for at vise udviklingen i tilladte stoffer, dvs. stoffer der har en lovlig anvendelse i dag. Fund af regulerede stoffer kan skyldes en tidligere anvendelse, der ikke længere er godkendt, fx efterårsanvendelse eller en høj dosering.

Tabel 14. GRUMO. Forekomst af tilladte og forbudte pesticider i perioden 2015-2017. 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 2007-2017 kan ses i bilag 7. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

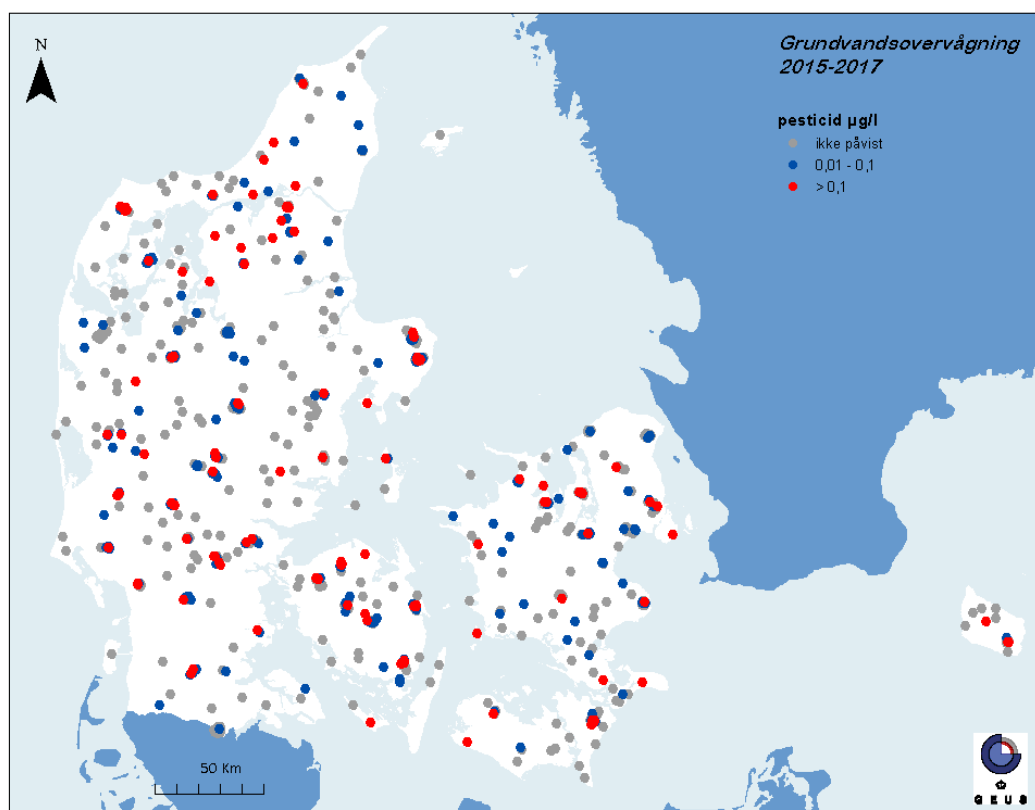
2015-2017	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	1.086	64	17	5,9	1,6
Forbudte stoffer	1.086	296	78	27,3	7,2

Tabel 14 viser fordelingen af tilladte og forbudte stoffer opgjort i perioden 2015-2017. Kun stoffer fra Tabel 8 indgår i opgørelserne i Tabel 14. Mindst ét tilladt pesticid eller nedbrydningsprodukt blev fundet mindst én gang i 5,9 % af de undersøgte indtag, mens kravværdien på 0,1 µg/l var overskredet mindst én gang i 1,6 % af indtagene. Forbudte pesticider og deres nedbrydningsprodukter blev fundet mindst én gang i 27,3 % af indtagene med en overskridelse af kravværdien i 7,2 % af indtagene. Forbudte stoffer

blev dermed fundet hyppigere end de tilladte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør langt den største andel af stoffer i analyseprogrammet. Dertil kommer, at forbudte stoffer optræder i grundvandet i mange år efter at anvendelsen forbydes. Fundandelene var betydeligt lavere i perioden 2015-2017 end tidligere opgørelser, hvilket sandsynligvis skyldes de mange nye indtag (nyetablerede indtag og geninddragelse af 'hvilende' indtag), som havde lave fundandele.

Geografisk fordeling af pesticider i Grundvandsovervågningen

Figur 36 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag i perioden 2015-2017, hvor de fleste programlagte indtag er prøvetaget mindst én gang. Figur 36 viser, at der er påvist pesticider over- og under kravværdien i hele landet. 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.

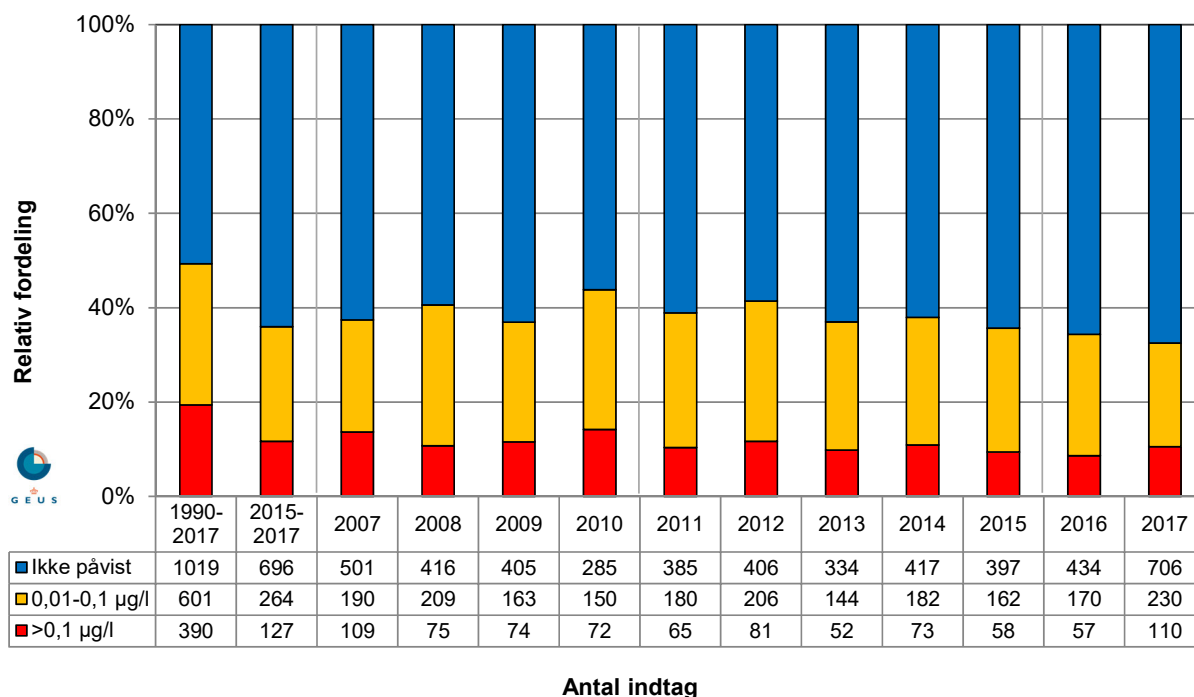


Figur 36. GRUMO. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandsovervågningen i perioden 2015-2017 (1.087 GRUMO-indtag). Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), ét pesticid er påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Udviklingstendenser i Grundvandsovervågningen

Figur 37 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 2011, men med nogen variation fra år til år. Fra 2012 og fremefter har der været en faldende tendens på trods af meget høje fundprocenter for screeningsstofferne DPC, MDPC og 1,2,4-triazol, som er undersøgt i udvalgte indtag i 2017 (se afsnit 5.3). Den faldende tendens skyldes formodentlig, som omtalt ovenfor, se fx Tabel 10, etableringen af det distribuerede stationsnet og i 2017 også geninddragelse af 'hvilende' indtag, begge grupper af indtag med generelt lave fundandele. Periodeopgørelser for 1990-2017 og 2015-2017 er vist til sammenligning med enkeltårene. I hele overvågningsperioden 1990-2017 er der påvist pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i 49,3 % af de 2010 undersøgte indtag, hvoraf der i 19,4 % var mindst én overskridelse af kravværdien.

Fordeling af indtag med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter



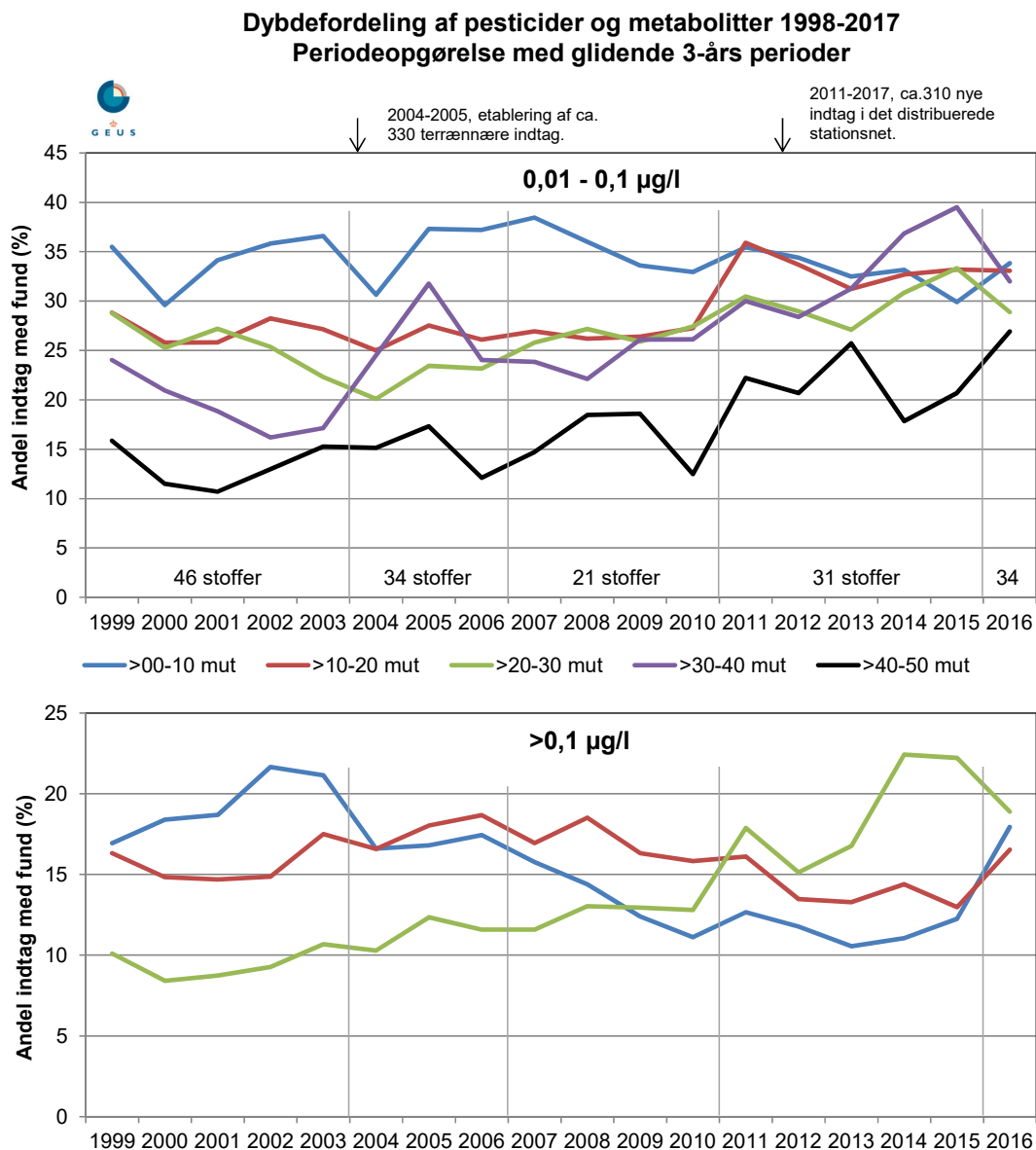
Figur 37. GRUMO. Tidlig fordeling af pesticider i GRUMO-indtag, opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år samt for perioderne 1990-2017 og 2015-2017 (inkl. 29 prøver indberettet og godkendt de første 4 måneder af 2018). Antal indtag i hver kategori er anført under de enkelte år og perioder. Program-perioder er angivet med lodrette linjer. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

Tidlig udvikling i forskellige dybder

Effekten af de varierende prøvetagningsfrekvenser, der er i GRUMO-datasættet, kan som nævnt ovenfor mindskes ved at beregne periodeopgørelser for treårs-perioder. Denne tilgang er anvendt i Figur 38, som også er opdelt i dybdeintervaller, så effekter af stationsnettets over tid varierende dybdefordeling elimineres. Andele for de enkelte år repræsenterer opgørelser for en tre-årsperiode (forudgående, aktuelle og efterfølgende år).

I Figur 38 indgår screeningsstofferne DPC, MDPC og 1,2,4-triazol for at illustrere, hvor stor indflydelse de har på fundandelene. Perioden 2015-2017 (vist på året 2016) er derfor ikke sammenlignelig med de forudgående perioder i figuren, idet screeningsstofferne i 2017 havde meget høje fundandele sammenlignet med de øvrige stoffer (se afsnit 5.3). Kun en mindre og varierende andel af indtagene blev analyseret for screeningsstofferne i 2017, og screeningsstoffernes dybdeeffekt vil derfor først være fuldt dækkende, når alle indtag er testet. For perioden 2015-2017 (vist på året 2016) indgår kun de indtag, som også blev prøvetaget i 2016 for at mindske effekten af stationsnettets ændringer i 2017. Figur 38 kan derfor ikke sammenlignes direkte med Figur 35.

Figur 38, 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. Figur 38 nederste del, viser andele 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.



Figur 38. 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 (forudgående, aktuelle og efterfølgende år). For perioden 2015-2017 (afbildet på året 2016) er fundprocenterne beregnet for de indtag, som også blev prøvetaget i 2016 for at mindske effekten af stationsnettets ændringer i 2017. 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. Data fra screeninger indgår i beregningerne.

Dybdefordelingerne kan kun beregnes for de stoffer, der indgik i analyseprogrammerne de enkelte perioder. Screeningsstofferne MDPC, DPC og 1,2,4-triazol viste i 2017 meget høje fundandele i de undersøgte indtag (se afsnit 5.3) sammenlignet med andre stoffer i analyseprogrammerne. Det må formodes, at MDPC, DPC og 1,2,4-triazol har været vidt udbredte i grundvandet i en årrække. Det er derfor ikke muligt at beregne retvisende trends for pesticidbelastningen i forskellige dybder i Figur 38. Figuren er således udelukkende et udtryk for belastningen med de pesticider, der indgik i analyseprogrammerne i de enkelte treårs-perioder.

5.2 Vandværksboringer

Datagrundlag

I dette afsnit rapporteres pesticidanalyser fra de almene vandværkers boringer i perioden 1992-2017. Opgørelserne for hele perioden (1992 og fremefter, Bilag 9 og Tabel 18) er inklusiv de første 4 måneder af 2018 for at få så mange MDPC- og DPC-analyser med som muligt og på denne måde sikre den størst mulige aktualitet. Data om 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). Det skal bemærkes, at ikke alle analyseresultater indberettes til Jupiterdatabasen. Det gælder fx driftsprøver, som kun indgår i udtrækket i begrænset omfang, selvom resultatet af ikke-indberettede prøver kan være offentliggjort på vandværkernes hjemmesider eller i medierne.

I hvert års rapportering 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 42, 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.

Grundvandet i vandværksboringer skal som minimum analyseres for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der fremgår af drikkevandsbekendtgørelsen, der løbende justerer listen af obligatoriske stoffer. Analyseprogrammet blev i en tidligere version af drikkevandsbekendtgørelse pr. 1. januar 2012 udbygget med 18 stoffer og otte andre udgik fra programmet. Pr. 1. april 2014 blev programmet udbygget med yderligere tre stoffer: metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter CGA-62826 og CGA-108906. 2,4-D udgik derefter fra programmet pr. 28/11-2015. Pr. 27. oktober 2017 blev listen udbygget med stofferne desphenylchloridazon (DPC) og metyhylphenyl-chloridazon (MDPC), og per 1. juli 2018 blev listen yderligere udbygget med 1,2,4-triazol og DMS. Det obligatoriske analyseprogram har dermed undergået betydelige forandringer de senere år.

Tabel 8 viser de stoffer, der var obligatoriske i 2017 i Boringskontrollen. I Boringskontrollen har vandværkerne over årene analyseret for flere stoffer end angivet i de obligatoriske analysepakker, idet kontrollen efter drikkevandsbekendtgørelsen også skal omfatte andre pesticider, som vides at være anvendt i oplandet, og som vurderes at kunne udgøre en trussel for. 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 fire prøver. Det betyder, at opgørelserne bygger på data for 165 forskellige stoffer, hvoraf mange er analyseret i et meget begrænset antal prøver. Databehandlingen bliver meget kompleks, når der indgår mange stoffer. I de generelle opgørelser indgår derfor ikke 65 stoffer, som kun er analyseret i en til tre prøver uden fund i hele overvågningsperioden 1992-2017. Disse stoffer fremgår af bilag 9. Bilag 8 og 9 viser en samlet oversigt over stoffer, som indgår i beregningerne, samt deres forekomst i vandværksboringer, der var aktive i 2017.

Analysefrekvensen afhænger bl.a. af produceret vandmængde, dog mindst én prøve til pesticidanalyse hvert femte år for de mindste vandværker (drikkevandsbekendtgørelsen). Tidligere har kravet været mindst én pesticidanalyse per 5 år, hvorfor der anvendes en 5-års periode i mange opgørelser.

Status for pesticider i vandværksboringer

Tabel 15 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 2013-2017 for boringer, der var aktive i 2017. Der blev i 2017 fundet mindst ét pesticid i 29,3 % af de undersøgte vandværksboringer, hvor 7,4 % af de undersøgte boringer havde en overskridelse af kravværdien. Fundandelene og overskridelse af kravværdien er højere end de forudgående år, fordi der i 2017 blev fundet DPC og/eller MDPC i en stor del af de undersøgte boringer (se afsnit 5.3). I perioden 2013-2017 blev pesticider fundet mindst én gang i 23,9 % af de undersøgte

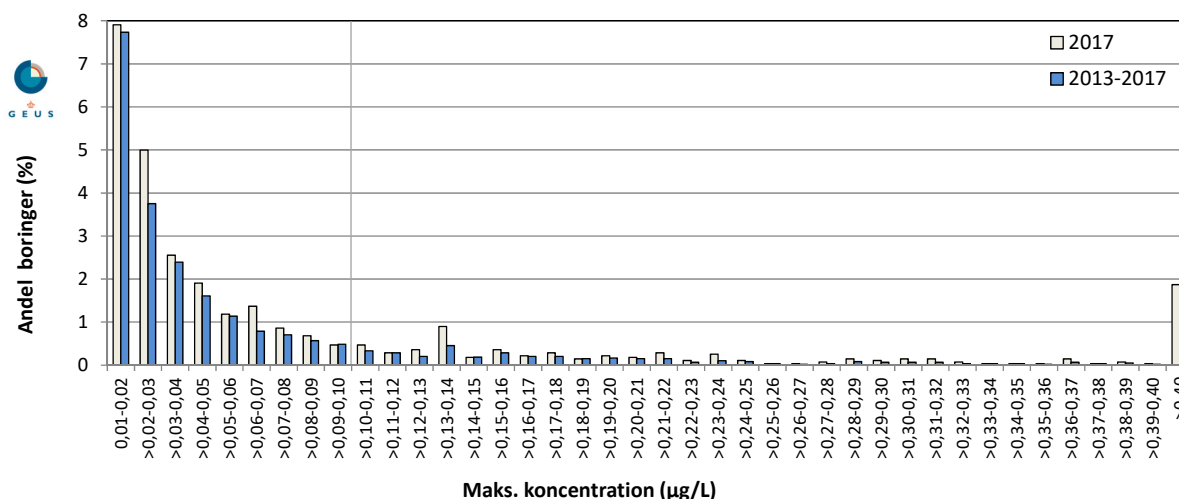
boringer, hvor 4,7 % af de undersøgte boringer havde mindst én overskridelse af kravværdien (Tabel 15). Opgørelsen i perioden 2013-2017 viser mindre fundandele sammenlignet med enkeltårene, hvilket også ses tydeligt i Figur 39.

Tabel 15. Boringskontrollen. Pesticidfund i aktive vandværksboringer vist som antal og procent boringer. Vandværksboringerne er opdelt i boringer med mindst ét fund og boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l) for enkelte år og i perioden 2013-2017. Opgørelser markeret med * er ≥0,1 µg/l.

Boringskontrollen	Prøver antal	Boringer antal			Boringer andel (%)	
		I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
2017	3.619	2.781	815	205	29,3	7,4
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*
2013-2017	12.073	5.971	1.428	283	23,9	4,7

Figur 39 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordelte sig i 2017 og i perioden 2013-2017. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i 2017 eller 2013-2017. De lavere fundandele for periodeopgørelsen sammenlignet med enkeltårene skyldes, at boringer med fund prøvetages oftere end boringer uden fund. Når man sammenligner frekvensfordelingerne i GRUMO-indtagene (Figur 34) og de aktive vandværksboringerne (Figur 39), udgør boringer med høje pesticidkoncentrationer en mindre del af 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, se også appendiks 2.

Frekvensfordeling 2017 og 2013-2017



Figur 39. Boringskontrollen. Frekvensfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjort for boringer prøvetaget i 2017 og i perioden 2013-2017. Kravværdien på 0,1 µg/l er markeret med en lodret linje. I 2017 blev der ikke påvist pesticider i 71 % af de undersøgte boringer, i perioden 2013-2017 blev der ikke påvist pesticider i 76 % af de undersøgte boringer.

Tilladte og forbudte stoffer i grundvandet i vandværksboringer

Tabel 16 viser en opgørelse over fordelingen af de tilladte og forbudte stoffer, som indgik i det obligatoriske analyseprogram i boringskontrollen i 2017 (se Tabel 8). Mindst ét af de forbudte stoffer forekom mindst én gang i 21,8 % af de undersøgte vandværksboringer, og 4,3 % overskred mindst én gang kravværdien på 0,1 µg/l. Mindst ét af de tilladte stoffer forekom mindst én gang i 4,0 % 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. De hyppigst fundne pesticider og nedbrydningsprodukter i aktive vandværksboringer er generelt forbudte stoffer, hvilket til dels kan skyldes, at forbudte stoffer udgør langt den største andel af stoffer i analyseprogrammet. 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.

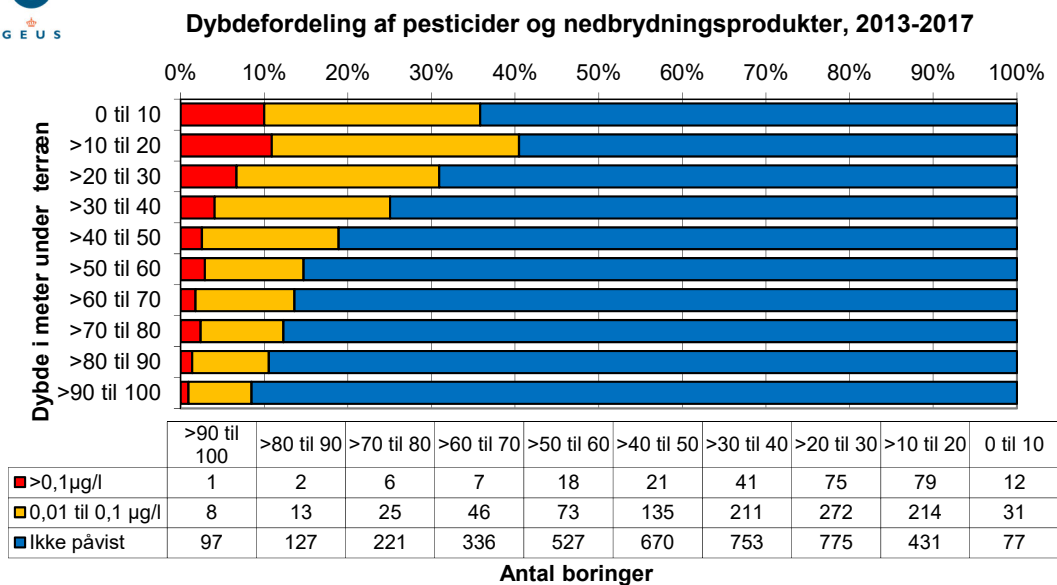
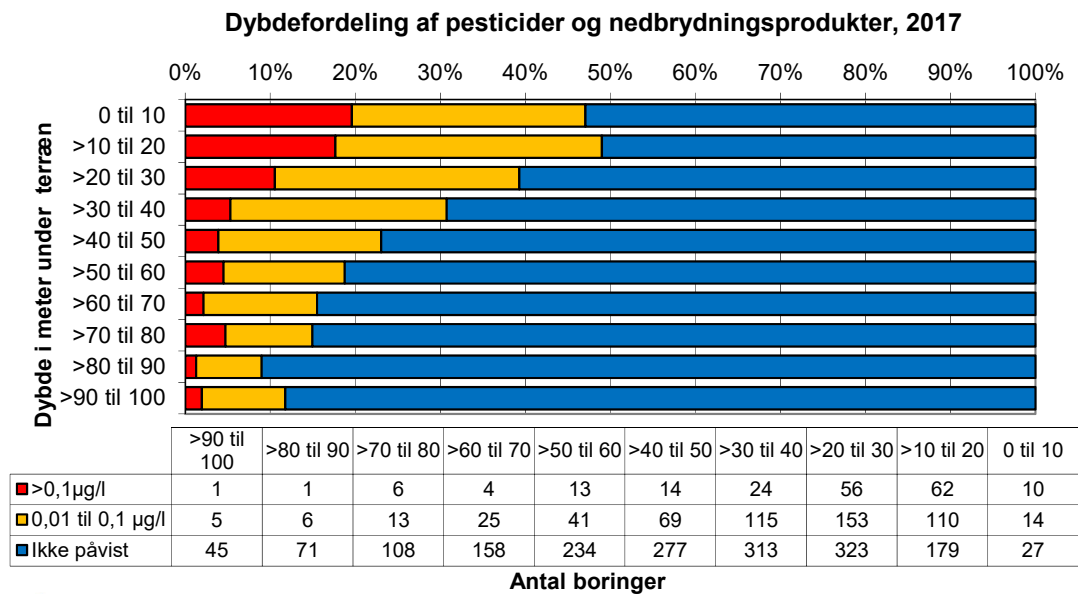
Tabel 16. Boringskontrollen. Periodeopgørelse 2013-2017 for forekomst af tilladte og forbudte pesticider i aktive vandværksboringer. Et indtag kan indeholde både forbudte og tilladte stoffer, og det enkelte indtag kan derfor optræde i begge kategorier. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l).

2013-2017	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
Tilladte stoffer	5.863	237	29	4,0	0,5
Forbudte stoffer	5.968	1.299	256	21,8	4,3

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

Figur 40 viser andelen af pesticidfund i 2017 og perioden 2013-2017 i vandværksboringer med dybden målt som afstanden fra terræn til toppen af aktive boringers indtag. Fundandele og overskridelser af kravværdien aftager med dybden, men der er fund og overskridelse af kravværdien i boringer, som har filtertop i mere end 100 m u.t. I 2017 var der en stigning i andelen af indtag med fund og overskridelser af kravværdien for dybderne 0-50 m u.t. sammenlignet med dybdefordelingen i 2016 (Thorling mfl. 2018). Denne stigning skyldes fund af DPC og MDPC. I intervallerne 0 til 10 m u.t. og 90-100 m u.t. var antallet af undersøgte boringer lavt i 2017, og derfor har opgørelserne for disse dybder større usikkerhed. I perioden 2013-2017 er stort set alle aktive boringer prøvetaget mindst én gang til pesticidanalyse, men idet DPC og MDPC kun har været obligatoriske fra 27. oktober 2017, bliver deres effekt 'fortyndet' af et stort antal ældre prøveresultater sammenlignet med 2017.

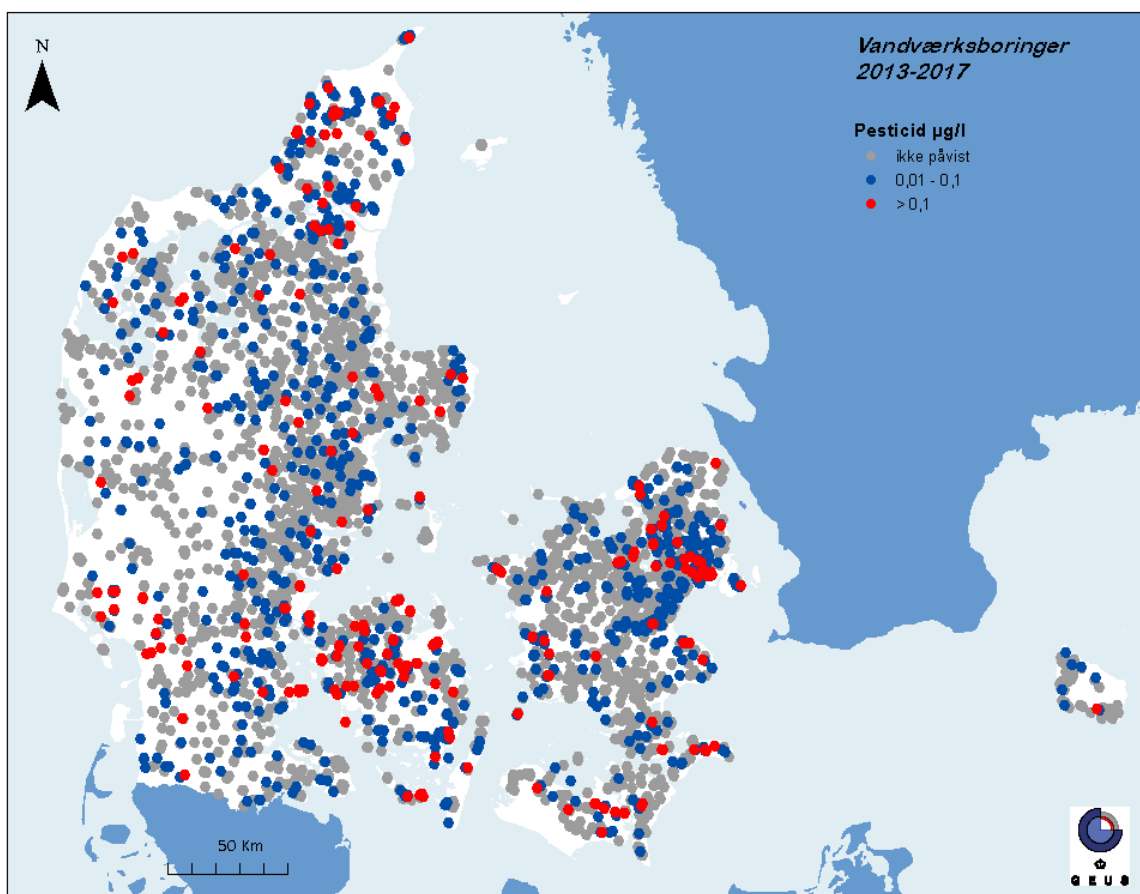
I boringskontrollens dybdefordeling for 2017 (Figur 40) er fundandelene højere end for tilsvarende dybder i grundvandsovervågningen (Figur 35). Det skyldes sandsynligvis, at vandværkerne i 2017 analyserede 1.695 ud af 2.781 boringer for DPC, hvorimod der i GRUMO kun blev analyseret for DPC i 223 ud af 1.046 indtag, altså en højere andel i boringskontrollen end i GRUMO. Dybdefordelingen i boringskontrollen er dog ikke helt sammenlignelig med den tilsvarende figur for GRUMO. Det skyldes, at indtagene i GRUMO-boringerne er 0,5-2 m lange, hvorimod de i vandforsyningsboringerne oftest er 15 meter lange og i mange tilfælde betydeligt længere. Dette betyder, at vandværksboringer indvinder vand fra større dybde end indtag i GRUMO-boringer, selvom afstanden fra terræn til toppen af indtaget er den samme.



Figur 40. Boringskontrollen. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i vandværksboringer, der var aktive i 2016. Øverst data fra 2017, nederst en periodeopgørelse for 2013-2017. 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 terrænen til overkanten af filteret. Antal indtag i de forskellige koncentrationsklasser og dybder fremgår af tabellen under figuren.

Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 41 viser den geografiske fordeling af grundvandets pesticidindhold i aktive vandværksboringer i perioden 2013-2017. Der er en overrepræsentation af overskridelser af kravværdien i det nordligste Jylland, i et bælte tværs over Syddanmark, samt den sydvestlige del af hovedstadsområdet. Kortet viser dermed en anderledes udbredelse end det tilsvarende kort for GRUMO. Forklaringen på forskellene er at vandværkerne over årene har taget boringer med forhøjede pesticidkoncentrationer af fx BAM og DEIA ud af drift, samt at en større del af de aktive vandværksboringer er testet for DPC og MDPC med mange fund i det sydlige Danmark. Dybe indtag kan desuden vise vand, som er infiltreret mange km fra boringerne, de fundne koncentrationer skyldes derfor ikke nødvendigvis anvendelse af pesticider tæt ved boringerne. Dybe boringer findes især vest for Hovedopholdslinjen se Appendiks 2, Figur 68.

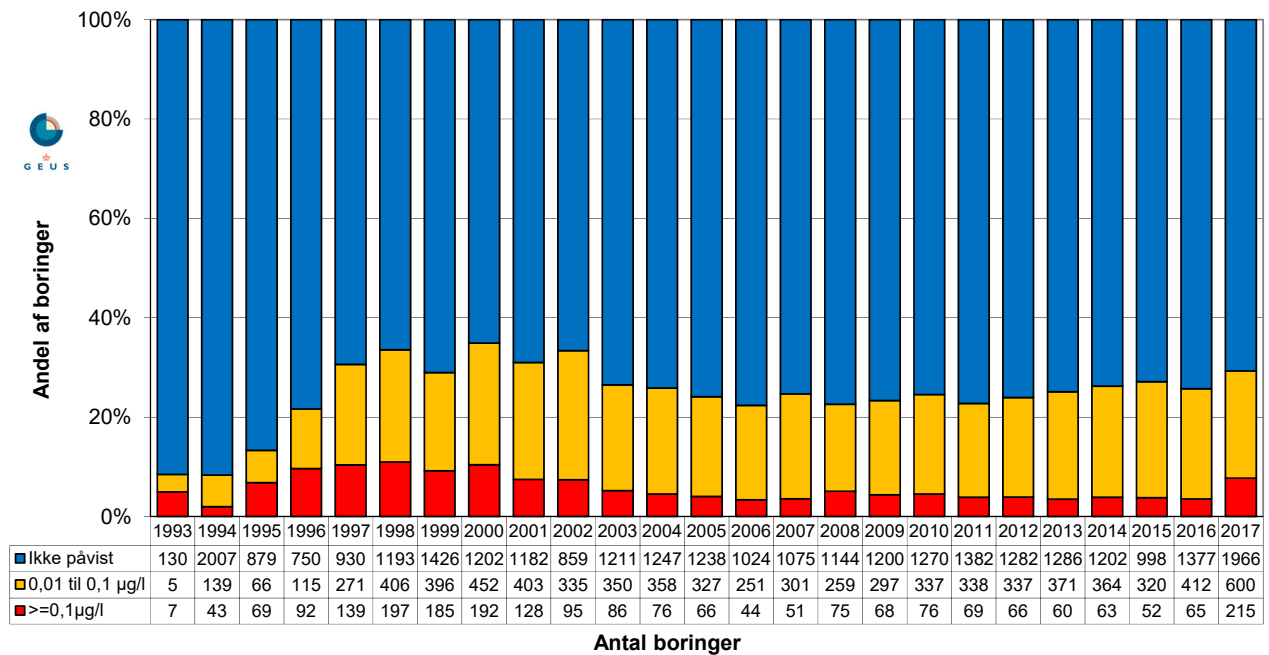


Figur 41. Boringskontrollen. Pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i 5.971 aktive vandværksboringer i femårs-perioden 2013-2017. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét pesticid er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), ét pesticid er påvist 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. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Tidlig udvikling i grundvandet i vandværksboringer

Figur 42 viser udviklingen i fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i perioden 1993-2017. 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 var stabil på 23-26 % fra 2006 til 2016. 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 i perioden 2000-2006 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. Den samlede fundandel, og specielt andelen med overskridelse af kravværdien, var højere i 2017 sammenlignet med forudgående år. Det skyldes fund af DPC, som ofte er påvist over grænseværdien. Det skal bemærkes, at kun en mindre del af vandværksboringerne i 2017 blev undersøgt for DPC, MDPC eller DMS, og at fundandelen derfor må forventes at stige yderligere.

Fordeling af boringer med fund af pesticider og nedbrydningsprodukter



Figur 42. Boringskontrollen. Fordeling af pesticidindholdet i aktive vandværksboringer 1993-2017. 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.

5.3 Sammenligning af hyppigt fundne stoffer i grundvandsovervågningen og boringskontrollen.

Tabel 17 viser for året 2017 de 20 hyppigst fundne pesticider i GRUMO-indtag og vandværkernes borningskontrol. Tabel 18 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. Vandværkerne har i det seneste år analyseret for en række nye stoffer i et begrænset antal prøver. I Tabel 18 præsenteres derfor stoffer med mindst 100 prøver, hvor vi i de to forrige rapporter havde sat en nedre grænse på 200 prøver. Der forventes væsentlige ændringer i opgørelserne, når der indløber flere data for DPC, 1,2,4-triazol, DMS og andre stoffer, som vandværkerne de sidste par år er begyndt at analysere for. Bilag 8 og bilag 9 viser alle stoffer indrapporteret for vandværksboringer, der var aktive i 2017, herunder stoffer med mindre end 100 prøver. Bilag 6 og bilag 7 viser opgørelser for alle stoffer i Grundvandsovervågningen.

Tabel 17. GRUMO & Boringskontrollen. De 20 hyppigst fundne stoffer i 2017 i GRUMO-indtag og vandværksboringer, der var aktive i 2017. Indtag/boringerne er opdelt i andel med mindst ét fund og indtag/boringer med mindst én overskridelse af kravværdien (>0,1 µg/l). Se også bilag 6 og 8.

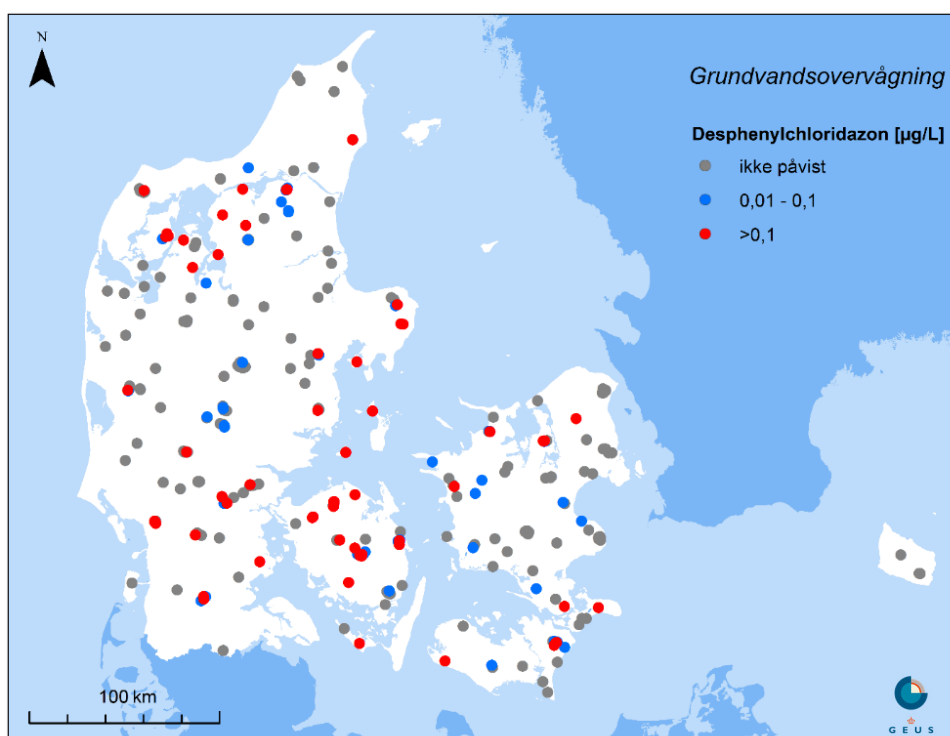
Grundvandsovervågning 2017			Vandværksboringer 2017		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
1,2,4-Triazol	32,7	1,4	Desphenylchloridazon	25,0	9,5
Desphenylchloridazon	28,7	16,6	2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	16,9	1,7
Methyldesphenylchloridazon	16,7	4,6	Methyldesphenylchloridazon	5,7	0,6
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	11,8	3,6	Bentazon	2,7	0,2
DEIA	8,3	1,2	CGA-108906	2,0	0,2
Desisopropyl-atrazin	5,8	0,3	Mechlorprop	1,7	0,1
Desethyl-atrazin	3,2	0,3	4-Nitrophenol	1,5	0,0
Bentazon	2,5	0,7	Desamino-diketo-Metribuzin	1,4	0,0
Desamino-diketo-Metribuzin	2,4	0,5	Hexazinon	1,3	0,2
Atrazin	1,8	0,2	Hydroxy-terbutylazin	1,1	0,0
CGA-62826	1,8	0,4	DEIA	1,0	0,0
Simazin	1,3	0,2	4-CPP	0,9	0,1
Dichlorprop	1,1	0,2	CGA-62826	0,9	0,1
Diketo-metribuzin	1,0	0,0	Dichlorprop	0,8	0,1
Hexazinon	0,9	0,2	Desethyl-atrazin	0,6	0,1
Mechlorprop	0,8	0,4	2,6-DCPP	0,5	0,0
4-CPP	0,5	0,2	2,6-dichlorbenzoesyre	0,4	0,0
AMPA	0,5	0,1	Desisopropyl-atrazin	0,4	0,0
Hydroxy-atrazin	0,4	0,0	Hydroxy-atrazin	0,4	0,0
Ethylthiourea	0,4	0,2	Glyphosat	0,4	0,0

Tabel 18. GRUMO & Boringskontrollen. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO-indtag (1990-2017) og vandværksboringer (1992-2017) der var aktive i 2017. Opgørelserne er inklusiv godkendte prøver fra de fire første måneder af 2018. 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 100 prøver. ^aAnalyseret i 66 boringer. ^bAnalyseret i 187 boringer. ^cAnalyseret i 50 boringer. Se også bilag 7 og 9.

Grundvandsovervågning 1990-2017			Vandværksboringer 1992-2017		
Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %	Stofnavn	Med fund %	>0,1 µg/l %
1,2,4-Triazol	32,7	1,4	Desphenyl-chloridazon	24,8	8,8
Desphenyl-chloridazon	28,7	16,6	2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	19,4	3,6
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	19,7	7,6	Methyl-desphenyl-chloridazon	5,2	0,6
Methyl-desphenyl-chloridazon	16,7	4,6	Malathion ^a	4,5	3,0
DEIA	14,5	3,4	Bentazon	3,2	0,4
Desisopropyl-atrazin	10,8	1,7	Mechlorprop	2,5	0,2
4-Nitrophenol	7,5	0,5	Azoxystrobin ^b	2,1	0,0
Desethyl-atrazin	7,0	1,3	Dichlorvos ^c	2,0	0,0
Bentazon	6,7	2,0	Dichlorprop	2,0	0,2
Didealkyl-hydroxy-atrazin	6,6	1,1	Atrazin	1,9	0,1
Glyphosat	6,0	1,2	Desethyl-atrazin	1,7	0,1
Desamino-diketo-Metribuzin	5,0	1,6	DEIA	1,6	0,1
Atrazin	5,0	1,0	Hexazinon	1,6	0,1
Trichloreddikesyre	4,6	1,1	Desisopropyl-atrazin	1,6	0,0
AMPA	4,0	1,1	4-CPP	1,4	0,1
Dichlorprop	4,0	1,2	CGA-108906	1,3	0,1
Mechlorprop	3,5	0,9	4-Nitrophenol	1,2	0,0
Diketo-metribuzin	3,4	1,1	Desamino-diketo-Metribuzin	0,9	0,0
Deisopropyl-hydroxyatrazin	2,9	0,2	2,6-dichlorbenzoesyre	0,9	0,0
2,6-dichlorbenzoesyre	2,6	0,3	Simazin	0,9	0,0

Desphenylchloridazon, methyldesphenylchloridazon, 1,2,4-triazol og N,N-dimethylsulfamid - nye stoffer med stor udbredelse identificeret i 2017 og 2018

Desphenylchloridazon (DPC) og methyldesphenylchloridazon (MDPC) er nedbrydningsprodukter fra det nu forbudte herbicid chloridazon, som blev solgt i Danmark fra 1964 til 1996, overvejende til brug i bederoer (sukkerroer og foderroer). Miljøstyrelsen igangsatte i 2017 en screeningsundersøgelse af stoffernes forekomst i udvalgte GRUMO-indtag (Miljøstyrelsen, 2017d) efter fund i flere regioners punktkildeundersøgelser. Pr. 27. oktober 2017 blev boringskontrollens obligatoriske liste udvidet med DPC og MDPC (Miljø- og Fødevareministeriet, 2017e). For disse stoffer er antallet af prøver meget begrænset i GRUMO- og boringkontrollens standard-datasæt, der er anvendt til Tabel 17 samt tilsvarende bilag. Det skyldes, dels at mange prøveresultater fra boringskontrollen er indberettet og godkendt, efter at rapportens standarddata blev trukket fra Jupiter, dels at kun en mindre del af GRUMO-indtagene er screenet for disse stoffer. For at give en mere præcis og opdateret status for DPC og MDPC præsenteres der i dette afsnit resultaterne af en nyere opgørelse. Opgørelsen (GEUS, 2018) er udarbejdet for Vandpanelets Arbejdsgruppe om Pesticider og Drikkevandskontrol, som har haft til opgave at indsamle oplysninger om DPC (Miljøstyrelsen 2017e). Opgørelsen dækker data, som er indrapporteret og godkendt i Jupiter frem til 23. oktober 2018. DPC's geografiske udbredelse er vist i Figur 43. Kortet viser, at DPC ikke er begrænset til områder, der har haft intensiv dyrkning af roer til sukkerproduktion som fx Fyn, Syd- og Vestsjælland, Lolland og Falster.



Figur 43. GRUMO. Geografisk udbredelse af desphenylchloridazon (DPC) i GRUMO-indtag i det omfang desphenylchloridazon er indberettet til og godkendt i Jupiter indtil 23. oktober 2018. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor DPC er påvist mindst én gang over kravværdien ($>0,1 \mu\text{g/l}$), mindst én gang under kravværdien ($0,01-0,1 \mu\text{g/l}$), eller ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk $<0,01 \mu\text{g/l}$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Tabel 19 viser, at i GRUMO blev DPC påvist i 34,5 % af de undersøgte indtag, og indholdet var højere end kravværdien i 19,4 % af de undersøgte indtag. I modsætning til andre pesticider er DPC oftere påvist over kravværdien end under kravværdien. MDPC blev påvist i 19,6 % af de undersøgte indtag, og indholdet var højere end kravværdien i 6,6 % af de undersøgte indtag. Idet opgørelserne bygger på de data, der var tilgængelige i Jupiter på udtrækstidspunktet (23. oktober 2018), kan fundprocenterne blive anderledes, når hele GRUMO-stationsnettet på et tidspunkt er undersøgt.

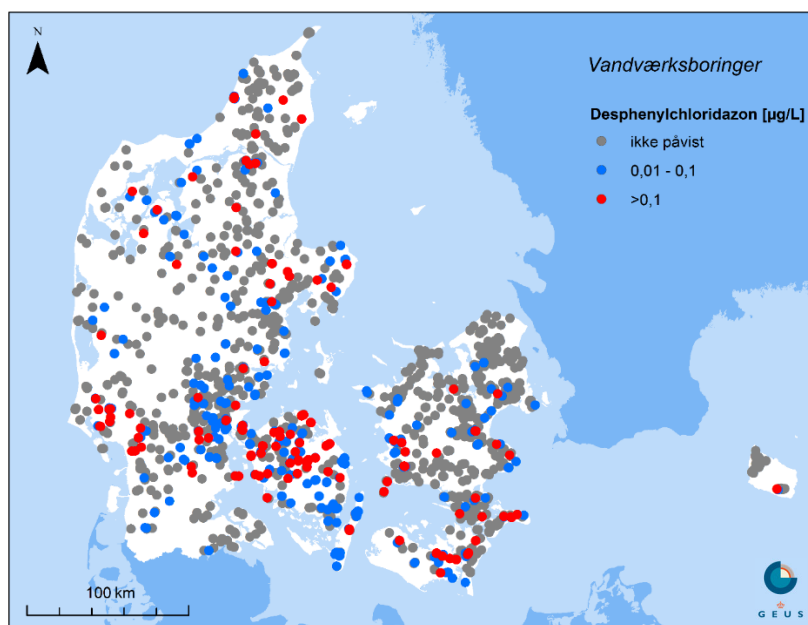
Tabel 19. GRUMO. Forekomst af desphenylchloridazon (DPC) og methyl-desphenylchloridazon (MDPC) i det omfang de er indberettet til og godkendt i Jupiter indtil 23. oktober 2018. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor stofferne er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l).

GRUMO	Prøver antal	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
DPC	439	386	133	75	34,5	19,4
MDPC	427	377	74	25	19,6	6,6

Tabel 20 viser prøveresultater, som vandværkerne har indrapporteret til Jupiter frem til 23. oktober 2018 (GEUS, 2018). DPC blev påvist i 23,2 % af de undersøgte boringer. DPC-indholdet var højere end kravværdien i 8,3 % af de undersøgte boringer. MDPCs fundandele var betydeligt lavere med fund i 5,7 % af de undersøgte boringer og overskridelse af kravværdien i 0,8 %. Figur 44 viser den geografiske udbredelse af DPCs fra boringskontrollen. Resultaterne fra boringskontrollen bekræfter, at stoffet er vidt udbredt i hele landet, men viser samtidig, at der er en større forekomst i den sydlige del af Danmark.

Tabel 20. Boringskontrollen. Forekomst af desphenylchloridazon (DPC) og methyl-desphenylchloridazon (MDPC) i det omfang de ligger godkendt i Jupiter pr. 23. oktober 2018. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor stofferne er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), påvist mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l).

Boringskontrollen	Prøver antal	Indtag Antal			Indtag andel (%)	
	I alt	I alt	Med fund	>0,1 µg/l	Med fund	>0,1 µg/l
DPC	3.447	2.456	571	204	23,2	8,3
MDPC	2.739	2.174	123	18	5,7	0,8



Figur 44. Boringskontrollen. Geografisk udbredelse af desphenylchloridazon (DPC) i vandværksboringer i det omfang DPC er indberettet til og godkendt i Jupiter indtil 23. oktober 2018. Boringerne er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor DPC er påvist mindst én gang over kravværdien (>0,1 µg/l), mindst én gang under kravværdien (0,01-0,1 µg/l), eller ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01µg/l). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

1,2,4-triazol er et nedbrydningsprodukt fra en række triazol-fungicider fx tebuconazol, propiconazol og epoxiconazol. Miljøstyrelsen besluttede i januar 2017 at screene for 1,2,4-triazol i udvalgte GRUMO-indtag (Miljøstyrelsen 2017c), fordi 1,2,4-triazol var påvist hyppigt og i nogle tilfælde over kravværdien i Varslingsystem for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP hjemmesiden). I GRUMO-screeningen blev 1,2,4-triazol påvist i 32,7 % af de undersøgte indtag med overskridelse af kravværdien i 1,4 % af indtagene (Tabel 17). 1,2,4-triazol indgår fremover i GRUMO-analyseprogrammet. Pr. 1. juli 2018 kom 1,2,4-triazol på boringskontrollens obligatoriske liste (Miljø- og Fødevareministeriet 2017c). Dette er senere end GEUS' data-udtræk fra Jupiter (7. maj 2018), hvorfor der ikke er repræsentative data for aktive vandværksboringer i Tabel 17 og Tabel 18. Miljøstyrelsen inddrog i 2014 efterårsanvendelsen af tebuconazol i korn, nedsatte den tilladte dosis for 4 triazol-svampemidler og satte loft over den samlede mængde, der må anvendes i landbruget pr. vækstsæson. Derudover kan 1,2,4-triazol i grundvandet sandsynligvis stamme fra udbredt og fortsat brug af triazolfungicider (ofte propiconazol) i træbeskyttelsesmidler. Endelig kan der være andre kilder til 1,2,4-triazol fx anvendelse som nitrifikationshæmmer ved udbringning af kunst- og husdyrgødning. Der var ikke offentliggjort nyere opgørelser over 1,2,4-triazols forekomst i GRUMO eller boringskontrollen på tidspunktet for GRUMO-rapportens udarbejdelse.

N,N-dimethylsulfamid (DMS) blev i 2018 påvist i adskillige vandforsyninger, hvor stoffet forekom i 47 % af de undersøgte 51 prøver med en overskridelse af kravværdien i 6 % af de undersøgte prøver (Miljøstyrelsen, 2018). Antallet af boringer og prøver i opgørelsen var dog meget lavt, hvorfor fundandelen skal tages med forbehold. DMS er et nedbrydningsprodukt fra svampemidlerne tolylfluanid og dichlofluanid. Tolylfluanid var godkendt til bekæmpelse af svampesygdomme i frugt og bær i perioden 1973-2007 (Miljøstyrelsen, 2018) med 2 til 5 sprøjtninger per vækstsæson (Bayer A/S). Desuden var der en mindre anvendelse i tomater og pryddplanter med 6-10 sprøjtninger per år (Bayer A/S). Dichlofluanid var godkendt til frugt og bær i perioden 1966-1974 med stort set samme anvendelsesområde som tolylfluanid, men blev hovedsagelig anvendt i en kortere periode på 3 år. (Miljøstyrelsen, 2018). Der er i dag ingen godkendte træbeskyttelsesmidler, der indeholder dichlofluanid eller tolylfluanid. Dog har dichlofluanid i en periode fra 1974 til 1999 været godkendt som træbeskyttelsesmiddel, mens tolylfluanid aldrig har været godkendt som træbeskyttelsesmiddel. Tolylfluanid og dichlofluanid har også indgået i maling, som ikke-godkendelsespligtig beskyttelse af maling mod fx skimmelsvamp. Dichlofluanid er i dag forbudt til brug som beskyttelse af maling, mens tolylfluanid kun må tilsættes maling, der produceres uden for EU.

Nedbrydningsproduktet DMS er yderst mobilt, idet sorptionen i jord er så lav, at den ikke kan bestemmes (ECHA, 2016). DMS er desuden meget svært-nedbrydelig med en halveringstid på 1.325 dage i jord (ECHA, 2016). Kombinationen af hyppig pesticidanvendelse over en lang periode, fortsat potentiel anvendelse i maling, ingen tilbageholdelse i jord og høj persistens i jord er problematisk mht. udvaskning af DMS til grundvandet. Miljøstyrelsen igangsatte i 2018 en screeningsundersøgelse for udvalgte GRUMO-indtag. Resultater fra screeningsundersøgelsen var ikke offentliggjort på tidspunktet for GRUMO-rapportens udarbejdelse. Per 1. juli 2018 kom DMS på boringskontrollens obligatoriske liste (Miljø- og Fødevareministeriet 2018b). Der var ikke offentliggjort nyere opgørelse over DMS' forekomst i boringskontrollen på tidspunktet for GRUMO-rapportens udarbejdelse.

Andre stoffer med forhøjede fundandele

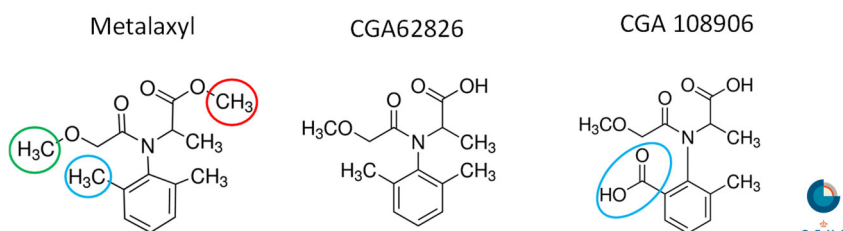
BAM. Nedbrydningsproduktet BAM var det hyppigst fundne 'gamle' stof i begge programmer. Det gælder både opgørelserne for 2017 og for de samlede opgørelser for de seneste ca. 25 år. BAM er et nedbrydningsprodukt fra det nu forbudte ukrudtsmiddel dichlobenil, som hovedsageligt blev brugt på gårdspladser, indkørsler og andre befæstede arealer, samt i frugt- og bærproduktion. 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 2017 og hele perioden, bortset fra malathion i boringskontrollen blev undersøgt i 66 aktive boringer med fund i 4,5 %. Bentazon er et 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 23,5 tons pr. år (middel af salgstal for 2014, 2015 og 2016, 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 var generelt blandt de hyppigst fundne stoffer både i opgørelserne for 2017 og for hele monitoringsperioden. Desetyhyldesisopropylatrazin (DEIA) blev fx fundet i 1,0 % af de undersøgte vandværksboringer og i 8,3 % af GRUMO-indtagene i 2017. I hele perioden blev DEIA fundet mindst én gang i 1,6 % af de undersøgte vandværksboringer og 14,5 % af GRUMO-indtagene. DEIA kan stamme fra mindst fire forskellige klortriaziner (atrazin, terbuthylazine, simazin og cyanazin), idet deres molekylære struktur kun er forskellig for en enkelt sidegruppe. Når denne sidegruppe fraspaltes, har nedbrydningsprodukterne, fx DEIA, identisk struktur. Triazininerne er også hyppigt påvist. I 2017 blev desaminodiketometribuzin fx påvist i 2,4 % af GRUMO-indtag og 1,7 % af de undersøgte vandværksboringer. Desaminodiketometribuzin er et nedbrydningsprodukt fra triazinon-herbicide metribuzin, som tidligere var aktivstof i ukrudtsmidler til kartofler. Hexazinon var det hyppigst påviste triazin moderstof (triazinon) i 2017 med fund i 0,9 % af de undersøgte GRUMO-indtag og 1,3 % af de undersøgte vandværksboringer. Det vides ikke om hexazinons nedbrydningsprodukter forekommer i grundvandet.

Phenoxyserne mechlorprop og dichlorprop er påvist mindst én gang i 2-4 % af de undersøgte GRUMO-indtag og aktive vandværksboringer i hele perioden, mens de i 2017 var mindre udbredte. Phenoxyserne 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 267 kg pr. år (middel af salgstal for 2014, 2015 og 2016) med beskedne 8 kg i 2016 (Miljøstyrelsen, 2017b).

Metalaxyl. To nedbrydningsprodukter (CGA-108906 og CGA-62826) fra det nu forbudte svampemiddel metalaxyl er blandt de 20 hyppigst fundne stoffer i vandværkernes boringskontrol for 2017. Det hyppigste er CGA-108906, som blev påvist i 2,0 % af de undersøgte vandværksboringer, med 0,2 % 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 1,8 % og overskridelse af kravværdien i 0,4 % af de undersøgte indtag. Forskellene kan muligvis skyldes en forskydning i dannelsen af de to stoffer. I CGA-62826 er der spaltet en methoxygruppe fra den ene sidekæde (markeret med rødt i Figur 45). I CGA-108906 er en af de ring-bundne methylgrupper derudover oxideret til en syre (markeret med blå i Figur 45). Det kan derfor være, at CGA 62826 omdannes til CGA 108906 under transporten gennem grundvandsmagasinerne, og forskellen derfor forklares med ældre vand i vandværkernes indvindingsboringer sammenlignet med GRUMO. Ud fra sidekædernes struktur er det sandsynligt, at der dannes to tilsvarende nedbrydningsprodukter, hvor det er den anden sidekæde (markeret med grønt i Figur 45) der er de-methoxyleret. Det vides ikke, om disse to stoffer forekommer i grundvandet. 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. Metalaxyl-bejdsset såsæd kan lovligt importeres, og det kan derfor ikke udelukkes, at der stadig forekommer en begrænset anvendelse af stoffet.



Figur 45. Molekylær struktur for metalaxyl og to nedbrydningsprodukter.

Referencer: Pesticider

Vejledninger mv.

Miljøstyrelsen, 2009. Faktaark: Pentachlorphenol (PCP). Downloadet 14/11-2018. <https://mst.dk/kemi/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierereglerne/pentachlorphenol-pcp/>

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

Miljøstyrelsen, 2014: 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 2016. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og Sprøtjournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 22.

Miljøstyrelsen 2017c. Notat. Screening for 1,2,4-triazol (CAS nr. 288-88-0) i grundvandsovervågningen

Miljøstyrelsen 2017d. Notat. Screening for stoffet desphenyl-chloridazon (CAS nr. 6339-19-1) og methyl-desphenyl-chloridazon (CAS nr. 17254-80-7).

Miljøstyrelsen 2017e. Notat. Udkast til kommissorium for arbejdsgruppen om pesticider og drikkevandskontrol.

Miljøstyrelsen 2018. Notat. Screening for N,N-dimethylsulfamid (CAS nr. 3984143) - nedbrydningsprodukt fra tolylfluamid (CAS nr. 731271) og dichlofluamid (C nr. 1085-98-9) i grundvandsovervågningen. Notat af 9. juni, 2018. Revideret 14. august 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/> (11.01.2019)

EU

EU, 1998: Drikkevandsdirektivet.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet.

ECHA - European Chemicals Agency, 2016. Regulation (EU) n°528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products. Evaluation of active substances. Assessment Report. Tolylfluamid. http://dissemination.echa.europa.eu/Biocides/ActiveSubstances/0055-07/0055-07_Assessment_Report.pdf

Links og andre referencer

DANVA, 2018: Personlig kommunikation, Seniorrådgiver Claus Vangsgård.

Bayer A/S, Bayer CropScience, Euparen Multi brugsanvisning DK06107507A.

GEUS, 2018. Notat nr.: 05-VA-18-05 af 29. oktober, 2018. Forekomst af desphenylchloridazon og methyl-desphenylchloridazon i grundvandet.

GORI 605 Dækkende Træbeskyttelse. Produktdatablad (Produktbeskrivelse) downloadet den 8/11-2018. <http://gori.dk/produkter/daekkende-traebeskyttelse/gori-daekkende-traebeskyttelse-605>

GORI 88 Dækkende Træbeskyttelse. Produktdatablad (Produktbeskrivelse) downloadet den 8/11-2018. <http://gori.dk/produkter/daekkende-traebeskyttelse/gori-88-daekkende>

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. www.geus.dk/media/18835/grundvand1989-2016-endelig-momslog.pdf (11.01.2019)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (11.1.2019)

6 Uorganiske sporstoffer

Indledning

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

Tabel 21 viser kravværdierne for de enkelte sporstoffer i drikkevand fra drikkevandsbekendtgørelsen. Den store variation i kravværdierne fra stof til stof skyldes de vidt forskellige kemiske egenskaber, der igen medfører stor variation i såvel de gavnlige som de toksiske egenskaber. Kravværdier for grundvand og overfladevand fremgår af bilag 11.

Tabel 21. Kravværdier for uorganiske sporstoffer i drikkevand.

Uorganiske sporstoffer	Kravværdier for drikkevand
	µg/l
Aluminium	200
Antimon	5
Arsen	5
Bly	5
Bor	1000
Cadmium	3
Kobolt	5
Krom, total	50
Cyanid	50
Kobber	2000
Kviksølv	1
Nikkel	20
Selen	10
Sølv	10 ^a
Zink	3000

^a Gælder, hvis sølv anvendes til desinfektion.

Datagrundlag

Tabel 22 viser hvilke analyseparametre, der indgår i grundvandsovervågningen, GRUMO, for programperioden 2017-2021 samt hvilke parametre, der indgår ved overvågning af grundvandskvaliteten i vandværksboringerne i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (drikkevandsbekendtgørelsen). Prøvetagningsfrekvensen i såvel GRUMO som i vandværksboringerne varierer fra årlige prøver til én prøve hvert 5 år.

Tabel 22. GRUMO & Boringskontrollen. Uorganiske sporstoffer 2017-2021 i grundvandsovervågningen og obligatoriske stoffer i vandværkernes boringskontrol.

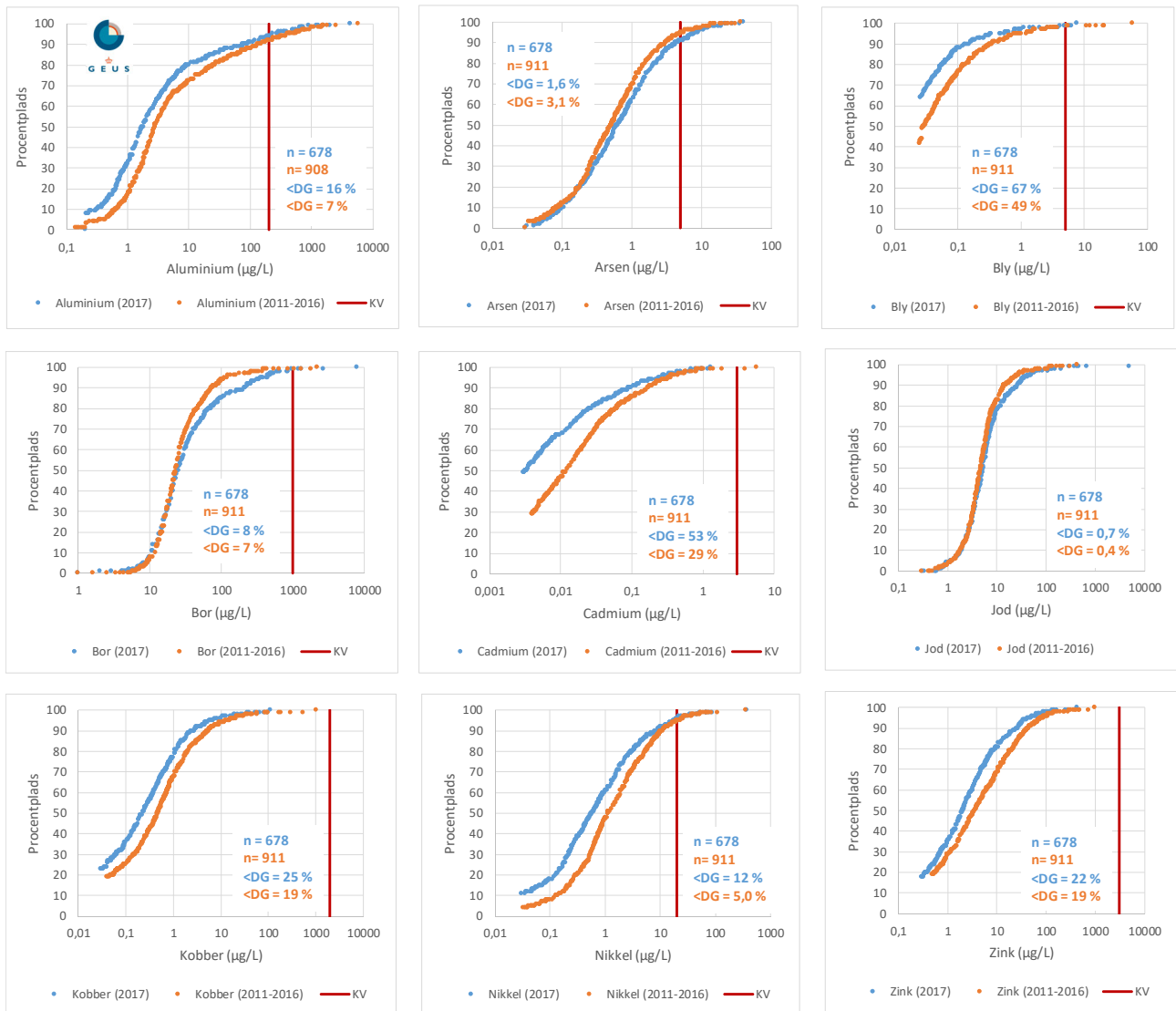
Uorganiske sporstoffer	GRUMO	Vandværksboringer ^a
Aluminium (Al)	X	X ^b
Arsen (As)	X	X
Barium (Ba)		X
Beryllium (Be)	X	
Bly (Pb)	X	
Bor (B)	X	X
Cadmium (Cd)	X	
Jod (I)	X	
Kobber (Cu)	X	
Kobolt (Co)		X
Nikkel (Ni)	X	X
Strontium (Sr)		X ^c
Zink (Zn)	X	
<p>a) Kontrol for andre uorganiske sporstoffer vælges efter de geologiske forhold og de forureningskilder, der er i området, herunder blandt parametrene nævnt i tabellen samt antimon, bly, cadmium, krom, cyanid, kobber, kviksølv, selen, sølv og zink. Hvis der i indvindingsoplandet vides at være arealer, som er eller kan være forurenet med uorganiske sporstoffer, skal der kontrolleres for disse stoffer, med mindre stofferne vurderes ikke at udgøre en trussel for grundvandet. Hvis der konstateres cyanid i råvandet, kontrolleres det også for syreflygtigt cyanid.</p> <p>b) Analyseres, hvis pH i grundvandet er under 6.</p> <p>c) Analyseres ved indvinding i områder med skrivekridt.</p>		

Siden seneste rapportering er drikkevandsbekendtgørelsen blevet ændret og indeholder ikke længere kravværdier 'ved indgang til ejendom', men udelukkende kravværdier 'ved forbrugers taphane'. For aluminium, cadmium, krom, kobber og zink, betyder det, at der i denne rapportering tages udgangspunkt i højere kravværdier end tidligere, hvor kravværdier ved indgang til ejendom blev anvendt. Kravværdien er ændret til (fra): aluminium 200 µg/l (100 µg/l), cadmium 3 µg/l (2 µg/l), krom 50 µg/l (20 µg/l), kobber 2.000 µg/l (100 µg/l) og zink 3.000 µg/l (100 µg/l).

6.1 Grundvandsovervågningen

Data for uorganiske sporstoffer rapporteres ikke hvert år, hvorfor dette års rapport beskriver såvel nye GRUMO-data for 2017 som data samlet for 2011-2016 (programperioden 2011-2015 og programforlængelsen 2016), der ikke tidligere er afrapporteret samlet. I 2017 er 678 GRUMO-indtag og i perioden 2011-2016 er 911 GRUMO-indtag analyseret for stofferne aluminium, arsen, bly, bor, beryllium, cadmium, jod, kobber, nikkel.

Figur 46 viser den procentvise fordeling for de undersøgte sporstoffer, for hhv. 2017 og perioden 2011-2016 baseret på gennemsnitskoncentrationer på indtagniveau. Beryllium er ikke afbildet, da 82 % (2017) henholdsvis 77 % (2011-2016) af indtagene havde koncentrationer under detektionsgrænsen. Der er stor forskel på koncentrationsniveauerne for de forskellige sporstoffer og samtidig er der for hvert sporstof en stor spredning i de målte koncentrationer. For jod er data for 2017 og i perioden 2011-2016 sammenfaldende, mens forskellene er større for de resterende otte stoffer, se Figur 46. Koncentrationsfordelingerne for aluminium, bly, cadmium, kobber, nikkel og zink viser lavere værdier for 2017 end i perioden 2011-2016, mens det modsatte er tilfældet for arsen og bor.



Figur 46. GRUMO. Koncentrationsfordelinger for sporstoffer (bortset fra beryllium) i GRUMO-indtag analyseret i 2017 og perioden 2011-2016. Figuren viser kravværdien for drikkevand (KV), antal indtag og procent indtag med koncentrationer under detektionsgrænsen (<DG). For jod er der ikke fastsat en kravværdi. Bemærk logaritmisk x-akse.

Tabel 23 viser koncentrationsniveauerne for sporstoffer i GRUMO-indtag i 2017. Der er i 2017 konstateret overskridelser af kravværdien for drikkevand for fem stoffer: aluminium, arsen, bly, bor og nikkel. Andelen af indtag med overskridelser af kravværdien er 5,6 % for aluminium, 9,0 % for arsen, 0,4 % for bly, 0,9 % for bor og 3,2 % for nikkel. I alt 130 indtag, svarende til 19 % af de undersøgte indtag, indeholder mindst ét sporstof i en koncentration over kravværdien, heraf to stoffer i 17 indtag (2,5 %) (aluminium og arsen i kombination med bor, nikkel eller bly). Indholdet af cadmium, kobber og zink er i alle undersøgte indtag under kravværdien.

Tabel 24 viser koncentrationsniveauerne for sporstoffer i GRUMO-indtag i perioden 2011-2016. Der er i perioden 2011-2016 konstateret overskridelser af kravværdien for seks stoffer, nemlig aluminium, arsen, bly, bor, cadmium og nikkel. Andelen af indtag med overskridelser af kravværdien er 8,0 % for aluminium, 7,6 % for arsen, 1,4 % for bly, 0,4 % for bor, 0,2 for cadmium og 5,6% for nikkel. I alt 212 indtag, svarende til 23 % af de undersøgte indtag indeholder mindst ét sporstof i en koncentration over kravværdien, heraf to stoffer over kravværdien i 41 indtag (4,5 %) (aluminium i kombination med bly, cadmium og nikkel eller arsen i kombination med aluminium, bor og nikkel). I seks indtag (0,7 %)

overskrider kravværdien for tre stoffer (aluminium i kombination med bly/cadmium og nikkel) og i ét indtag (0,1 %) overskrider kravværdien for 4 stoffer (aluminium, arsen, bly og nikkel).

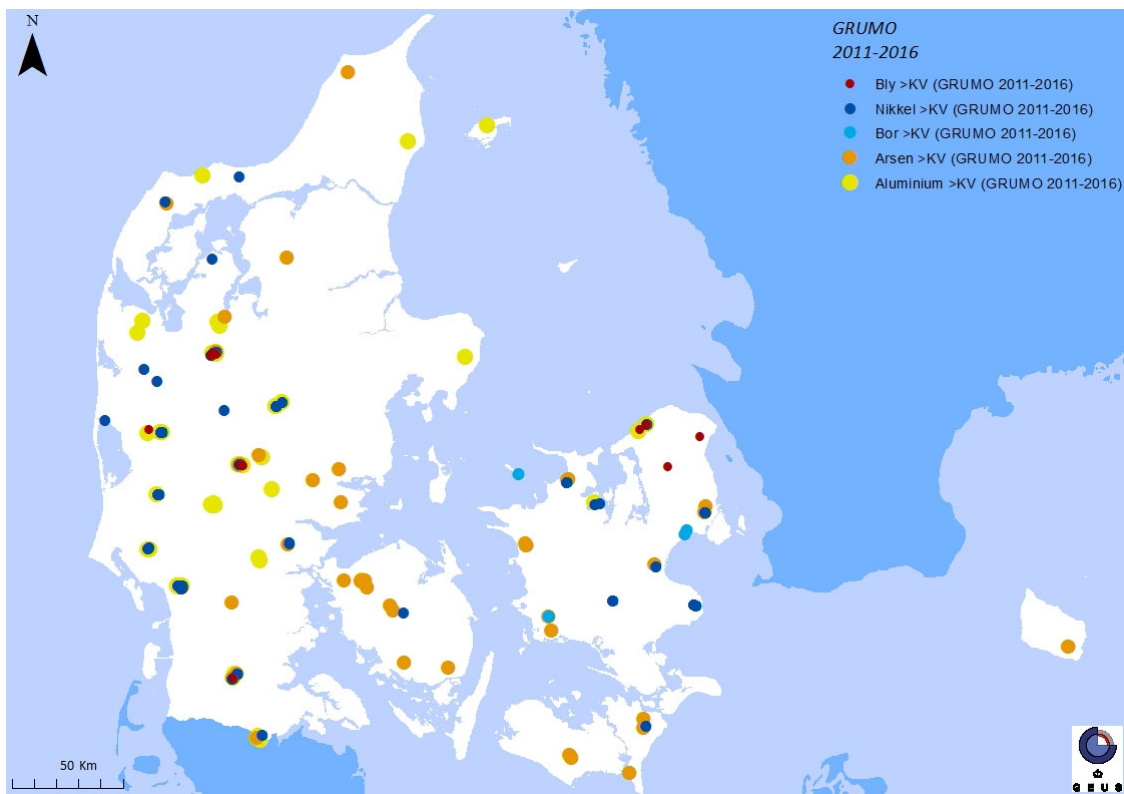
Figur 47 viser den geografiske fordeling af GRUMO-indtag med målte koncentrationer over kravværdien i perioden 2011-2016. For perioden 2011-2016 var koncentrationerne af kobber og zink under kravværdien i alle undersøgte indtag.

Tabel 23. GRUMO. Sporstoffer GRUMO 2017. Tabellen viser antal undersøgte indtag, indtag med fund, og indtag over kravværdi for drikkevand (KV). For beryllium og jod er der ikke fast kravværdier.

GRUMO	Detektionsgrænse	Kravværdi	Indtag	Indtag		
				2017	Fund %	Antal
Aluminium	0,5	200	91,5	678	38	5,6
Arsen	0,03	5	98,4	678	61	9,0
Bly	0,03	5	36,0	678	3	0,4
Bor	10	1.000	96,6	677	6	0,9
Beryllium	0,02	-	18,0	678	-	-
Cadmium	0,003	3	51,3	678	0	0
Jod	0,3	-	99,3	675	-	-
Kobber	0,03	2.000	75,2	678	0	0
Nikkel	0,03	20	88,2	678	22	3,2
Zink	0,5	3.000	82,0	678	0	0

Tabel 24. GRUMO. Sporstoffer GRUMO 2011-2016. Tabellen viser antal undersøgte indtag, indtag med fund, og indtag over kravværdi for drikkevand (KV). For beryllium og jod er der ikke fast kravværdier.

GRUMO	Detektionsgrænse	Kravværdi	Indtag	Indtag		
				2011-2016	Fund %	Antal
Aluminium	0,5	200	96,7	908	73	8,0
Arsen	0,03	5	96,9	911	69	7,6
Bly	0,03	5	52,0	909	13	1,4
Bor	10	1.000	99,8	907	4	0,44
Beryllium	0,02	-	22,9	909	-	-
Cadmium	0,003	3	72,2	909	2	0,22
Jod	0,3	-	99,6	908	-	-
Kobber	0,03	2.000	80,9	909	0	0
Nikkel	0,03	20	95,0	911	51	5,6
Zink	0,5	3.000	81,7	906	0	0



Figur 47. GRUMO. Sporstoffer i perioden 2011-2016 med koncentrationer over kravværdien for drikkevand (KV) i GRUMO-indtag. Koncentrationer over kravværdien blev målt for aluminium i 73 indtag, arsen i 69 indtag, bly 13 indtag, bor 4 indtag og nikkel 51 indtag.

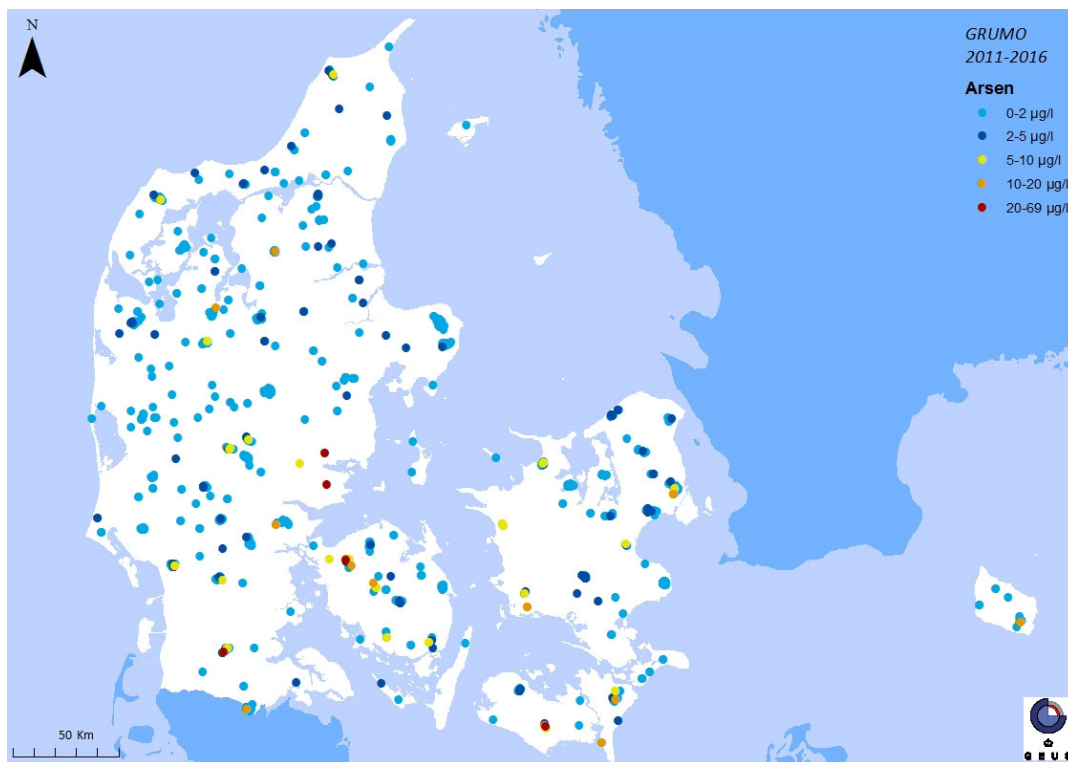
Arsen, nikkel, kobber og zink

I det følgende beskrives arsen og nikkel, der jævnligt optræder i koncentrationer over kravværdien for drikkevand, samt kobber og zink, der p.t. ikke viser overskridelser af kravværdien for drikkevand, men findes i koncentrationer, der overstiger miljøkvalitetskravet for overfladevand (Jensen og Bak, 2018). Kvalitetskravene er beskrevet i bilag 11.

Arsen

Arsen forekommer naturligt i en række mineraler, eksempelvis arsenpyrit (FeAsS) og andre sulfider. Mobiliteten af arsen er begrænset af dets stærke binding til ler, jernoxid/hydroxider og organisk stof. Oxidations-/reduktionsprocesser er stærkt styrende for mobiliteten af arsen i jordlagene. I grundvandsmagasinerne frigives arsen, når jernoxiderne reduceres og går i opløsning under dannelse af ferrojern. Modsat vil iltning af vandet bevirke, at arsen sorberer og indbygges i jernoxid/hydroxider. Iltfattigt grundvand indeholder derfor som hovedregel mere arsen end iltholdigt grundvand.

Figur 48 viser, at arsen i GRUMO-indtag i perioden 2011-2016 for koncentrationer op til $5 \mu\text{g/l}$ findes arsen jævnt fordelt over landet. Grundvand med højere koncentrationer af arsen findes rundt om på Sjælland, på Falster og Lolland, i et NV-SØ-ligt bånd hen over Fyn, i Sønderjylland, Himmerland, Thy og Vendsyssel.



Figur 48. GRUMO. Arsen i 911 GRUMO-indtag i perioden 2011-2016. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Nikkel

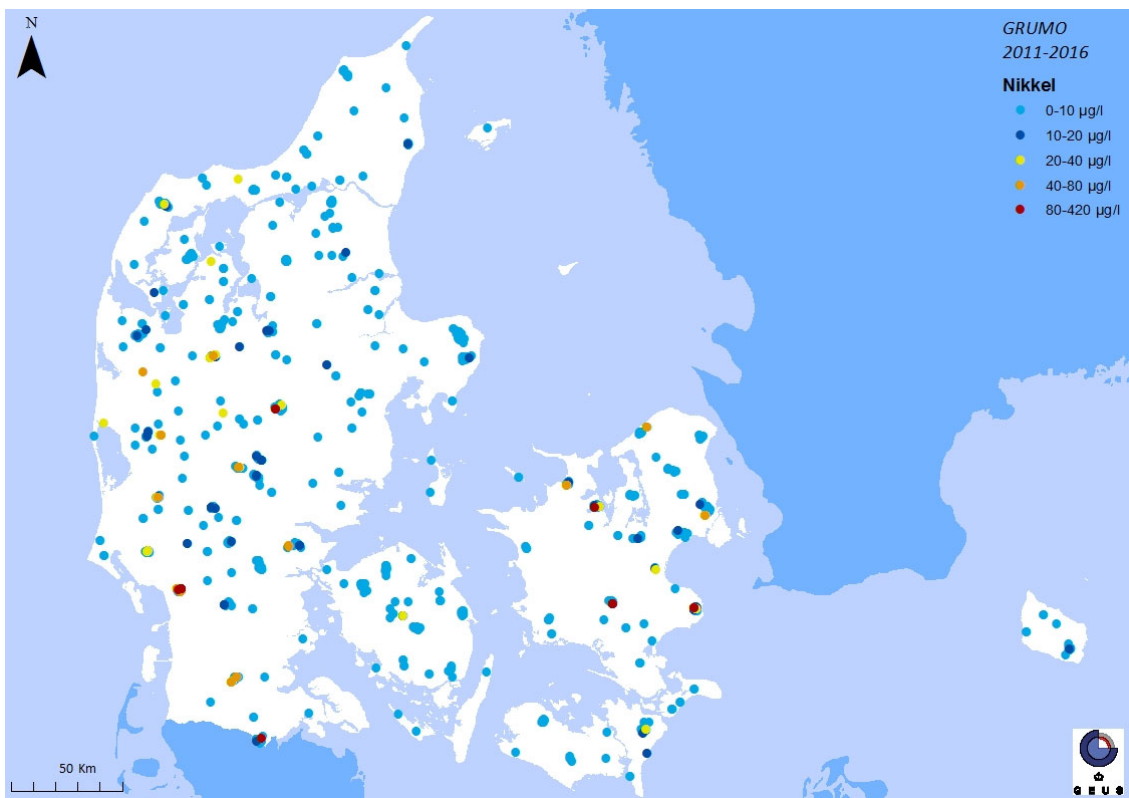
Nikkel findes naturligt i en række nikkelholdige mineraler og sulfidholdige mineraler som pyrit (FeS_2). Mobiliteten af nikkel er bestemt ved pH- og redoxforhold. Ved neutrale pH-forhold vil nikkels mobilitet kunne nedsættes, fordi det bindes til bl.a. lermineraler, organisk stof og jernoxid/hydroxider. Nikkel frigives til grundvandet, når de sulfidholdige mineraler oxideres. Oxidationen kan skyldes sænkning af grundvandspejlet, hvorved atmosfærisk luft (og ilt) får adgang til sedimenterne (barometerånding), eller nedsivning af ilt- og nitratholdigt vand. Det er særligt i førstnævnte tilfælde, at meget høje nikkelkoncentrationer opstår i grundvandet (Jensen mfl., 2003). Forsuring af grundvandet kan også være årsag til forhøjede koncentrationer af nikkel i grundvand.

Figur 49 viser, at for koncentrationer op til $10 \mu\text{g/l}$ findes nikkel jævnt fordelt over landet i GRUMO-indtagene i perioden 2011-2016. Højere koncentrationer, op til $420 \mu\text{g/l}$, findes primært i den nordlige og østlige del af Sjælland samt i Midt- og Syddjylland.

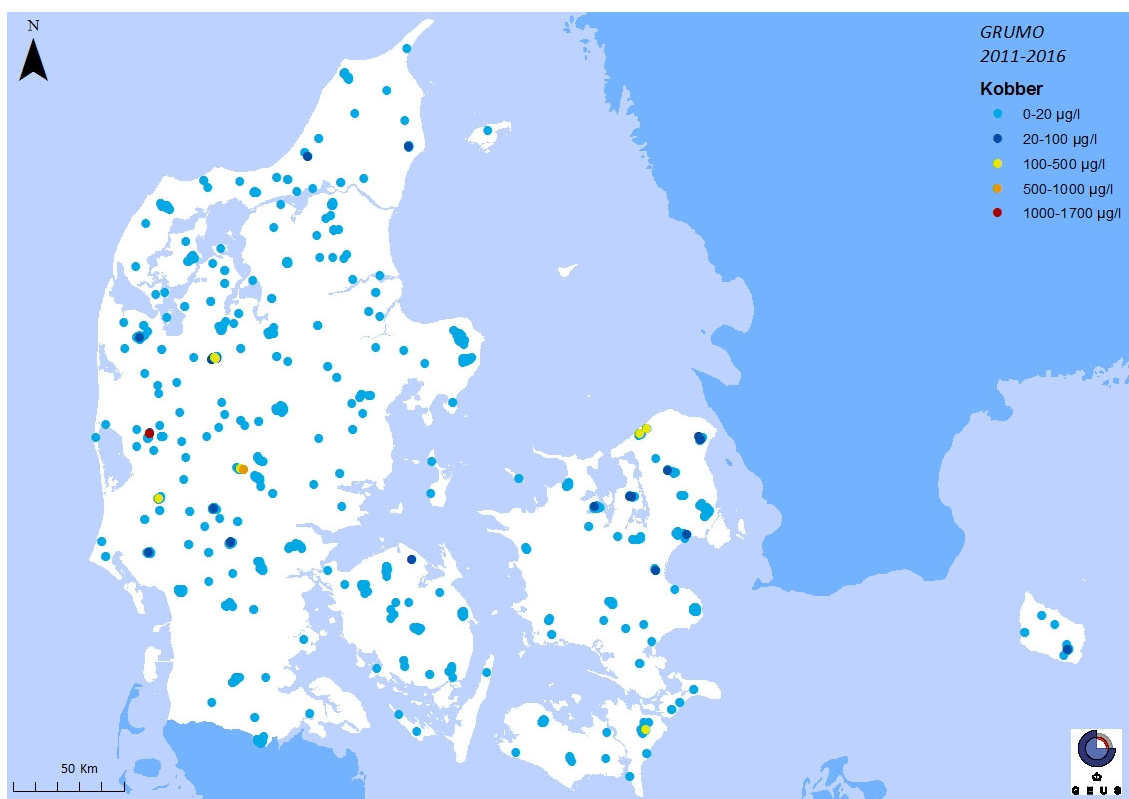
Kobber

Kobber findes naturligt i en række almindelige mineraler. Mobiliteten af kobber er bestemt af pH- og redoxforhold og den største mobilitet ses under sure forhold og oxiderende forhold. Kobber bindes let til organisk stof og fælder ud med jern-oxid/hydroxider.

Figur 50 viser, at for koncentrationer op til $20 \mu\text{g/l}$ findes kobber jævnt fordelt over landet i GRUMO-indtag i perioden 2011-2016. Mellemhøje koncentrationer på $20\text{-}500 \mu\text{g/l}$ kobber findes i den nordvestlige del af Sjælland, på Falster, Nordfyn, Midtjylland og i Vendsyssel, mens de højeste koncentrationer ($500\text{-}1700 \mu\text{g/l}$) findes i Midtjylland.



Figur 49. GRUMO. Nikkel i 911 GRUMO-indtag målt i perioden 2011-2016. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.



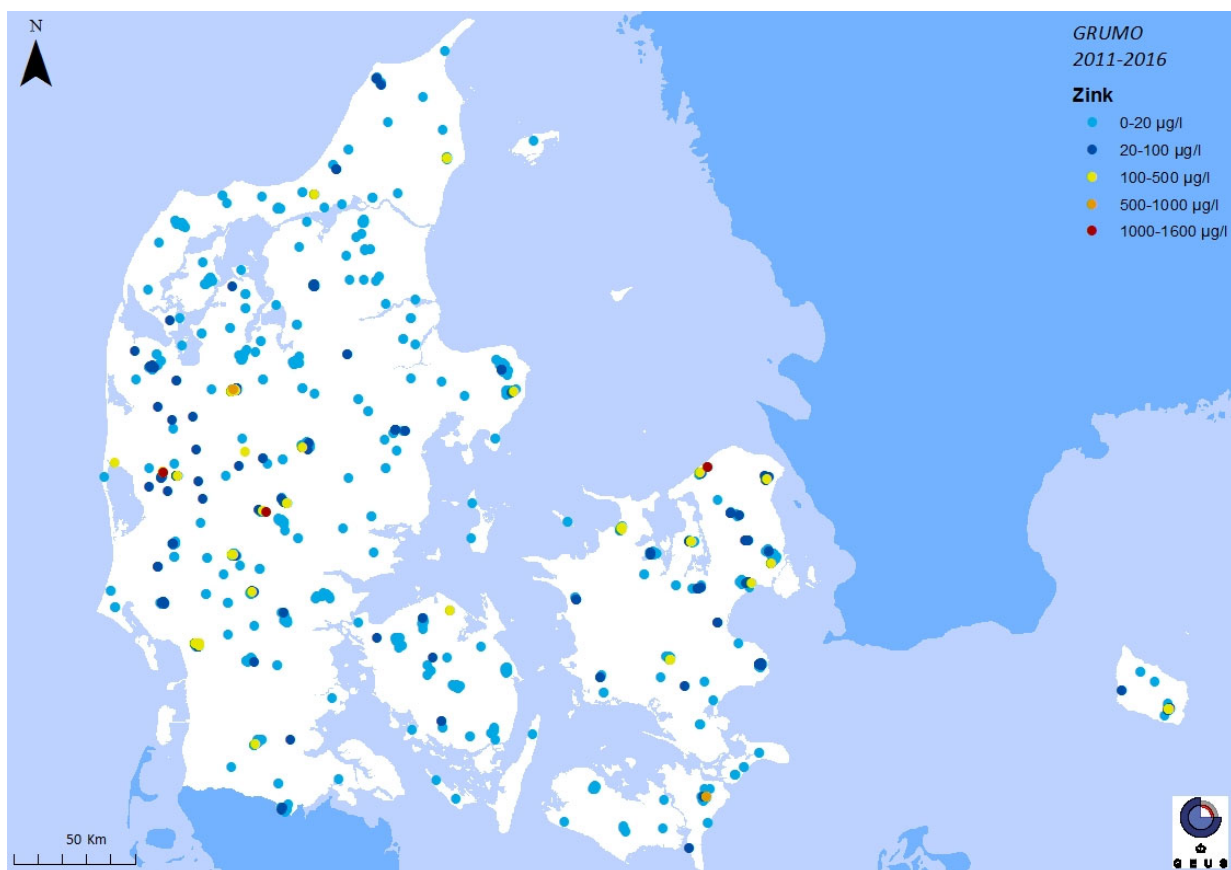
Figur 50. GRUMO. Kobber i 909 GRUMO-indtag målt i perioden 2011-2016. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Zink

Zink findes indbygget i en række almindelige mineraler eksempelvis sulfider. Mobiliteten af zink er størst under sure forhold, men det er også mobilt under pH-neutrale eller svagt basiske forhold. Zink indgår også i sulfider, hvorfra det kan frigives når disse forbindelser oxideres. Zink binder sig til jern- og manganoxid/hydroxider, lermineraller og organisk stof.

Handelsgødning og i særdeleshed husdyrgødning er de væsentlige kilder til zink i danske landbrugsjorde. Cirka 1/3 af det samlede zinkindhold i husdyrgødning vurderes at stamme fra medicinsk zink til smågrise, hvor det anvendes for at forhindre afvænningsdiarré og de resterende 2/3 stammer fra brugen af zink i fodertilskud (Jensen og Bak, 2018).

Figur 51 viser, at koncentrationer op til 20 µg/l zink findes jævnt fordelt over landet i GRUMO-indtag i perioden 2011-2016. Det samme gælder indtag med 20-100 µg/l zink, om end med lavere hyppighed. I den nordøstlige del af Sjælland, på Falster samt i Midt- og Sønderjylland findes indtag med højere koncentrationer og de maksimale koncentrationer mellem 1.000 og 1.600 µg/l zink er målt i indtag i Nordsjælland og Midtjylland.



Figur 51. GRUMO. Zink i 906 GRUMO-indtag målt i perioden 2011-2016. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

6.2 Vandværksboringer

Datagrundlag og status

I dette afsnit rapporteres data for 2017 og 5-års perioden 2013-2017, hvor alle vandværksboringer forventes prøvetaget mindst én gang, se også appendiks 1.

Tabel 25 viser fund og overskridelser af kravværdier for drikkevand i 2017. Der er analyser fra 1.684 vandværksboringer. I hovedparten af boringerne er der analyseret for drikkevandsbekendtgørelsens obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel. Ud af de 1684 boringer er der fundet overskridelse af kravværdierne for ét eller flere stoffer i 270 boringer, svarende til 15 %. En samtidig overskridelse på to stoffer (nikkel med arsen eller kobolt) og tre stoffer (bor, kobolt og nikkel) forekommer i henholdsvis 5,3 % og 2,0 % af vandværksboringerne.

Tabel 25. Boringskontrol. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer i 2017. Tabellen viser antal undersøgte boringer, detektionsgrænse (DG) og kravværdi (KV) for drikkevand.

Vandværksboringer	DG	Kravværdi	Boringer	Boringer		
				2017	Antal	Antal >KV
	µg/l	µg/l	Fund %			
Aluminium	7	200	30,9	207	0	0
Arsen	0,03	5	93,1	1.640	216	13,2
Barium	1	-	99,5	1.615	-	-
Bly	0,05	5	33,3	15	0	0
Bor	10	1.000	99,0	1.653	7	0,42
Bromid	-	-	100	46	-	-
Cadmium	0,004	3	5,9	34	0	0
Krom	0,04	50	93,3	15	0	0
Cyanid	1,0	50	3,77	53	0	0
Kobber	0,04	2.000	67,9	56	0	0
Kobolt	0,04	5	40,4	1.615	11	0,68
Kviksølv	0,002	1	0	4	0	0
Nikkel	0,03	20	79,1	1.684	36	2,1
Molybdæn	5	-	0	19	-	-
Strontium	-	-	100	352	-	-
Zink	0,5	3.000	78,6	14	0	0

Tabel 26 viser for perioden 2013-2017 fund og overskridelser af kravværdien for drikkevand for sporstoffer i 5.966 vandværksboringer. Hovedparten af boringerne er analyseret for de obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel. Desuden er et større antal boringer analyseret for strontium (indvinding fra skrivekridt) og aluminium (hvis pH i vandet er <6). Der er fundet overskridelse af kravværdierne for ét eller flere stoffer i 842 boringer, svarende til 14 %. Der er overskridelser af kravværdien for arsen (11,9 %), nikkel (1,7%), kobolt (0,5 %), bor (0,3 %) og aluminium (0,2 %).

Figur 52 viser for arsen den geografiske fordeling af vandværksboringer, der overstiger kravværdien. Overskridelserne findes i store dele af Danmark og med største tæthed i Vestsjælland, i områderne langs Køge bugt, i store dele af Lolland, i den centrale og vestlige del af Fyn og i den østligste del af Jylland, fra Mols ned til Kolding. Desuden findes en del boringer med høje indhold af arsen i Himmerland og Vendsyssel.

Figur 53 viser, at høje indhold af nikkel i vandværksboringer findes med stor tæthed i Københavnsområdet og langs Køge bugt. I resten af landet findes spredte boringer.

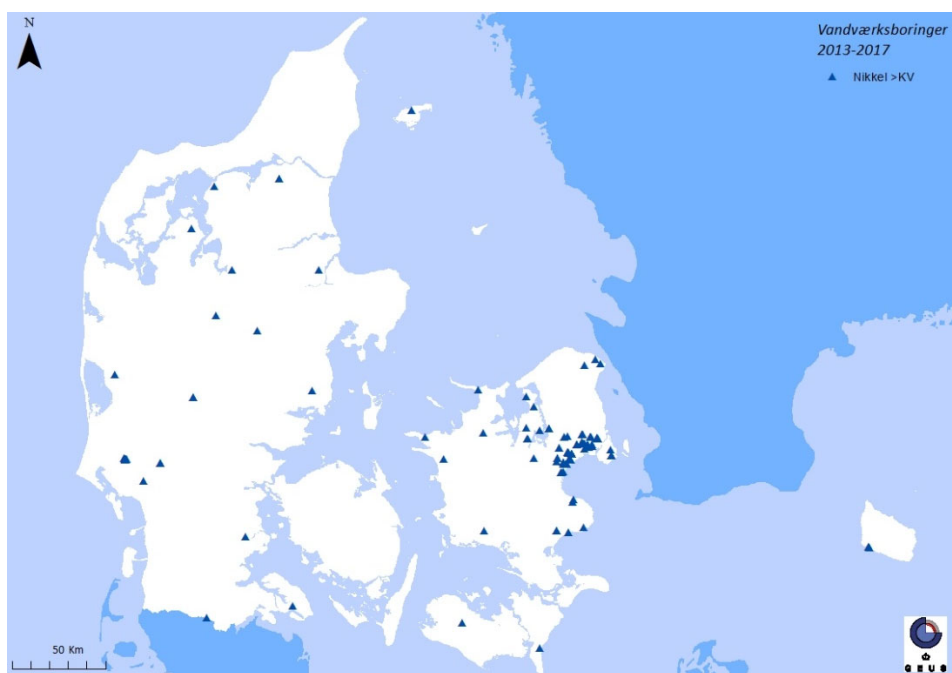
Figur 54 viser den geografiske fordeling af vandværksboringer med overskridelser af kravværdien for kobolt, bor og aluminium. Høje indhold af kobolt i vandværksboringer findes primært syd for København og på Stevns samt i et NØ-SV-ligt bånd i Jylland fra Randers til Varde. Overskridelserne for bor i vandværksboringer findes, især på Sjælland og her hyppigst syd for Roskilde og sydvest for København. Eneste boring med overskridelse i aluminium findes i Jylland, syd for Nissum Bredning.

Tabel 26. Boringskontrollen. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer i perioden 2013-2017. Tabellen viser antal undersøgte vandværksboringer, detektionsgrænser (DG) og kravværdi (KV).

Vandværksboringer	DG µg/l	Kravværdi µg/l	Boringer Fund %	Boringer		
				2013-2017	Antal	Antal >KV
Aluminium	7	200	38,8	528	1	0,19
Arsen	0,03	5	92,1	5.939	704	11,9
Barium	1	-	99,5	5.922	-	-
Bly	0,05	5	46,2	143	0	0
Bor	10	1.000	98,8	5.944	17	0,29
Bromid	-	-	100	145	-	-
Cadmium	0,004	3	11,1	144	0	0
Krom	0,04	50	48,0	100	0	0
Cyanid	1,0	50	7,89	152	0	0
Kobber	0,04	2.000	82,3	141	0	0
Kobolt	0,04	5	47,3	5.911	21	0,54
Kviksølv	0,002	1	2,4	85	0	0
Nikkel	0,03	20	85,2	5.966	100	1,68
Molybdæn	5	-	0	21	0	0
Strontium	-	-	100	1.120	-	-
Zink	0,5	3.000	64,0	139	0	0



Figur 52. Boringskontrollen. Arsen over kravværdien for drikkevand i 704 vandværksboringer i perioden 2013-2017. I de fleste tilfælde vil optimeret indvinding og behandling af grundvandet nedbringe indholdet af arsen væsentlig i vandet, der distribueres fra vandværkerne.



Figur 53. Boringskontrollen. Nikkel over kravværdien for drikkevand i 100 vandværksboringer i perioden 2013-2017.



Figur 54. Boringskontrollen. Aluminium, bor og kobolt over kravværdien for drikkevand i henholdsvis 1, 17 og 21 vandværksboringer i perioden 2013-2017

Referencer: Uorganiske sporstoffer

Vejledninger mv.

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

Andre referencer og litteratur i øvrigt

Ersbøll, A.K., Monrad, M., Sørensen, M., Baastrup, R., Haansen, B., Bach, F.W., Tjønneland, A., Overvad, K., Raaschou-Nielsen, O., 2018: Low-level exposure to arsenic in drinking water and incidence of stroke: A cohort study in Denmark. *Environment International* 120: 72-80.

Jensen, J. og Bak, J.L. 2018. Zink og kobber i vandmiljøet. Kilder, forekomst og den miljømæssige betydning. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Aarhus Universitet, Institut for Bioscience. Rapport nr. 263. 43 sider.

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

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

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

Larsen, F., Kjølner, C., Ramsay. 2010. Manual om arsen i dansk drikkevand med forslag til løsninger.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/media/16426/g-o-2009.pdf (11.01.2019)

World Health Organization. 2017. Guidelines for drinking-water quality. 4th Edition incorporating the first addendum. 541 sider.

Links

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (11.01.2019)

7 Organiske mikroforureninger

Indledning

Kapitlet om organiske mikroforureninger er opdelt i to hovedafsnit. Første hovedafsnit omhandler resultater fra grundvandsovervågningen (GRUMO). Andet hovedafsnit omhandler resultater fra de almene vandværkers overvågning af vandværksboringer (boringskontrollen). Overvågningen af organiske mikroforureninger i grundvand omfatter et antal miljøfremmede organiske stoffer, der anvendes eller tidligere har været bredt anvendt i Danmark. Det er ikke nødvendigvis de samme stoffer, som er undersøgt i GRUMO og boringskontrollen. Der er dog et vist overlap af stoffer, og hvor det er muligt, vil data fra GRUMO og boringskontrollen derfor blive sammenlignet og diskuteret.

Dette års rapport beskriver analyseresultater indsamlet i perioden 2011-2017. Resultaterne for den samlede programperiode 2011-2015 præsenteres for første gang samlet i denne rapportering, idet hele denne stofgruppe samlet set sidst blev rapporteret i forbindelse med rapporteringen af 2014 data (Thorning mfl., 2015b). Ifølge programbeskrivelsen for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen 2011-2015 skal hvert indtag enten prøvetages én gang i perioden eller hvert år (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011). Prøvetagningen af indtag, der kun skal prøvetages én gang, er fordelt over alle årene, hvilket medførte at først i 2015 var alle indtag prøvetaget én gang.

Hovedvægten ligger på det samlede resultat for programperioden 2011-2015, med data for PFAS og diklorphenoler indsamlet i overgangsåret 2016 inkluderet i opgørelsen. Det første års data fra den nye programperiode 2017-2021 (Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017) er kun bearbejdet i mindre omfang, men en tabel-oversigt på indtagsniveau over analyser og fund i GRUMO er inkluderet.

Organiske mikroforureninger er en meget forskelligartet stofgruppe med mange forskellige detektionsgrænser og kravværdier (grænseværdier) samt meget forskellige kilder til og opførelse i miljøet. De stofgrupper, der har indgået i grundvandsovervågningen i perioden 2011-2017, beskrives derfor kort i det følgende, med hensyn til anvendelse og kilder. Fund vurderet i forhold til detektionsgrænser og kravværdier præsenteres i hovedafsnittene, mens stoffernes opførelse i miljøet kun berøres sporadisk i denne rapport. Der er særligt fokus på stoffer, der har en bred anvendelse i samfundet, og hvor den miljømæssige effekt ved tab fra den tilsigtede anvendelse er uønsket. Dette skyldes, at en del af stofferne er giftige for mennesker eller økosystemer, eller kan have hormonforstyrrende effekter selv ved lave koncentrationer.

Aromatiske kulbrinter

Aromatiske kulbrinter er en gruppe af oliestoffer, organiske opløsningsmidler og industrikemikalier. Af særlig interesse for grundvandsmonitoring er stofferne toluen, xylene og benzen. Kilder til indhold i grundvand kan bl.a. være fyld- og lossepladser, olie- og benzinanlæg, asfalt og tjærevirksomheder samt gasværker.

Halogenerede alifatiske kulbrinter

Halogenerede alifatiske kulbrinter, er en gruppe af stoffer, der primært har været anvendt som opløsnings- og affedtningsmidler. Alle stofferne indeholder halogener som klor eller brom, mens forbindelser med fluor typisk indgår i gruppen PFAS. Den vigtigste gruppe af disse stoffer (set i forhold til grundvandsforurening) indeholder klor og omtales ofte som 'klorerede opløsningsmidler'. De hyppigst fundne er klorerede ethener (tetrakloretylen, trikloretylen, dikloretylener, vinylklorid) samt kloroform (trikloro-methan). Halogenerede alifatiske kulbrinter optræder fx ved fyld- og lossepladser, forurenedede grunde i forbindelse med renseserier, industrier med maskiner, der kræver affedtning samt ved virksomheder med laboratorieaktivitet. Den tidligere udbredte anvendelsen af denne gruppe stoffer i både i større, men også i mange mindre erhvervsvirksomheder har resulteret i mange jord- og grundvandsforureninger.

Dikloretylener og vinylklorid er nedbrydningsprodukter fra de klorerede opløsningsmidler tetra- og trikloretylen og har under anoxiske forhold typisk en langsommere nedbrydningshastighed end de øvrige klorerede kulbrinter, hvilket kan betyde, at der på sigt kan ske en opkoncentrering i de grundvandsmagasin-ner, der er forurenet med klorerede opløsningsmidler. Visse halogenerede kulbrinter, fx kloroform kan optræde naturligt i grundvand (Jacobsen mfl., 2007, Albers, 2010; Albers mfl., 2010).

Hormonforstyrrende stoffer

Nonylfenol, nonylfenol-monoethoxylater og nonylfenol-diethoxylater er hormonlignende stoffer, der primært stammer fra nedbrydning af nonylfenol-polyethoxylater, som er anvendt som hjælpestoffer i en lang række industrielle processer, bl.a. kemisk rensning, tekstilfremstilling.

Phthalater er blødgøringsmidler, der tilsættes til plast, gummi og skummateriale for at gøre dem bløde og bøjelige. Stofgruppen omfatter bl.a. bis(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), dibutylphthalat (DBP) og diisobutylphthalat (DNP), som indgår i grundvandsovervågningen. Hovedanvendelsen af phthalater er blødgøring af PVC (polyvinylklorid), men især DBP har været anvendt i mange dagligdags produkter.

Fenol og klorfenoler

Fenoler findes bl.a. i tjære og creasot (destillationsprodukt af kul eller træ). Fenoler anvendes til fremstilling af en lang række industrielle produkter af bl.a. lægemidler, pesticider, farvestoffer samt som konserveringsmiddel. Den store og brede brug af fenol og fenolforbindelser betyder, at disse forbindelser i mange sammenhænge bidrager til forurening af vand og jord. Fenoler kan endvidere dannes ved nedbrydning af naturligt organisk stof, og flydende husdyrgødning kan indeholde op til 2 g fenol pr. kilo tørstof (Fyns Amt, 2002).

Klorfenoler (fenoler hvor ét eller flere brintatomer er substitueret med et kloratom) anvendes bl.a. som desinfektionsmidler og til fremstilling af ukrudtsmidler, fx phenoxysyrerne MCPA og dichlorprop. Der er hovedsageligt tale om industriel anvendelse. 2,4-diklorfenol er endvidere et nedbrydningsprodukt efter phenoxysyrerne 2,4-D og dichlorprop.

Pentaklorfenol er et særdeles persistent stof i miljøet. Stoffet har tidligere været anvendt til bl.a. trykimprægning af træ pga. dets giftige virkning for alger, bakterier og svampe.

Detergenter

Lineære alkylbenzensulfonater (LAS) er en samlebetegnelse for en række anioniske detergenter (overfladeaktive stoffer), der primært anvendes til vaske- og rengøringsmidler, og hvis primære kilde til miljøet er udledning via spildevand. I boringskontrollen udføres ikke analyse for LAS, men en ikke-stofspecifik analyse 'Anioniske detergenter', som bl.a. omfatter LAS.

Per- og polyfluorerede forbindelser (PFAS)

Per- og polyfluorerede forbindelser er betegnelse for en stofgruppe, der indeholder tusindvis af stoffer, der på engelsk kaldes per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). De perfluorerede forbindelser indeholder en alkylkæde, hvor alle brintatomer er substitueret med fluoratomer, mens brintatomer i alkylkæden i de polyfluorerede forbindelser kun er delvist substituerede med fluoratomer. Den perfluorerede alkylkæde giver såvel hydrofile som hydrofobe egenskaber (olie- og vandafvisende) i samme molekyle. Stofgruppen anvendes derfor bl.a. som overfladeaktive stoffer, hjælpestoffer i brandslukningsmidler, imprægneringsmidler i beklædning, antistatiske midler og indgår desuden i syntesen af teflonprodukter. Den perfluorerede alkylkæde er vanskeligt nedbrydelig, og stofferne findes vidt udbredt i miljøet om end normalt i meget lave koncentrationer.

7.1 Organiske mikroforureninger, Grundvandsovervågning

Datagrundlag og metode

Grundvandsovervågningen omfatter for hver programperiode et antal udvalgte stoffer. Tabel 27 viser de 33 stoffer, der indgik i analyseprogrammet for programperioden 2011-2015, overgangsåret 2016 samt for programperioden 2017-2021. Herudover kan der enkelte år være screeninger for særlige stoffer. I 2014 var der en screening for PFAS-forbindelser, og efterfølgende er der i GRUMO påbegyndt analyse af 12 PFAS-forbindelser i et begrænset antal indtag, se Tabel 28 (2011-2016) og Tabel 29 (2017). I 2016 var disse sammen med diklorfenoler de eneste organiske mikroforureninger, som blev analyseret i GRUMO.

For mange stoffer i gruppen af organiske mikroforureninger er der stor risiko for kontaminering af prøverne under og efter prøvetagning. Det skyldes den ofte meget brede anvendelse af stofferne. For at undgå mulige kontamineringer skal udførelse og udbygning af borerne samt den efterfølgende prøvetagning, prøveopbevaring og laboratoriehåndtering af vandprøverne derfor ske med særlig stor omhu og omtanke, jf. de tekniske anvisninger (Thorling, 2012b). Muligheden for forekomst af falske positive (fund, hvor der reelt intet er i grundvandet) har været diskuteret i de seneste GRUMO-rapporteringer af organiske mikroforureninger.

For at vurdere omfanget af falske positive har GEUS i perioden 2015-2017 udført en grundig gennemgang af alle fund af organiske mikroforureninger siden overvågningens begyndelse i 1989 og frem til 2015. Resultatet af denne gennemgang blev, at godt 3.000 fund fra 1990-2015 blev vurderet fejlbehæftede (GEUS, 2018). Disse fund er efterfølgende blevet mærket i Jupiter-databasen, således at de ikke længere indgår i det dataudtræk, som ligger til grund for afrapporteringen. Der vil derfor for visse stoffer være en lavere fundprocent end ved tidligere afrapporteringer. Det gælder især aromatiske kulbrinter, nonylfenoler og phthalater. Det kan naturligvis ikke udelukkes, at der stadig findes falske positive i data-sættet, men i store træk må årets afrapportering af organiske mikroforureninger antages at være retvisende for kvaliteten af det grundvand, der er taget prøver af.

En undtagelse herfra kan være PFAS-forbindelser, som ikke indgik i datagennemgangen, som beskrevet ovenfor (GEUS, 2018), idet der ikke kan udelukkes afsmitning fra fx installationer i boringen eller på anden vis, ikke mindst på grund af den ekstremt lave detektionsgrænse for PFAS'erne (0,001-0,005 µg/l, se Tabel 28). I forbindelse med etableringen og instrumenteringen af borerne, er der fx nogle steder anvendt teflonholdige materialer, som teflontape til tætning af rør eller teflonkugler i montejus-pumper, der giver en vis risiko for afsmitning. Brugen af teflonholdige materialer anbefales i Teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen (GEUS, 2003 og Thorling, 2012b). Risiko for kontaminering med PFAS fra teflonholdige materialer er beskrevet i metodetablade fra referencelaboratorierne (REFLAB, 2015), men der er pt. ikke nogen evaluering af betydningen af denne kontamineringsrisiko.

I databehandlingen for programperioden 2011-2015 og 2016 opgøres det samlede antal prøver og indtag med analyse for hvert af de forskellige stoffer samt fordelingen af prøver og indtag over og under detektionsgrænsen (DG). Endvidere vises i hvor mange indtag, der var fund over og under kravværdien (KV) (antal og %). Et stof noteres som påvist i et indtag (\geq DG), hvis der mindst én gang har været fund og noteres som over kravværdien ($>$ KV), hvis koncentrationen mindst én gang har været over kravværdien. I opgørelsen indgår indtag over kravværdien således også i andelen af indtag med fund.

De forskellige enkeltstoffer er analyseret i prøver fra op til 822 GRUMO-indtag. PFAS-forbindelser er dog analyseret i et betydeligt mindre antal indtag, højst 258 indtag. En tilsvarende dataanalyse er lavet på indtagsniveau for 2017 (se Tabel 29), for at præsentere seneste status. 2017-data repræsenterer dog kun en lille del af GRUMO-indtagene og vil derfor ikke blive diskuteret så grundigt som data fra perioden 2011-2016.

Tabel 27. GRUMO. Analyseprogrammet for organiske mikroforureninger for programperioderne 2011-2015, 2016 og 2017-2021 i Grundvandsovervågningen. Rødt kryds angiver stoffer, som ikke blev analyseret i 2017, men som indgår i programbeskrivelsen for 2017-2021. ^{a)}Kravværdi for drikkevand jf. drikkevandsbekendtgørelsen (Miljø- og Fødevareministeriet 2018a). Hvis der ikke forefindes en kravværdi i drikkevandsbekendtgørelsen, men i stedet findes et grundvandskriterie til brug for jordforureningssager. ^{b)} Grundvandskvalitetskriteriet er 5 µg/l (Miljøstyrelsen, 2015). ^{c)}Hvis indholdet er naturligt kan der tillades en højere værdi dog maksimalt 10 µg/l. ^{d)}Sum af octylfenol og nonylfenol. ^{e)}Sum af øvrige phthalater end DEHP. Grundvandskvalitetskriteriet er 1 µg/l (Miljøstyrelsen, 2015). ^{f)} Sum af anioniske detergenter. ^{g)}Drikkevandskravet for PFAS-forbindelser er 0,1 µg/l, beregnet som summen af PFBS, PFHxS, PFOS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA og PFDA. ^{h)}Der blev screenet for PFAS-forbindelser i 2014 og analyser i et begrænset antal indtag i 2015 og 2016.

Stofgruppe	Analyseret stof	Kravværdi ^{a)} KV, µg/l	2011-2015	2016	2017
<i>Aromatiske kulbrinter</i>	Benzen	1	X		X
	Toluen	25 ^{b)}	X		X
	Xylener (<i>o</i> -xylene, <i>m</i> -xylene og <i>p</i> -xylene)	5 ^{b)}	X		X
<i>Halogenerede alifatiske kulbrinter</i>	Tetraklorethylen	1	X		X
	Tetraklormetan	1	X		X
	Trikloretylen	1	X		X
	Kloroform (triklormetan)	1 ^{c)}	X		X
	1,1,1-trikloretan	1	X		X
	1,2-dibrometan	0,01	X		X
	Vinylklorid	0,5	X		X
<i>Hormonforstyrrende stoffer</i>	Nonylfenoler	20 ^{d)}	X		X
	Nonylfenol-monoethoxylater	-	X		X
	Nonylfenol-diethoxylater	-	X		X
	bis(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP)	1	X		X
	Dibutylphthalat (DBP)	5 ^{e)}	X		X
	di-iso-nonylphthalat (DNP)	5 ^{e)}	X		X
<i>Fenol og klorfenoler</i>	Fenol	0,5	X		X
	Pentaklorfenol	0,01	X		X
	2,4-diklorfenol	0,1	X	X	X
	2,6-diklorfenol	0,1	X	X	X
<i>Detergenter</i>	LAS (specifik analyse)	100 ^{f)}	X		X
<i>PFAS</i>	PFBS (perfluorbutansulfonsyre) PFBA (perfluorbutansyre) PFHxS (perfluorhexansulfonsyre) PFDA (perfluordecansyre) PFHpA (perfluorheptansyre) PFHxA (perfluorhexansyre) PFOSA (perfluoroktansulfonamid) PFOS (perfluoroktansulfonsyre) PFOA (perfluoroktansyre) PFNA (perfluornonansyre) PFPeA (perfluorpentansyre) 6:2 FTS (6:2 fluorotelomersulfonsyre)	0,1 ^{g)}	(X) ^{h)}	X	X

Status

Tabel 28 viser, at indholdet af de enkelte organiske mikroforureninger for langt den overvejende del af indtagene lå under detektionsgrænsen (DG), idet hyppigheden af koncentrationer \geq DG typisk var mindre end 1 % procent for de enkelte stoffer i perioden 2011-2016.

Tabel 28. GRUMO 2011-2016. Analyseindsatsen for organiske mikroforureninger fandt primært sted i perioden 2011-2015, (se Tabel 27, der angiver kravværdier (KV) og deres administrative ophæng). DG er den typiske detektionsgrænse. For nogle stoffer er DG enten lidt højere eller lidt lavere i et mindre antal prøver. Antal og %-vis fordeling af fund og overskridelser af kravværdien (KV) er angivet på indtagsniveau.

GRUMO 2011-2016 Stofnavn	DG	KV	Indtag antal			Indtag andel %	
	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	I alt	\geq DG	>KV	\geq DG	>KV
DEHP (bis(2-ethylhexyl)-phthalat)	0,1	1	795	2	1	0,3	0,1
DNP (Di-isononyl-phthalat)	0,1	5	805	1	0	0,1	0,0
DBP (Di-buthyl-phthalat)	0,3	5	820	0	0	0,0	0,0
Nonylfenoler	0,05	20	755	1	0	0,1	0,0
Nonylfenol-monoethoxylater	0,05	-	821	0	0	0,0	0,0
Nonylfenol-diethoxylater	0,1	-	821	0	0	0,0	0,0
LAS (Lineære alkylbenzensulfonater)	2	100	821	1	0	0,1	0,0
Benzen	0,02	1	812	3	0	0,4	0,0
Toluen	0,02	25	690	15	0	2,2	0,0
Xylener ^{a)}	0,02	5	720	5	0	0,7	0,0
o-xylen	0,02	5	238	0	0	0,0	0,0
m+p-xylen	0,02	5	206	7	0	3,4	0,0
1,2-dibromethan	0,02	0,01	821	1	0	0,1	0,0
Kloroform (triklormetan)	0,02	1	803	79	10	9,8	1,2
Tetraklormetan	0,02	1	822	0	0	0,0	0,0
Tetraklorethylen	0,02	1	821	6	0	0,7	0,0
Triklourethylen	0,02	1	821	7	1	0,9	0,1
1,1,1-triklorethan	0,02	1	821	3	0	0,4	0,0
Vinylklorid	0,02	0,5	815	4	1	0,5	0,1
Fenol	0,05	0,5	813	1	1	0,1	0,1
Pentaklorfenol	0,01	0,01	822	0	0	0,0	0,0
2,4-diklorfenol	0,01	0,1	662	7	3	1,1	0,5
2,6-diklorfenol	0,01	0,1	662	0	0	0,0	0,0
PFBS (perfluorbutansulfonsyre)	0,001	0,1	258	1	0	0,4	0,0
PFBA (perfluorbutansyre)	0,002	0,1	230	6	0	2,6	0,0
PFHxS (perfluorhexansulfonsyre)	0,001	0,1	258	7	0	2,7	0,0
PFDA (perfluordecansyre)	0,002	0,1	258	0	0	0,0	0,0
PFHpA (perfluorheptansyre)	0,001	0,1	258	4	0	1,6	0,0
PFHxA (perfluorhexansyre)	0,005	0,1	258	1	0	0,4	0,0
PFOSA (perfluoroktansulfonamid)	0,001	0,1	258	1	0	0,4	0,0
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	0,001	0,1	258	13	0	5,0	0,0
PFOA (perfluoroktansyre)	0,001	0,1	258	16	0	6,2	0,0
PFNA (perfluorononansyre)	0,001	0,1	258	0	0	0,0	0,0
PFPeA (perfluorpentansyre)	0,005	0,1	230	1	0	0,4	0,0
6:2 FTS(1H,1H,2H,2H-perfluoroktansulfonsyre)	0,005	0,1	231	1	0	0,4	0,0
PFAS, sum ^{b)}	-	0,1	258	29	1	11,2	0,4

Ni af de 33 målte stoffer havde en fund-procent over en, nemlig kloroform (9,8 %), PFOA (6,2 %), PFOS (5,0 %), *m+p*-xylen (3,4 %), PFHxS (2,7 %), PFBA (2,6 %), toluen (2,2 %), PFHpA (1,6 %) samt 2,4-diklorfenol (1,1 %). Ser man på de 12 PFAS-forbindelser som en samlet gruppe, blev de påvist i 29 ud af 258 indtag, svarende til 11,2 %. De fleste fund af PFAS viser dog meget lave indhold, med en summeret PFAS-koncentration under 1/10 af kravværdien (<0,01 µg/l) i 18 af 29 indtag med fund i perioden.

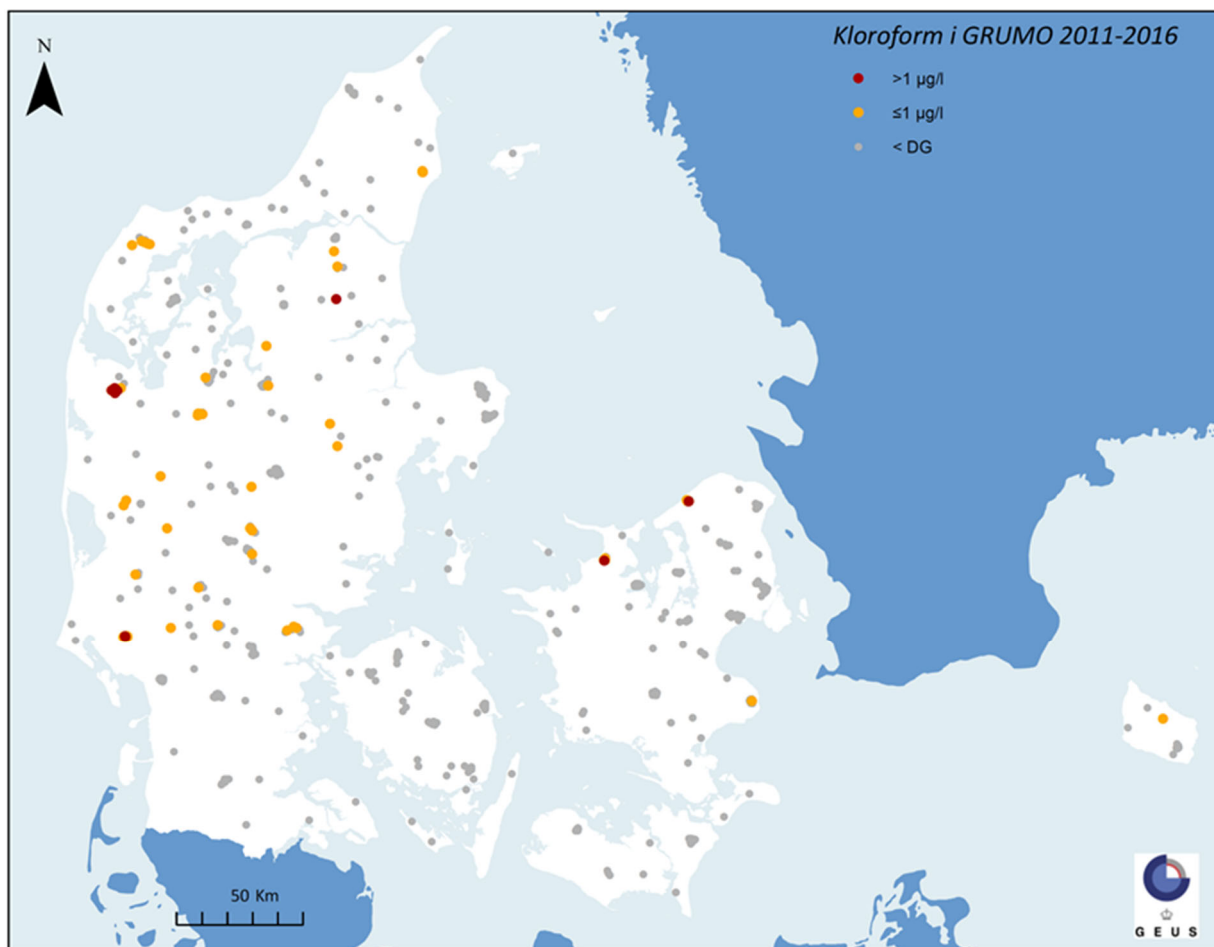
Langt de fleste påviste organiske mikroforureninger ligger under kravværdien. I ét indtag var koncentrationen af DEHP over kravværdien og det samme var tilfældet for trikloretylen samt vinylklorid. 2,4-diklorfenol overskred mindst én gang kravværdien i tre indtag (svarende til 0,5 % af de analyserede indtag) og for kloroform var der 10 indtag (1,2 %) med mindst én overskridelse af kravværdien.

For PFAS er kravværdien som tidligere beskrevet 0,1 µg/l for summen af 12 PFAS'er og ikke baseret på enkeltstoffer. For et enkelt indtag (DGU 174.215, 10,5 m u.t., Frøslev Plantage, Sønderjylland) blev denne kravværdi overskredet i perioden 2011-2016 på grund af indholdet af stofferne PFHxS, PFHpA, PFOS og PFOA (totalt 0,15 µg/l). I 2017 var der ligeledes en overskridelse i et enkelt indtag (DGU 188.1081, 15 m u.t., Gurre Vang, Nordsjælland) på grund af indholdet af stofferne PFBA og PFPeA (totalt 0,11 µg/l, se Tabel 29). Der er ingen umiddelbare overlap mellem lokalitetstype, brøndborer, boringstype eller enkeltstoffer i de to overskridelser.

I Grundvandsovervågningen er kloroform det absolut hyppigst fundne enkeltstof inden for de organiske mikroforureninger, både hvad angår udbredelse og omfanget af overskridelser af kravværdien.

Figur 55 viser, at langt de fleste fund af kloroform i GRUMO er i Midt- og Vestjylland. I vandværkernes boringskontrol er billedet anderledes, idet den største koncentration af fund ligger i Nordøstsjælland (se Figur 58). Det kunne tyde på, at fundene i GRUMO hovedsageligt afspejler naturlig dannelse af kloroform, mens kloroform-fund i boringskontrollen i højere grad afspejler forurening fra industri.

Samtlige indtag med indhold af kloroform over kravværdien for drikkevand forekommer i boringer, der ligger i eller nær skove/plantager med nåletræsbevoksning. Det forekommer derfor sandsynligt, at det høje indhold af kloroform i disse indtag skyldes naturlig dannelse i skovbunden. Hvorvidt dette er tilfældet kan bedst afgøres med en ¹³C/¹²C-isotopanalyse (Hunkeler mfl., 2012). En sådan analyse er kun foretaget for et enkelt af de 10 indtag med overskridelse af kravværdien (DGU 190.284 ved Jyderup Skov), men i dette tilfælde tydede det imidlertid ikke på, at kloroformen var naturligt dannet i skovbunden (Albers et al. upublicerede data). Til gengæld er der identificeret naturlig kloroform i Tisvilde Hegn (Hunkeler mfl., 2012), tæt på en anden GRUMO-boring, hvor kravværdien er overskredet (DGU 186.844).



Figur 55. GRUMO. Forekomst af kloroform i grundvand i GRUMO 803 indtag i perioden 2011-2016. Gul markerer fund under kravværdien. Rød markerer fund over kravværdien. Grå markerer ingen målbar kloroform (<DG). Figur 58 viser det tilsvarende kort for boringskontrollen. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Tabel 29 opsummerer analyserne for organiske mikroforureninger udtaget i GRUMO-indtag i 2017. Der er i perioden 2017-2021 planlagt undersøgelse for organiske mikroforureninger i 1.064 indtag, og især PFAS-forbindelserne udgør med 123 prøvetagne indtag således en meget lille del af det antal indtag, der må forventes undersøgt i perioden. Repræsentativiteten for dansk grundvand må således også forventes at være relativt lille, bortset fra de to diklorphenoler, der er analyseret i 1.044 indtag.

Tabel 29. GRUMO 2017. Analyser for organiske mikroforureninger i GRUMO i 2017. DG er detektionsgrænsen fra laboratoriet. Kravværdi (KV) er hentet fra Tabel 27. Antal og %-vis fordeling af fund og overskridelser af kravværdien (KV) er angivet på indtagsniveau.

GRUMO 2017 Stofnavn	DG	KV	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	µg/l	µg/l	I alt	≥DG	>KV	≥DG	>KV
1,2-dibromethan	0,02	0,01	301	0	0	0,0	0,0
Kloroform (triklormetan)	0,02	1	301	21	1	7,0	0,3
Tetraklormetan	0,02	1	301	1	0	0,3	0,0
Tetraklorethylen	0,02	1	301	4	0	1,3	0,0
Triklourethylen	0,02	1	301	9	1	3,0	0,3
1,1,1-triklorethan	0,02	1	301	3	0	1,0	0,0
Vinylklorid	0,02	0,5	301	6	3	2,0	1,0
2,4-diklorfenol	0,01	0,1	1.044	5	3	0,5	0,3
2,6-diklorfenol	0,01	0,1	1.044	0	0	0,0	0,0
PFBS (perfluorbutansulfonsyre)	0,001	0,1	123	3	0	2,4	0,0
PFBA (perfluorbutansyre)	0,002	0,1	123	1	0	0,8	0,0
PFHxS (perfluorhexansulfonsyre)	0,001	0,1	123	0	0	0,0	0,0
PFDA (perfluordecansyre)	0,002	0,1	123	0	0	0,0	0,0
PFHpA (perfluorheptansyre)	0,001	0,1	123	1	0	0,8	0,0
PFHxA (perfluorhexansyre)	0,005	0,1	123	0	0	0,0	0,0
PFOSA (perfluoroktansulfonamid)	0,001	0,1	123	0	0	0,0	0,0
PFOS (perfluoroktansulfonsyre)	0,001	0,1	123	2	0	1,6	0,0
PFOA (perfluoroktansyre)	0,001	0,1	123	3	0	2,4	0,0
PFNA (perfluornonansyre)	0,001	0,1	123	2	0	1,6	0,0
PFPeA (perfluorpentansyre)	0,005	0,1	123	1	0	0,8	0,0
6:2 FTS (1H,1H,2H,2H-Perfluoroktansulfonsyre)	0,005	0,1	123	0	0	0,0	0,0
PFAS, sum ^{b)}	-	0,1	123	9	1	7,3	0,8

7.2 Organiske mikroforureninger, vandværkernes indvindingsboringer

Datagrundlag og metode

Organiske mikroforureninger i vandværksboringer overvåges gennem vandværkernes boringskontrol. Valget af analyseparametre afhænger af, hvilke formodede eller kendte risici for forurening af grundvandet, der optræder inden for de enkelte vandværkers indvindingsoplande. Det formuleres som følger i drikkevandsbekendtgørelsen: "Kontrol for andre organiske mikroforureninger vælges efter de forureningskilder, der er i området... Hvis der i indvindingsoplandet vides at være arealer, som er eller kan være forurenet med organiske mikroforureninger, skal der kontrolleres for disse stoffer, med mindre stofferne vurderes ikke at udgøre en trussel for grundvandet".

For at tilpasse datasættet til kravene til kontrolhyppigheden for vandforsyningsanlæg i drikkevandsbekendtgørelsen bygger opgørelserne i denne rapport på data fra perioden 2013-2017, idet alle aktive vandværksboringer skal analyseres mindst én gang i en femårs periode. Analyse kvaliteten er underkastet de samme analysekravværdier som for NOVANA jævnfør analyse kvalitetsbekendtgørelsen. I perioden 2013-2017 er der gennemført analyser af 142 forskellige stoffer. Antallet af vandværksboringer analyseret for de forskellige stoffer varierer meget (fra 1 til 5.849 vandværksboringer). 109 af de undersøgte stoffer er analyseret i mindst 10 boringer.

Tabel 30 viser, i hvor mange vandværksboringer i perioden 2013-2017 der mindst én gang har været påvist et konkret stof (≥DG) eller der mindst én gang har været koncentrationer over kravværdien (>KV).

Ligesom for GRUMO-datasættet indgår indtag over kravværdien også i den andel af indtag, som er \geq DG. Kun stoffer med fund i mindst 10 borerer behandles i dette kapitel. I bilag 10 er analyseresultater for samtlige 142 analyserede stoffer, dog præsenteret.

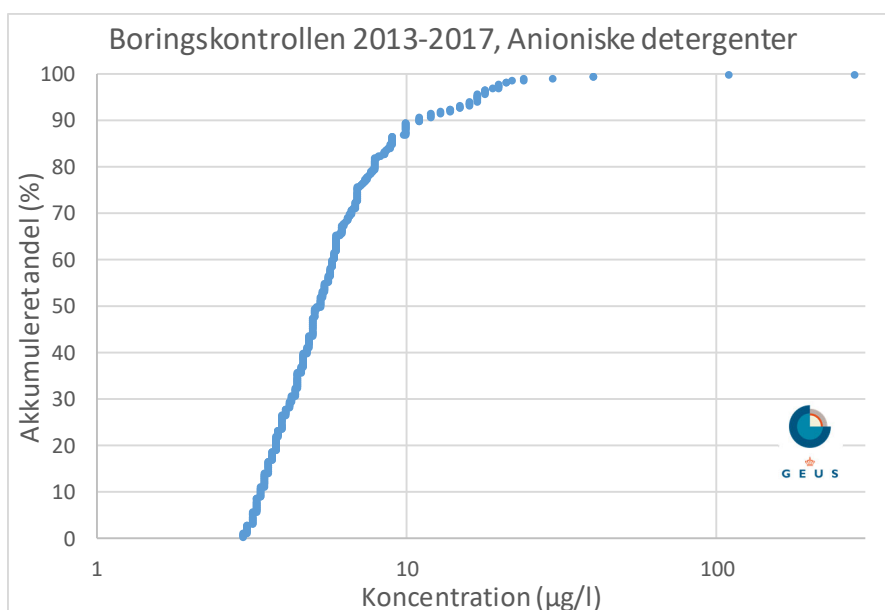
Status

Tabel 30 viser, at ud af de 109 stoffer, som blev undersøgt i mindst 10 borerer, blev de 25 fundet i mindst 10 borerer med fundprocenter mellem 0,3 og 45,2.

Anioniske detergenter er absolut den parameter (sumparameter) inden for de organiske mikroforurenninger, der har den største fundprocent (45 %).

Figur 56 viser, at koncentrationen af anioniske detergenter ligger langt under de tilladte 100 $\mu\text{g/l}$ i hovedparten af de undersøgte vandværksboringer. Ud af 449 borerer med fund havde kun 45 borerer koncentrationer over 10 $\mu\text{g/l}$, dvs. kun ca. 10 % af borererne med fund lå over 1/10 af kravværdien og heraf lå indholdet i blot 2 borerer (0,2 % af de undersøgte borerer) over kravværdien.

Anioniske detergenter er en sumparameter, hvor analysen medtager naturlige anioniske organiske stoffer i grundvandet (REFLAB, 2013), hvilket gør det usikkert, hvorvidt lave koncentrationer af anioniske detergenter stammer fra antropogene kilder eller fra et naturligt baggrundsniveau. De langt flere fund af anioniske detergenter i boringskontrollen (45,2 %, Tabel 30) sammenlignet med fund af LAS i GRUMO ved specifik analyse (0,1 %, se Tabel 28) understøtter, at der for mange af fundene sandsynligvis er tale om en naturlig baggrund af stoffer med kemiske egenskaber, der minder om anioniske detergenter. Anioniske detergenter udgør altså næppe et stort problem for den danske grundvandskvalitet, på trods af de hyppige fund af stofgruppen.



Figur 56. Boringskontrollen. Koncentrationsfordelingen for 449 borerer med fund af anioniske detergenter i boringskontrollen, 2013-2017. Bemærk den logaritmiske skala for koncentrationen, idet der er en meget stor spredning på de observerede koncentrationer.

Tabel 30. Boringskontrollen. Organiske mikroforureninger, stoffer som er påvist i mindst 10 aktive boringer i boringskontrollen i perioden 2013-2017 opstillet efter antal boringer med fund (\geq DG). Det totale antal og andel boringer er vist samme med antal og andel boringer \geq DG med mindst ét fund eller $>$ KV for boringer med mindst én overskridelse af kravværdien. Se også bilag 10, hvor analyseresultater for samtlige 142 analyserede stoffer i gruppen organiske mikroforureninger i aktive vandværksboringer er opgjort i perioden 2013-2017.

* Der er kun en kravværdi til sum PFAS.

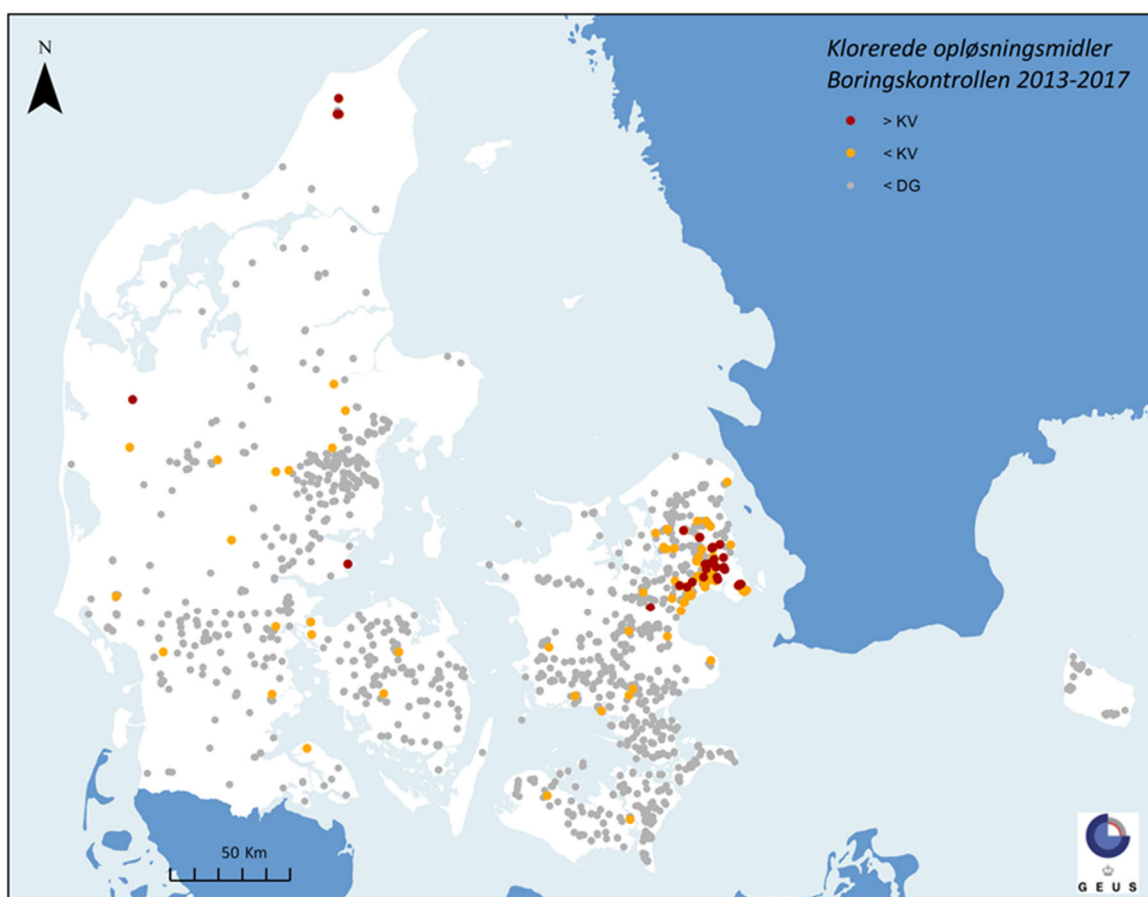
Stofnavn/sumparameter	KV	Boringer antal			Boringer andel (%)	
	$\mu\text{g/l}$	I alt	\geq DG	$>$ KV	\geq DG	$>$ KV
Anioniske detergenter	100	994	449	2	45,2	0,2
Cis-1,2-diklorethylen	1	1.711	99	13	5,8	0,8
Trikllorethylen	1	1.992	89	12	4,5	0,6
Tetraklorethylen	1	1.988	63	11	3,2	0,6
Toluen	25	2.039	55	0	2,7	0
MTBE	5	826	51	0	6,8	0
Vinylklorid	0,5	567	46	8	8,1	1,4
1,1-diklorethan	1	457	38	3	8,3	0,7
Kloroform (triklormethan)	1	1.992	28	0	1,4	0
1,2-diklorethan	1	1.955	26	6	1,3	0,3
Sum PFAS	0,1	294	25	0	8,5	0
2,4-diklorfenol	0,1	5.848	25	1	0,4	0,02
PFOA (perfluoroktansyre)	0,1*	294	23	0	7,8	0
Benzen	1	2.035	22	2	1,1	0,1
Trans-1,2-diklorethylen	1	467	21	1	4,5	0,2
<i>m+p</i> -xylen	5	1.901	21	0	1,1	0
Xylen	5	514	19	0	3,7	0
<i>o</i> -xylen	5	1.894	18	0	1,0	0
Sum af 4 PAH	0,1	89	15	1	16,9	1,1
PFHxS (perfluorhexansulfonsyre)	0,1*	273	15	0	5,5	0
Ethylbenzen	1	1.958	15	0	0,8	0
2,6-diklorfenol	0,1	5.840	15	1	0,3	0,02
AOX (adsorberbart organisk halogen)	-	50	14	-	28	-
1,1-Diklorethylen	1	460	12	0	2,6	0
1,1,1-triklorethan	1	1.991	12	0	0,6	0
PFBA (perfluorbutansyre)	0,1*	258	10	0	3,9	0
Naphtalen	2	2.029	10	0	0,5	0

Det næstmest hyppigt fundne stof var cis-1,2-diklorethylen (cis-DCE), der blev fundet i 99 boringer (5,8 %). Cis-DCE er et nedbrydningsprodukt fra de to klorerede opløsningsmidler triklorothylen (TCE) og tetraklorethylen (PCE), som i øvrigt er de stoffer, der blev fundet i 3. og 4. flest antal boringer. Cis-DCE ophobes ofte ved nedbrydning af TCE og PCE og udgør ofte den største trussel mod grundvandskvaliteten fra punktkildeforureninger med klorerede opløsningsmidler. Cis-DCE nedbrydes til vinylklorid, som optræder som det syvende-hyppigst fundne stof i Tabel 30. Kravværdien for vinylklorid er på grund af den højere giftighed lavere end for de øvrige stoffer i gruppen af klorerede alifatiske kulbrinter, og selvom antallet af boringer, hvor vinylklorid er fundet, er lavere end for dets moderstoffer, er såvel fundprocenten (8,1 %)

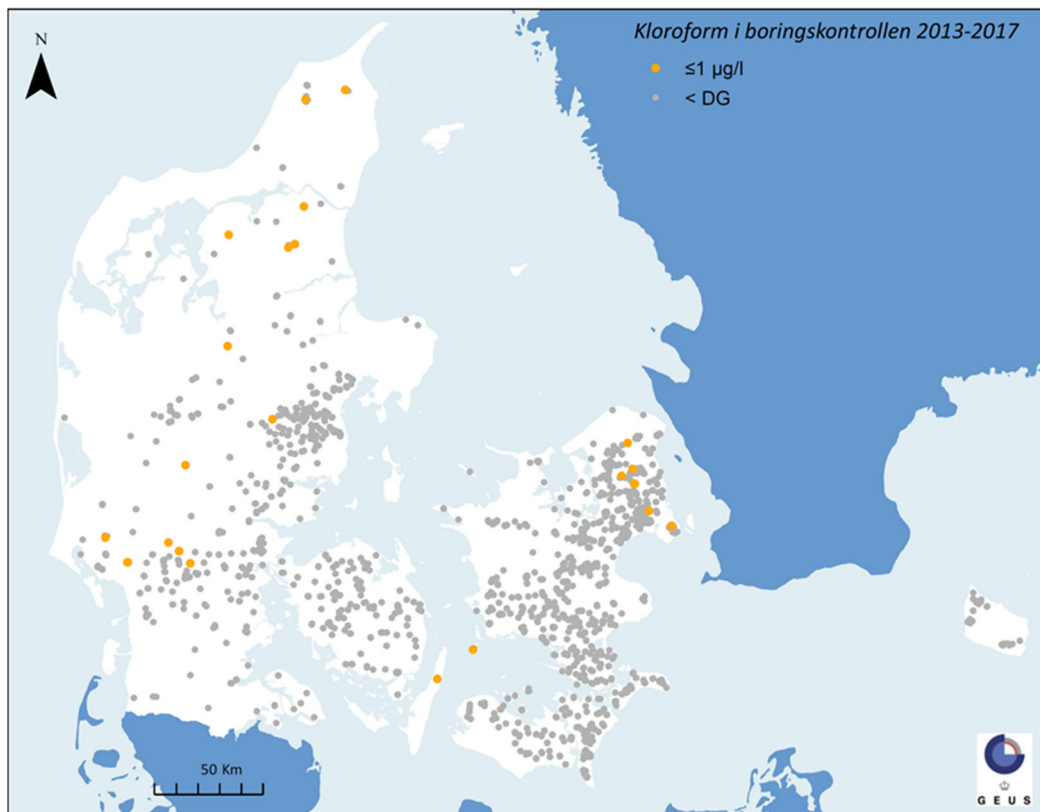
som andel boringer med overskridelser af kravværdien inden for opgørelsesperioden (1,4 %) højere end for moderstofferne. Såvel fundprocent som andel med overskridelser af kravværdi er steget markant for vinylklorid i forhold til sidste opgørelsesperiode (2010-2014, Thorling mfl., 2015b). Det undersøgte antal boringer (ca. 500 i begge perioder, svarende til knap 10 % af de aktive danske vandværksboringer) er dog så lavt, at det er svært at konkludere, om der er tale om et generelt stigende indhold af vinylklorid i indvindingsvand, eller om vandværkerne er blevet bedre til at målrette analyser for vinylklorid i forbindelse med kontrollen af deres boringer. Det er også muligt, at vandværkerne i højere grad end tidligere accepterer at indvinde vand med lave koncentrationer af vinylklorid, hvilket vil give anledning til en stigning i antallet af fund i den obligatoriske boringskontrol. Dette er dog ikke undersøgt nærmere i forbindelse med denne rapportering.

Ses der på klorerede opløsningsmidler under ét (kloroform undtaget), var der fund i 181 boringer og en overskridelse af kravværdien i 36 vandværksboringer i perioden 2013-2017. I langt de fleste boringer med overskridelse af kravværdien, var der flere stoffer inden for stofgruppen til stede.

Figur 57 viser, at langt de fleste overskridelser og også de fleste boringer med fund af klorerede opløsningsmidler ligger i Hovedstadsområdet.



Figur 57. Boringskontrollen. Forekomst af klorerede opløsningsmidler (tetraklorethylen, triklorethylen, cis-1,2-diklorethylen, trans-1,2-diklorethylen, vinylklorid, 1,1-diklorethylen, 1,1,1-triklorethan, 1,1-diklorethan, 1,2-diklorethan og tetraklormetan) i boringskontrollen i perioden 2013-2017. Gul markerer fund under kravværdien. Rød markerer fund over kravværdien. Grå markerer ingen målbare klorerede opløsningsmidler (<DG). Kloroform er også et kloreret opløsningsmiddel, men er udeladt, da det kan forekomme naturligt og er i stedet vist på Figur 58. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.



Figur 58. Boringskontrollen. Forekomst af kloroform (triklormethan) i 1.992 vandværksboringer i perioden 2013-2017. Gul markerer fund under kravværdien. Rød markerer fund over kravværdien (ingen i denne periode). Grå markerer ingen målbar kloroform (<DG). Figur 55 viser det tilsvarende kort for GRUMO-indtag. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 58 viser forekomsten af kloroform i vandværksboringer i perioden 2013-2017.

PFAS-forbindelser er fundet i 25 ud af 294 undersøgte boringer, men i alle tilfælde under kravværdien på 0,1 µg/l, som sum af 12 PFAS-forbindelser. PFOA er med 23 fund den hyppigst fundne PFAS-forbindelse med en maksimal koncentration på 0,014 µg/l. Også i GRUMO-indtagene var PFOA den hyppigst fundne PFAS-forbindelse (se Tabel 28). PFOA har været anvendt til en række forskellige formål og er derudover slutprodukt for nedbrydning af mange polyfluorede forbindelser. Det faktum, at PFOA er det hyppigst forekommende PFAS i dansk grundvand, gør det således vanskeligt at fastslå evt. forureningskilder.

Referencer, organiske mikroforureninger

Vejledninger mv.

Miljøministeriet 2010. Listen over uønskede stoffer 2009. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 3 2010. <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2010/jul/listen-over-uoenskede-stoffer-2009/> (11.01.2019)

Miljøstyrelsen, 2015. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand, opdateret juni 2015, <https://mst.dk/media/90004/kvalitetskriterier-jord-og-drikkevand-juni-2015.pdf>. (11.01.2019)

Øvrige referencer

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

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

Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning.

GEUS, 2003: Udkast til teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen, version 3 af 2. dec. 2003. www.geus.dk/media/16125/midlertidig_anvisning_2003.pdf (11.01.2019)

GEUS, 2018: Notat vedr. datapåideligheden for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen – en opsummering. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.

Hunkeler D., Laier T., Breider F., Jacobsen O., 2012: Demonstrating a Natural Origin of Kloroform in Groundwater Using Stable Carbon Isotopes. Environmental Science & Technology, 46:6096-6101

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

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf> (11.01.2019)

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 (11.01.2011)

REFLAB, 2013: Opdatering af bekendtgørelse nr. 900 – baggrundsdokumentation, tilføjelse af parameteren anioniske detergenter, Naturstyrelsens Referencelaboratorium for Kemiske Miljømålinger, Notat, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1327/bkg_900_bilag13_14_anioniske_detergenter.pdf.

REFLAB, 2015: M068. Metodedatablad for Perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1124/m068_pfas_01b.pdf.

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i feltet. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/media/16123/g02-proevetagning-version-12.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Ernstsens, 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/media/16359/g-o-2014.pdf (11.01.2019)

8 Referencer

Danske vejledninger mm.

- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010.
- Miljøministeriet, 2010. Listen over uønskede stoffer 2009. Orientering fra Miljøstyrelsen Nr. 3 2010. <https://mst.dk/service/publikationer/publikationsarkiv/2010/jul/listen-over-uoenskede-stoffer-2009/> (11.01.2019)
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, http://www.miljoportal.dk/myndighed/registrer_dataansvar/Sider/forside.aspx#MyndighedDataansvar (11.01.2019)
- Miljøstyrelsen, 2000b: Zonering. Vejledning nr. 3, 2000 (Zoneringsvejledningen).
- Miljøstyrelsen, 2009. Faktaark: Pentachlorphenol (PCP). Downloadet 14/11-2018. <https://mst.dk/kemi/kemikalier/regulering-og-regler/faktaark-om-kemikalierreglerne/pentachlorphenol-pcp>
- 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, 2014b: 'Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand'. Opdateret maj 2014.
- Miljøstyrelsen, 2015. Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand, opdateret juni 2015, <https://mst.dk/media/90004/kvalitetskriterier-jord-og-drikkevand-juni-2015.pdf>. (11.01.2019)
- Miljøstyrelsen, 2017a. Pesticider og biocider salgstatistik 1956-2014. Miljøstyrelsen 14. december 2017.
- Miljøstyrelsen, 2017b. Bekæmpelsesmiddelstatistik 2016. Behandlingshyppighed og pesticidbelastning, baseret på salgsstatistik og Sprøtejournaldata. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 22.
- Miljøstyrelsen, 2017c. Notat. Screening for 1,2,4-triazol (CAS nr. 288-88-0) i grundvandsovervågningen
- Miljøstyrelsen, 2017d. Notat. Screening for stoffet desphenyl-chloridazon (CAS nr. 6339-19-1) og methyl-desphenyl-chloridazon (CAS nr. 17254-80-7).
- Miljøstyrelsen, 2017e. Notat. Udkast til kommissorium for arbejdsgruppen om pesticider og drikkevandskontrol.
- Miljøstyrelsen, 2018. Notat. Screening for N,N-dimethylsulfamid (CAS nr. 3984143) - nedbrydningsprodukt fra tolylfluanid (CAS nr. 731271) og dichlofluanid (C nr. 1085-98-9) i grundvandsovervågningen. Notat af 9. juni, 2018. Revideret 14. august 2018.

EU direktiver

- EU, 1991: Nitratdirektivet.
- EU, 1998: Drikkevandsdirektivet.
- EU, 2000: Vandrammedirektivet.
- EU, 2006: Grundvandsdirektivet.
- EU, 2009: Analysekvalitetsdirektivet.

NOVANA: Nationale programbeskrivelser, rapporteringer mv.

- Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houlborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L., 2019. Landovervågningsoplände 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx
- Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsck, W., Ernstsén, 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.

- GEUS, 2003: Udkast til teknisk anvisning for Grundvandsovervågningen, version 3 af 2. dec. 2003. www.geus.dk/media/16125/midlertidig_anvisning_2003.pdf (11.01.2019)
- GEUS, 2018: Notat vedr. datapåideligheden for organiske mikroforureninger i grundvandsovervågningen – en opsummering. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland.
- 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.
- Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf> (11.01.2019)
- 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 (11.01.2019)
- 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/> (11.01.2019)
- Stockmarr, J. (red), 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. www.geus.dk/media/16455/g-o-2001.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/media/16124/g03_pejlinger.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/media/16123/g02-proevetagning-version-12.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 19. dec 2018. www.geus.dk/media/20444/pejledata.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, M., Thomsen, C.T., Wandall, T. & Sørensen, E.N, 2014: Datateknisk anvisning Kemidata- GRUNDVAND. Teknisk rapport. Senest opdateret 20. dec. 2018. www.geus.dk/media/20445/kemidata-grundvand.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. www.geus.dk/media/16442/g-o-2007.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/media/16430/g-o-2008.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/media/16426/g-o-2009.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/media/16424/g-o-2010.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsich, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/media/16420/g-o-2011.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolldborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/media/16417/g-o-2012.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolldborg, L., og Sørensen, B.L., 2015a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/media/16413/g-o-2013.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Trolldborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/media/16359/g-o-2014.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, C.L., Larsen, F., B., Mielby, S., og Trolldborg, L. 2016: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2015. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/media/16356/g-o-2015.pdf (11.01.2019)
- Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolldborg, L. 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. www.geus.dk/media/18835/grundvand1989-2016-endelig-momslag.pdf (11.01.2019)

Andre referencer

- Albers, C. N., 2010: Natural halogenated compounds in forest soils: formation, leaching, emissions and spatiotemporal patterns of kloroform and related compounds. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland rapport 17/2010. Ph.d. afhandling, Roskilde Universitet 2010.
- Albers, C. N., Laier, T. og Jacobsen, O.S., 2010: Kloroform i jord og grundvand. Vand og jord, 17:156-158.

- Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp
- Bayer A/S, Bayer CropScience, Euparen Multi brugsanvisning DK06107507A.
- 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>. (11.01.2019)
- Danske regioner, 2018: Regionernes arbejde med jordforurening 2017. Juni 2018 <https://www.regioner.dk/media/9019/regionernes-arbejde-med-jordforurening-aarsrapport-2017.pdf> (11.01.2019)
- DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.
- Ernstsen, V. & Platen, F.v., 2014: Opdatering af det nationale redoxkort fra 2006- til brug for den Nationale Kvælstofmodel 2015. GEUS rapport 2014/20.
- Ersbøll, A.K., Monrad, M., Sørensen, M., Baastrup, R., Haansen, B., Bach, F.W., Tjønneland, A., Overvad, K., Raaschou-Nielsen, O., 2018: Low-level exposure to arsenic in drinking water and incidence of stroke: A cohort study in Denmark. Environment International 120: 72-80.
- Fyns Amt, 2002: Miljøfremmede stoffer i flydende husdyrgødning.
- GEUS, 2018. Notat nr.: 05-VA-18-05 af 29. oktober, 2018. Forekomst af desphenylchloridazon og metyldesphenylchloridazon i grundvandet.
- GORI 605 Dækkende Træbeskyttelse. Produktdatablad (Produktbeskrivelse) downloadet den 8/11-2018. <http://gori.dk/produkter/daekkende-traebeskyttelse/gori-daekkende-traebeskyttelse-605>
- GORI 88 Dækkende Træbeskyttelse. Produktdatablad (Produktbeskrivelse) downloadet den 8/11-2018. <http://gori.dk/produkter/daekkende-traebeskyttelse/gori-88-daekkende>
- 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. & Thorling, L., 2018. Kemisk grundvandskortlægning. GEO-VEJLEDNING 2018/2. Særudgivelsen fra GEUS. http://www.geovejledning.dk/2018_2/
- 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. https://www.geus.dk/media/20708/geus-rapport-om-implementering-af-modeller-til-brug-for-vandforvaltning2014_74.pdf (18-2-2019)
- Henriksen, H., Stisen, S, Trolborg, L, He, X & Jørgensen, LF. 2015: Analyse af øget indvinding til markvanding, GEUS rapport 2015/29. https://www.geus.dk/media/20707/geus-rapport-om-oeget-vandindvinding-til-markvanding29_2015.pdf (18-2-2019)
- Hunkeler D., Laier T., Breider F. & Jacobsen O., 2012: Demonstrating a Natural Origin of Kloroform in Groundwater Using Stable Carbon Isotopes. Environmental Science & Technology, 46:6096-6101
- Hvid, S. Kolind, 2011: Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (11.01.2019)
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvaltære Varv-kort.
- Jacobsen, O.S., Laier, T., Juhler, R.K., Kristiansen, S.M., Dichmann, E., Brinck, K., Juhl, M.M, Grøn, G., 2007: Forekomst og naturlig produktion af kloroform i grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.
- Jensen, J. og Bak, J.L. 2018. Zink og kobber i vandmiljøet. Kilder, forekomst og den miljømæssige betydning. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Aarhus Universitet, Institut for Bioscience. Rapport nr. 263. 43 sider.
- Jensen, T.F., Larsen, F., Kjølner, C., Larsen, J.W. 2003. Nikkefrigtig ved pyritoxidation forårsaget af barometerånding-pumpning. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 5.
- Kjølner, C., Postma, D. & Larsen, F., 2004. Groundwater acidification and the mobilization of trace metals in a sandy aquifer. Environ. Sci. Technol., 38, 2829-2835.
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Laier, T., 2014: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01
- Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat 05-VA-14-04

- Larsen, F., Kjøller, C. og Gram, M. 2009. Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 1: Arsen i dansk grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.
- Larsen, F., Kjøller, C., Ramsay. 2010. Manual om arsen i dansk drikkevand med forslag til løsninger.
- Nielsen, K.S., og Jørgensen, J.B., 2008: Lavpermeable horisonter i skrivekridtet – Fase A. Miljøcenter Aalborg 2008. <http://gk.geus.info/xpdf/kalkprojektet.pdf> (11.01.2019)
- Nygaard, E.(red), 2004: Koncept for Udpegning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zonerig. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (11.01.2019)
- 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.
- REFLAB, 2013: Opdatering af bekendtgørelse nr. 900 – baggrundsdokumentation, tilføjelse af parameteren anioniske detergenter, Naturstyrelsens Referencelaboratorium for Kemiske Miljømålinger, Notat, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1327/bkg_900_bilag13_14_anioniske_detergenter.pdf.
- REFLAB, 2015: M068. Metodedatablad for Perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1124/m068_pfas_01b.pdf. (11.01.2019)
- Scharling, M. & Cappelen, J. (2016): Klimadata Danmark. Kommunale referenceværdier 2006-2015. DMI rapport 16-19 v. 2. https://www.dmi.dk/fileadmin/user_upload/Rapporter/TR/2016/DMIRep16-19_ver2.pdf
- chullehner, 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) (11.01.2019)
- Thorling, L. og Kjøller, C., 2017: Datakilder til vurdering af grundvandets tilstand. GEUS notat 07-VA-2017-1
- Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/ <https://www.geus.dk/media/20668/thorling-2014-78pdf-adobe-acrobat-pro.pdf> (12.2.2019)
- Troldborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. https://www.geus.dk/media/20669/geus_rapport_54_2014_grundvandsforekomster.pdf (12.2.2019)
- World Health Organization. 2017. Guidelines for drinking-water quality. 4th Edition incorporating the first addendum. 541 sider.

Links og hjemmesider:

- DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (11.01.2019)
- DMI hjemmeside: www.dmi.dk (11.01.2019)
- EEA hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (11.01.2019)
- GEUS, 2018: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. <https://www.geus.dk/udforsk-geologi/laering-om-geologi/viden-om/viden-om-grundvand/vandets-kredsloeb/> (11.01.2019)
- Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (11.01.2019)
- Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)
- Jordforurening, hjemmeside for regionernes videntcenter for Miljø og ressourcer: <http://miljoeogressourcer.dk/> (11.01.2019)
- Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)
- NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)
- NOVA-2003: <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (11.01.2019)
- NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrappporter/rapporter/FR495.PDF (11.01.2019)
- NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (11.01.2019)
- STANDAT og STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (11.01.2019)
- Vandområdeplanernes hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (11.01.2019)
- Varslingssystemet for pesticider, VAP, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (11.1.2019)

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 1 nedenfor, mens en mere uddybende beskrivelse af stationsnettet er givet i Appendiks 2.

Boks 1: Datakilder i grundvandsovervågningsrapporten

Datakilde	Beskrivelse
GRUMO-boringer	<p>GRUMO-boringerne i Grundvandsovervågningen er etableret som led i det nationale overvågningsprogram for vand og natur (NOVANA). Her overvåges grundvandet ved at der udtages grundvandsprøver og grundvandsspejlets beliggenhed pejles. GRUMO-stationsnettet er designet til at kunne give dybdespecifikke målinger i grundvandsmagasinerne fra de såkaldte GRUMO-indtag. Det samlede GRUMO-stationsnet er designet, så grundvandet særligt overvåges, der hvor risikoen for at finde diffuse miljøpåvirkninger, fremfor ikke punktkilder, er størst, og således at effektiviteten af reguleringer bedst kan vurderes.</p> <p>Stationsnettet er i perioden 2007-2017 tilpasset vandrammedirektivet.</p> <p>Prøvetagningshyppigheden i de enkelte GRUMO-indtag varierer afhængigt af den påvirkning, som overvågningen har fundet. Alle indtag prøvetages mindst én gang i løbet af en seksårig programperiode for alle analysepakker, jf. vandrammedirektivet. Der overvåges dog kun for hovedbestanddele i redoxboringerne og enkelte andre boringer, der ikke er egnede til overvågning af miljøfremmede stoffer.</p> <p>Alle data fra GRUMO-boringer er tilgængelige i Jupiter.</p>
LOOP-boringer	<p>LOOP-boringerne i Landovervågningsprogrammet er etableret som led i det nationale overvågningsprogram for vand og natur (NOVANA). Landovervågningen beskriver sammenhænge mellem dyrkningspraksis og tabet af kvælstof til vandmiljøet, idet hovedformålet med LOOP-overvågningen er at få en detaljeret forståelse af, hvordan dyrkning i Danmark påvirker vandkvaliteten i rodzonevand, drænvand og grundvand. Alle LOOP-boringer er placeret, hvor grundvandsspejlet ligger højt, idet LOOP-indtagene er placeret terrænnært i 1,5-5 m u.t. Der kan kun udtages prøver, når grundvandsspejlet ligger så højt, at grundvandet kan pumpes op fra indtagene. 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 herudover rodzonevand, der opsamles med sugeceller placeret lige under rodzonen. Disse data må ikke forveksles med data fra LOOP-boringerne. Data fra den umættede zone (rodzonevand) anvendes ikke i grundvandsovervågningsrapporten.</p> <p>Alle data fra LOOP-boringer er tilgængelige i Jupiter.</p>
Vandværksboringer	<p>I drikkevandsbekendtgørelsen er der krav om kontrol af kvaliteten af det grundvand (råvand), som vandforsyningerne indvinder. Denne såkaldte boringskontrol gennemføres af vandforsyningerne og foretages på vandet fra vandværksboringerne (dvs. råvandet) <i>inden</i> vandet kommer ind i vandværket og videre ud i forsyningsnettet til forbrugerne.</p> <p>Hyppigheden af boringskontrollen afhænger af den distribuerede eller producerede vandmængde, og giver 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 grundvandsovervågningen.

Det samlede analyseprogram for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne (se litteraturlisten og NOVANA-hjemmesiden). Analyseprogrammerne for boringskontrollen fremgår af de forskellige udgaver af drikkevandsbekendtgørelsen.

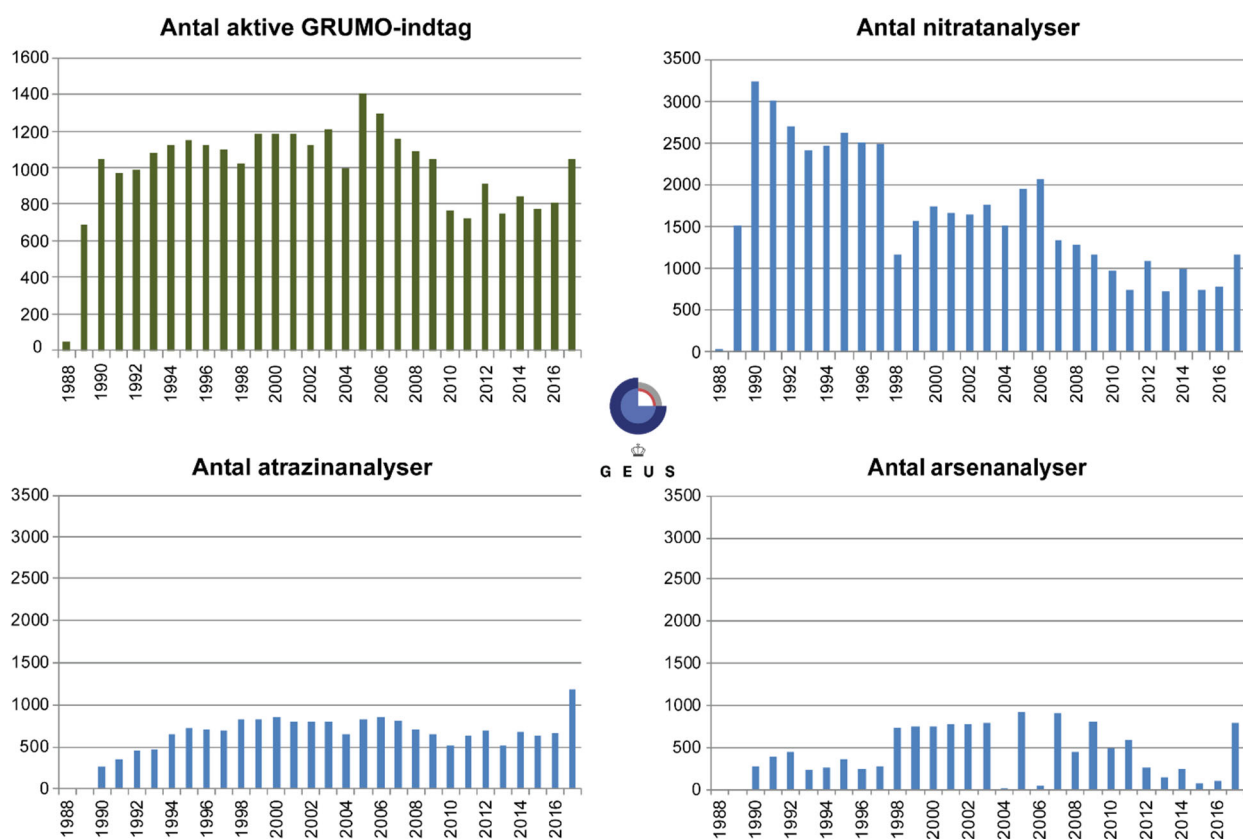
Specielt for pesticider gælder, at resultaterne fra 'Varslingssystemet for pesticider' (VAP) anvendes til justering af analyseprogrammet for både grundvandsovervågningen og boringskontrollen, og ikke mindst som beslutningsgrundlag for screeninger i grundvandsovervågningen (se hjemmesiden for VAP). Resultaterne 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 59 viser hvor stort et datamateriale, der er til rådighed for rapporteringen med udgangspunkt i antallet af registrerede prøvetagede 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 1988-1990 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 omlægningen fra 2007 ff. for at tilpasse stationsnettet til vandrammedirektivet, er diskuteret i Appendiks 2.

I programperioden 2017-2021, udtages højst én prøve/år/indtag, bortset fra i redoxboringerne, der kun indgår i to af programperiodens år (2018 og 2020), men da med fire prøver/år/indtag. Nyetablerede indtag prøvetages dog 2 gange det første år.

Det fremgår af Figur 59, at mens der har været et fald i antallet af årlige analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider (vist som Atrazin) 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 de omkringliggende år viser, at der i 2012 og 2014 blev udtaget prøver i de 89 indtag i redoxboringerne, der ikke prøvetages hvert år. I 2017 blev alle indtag undersøgt (på nær redoxboringerne), hvilket igen gav anledning til et højere antal undersøgte indtag.



Figur 59. Illustration af analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2016. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver i de enkelte år, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele (nitrat), pesticider (atrazin) og sporstoffer (arsen), ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

Hvad angår sporstofferne (arsen) har prøvetagningshyppighederne og omfanget af analyser varieret betragteligt fra programperiode til programperiode. De mange analyser for sporstoffer i programperioderne fra 1993 til 2009, havde til formål at dække behovet for at etablere baggrundskoncentrationer af sporstofferne, hvorefter der i de efterfølgende programperioder 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 og skal alle almene indvindinger årligt indberette årets indvundne vandmængde til kommunerne. Almene indvindinger er defineret som vandværker, der leverer drikkevand til mindst 10 husstande. Ikke-almene indvindinger skal indberette de indvundne vandmængder, når kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne kvalitetssikrer og indberetter herefter vandmængderne til Jupiter.

Andre data om grundvandet

Visse kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af Regionerne i medfør af Jordforureningsloven og regionernes aktiviteter i den sammenhæng. Derudover foretages der overvågning af grundvandet i forbindelse med forurenende virksomheder, som f.eks. lossepladser mv. i medfør af miljøbeskyttelsesloven. I dag rapporteres denne overvågning af Danske regioner (Danske regioner, 2018). 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 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 Jupiterdatabasen fra grundvandsovervågningen, boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af analyselaboratorierne. Efterfølgende godkender tilsynsmyndigheden eller dataejerens data, jf. Dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015) og drikkevandsbekendtgørelsen, hvorefter 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 af de analyserede vandprøver, der indberettes til Jupiterdatabasen. 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, og håndterer kendte datatekniske problemer, som fx anvendelse af forskellige stofkoder for samme stof eller brug af forskellige enheder.

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. 22. maj 2018, mens der d. 7. juni 2018 er foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Der er dog lavet et særligt udtræk til Figur 15 (grundvandsindvinding fordelt på anlæg) d. 12. juni 2018. Udtrækket omfatter data for de indberettede vandmængder til Jupiter i perioden fra 1989 frem til og med 2016. Pejledata er endeligt udtrukket af Jupiter 31. august 2017. For desphenylchloridazon og metyl-desphenylchloridazon er der endelig anvendt et særudtræk d. 23. okt. 2018, se kapitel 5.3.

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 deskriptiv statistik, dvs. 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 26.

Når der udarbejdes en egentlig kvantitativ statistisk analyse, hvor signifikansen af en trend eller andre sammenhænge beregnes, fremgår det tydeligt i rapporten, hvorledes denne sammenhæng er beregnet og hvilke kriterier, der er anvendt. Det skal hjælpe læseren til at skelne mellem deskriptive metoder og egentlige kvantitative statistiske metoder.

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 til anvendelsen af $<$ eller \leq gennem hele rapporten. I drikkevandsbekendtgørelsen arbejdes med den højst tilladelige værdi, hvilket betyder, at drikkevandskravet først er overskredet, når indholdet i en prøve er større end kravværdien.

Rapporten tager 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 og grundvandsdirektivet med kvantifikationsgrænsen (LQ, level of quantification), der er defineret som tre gange detektionsgrænsen (DG). Alle resultater i Jupiter er angivet i forhold til detektionsgrænsen. I Danmark er brugen af kvantifikationsgrænsen implementeret i analysekvalitetsbekendtgørelsen.

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 en højere DG.

Brugen af den numeriske værdi af DG, som substitut til beregninger, når den målte koncentration ligger under DG, 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. LQ blev før den omfattende gennemgang af datakvaliteten for de organiske mikroforureninger anvendt for at håndtere risikoen for kontamineringer (GEUS, 2018).

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 22, afsnit 4.1.

Der anvendes også søjlediagrammer og tabeller, hvor stoffernes procentvise fordeling typisk præsenteres i mindst tre koncentrationsintervaller, jf. afsnittet om koncentrationsklasser ovenfor:

- 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 løbet af en periode mindst én gang har haft mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen eller overskridelse af kravværdien, se boks 2. 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 2: Principper for en periodeopgørelse

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

Enkeltstoffer optælles over en given periode mht. hvor mange indtag stoffet er fundet i.

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 gennemsnitsværdien (middelværdien) for et stof i perioden eller om der er mindst ét stof eller mindst ét indtag, der i perioden ligger over detektionsgrænse eller kravværdi. Gennemsnitsværdi 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

Den dybdefordeling er en illustration af fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet og illustreres fx som Figur 10, afsnit 1.3. Her er dybden opdelt i intervaller typisk af 10 m.

I dybdefordelingen præsenteres 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 fra terræn 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 boksdiagrammet i Figur 26, afsnit 4.2. Tidsserier, hvor alle målinger (evt. for en bestemt veldefineret delmængde af data) fra hvert år indgår, er præsenteret i boksdiagrammer. Disse diagrammer er især nyttige for stoffer med en stor andel af resultaterne over detektionsgrænsen. Her vises både gennemsnitsværdi og median sammen med 10, 25, 75 og 90 % fraktilerne, se fx Figur 26.

Egentlige statistiske analyser af tidsserier ligger uden for rammerne af den årlige normalrapportering, men kan udføres i forbindelse med temarapportering. Her kan resultaterne fra dateringerne også inddrages (se kap. 4), og tidsskalaen kan transformeres til infiltrationstidspunktet. Dette muliggør en stærkere effektmåling af samspillet mellem indsatsplaner og miljøtiltag og de målte koncentrationer i grundvandet, fx for nitrat, se Figur 27.

Pejledata og oppumpede vandmængder

Pejledata og oppumpede vandmængder behandles efter andre principper end de kemiske parametre.

Mht. pejledata er overvågningen stadig under konsolidering, og fokus ligger på datakvalitet og teknisk udvikling af området. Data indsamles med meget stor hyppighed (ned til hvert kvarter) og præsenteres som tidsserier på indtagsniveau for udvalgte indtag. Der arbejdes med metodeudvikling for aggregering af data. De seneste år er dette sket som vist i Figur 20.

Oppumpede vandmængder præsenteres som tidsserier opdelt på indvindingskategorier. Data præsenteres for alle indvindinger og for grundvandsindvindinger alene. Derudover vurderes oppumpningerne af grundvand med og uden markvandingen.

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 grundvands-overvågningen, repræsenterer. Derudover kan de enkelte datasæt være forbundet med en såkaldt bias. Som eksempel på en sådan bias tilrettelægger vandforsyningerne deres indvinding på en måde, så kravværdi til drikkevandet så vidt muligt overholdes allerede i råvandet, hvorfor overskridelser af kravværdien generelt 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 forventede repræsentativitet og de mulige bias, der kan være knyttet til det enkelte datasæt, (se også Thorling og Kjølner, 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 og den tilhørende vandkvalitet, er det ikke muligt at foretage en stringent, geostatistisk vurdering af repræsentativiteten af datagrundlaget i forhold til samtlige grundvandsmagasiner.

Grundvandet i de enkelte indtag kommer fra nedsivning i 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 indsamle 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 grundvandsforekomsterne i forbindelse med vandplanerne. For data fra GRUMO-indtag vurderes endvidere følgende:

- *Om 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.
- *Om 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 tage højde for de meget store variationer, der er i de naturgivne geologiske forhold i Danmark.
- *Om 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.
- *Om grundvandets alder kan give bias ved fortolkning af data.* 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. I appendiks 3 er aldersfordelingen af de daterede GRUMO-indtag vist.
- *Veldefinerede delmængder af data kan anvendes til 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 iltfri 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, om 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 en forholdsvis høj husdyrintensitet.*
- *På grund af det højtliggende grundvandsspejl vil udvaskningen være påvirket af potentialet for denitrifikation tæt ved terræn, hvor der er fornybart 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.

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 overholdt 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 vandværksboringerne 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 vandværksboringer, idet nye boringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager, fx tekniske problemer eller vandkvalitetsproblemer. Dermed sikres løbende en god drikkevandskvalitet for forbrugerne, men data er ikke nødvendigvis udtryk for en tilsvarende udvikling i grundvandets generelle tilstand.*
- *Vandværksboringerne, der indgår i denne rapportering, er repræsentative for vandsforsyningernes indvindingsboringer på landsplan, idet de udgør tæt ved 100 % af alle aktive almene vandværksboringer.*
- *Vandværksboringernes indtag er gennemsnitligt placeret dybere end GRUMO-indtagene, hvorfor de i mindre grad kan anvendes til at beskrive påvirkninger fra diffus overfladeforurening.*
- *Vandværksboringerne 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

Vejledninger mv.

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2015: Dataansvarsaftalen, http://www.miljoeportal.dk/myndighed/registrer_dataansvar/Sider/forside.aspx#MyndighedDataansvar (11.01.2019).

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

EU- direktiver

EU, 2000: Vandrammedirektivet.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet.

EU, 2009: Analyse kvalitetsdirektivet.

Andre referencer

Danske regioner, 2018: Regionernes arbejde med jordforurening 2017. Juni 2018 <https://www.regioner.dk/media/9019/regionernes-arbejde-med-jordforurening-aarsrapport-2017.pdf>

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](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/095001) (17-2-2018)

Thorling, L. og Kjøller, 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> (11.01.2019)

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

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncenter for Miljø og ressourcer: <http://miljoeogressourcer.dk/> (11.01.2019)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)

Varslingssystemet for pesticider, VAP, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (11.1.2019)

Appendiks 2: Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen

Alle vandprøver og pejlinger i NOVANA grundvandsovervågningen er indsamlet i borerer 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 stykke (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 fore-rør. Her består indtaget i fx vandværksboringer ofte af et åbentstående hul i en boring. Begrebet indtag er defineret yderligere i Grundvands-rapporten fra 2001 (Stockmarr, 2001).

Langt de fleste indtag i GRUMO-stationsnettet (1.415 indtag i 2017) findes i borerer med blot ét indtag (75 %), 18 % af indtagene er etableret i borerer med 2 indtag og de resterende 7 % af indtagene findes i borerer med 3-23 indtag.

Tabel 31 giver et overblik over de forskellige sammenhænge, hvori grundvandet overvåges i Danmark. De forskellige aspekter af tabellen diskuteres i dette kapitel.

Tabel 31. Oversigt over bidrag til og aspekter af overvågningen af grundvand i Danmark, herunder omfang af datagrundlaget for forskellige typer af afrapportering. Bemærk: Jordforurening indgår ikke i nærværende rapportering. *) Antal grunde kortlagt på vidensniveau 2 (Danske regioner, 2018) og **) antal indtag er skønnet på baggrund af svar fra flere regioner tilbage i 2014.

Hvad	GRUMO	LOOP	Det Nationale Pejlenet	Vandværker	Jordforurening
Hvor	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Indvindingsboringer	Undersøgelsesboringer mm.
Hvorfor	NOVANA	NOVANA	NOVANA	Drikkevandsbekendtgørelsen	Jordforurenings- og Miljøbeskyttelsesloven
Hvem	MST/GEUS	MST/DCE/GEUS	MST/GEUS	Vandværker/ kommuner	Regioner
Antal indtag	I alt ca. 2.361 2017:1046	I alt ca. 422 2017: 94	I alt ca. 160 2017: 159	I alt ca. 6.290 2017: 2259	I alt ca. 18.380 grunde*) > 10.000 indtag**)
Rapport	GEUS	GEUS/DCE	GEUS	GEUS	Region /rådgivere

Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram

I 2017 indgik 159 indtag 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. Stationsnettet er i denne programperiode (2017-2021) under tilpasning til vandrammedirektivet. Et kort over pejlestationsnettet er vist i kapitel 3.2 Figur 18.

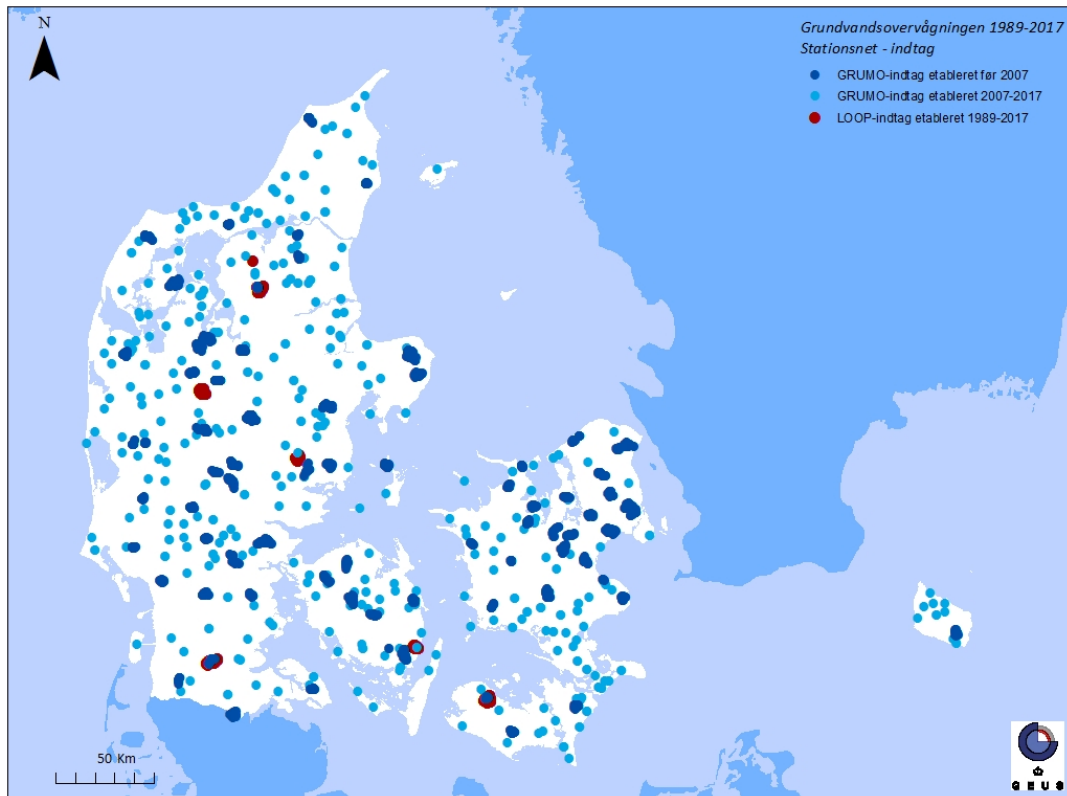
Appendiks 2.1: Grundvandsovervågning - vandkvalitet

Figur 60 viser det samlede stationsnet af boringer med indtag anvendt til grundvandsovervågningen i perioden 1989-2017. Boringerne er opdelt i de oprindelige GRUMO-boringer (beliggende i de gamle grundvandsovervågningsområder), boringer i det distribuerede stationsnet (der er etableret eller inddraget i perioden 2007-2017 af hensyn til vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet) og boringer i seks landovervågningsområder (LOOP områder), der overvåges af hensyn til den danske undtagelse fra Nitratdirektivet.

Tabel 32 viser et samlet overblik over de ca. 2.735 indtag, som været anvendt til overvågning af grundvandskvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2017.

Tabel 32. Udviklingen i grundvandsovervågningens stationsnet (GRUMO-indtagene) til og med 2017. 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.

Periode	Etablerede i perioden	Fortsat Aktive	Udgået i perioden	Bemærkning
	Antal indtag	Antal indtag	Antal indtag	
Før 1988	192	121	16	NPo forskningsprogrammet og Amtenes egen overvågning
1988-1992	1.101	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 det distribuerede stationsnet
2010	1	0	37	Det distribuerede stationsnet
2011-2015	248	185	86	
2016	25	23	2	
2017	123	123	0	
I alt	2.499	1.413	1.086	



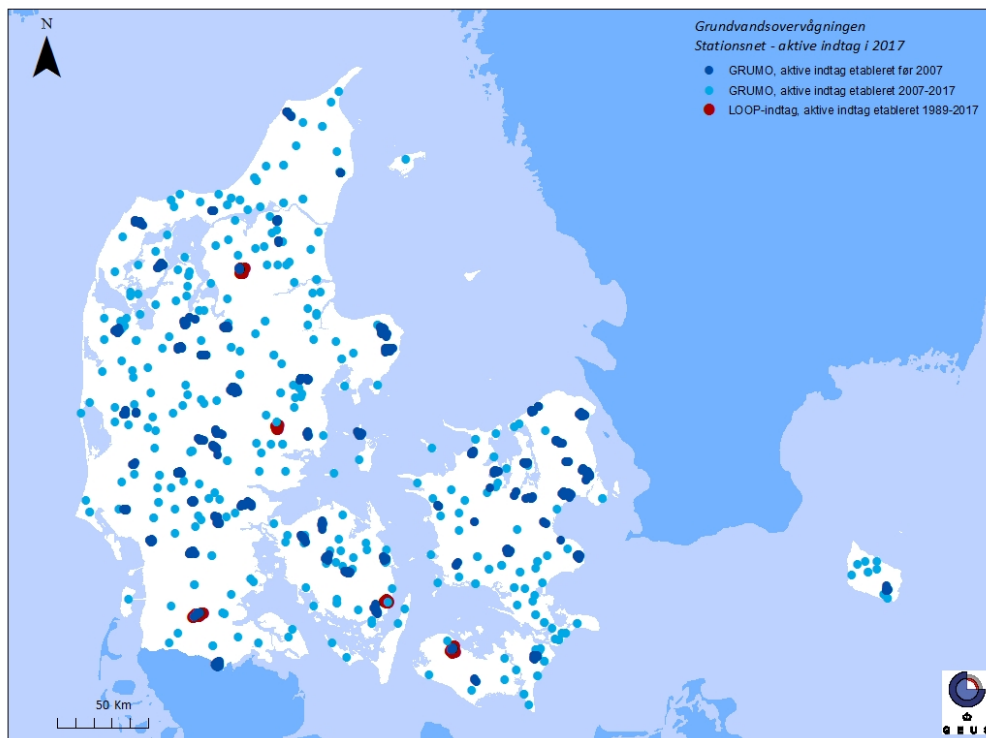
Figur 60. GRUMO. Det samlede stationsnet i grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1989-2017. Kortet viser indtag i de oprindelige 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO-indtag 1989-2006) og indtag i overvågningsboringer i det distribuerede stationsnet (GRUMO-indtag 2007-2017). Desuden ses de LOOP-indtagene i de seks landovervågningsoplande, hvoraf det ene i Midtjylland ved Herning er lukket.

Stationsnettet for grundvandsovervågningen, GRUMO, blev i løbet af overvågningens første år udbygget i 73 grundvandsovervågningsområder, der i perioden frem til 2007 samlet set omfatter ca. 2.000 indtag. Ses der bort fra de nyetablerede boringer fra og med 2017, er ca. 16 % af disse ca. 2.000 boringer kun prøvetaget 2-3 gange. Overvågningen omfatter 112 meget korte (5 cm) indtag i multifilterboringer i Rabis bæk-området, der blev etableret i forbindelse med et NPo-forskningsprojekt (Postma mfl. 1991). Disse indtag anvendes i dag til at overvåge grundvandets hovedbestanddele. Endelig blev der i slutningen af 1990'erne etableret fem multifilterboringer, de såkaldte 'redoxboringer', med 15-23 korte (10 cm) indtag i hver boring.

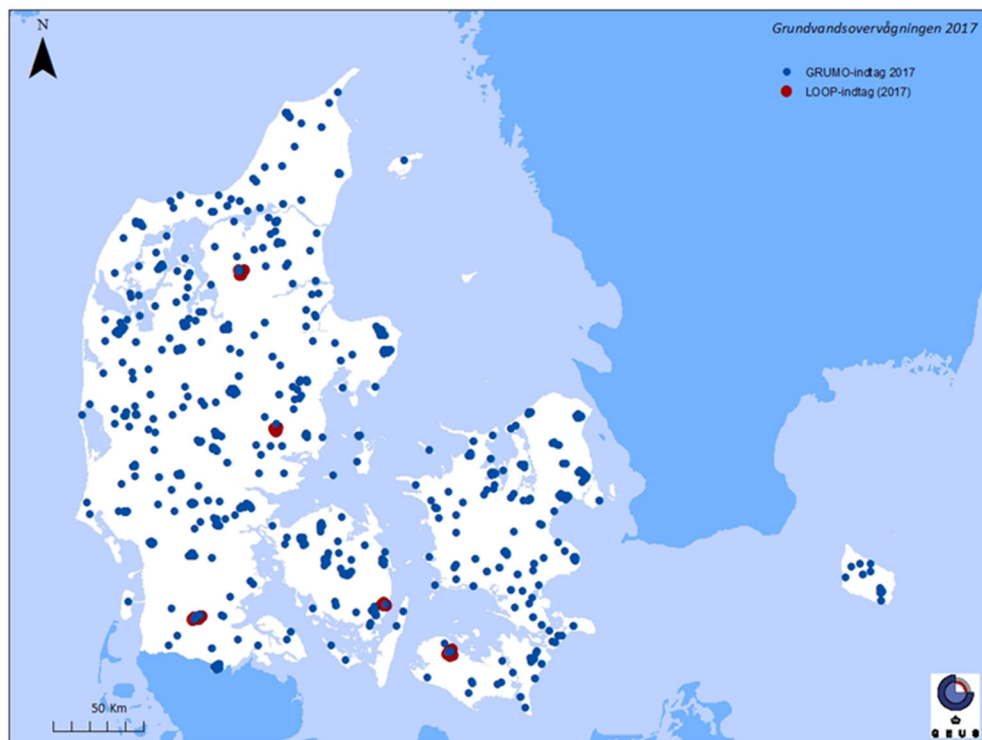
Indtag og overvågningsområder, som undervejs har vist sig uegnede til fortsat overvågning, er løbende udgået af stationsnettet. Dette kan fx være begrundet i tekniske forhold, der har gjort det vanskeligt eller umuligt at udtage vandprøver efter de standarder, der er beskrevet i de tekniske anvisninger (Thorling, 2012b). GRUMO-indtag, der er udgået før 1989, fremgår ikke af Figur 60.

Figur 61 viser de 1.415 programlagte GRUMO-indtag ved udgangen af 2017, hvoraf de 1.067 indtag er inddraget til grundvandsovervågningen i perioden 1989-2006 og 348 indtag er inddraget i perioden 2007-2017.

Figur 62 viser de indtag, der i 2017 blev anvendt til overvågningen af grundvandets kvalitet som led i NOVANA opdelt på 1.046 GRUMO-indtag og 94 LOOP-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. (2019).

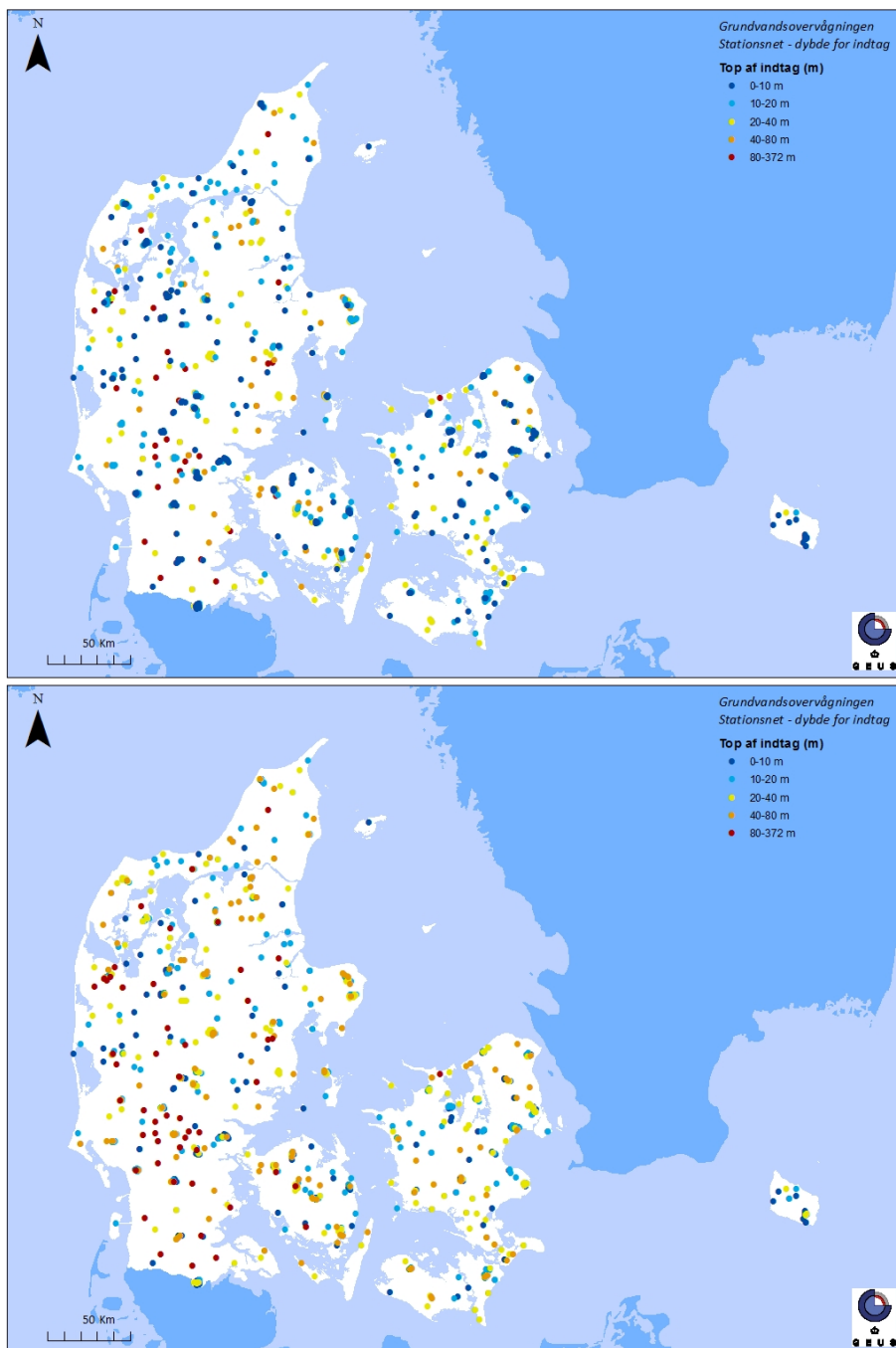


Figur 61. GRUMO. 1.415 programlagte (2017-2021) indtag. Kortet viser indtag i de oprindelige grundvandsovervågningsområder (GRUMO-indtag 1989-2006) og indtag i overvågningsboringer i det distribuerede stationsnet (GRUMO-indtag 2007-2017) baseret på 2017 data. Desuden ses de indtagene i de 5 landovervågningsoplande (LOOP).



Figur 62. GRUMO. Indtag anvendt i grundvandsovervågningen i 2017 opdelt på grundvandsovervågning (1.046 GRUMO-indtag) og landovervågning (94 LOOP-indtag).

Figur 63 viser den geografiske fordeling af dybden til toppen af indtaget i GRUMO-indtag, der indgik i stationsnettet i 2017. Data er sorteret med henholdsvis stigende og aftagende indtagsdybde. Indtag etableret ned til ca. 40 meter findes nogenlunde jævnt fordelt over Danmark, mens de dybere indtag udviser betydelige regionale forskelle. På Bornholm findes langt de fleste indtag således inden for de øverste 20 meter, mens langt de fleste dybe borer (80-372 m u.t.) findes i Jylland med den største forekomst i det sydlige Jylland.



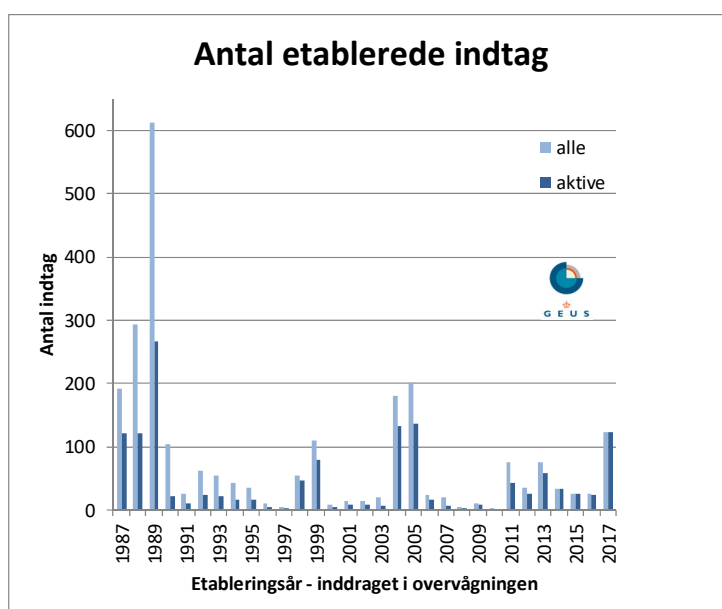
Figur 63. GRUMO. Dybde til toppen (m u.t.) af 1.411 programlagte indtag med kendt dybde i stationsnettet i grundvandsovervågningen i Danmark i 2017-2021. Data i den øverste figur er sorteret efter stigende dybde således de korte borer er afbildet øverst. Data i den nederste figur er sorteret efter aftagende dybde, således de dybeste borer er afbildet øverst på den nederste figur.

Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2017

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 2011-2017. Det kan forventes, at der fortsat vil ske justeringer i stationsnettet, ikke mindst af tekniske grunde. Udbygningen er sket ved at inddrage eksisterende borer, etableret med andet formål, eller ved at etablere særlige overvågningsboringer med indtag, der skal repræsentere enten enkelte eller grupper af grundvandsforekomster, hvor der hidtil ikke er overvåget, eller hvor overvågningen har været begrænset. Disse nye indtag er i programbeskrivelsen betegnet som 'det distribuerede stationsnet' (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011, og Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017).

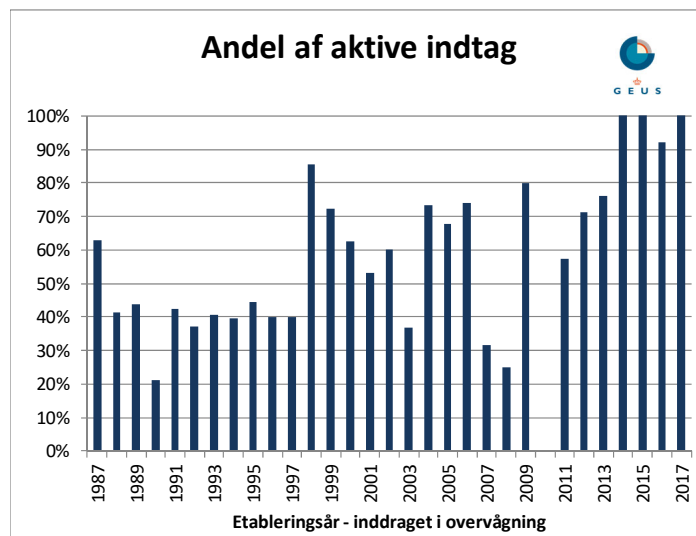
I samtlige indtag, der har været i betragtning som kandidater til det distribuerede stationsnet, er der blevet udtaget prøver til analyse for samtlige kemiske parametre fra programbeskrivelsen. Formålet hermed er at kunne fastsætte den fremtidige overvågningsfrekvens og vurdere boringens egnethed til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

Figur 64 viser det årlige antal indtag, der er inddraget i perioden 1987-2017. Et meget stort antal særlige overvågningsboringer blev udført i perioden 1987-1989, hvor de oprindelige GRUMO-områder blev etableret. Større borekampagner ses også i perioderne 1998-1999, 2004-2005 og 2011-2013 samt i 2017.



Figur 64. GRUMO. Det årlige antal GRUMO-indtag inddraget i perioden 1987-2017. 'Alle' angiver antallet af GRUMO-indtag, der er inddraget det pågældende år og 'aktive' angiver antallet af indtag, der stadig indgår i overvågningen i programperioden 2017-2021.

Figur 65 viser den %-vise andel af indtagene, der indgår i stationsnettet for programperioden 2017-2021, som funktion af det år, de blev inddraget. Omkring 40 % af de indtag, der blev inddraget i perioden 1988-1997 indgår stadig. For indtag etableret i perioden 1998-2017 indgår der fortsat mellem 50 og 100 % i overvågningen, bortset fra årene 2003, 2007 og 2008, hvor der kun blev etableret ganske få indtag. I 2010 blev der ikke etableret nogen GRUMO-indtag.



Figur 65. GRUMO. Andelen (%) af GRUMO-indtag, der fortsat indgår i overvågningen i programperioden 2017-2021, som funktion af året hvor de blev inddraget. I 2010 blev ingen indtag etableret.

Appendiks 2.3 Vandværksboringer

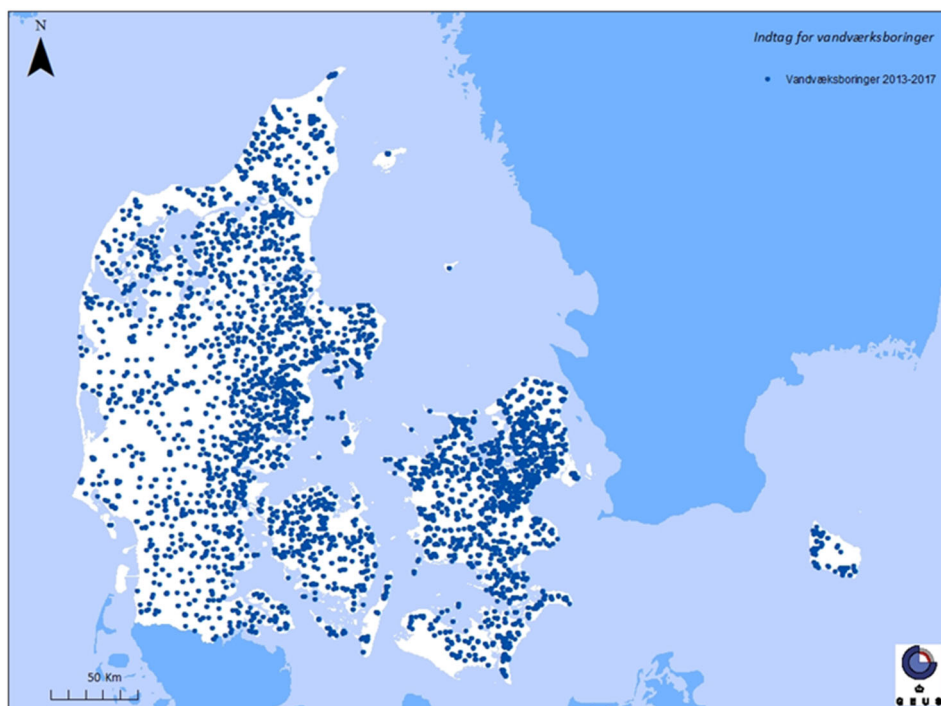
I drikkevandsbekendtgørelsen har der siden 1989 været stillet krav om overvågning af kvaliteten af det grundvand, som vandværkerne indvinder (boringskontrollen). Boringskontrollen gennemføres af vandværkerne. Hyppigheden af boringskontrolanalyser i aktive vandværksboringer afhænger af distribuerede eller producerede vandmængder med en prøvetagningshyppighed fra hvert 3. år til hvert 5. år.

Boringskontrollen udføres over tid for en skiftende mængde boringer, idet nye vandværksboringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager, fx tekniske problemer eller vandkvalitetsproblemer. 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. Den 26. november 2018 var der 2.644 aktive, almene vandværker (pers. kom. M. Pedersen, GEUS). De almene vandværker er defineret ved, at de forsyner mere end 10 husstande. Værkerne indvinder fra 6.780 boringer, men har derudover samlet set flere tusinde boringer til pejling, monitorering og reserve. I alt bliver der indberettet data til Jupiter fra ca. 8.100 boringer fra vandværkerne. De seneste årtier har der været en udvikling mod færre og større vandværker i Danmark.

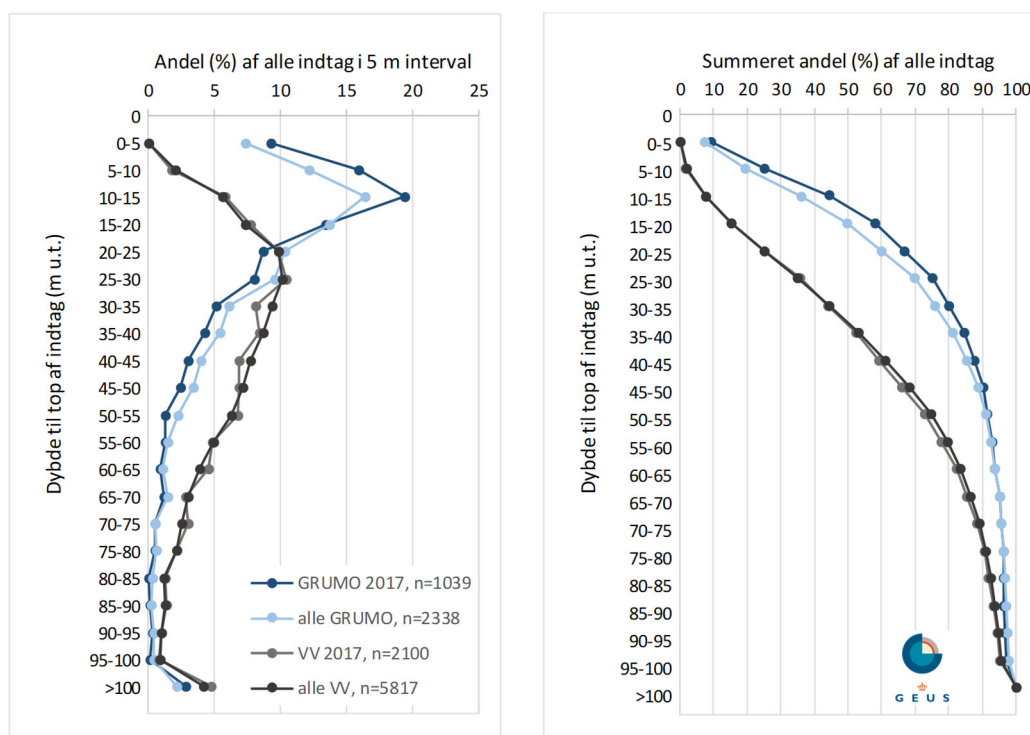
Figur 66 viser i perioden 2013-2017 den geografiske fordeling af aktive vandværksboringer i Danmark. Tætheden af boringerne varierer meget og afspejler primært befolkningstætheden og til en vis grad de geologiske betingelser for vandindvinding.

Figur 67 viser dybdefordelingen for samtlige GRUMO-indtag og vandværksboringer for hhv. 2017 og perioden 1990-2017. Det ses, at dybdefordelingen af vandværksboringerne er stort set den samme i 2017 som for hele perioden, mens der for GRUMO-indtagene ses flere indtag i det højtliggende grundvand i 2017 sammenlignet med hele perioden.

Samtidig fremgår det af Figur 67, at 50-60 % af GRUMO-indtagene er etableret indenfor de øverste 20 m u.t. mens blot 10 % er etableret dybere end 50 m u.t. I vandværksboringerne er indtagene placeret noget dybere. Her har 50 % af vandværksboringerne toppen af indtaget beliggende i større dybde end 40 m u.t. og 10 % i større dybde end 80 m u.t.

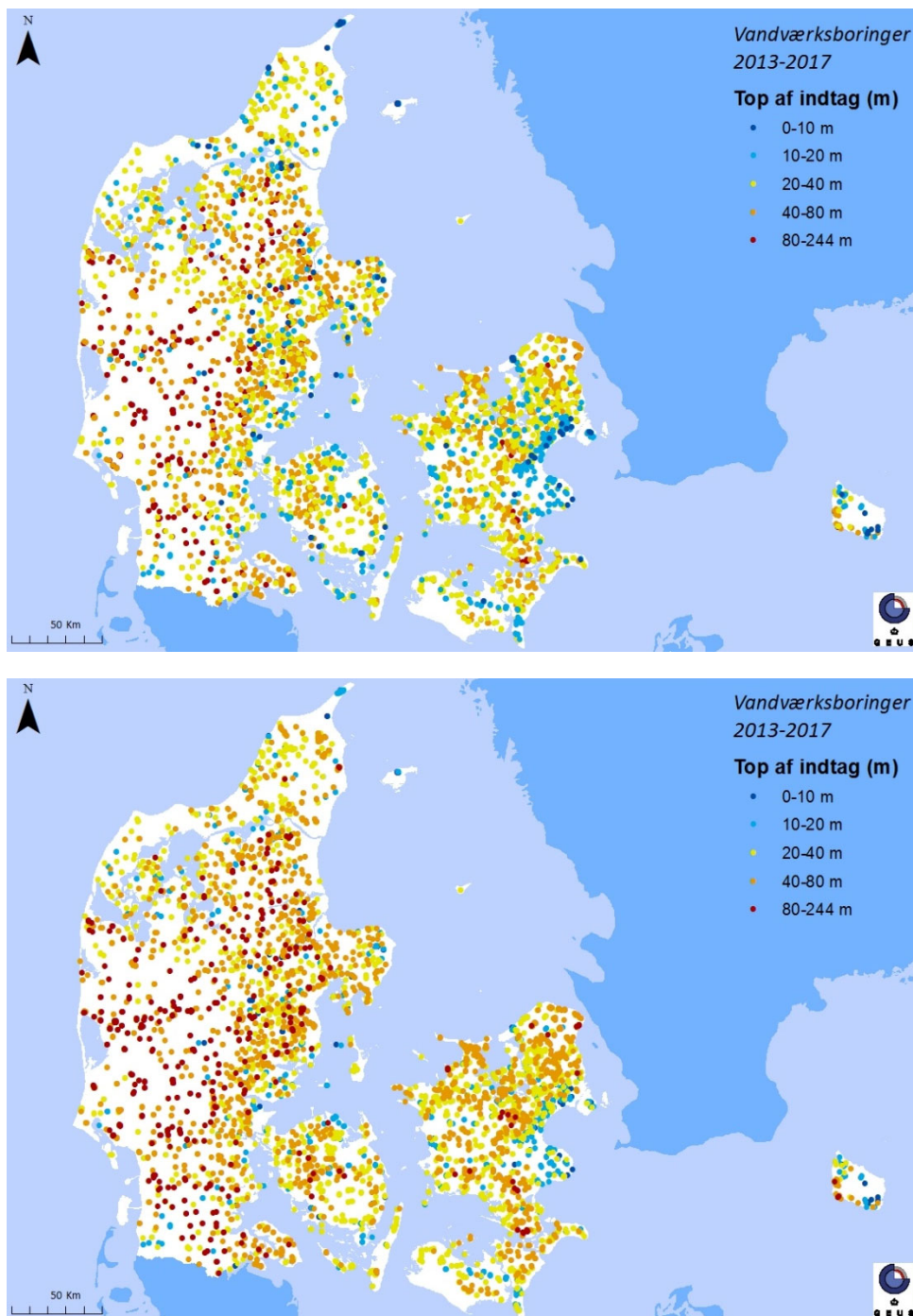


Figur 66. Vandværksboringer. Den geografiske fordeling af 5974 aktive vandværksboringer med kendt dybde til top af indtag i perioden 2013-2017.



Figur 67. Figuren til venstre viser andelen opgjort på 5 m intervaller (%) for dybde til 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 i perioden (1990-2017) og for 2017. Figuren til højre viser den summerede andel for indtagene vist i figuren til venstre.

Figur 68 viser den geografiske fordeling af dybden til overkant af indtag for vandværksboringer. De overfladenære indtag med indtagstop ned til 20 meter findes ud over hele landet, men med den største forekomst syd for København, langs Køge Bugt og på Stevns samt langs et øst-vest gående bånd på Lolland. De mellemdybde indtag findes på resten af Sjælland, Fyn og de dele af Jylland, der ligger øst og nord for Hovedopholdslinjen. De dybeste indtag findes med få undtagelser i Jylland og her med den største forekomst vest for Hovedopholdslinjen samt i Himmerland.



Figur 68. Vandværksboringer i perioden 2013-2017 (5.714 indtag). Dybde til toppen (m u.t.) af indtag for boringer med kendt dybde til indtag. Data i den øverste figur er sorteret efter stigende dybde således de korte boringer er afbildet øverst. Data i den nederste figur er sorteret efter aftagende dybde, således de dybeste boringer er afbildet øverst på den nederste figur.

Referencer: Appendiks 2. Stationsnet

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, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse http://naturstyrelsen.dk/media/nst/Attachments/NOVANA_2delrapport.pdf (11.01.2011)

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/> (11.01.2019)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://mst.dk/media/141463/novana-2017-21-programbeskrivelse.pdf> (11.01.2011)

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Holm, H., Houllborg, T., Rolighed, J., Andersen, H.E., Carstensen, M.V., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2019. Landovervågningsoplande 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx <http://dce2.au.dk/pub/SR273.pdf>

Danske regioner, 2018: Forebyggelse & samarbejde - Regionernes arbejde med jordforurening. 44 s.

Pedersen, M. Statsgeolog i data og it GEUS, personlig kommunikation

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>

Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i feltet. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/media/16123/g02-proevetagning-version-12.pdf (11.01.2019)

Relevante hjemmesider og links

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (11.01.2019)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (11.01.2019)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (11.01.2019)

Appendiks 3: Faglig baggrundsviden om grundvand

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 69 viser et geologisk kort over den danske undergrund. Kortet viser Prækvartæroverfladen, 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 over 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.

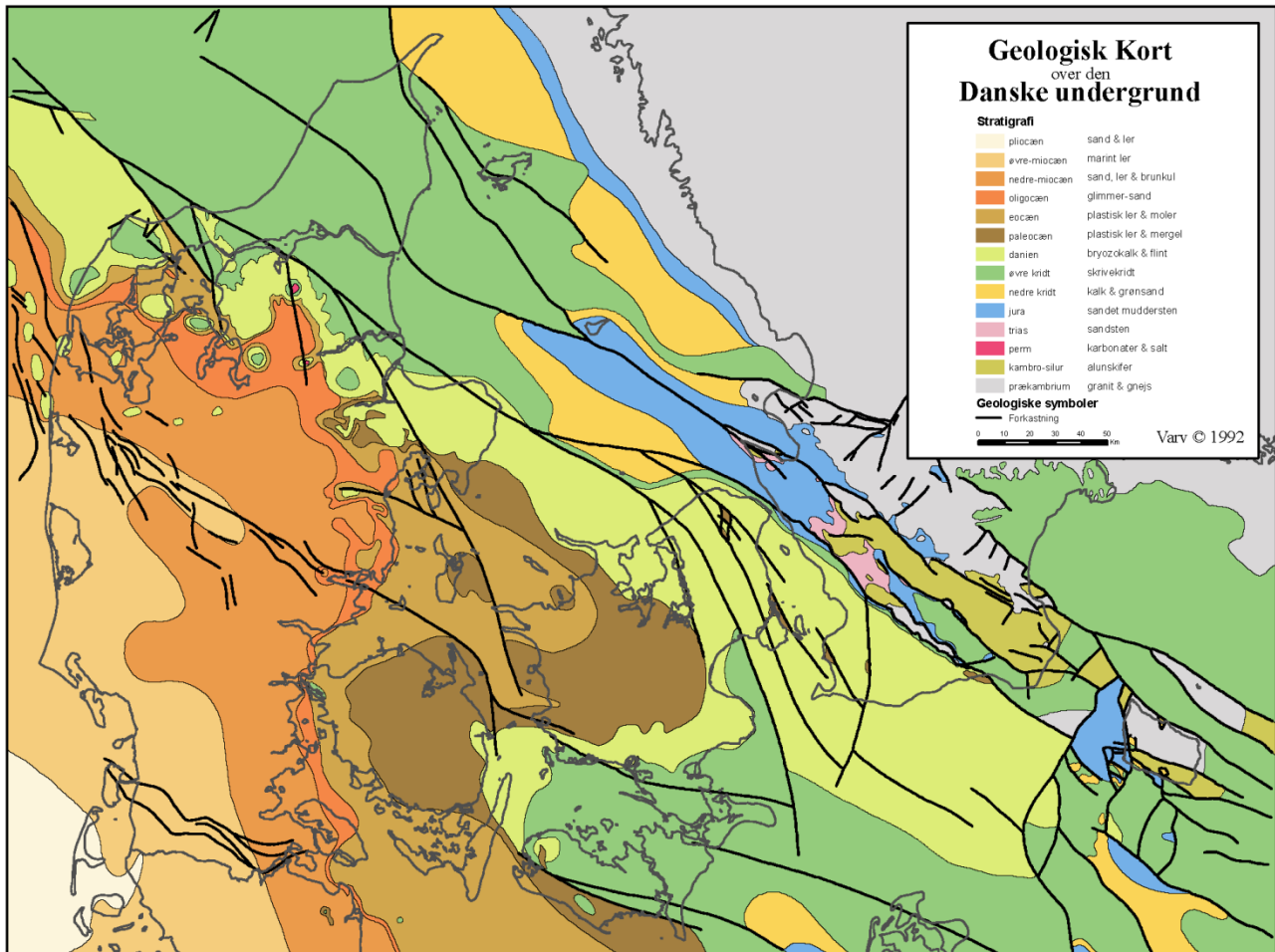
I det vestlige Jylland findes der betydelige grundvandsressourcer i de tertiære sandlag under istidslagene. Disse sandlag hælder mod vest, og findes derfor i stor dybde ved den jyske vestkyst. Disse tertiære sandlag er yngre end kalken og optræder ikke i den østlige del af Danmark.

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.

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 opmagasiner 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 kan fx være i form af nitratreduktion eller frigivelse af arsen.

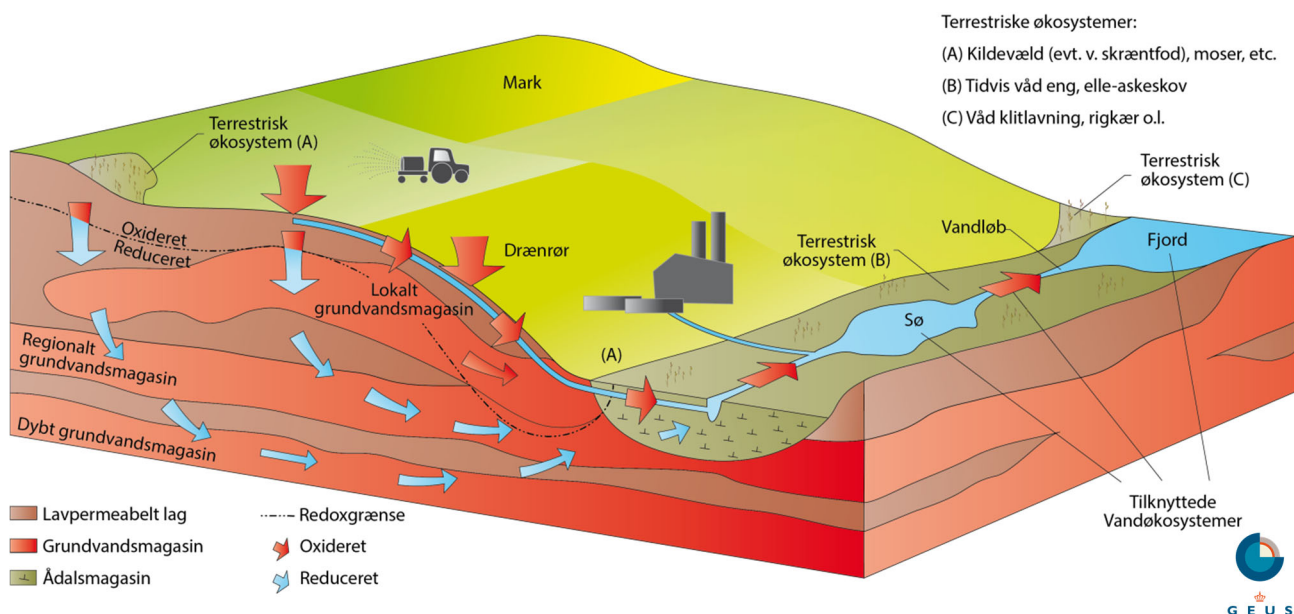


Figur 69. Den prækvartære overflade i Danmark, dvs. udbredelsen af ældre geologiske lag umiddelbart under istidsaflejringerne fra den Kvartære Periode, der begyndte for ca. 2,6 mio. år siden. (Håkansson & Schack Pedersen, 1992)

Figur 70 viser en principskitse for grundvandsdannelse og -strømning samt forskellige 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 over for 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 70. 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. 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 terræn. Mange vandværksboringer er derfor placeret i ådale.



Figur 70. Konceptuel figur over grundvandets strømningmønster. Frie grundvandsmagasiner med dominerende lokal grundvandsstrømning og spændte grundvandsmagasiner med regionale grundvandsstrømninger.

Figur 70 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.

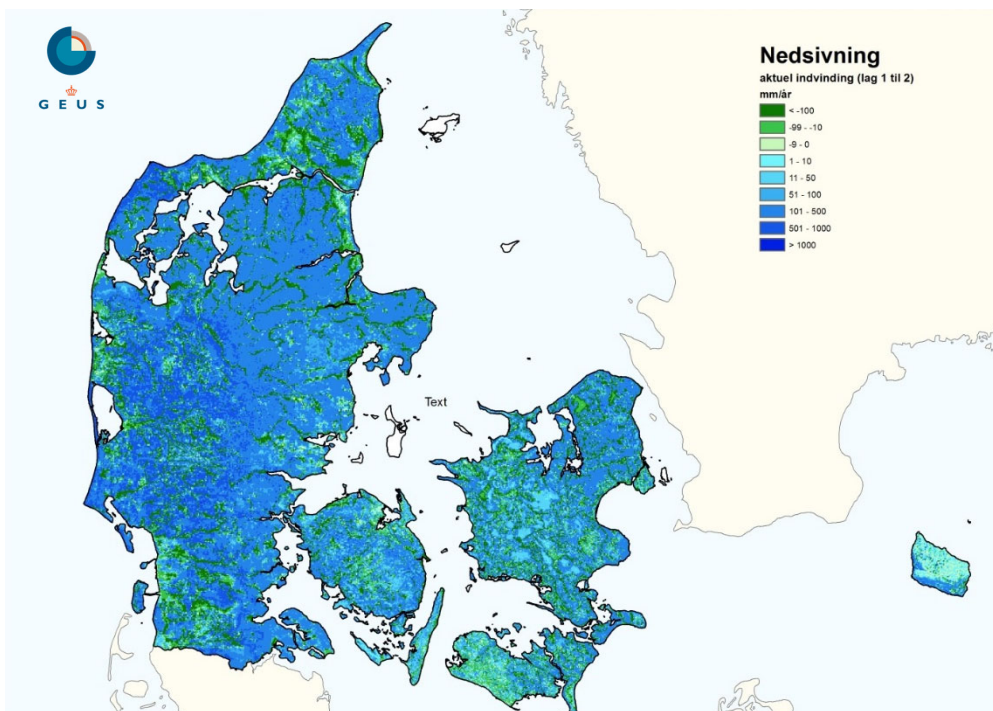
Grundvandets konkrete, detaljerede strømningmønster påvirkes af de geologiske lags rumlige udbredelse. Derfor er det vigtigt at kende grundvandsmagasinerne geologiske opbygning, hvis man skal kunne forudsige grundvandets strømningmønster.

Modellering

Grundvandsstrømningen i Danmarks undergrund er overordnet beskrevet i DK-modellen, hvor undergrunden er inddelt i 11 beregningslag (DK-modellens 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 71 viser den beregnede nedsivning/opsivning i 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 71. 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 indgår i 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. Samsø og andre mindre øer indgår ikke i modellen.

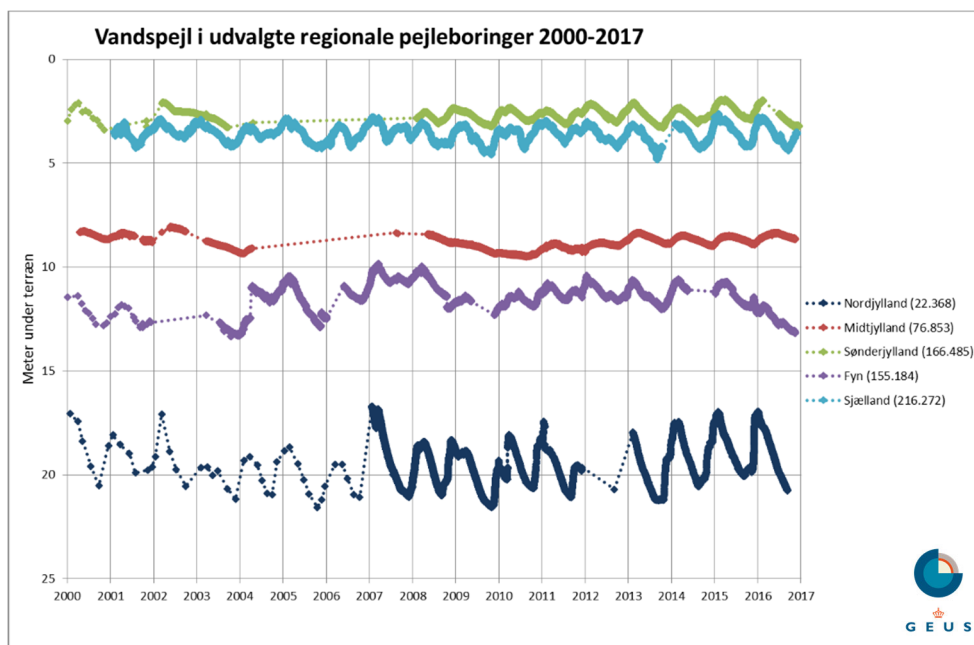
Grundvandsdannelse og mængden af grundvand

Mængden af grundvand i grundvandsmagasinerne, og dermed trykforholdene og grundvandsspejlets beliggenhed, afhænger af balancen mellem grundvandsdannelsen og mængden af oppumpet grundvand.

Nedbøren varierer dog ganske meget både fra år til år og fra sted til sted. I gennemsnit regner det mest i Midtjylland og mindst i Kattegatregionen

Nedbør, der ikke fordamper fra planter, fra jordoverfladen eller vandoverflader, eller strømmer via dræn til vandløbene, siver ned i undergrunden, hvor det udgør den egentlige grundvandsdannelse, se Figur 71. 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 nedsvivningen sker ved en overvejende lodret vandbevægelse mod grundvandsspejlet. Under grundvandsspejlet er der vandmættede forhold (grundvand), hvilket betyder, at der ikke længere er luft mellem kornene. Måling af grundvandsspejlets beliggenhed med pejlinger er en måde at måle ændringer i mængderne af vand i grundvandsmagasinerne.

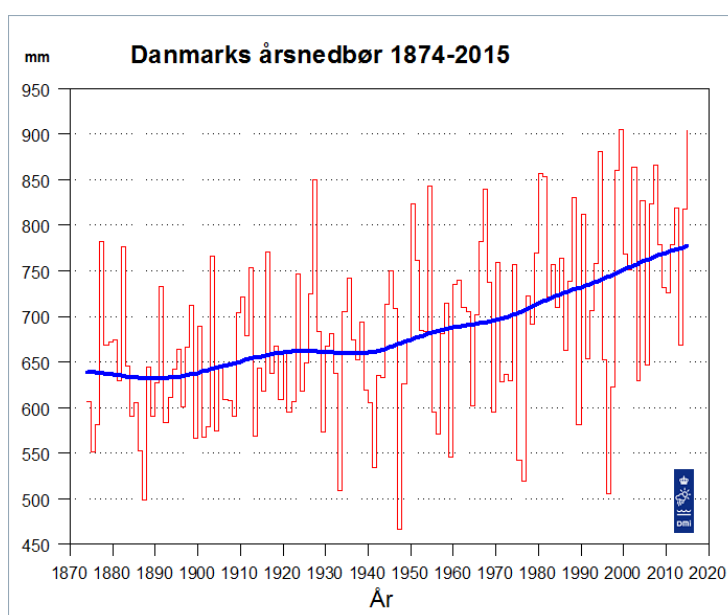
Der ses ofte en karakteristisk variation i mængden af nedbør over året. Generelt er der således relativt lidt nedbør i forårsmånederne fulgt af større månedsnedbør gennem sommeren, efteråret og den først del af vinteren, (DMI). I sommerhalvåret er fordampningen større og samtidig vil en større andel af nedbøren føres bort med dræn og vandløb. Således vil en stor del af de kraftige regnskyl, der nu forekommer mere hyppigt om sommeren løbe af på overfladen og ikke bidrage væsentligt til grundvandsdannelsen. Dette forklarer, at den laveste vandstand i mange pejleboringer forekommer i efter at grundvandsdannelsen i forårs- og sommerperioden har været meget lav. På samme måde ser man, at den højeste vandstand typisk forekommer sidst på vinteren eller om foråret efter en periode med en betydelig grundvandsdannelse om efterår og vinteren (Thorling mfl. 2018). Sådanne årstidsvariationer ses tydeligt i mange pejleserier, se eksempelvis Figur 72.



Figur 72. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) i udvalgte regionale borer, 2000-2016. Af kurverne ses tydelige årstidsvariationer i vandstanden på op til mere end 3 m.

De seneste 100 år har årsnedbøren i Danmark generelt været stigende med i alt godt 100 mm, se Figur 73. Dette kan i et vist omfang ses afspejlet i grundvandsstanden; dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige årlige nedbør i Danmark er steget med 4,4 % (33 mm) mellem de to seneste normalklimaperioder; fra 712 mm i perioden 1961-1990 til 745 mm i perioden 1991-2015, med betydelige regionale variationer.

100 mm ekstra årsnettonedbør (ikke årsnedbør) vil skønsomt kunne give en stigning i grundvandsstanden for frie terrænnære magasiner på op til 30 cm, hvis der regnes med en porøsitet på 30 % i grundvandsmagasinet. Derimod er det vanskeligere at beregne effekten i udstrømnings-områderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der omvendt lokalt forekommer dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.



Figur 73. Danmarks årsnedbør siden 1874. Landsgennemsnit beregnet på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er ni års Gaussfilterede værdier (DMI).

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 nedbørs-mængder og intensitet, strømningsveje og grundvandets opholdstid. To typer af naturlige kemiske reakti- oner er særlig vigtige; nemlig forsurende processer og redoxprocesser. Disse fører ganske langsomt til, at grundvandsmagasinerne forsuret og iltet.

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

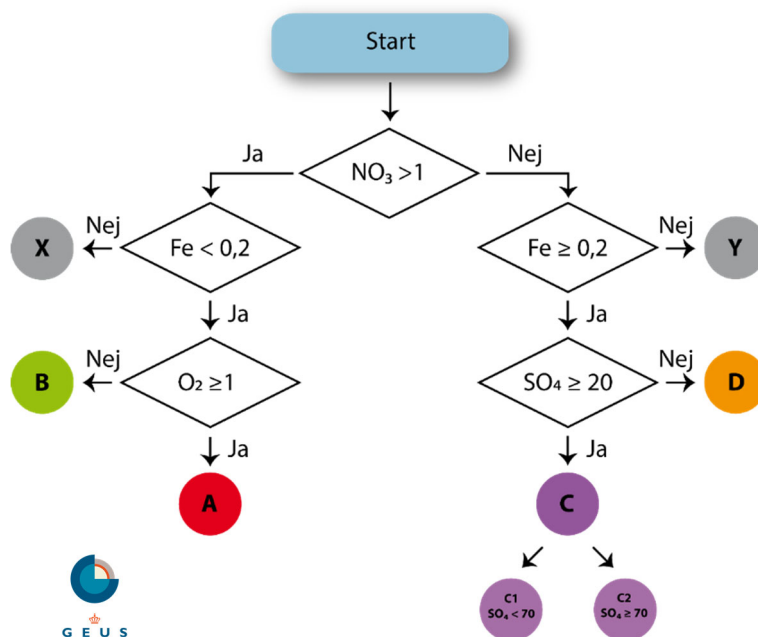
Dernæst er redoxprocesser i grundvandszonen af stor betydning for grundvandets kemiske sammensæt- ning, ikke mindst i forhold til forekomst af nitrat og fosfor. Undergrundens reducerede sedimentter reage- rer med oxiderede stoffer i grundvandet, så det strømmende grundvand bevæger sig ind i stadig mere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

Successivt reduceres grundvandets indhold af ilt, nitrat og sulfat under dannelse af en række karakteri- stiske geokemiske miljøer. Dette kan forsimples til to hovedtyper af geokemiske miljøer i grundvandszo- nen, 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 op- bruges.

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

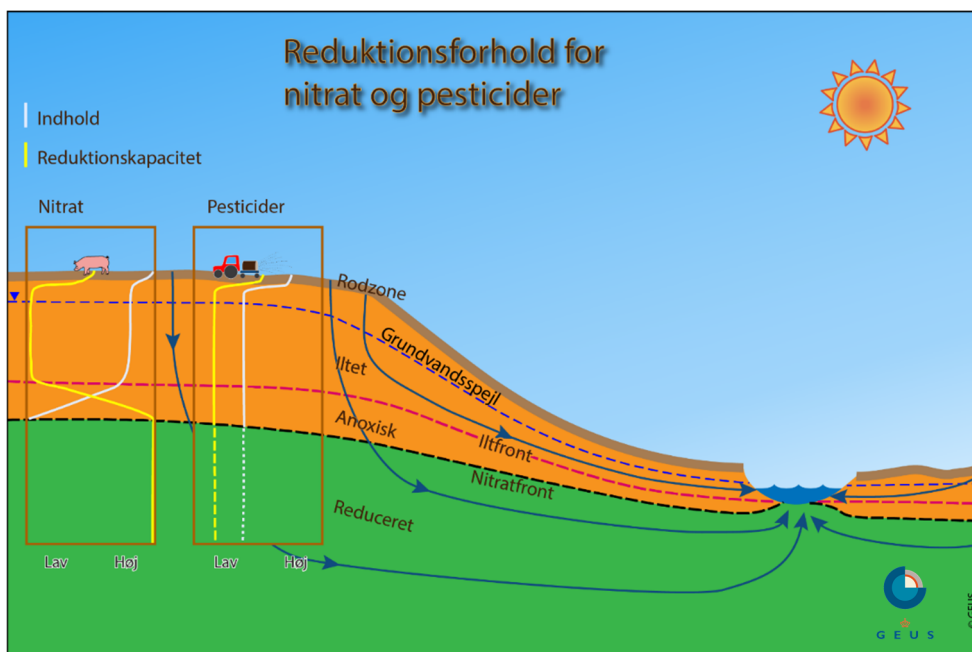
I de tilfælde, hvor der er kemisk ligevægt, vil nitratfronten og redoxfronten være sammenfaldende. Ke- misk uligevægt kan dog forekomme, og her vil nitratfronten og redoxfronten ikke være sammenfaldende. Denne situation kan forekomme, når grundvandets strømningshastighed er større end reaktionshastighe-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

Figur 74 viser et eksempel på en algoritme til at fastlægge grundvandets redoxforhold, gennem en opde- ling 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 en generel fastlæggelse af grundvandets re- doxforhold. Andre algoritmer anvendes, hvis der fx er prøvetagningstekniske problemer (ilt i LOOP-borin- ger) eller færre tilgængelige parametre.



Figur 74. 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 75 viser en principskitse over nitratfrontens beliggenhed omkring et vandløb. I de to bokse i figuren vises med lysesgrå 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. at der er lille kapacitet i det iltede miljø og stor kapacitet i det reducerede miljø.



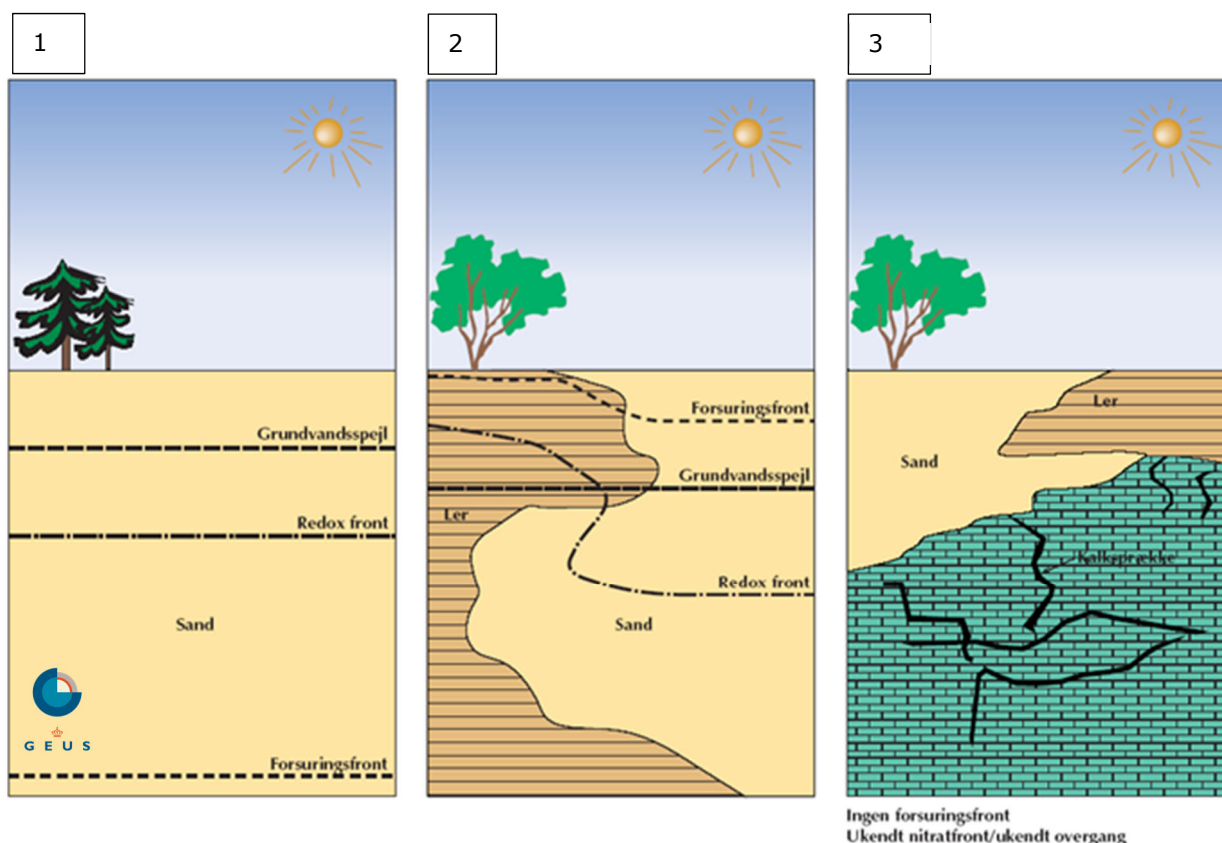
Figur 75. Principskitse over nitratfrontens beliggenhed omkring til et vandløb, og udbredelse og reduktionsforhold af nitrat og pesticider i undergrunden. De lysesgrå grafer i boksene viser koncentrationer af nitrat og pesticider, mens gule grafer viser potentialet for reduktion af stofferne. Forløbet 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 76 viser eksempler på forskellige geologiske miljøer. I Vestjylland (1) er kalkindholdet i sandlagene ofte lavt, og forsuringsfronten kan ligge dybt i magasinerne, mens redoxfronten som regel ligger højere. Afhængig af strømningsmønstret vil redoxfronten kunne ligge mange meter under grundvandspejlet. I midten (2) ses en situation med heterogen geologi, som er typisk i Østjylland og nogle steder på Fyn og Sjælland. På grund af det høje kalkindhold i jorden ligger forsuringsfronten normalt over grundvandspejlet. Redoxfronten ligger højt i lerede aflejringer og dybere i sandet.

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



Figur 76. Principskitse over beliggenheden af forsuringfronten og redoxfronten i tre typiske geologiske situationer: 1) Vestdanmark, hvor jordlagene overvejende består af sand, 2) Østjylland, Fyn og Vestsjælland, hvor geologisk heterogenitet med vekslende ler og sand giver store lokale variationer i dybden til fronterne og 3) områder med kalklag, fx Stevns og omkring Ålborg (Figur 69), 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 dannelsesåret er 1993, så er grundvandets opholdstid (alder) 14 år. Kendskab til vandets opholdstid gør det muligt at vurdere, om udviklingen i grundvandets kvalitet viser tidsmæssige sammenfald med ændringer i arealanvendelse eller indsatsprogrammer, herunder vandmiljøplaner.

Datering af grundvandet i de enkelte overvågningsboringers indtag er bl.a. en forudsætning for at kunne dokumentere en effekt på grundvandets nitratindhold af ændret landbrugspraksis og nitratudvaskning. Samtidig kan datering af grundvandet bruges til at demonstrere, hvordan udbygningen af stationsnettet i overvågningen med nye boringer og flere indtag påvirker aldersfordelingen af det overvågede vand. Det samme gælder for effektmålinger på pesticidreguleringen, hvilket dog er en vanskeligere opgave, idet pesticiderne i højere grad vekselvirker med sedimenterne, gennem nedbrydning og sorption i et langt mere komplekst mønster end nitrat.

Datagrundlag

I forbindelse med udbygning af stationsnettet, se kapitel 2, er der behov for datering af de nye indtag. Der er derudover et behov for fornyet prøvetagning af en række andre indtag der tidligere er dateret med CFC-metoden. 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. Dertil kommer at datering med CFC ikke er egnet i iltfrit vand, hvor CFC nedbrydes i grundvandet, hvilket resulterer i fejlagtigt høje aldre. De første 45 prøver til tritium/helium datering blev udtaget i 2012, og yderligere 92 blev udtaget i 2013. Resultaterne herfra er anvendt i denne rapport. De metodiske forudsætninger for grundvandets datering kan findes i (Laier, 2014, 2014a, og Thorling mfl. 2015a). I løbet af 2018-19 vil der være en opået en datering af overvågningsindtag, der ikke tidligere er dateret.

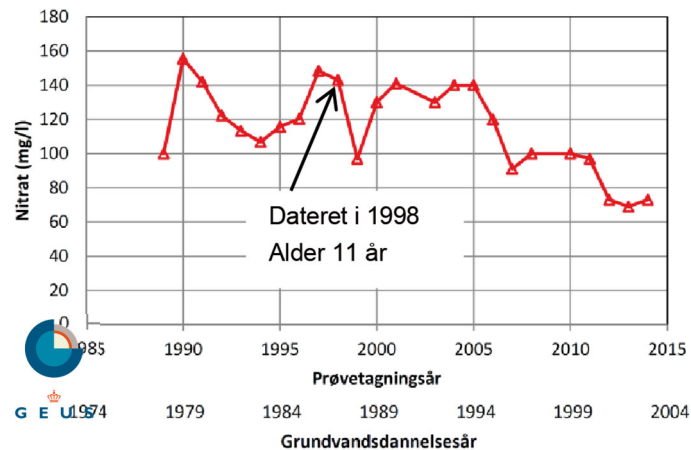
Opholdstiden for det overvågede grundvand.

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 (Laier & Thorling, 2005, Thorling mfl., 2015a). Dette siger dog ikke noget om, hvor præcis 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:

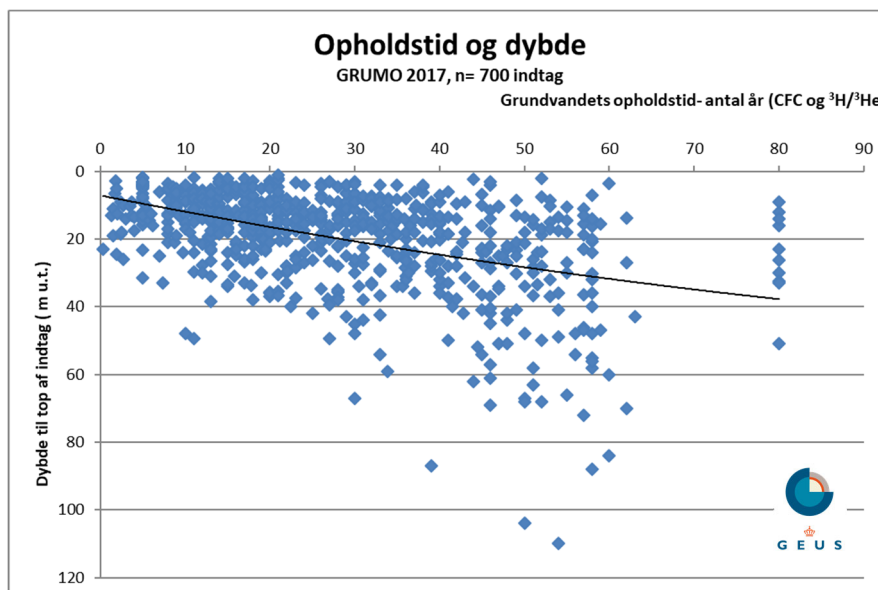
$$\text{Grundvandsdannelsesåret} = \text{Prøvetagningsåret} - \text{grundvandets alder}$$

Figur 77 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.



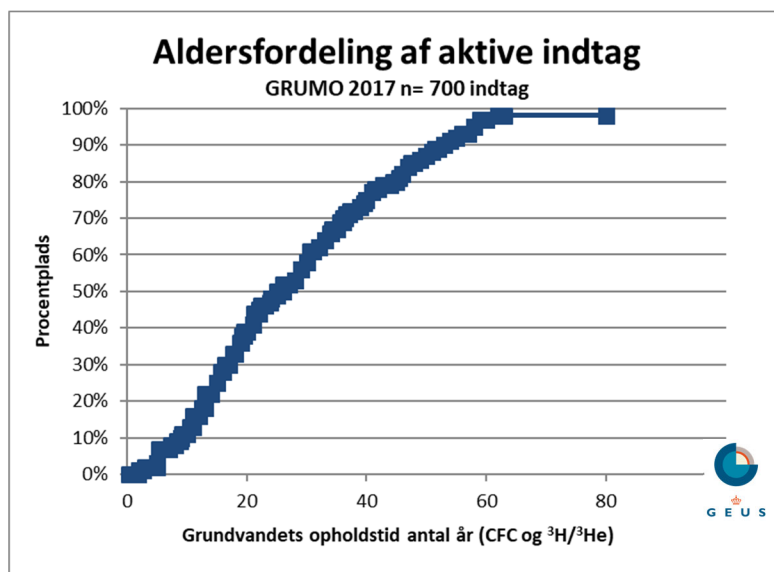
Figur 77. Eksempel på beregning af grundvandsdannelsesåret for en tidsserie af gennemsnitlige årlige nitratværdier fra et indtag (DGU nr. 131.1052) placeret i iltholdigt grundvand.

Figur 78 viser grundvandets opholdstid som funktion af dybden for 700 daterede ud af de 1046 indtag anvendt i 2017 svarende til ca. 70 %. 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 og medianalderen stiger med stigende dybde, da andelen af ungt vand falder med dybden. Årsagen til det billede, man ser på Figur 78, 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 75. Derfor går den bedste rette linje heller ikke igennem alderen 0 år i dybden 0 m.u.t., idet der jo netop kan forventes opsving (pga. en opadrettet hydraulisk gradient) af ældre vand i nogle af indtagene.



Figur 78. GRUMO. Dybdefordeling af opholdstiden for 700 daterede overvågningsindtag GRUMO-indtag ud af 1046 GRUMO-indtag anvendt til overvågning aktive i 2017. Linjen viser bedste rette linje gennem alle punkter.

Figur 79 viser aldersfordelingen for de 700 daterede ud af 1046 aktive indtag i 2017. I hovedparten (ca. 90 %) af disse indtag har grundvandet en opholdstid under 50 år. Dateringen af grundvandet er 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 grundvands indhold af nitrat.



Figur 79. Fordelingen af opholdstiden (alderen dateret ved $^3\text{H}/^3\text{He}$ eller CFC) for grundvandet i de 700 daterede overvågningsindtag ud af de 1046 indtag, der var aktive i 2017.

Referencer: Grundvandets strømning og alder

Diverse referencer

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

Hansen, B. & Thorling, L., 2018. Kemisk grundvandskortlægning. GEO-VEJLEDNING 2018/2. Særudgivelsen fra GEUS. http://www.ge-ovejledning.dk/2018_2/

Henriksen, H., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, L.F. & Trolborg, L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvindning, GEUS rapport 2014/74.

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> (11.01.2019)

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 (11.01.2019)

Thorling, L., Brusch, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2015a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. www.geus.dk/media/16413/g-o-2013.pdf (11.01.2019)

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. www.geus.dk/media/18835/grundvand1989-2016-endelig-momslog.pdf (11.01.2019)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (11.01.2019)

DMI hjemmeside: www.dmi.dk (11.01.2019)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (11.01.2019)

GEUS, 2018: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. <https://www.geus.dk/udforsk-geologien/laering-om-geologi/viden-om/viden-om-grundvand/vandets-kredsløb/> (11.01.2019)