

GRUNDVANDSOVERVÅGNING

1989-2022



De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland
Klima, Energi- og Forsyningsministeriet




GEUS

Grundvandsovervågning

Status og udvikling 1989 – 2022

GEUS 2024

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling
Christian Nyrop Albers
Claus B. Ditlefsen
Birgitte Hansen
Anders R. Johnsen
Jolanta Kazmierczak
Mette Hilleke Mortensen
Lars Trolborg

Dato 27. februar 2024

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk



Forord

Denne rapportering af grundvandets status og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989-2022 som led i Den Nationale Grundvandsovervågning (GRUMO) og Landovervågning (LOOP).

Grundvandsvandkvaliteten i vandforsyningsboringerne fra de almene vandforsyninger præsenteres med udgangspunkt i boringskontrollen, der er en del af egenkontrollen. Oplysninger om vandindvindingens størrelse er baseret på oplysninger fra indvindere af grundvand og overfladevand, dvs. vandforsyninger, industrier, markvandere mv.

Denne rapport er en del af den nationale, årlige rapportering af resultaterne for det nationale overvågningsprogram for vand og natur (NOVANA). Rapporten har et landsdækkende fokus og indeholder ikke vurderinger af grundvandsforekomsternes tilstand, og dækker på ingen måde tilstandsvurderingerne af grundvandsforekomsterne i relation til 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 overvågningsresultater for redoxboringer og PFAS, mens sporstoffer, fosfor og organiske mikroforureninger, på nær PFAS, ikke rapporteres. Der er intet tema i år, men i stedet en udvidet rapportering af redoxboringerne, hvor boringerne i Rabisbæk, ved Karup i Midtjylland rapporteres for første gang.

Målgrupperne for denne rapportering er Folketinget og Regeringen, myndigheder og offentligheden, samt de involverede aktører i overvågningen, herunder Miljøstyrelsen (MST), 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 Trolborg
Det nationale pejleprogram	Claus Ditlefsen
Nitrat	Birgitte Hansen
Pesticider	Anders R. Johnsen
Organiske mikroforureninger	Christian Nyrop Albers
Appendiks 1: Datagrundlag og metoder	Lærke Thorling
Appendiks 2: Stationsnet	Mette Hilleke Mortensen
Appendiks 3: Faglig baggrundsviden om grundvand	Lærke Thorling og Christian Nyrop Albers

Kapitel 2, Formål, er forfattet af Miljøstyrelsen, idet dette afsnit omhandler de forvaltningsmæssige og juridiske aspekter af overvågningen.

© Denne rapport er behæftet med copyright. Hvis figurer eller andet materiale anvendes, skal der angives en kildeangivelse, 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, D., Hansen, B., Johnsen, A.R., Kazmierczak, J., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2024: Grundvand. Status og udvikling 1989–2022. Teknisk rapport, GEUS 2024.

ISBN Online: 978-87-7871-576-0

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning	4
1.1 Grundvandsressourcen og dens udnyttelse	4
1.2 Nitrat	5
1.3 Redoxboringer	11
1.4 Pesticider	12
1.5 Organiske mikroforureninger, PFAS	16
2 Formål	20
2.1 Grundvandsovervågningen i Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur, NOVANA	20
2.2 Retligt grundlag for Grundvandsovervågningen	21
2.3 Rapportering af data fra Grundvandsovervågningen	22
3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram	29
3.1 Grundvandsdannelsen	29
3.2 Vandindvinding	30
3.3 Det nationale pejleprogram	35
4 Nitrat	44
4.1 Sammenligning af datasæt	44
4.2 Grundvandsovervågning	47
4.3 Landovervågningen	53
4.4 Vandforsyningsboringer	57
4.5. Nitrat i redoxboringerne	58
5 Pesticider og deres nedbrydningsprodukter	70
5.1 Grundvandsovervågning	75
5.2 Vandforsyningsboringer	82
5.3 Sammenligning af hyppigt fundne pesticidstoffer i grundvandsovervågningen og vandforsyningsindtag	85
6 Organiske mikroforureninger, PFAS	92
6.1 PFAS, grundvandsovervågning	92
6.2 PFAS, Vandforsyningsboringer	97
7. Referencer	103
Appendiks 1 Datagrundlag og metoder	110
Appendiks 1.1 Analyseindsats og dataindsamling	110
Appendiks 1.2 Metoder til databehandling	115
Appendiks 1.3 Repræsentativitet og bias	118
Appendiks 2 Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen	122
Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram	122
Appendiks 2.2 Grundvandsovervågning - vandkvalitet	124
Appendiks 2.3 Vandforsyningsboringer	129
Appendiks 3 Faglig baggrundsviden om grundvand	134
Appendiks 3.1 Grundvandets hydrogeologi	134
Appendiks 3.2 Grundvandets opholdstid	141

1 Sammenfatning

1.1 Grundvandsressourcen og dens udnyttelse

Indledning

De seneste 100 år har nedbørsmængden i Danmark været stigende. DMI laver opgørelser af nedbørsmængder i Danmark og har for den seneste klimanormal (1991-2020) fundet en stigning i den gennemsnitlige årsnedbør på ca. 7 % i forhold til den forudgående klimanormal (1961-1990) (DMI 2021). I absolute tal svarer det til ca. 50 mm/år i forskel mellem de to klimanormaler, 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 drænedes områder vil en større nedbør især øge drænvandsafstrømningen til vådområder og vandløb.

Drikkevandsforsyningen i Danmark er baseret på indvinding af grundvand med Christiansø som den eneste undtagelse, hvor der overvejende benyttes afsaltet havvand som drikkevand. Omkring 2.600 almene vandværker står for hovedparten af grundvandsindvindingen til drikkevand. Derudover indvindes grundvand fra en række mindre ikke-almene vandværker, som hver forsyner mindre end 10 ejendomme.

Datagrundlaget

Grundvandsstanden registreres i Det Nationale Pejleprogram med automatisk dataopsamling i ca. 145 pejleindtag, der tilsammen udgør pejlestationsnettet. Opgørelsen af udviklingen i vandstanden i 2022 bygger på pejledata indsamlet og rapporteret af Miljøstyrelsen til Jupiter. Indvundne vandmængder indberettes årligt af kommunerne til Jupiter, når de modtager og kvalitetssikrer data fra vandværker og andre vandindvindere.

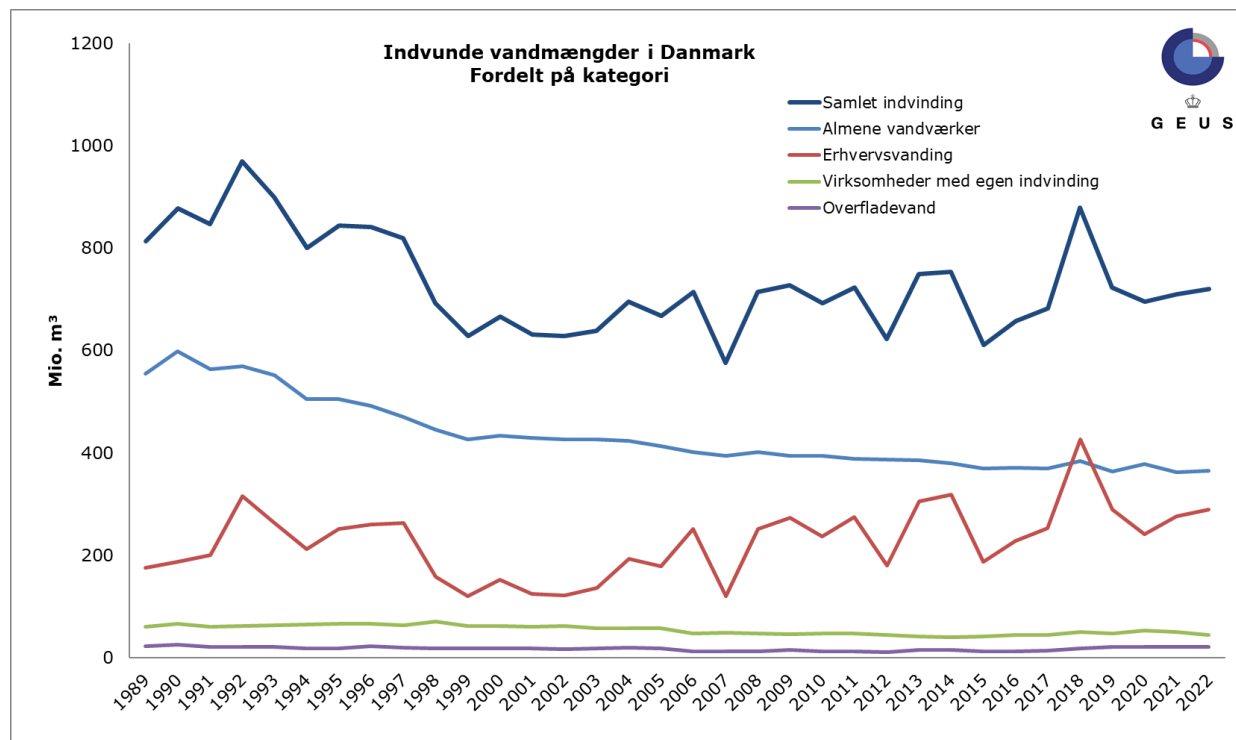
Status og udvikling

Grundvandsstandens status og udvikling er vurderet ud fra lange tidsserier. I 2022 omfattede pejlestationsnettet i alt 143 indtag fordelt på 134 borer. Af disse blev 103 indtag logget automatisk gennem hele året. 21 indtag blev logget i hovedparten af året dog med kortere udfald. For de øvrige indtag var der få eller ingen data på grund af ressourcerelaterede problemer i forbindelse med dataindsamlingen. Pejlingerne viser tegn på faldende vandstand ved en rækkeindtag i løbet af 2022 sammenlignet med samme periode i 2021, hvilket kan skyldes, at 2022 var et tørt år. En undersøgelse af vandstandsudviklingen de seneste 10 år viser mulige tegn på faldende vandstand i indtag omkring Kattegat og stigende vandstand i indtag i det centrale Jylland. Ændringerne over de seneste 10 år er dog de fleste steder relativt små og yderligere analyser med flere datapunkter er nødvendige for at teste de observerede indikatorer.

Grundvandsressourcen overvåges, så der kan foretages en løbende vurdering af den generelle vandbalance med henblik på en bæredygtig udnyttelse af den tilgængelige vandressource. Figur 1 viser den samlede årlige vandindvinding, som de seneste år har ligget mellem 600 og 800 mio. m³/år.

Almen vandforsyning står for hovedparten af indvindingen. Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien erhvervsvanding) svinger meget fra år til år og var i 2022 omkring 290 mio. m³, hvilket ligger lidt over den øvre kvartil for hele perioden (1989-2022). Indvindingen, uden markvanding, var omkring 1990 på 700 mio. m³/år, men er faldet frem mod år 2000 og har efterhånden stabiliseret sig omkring 500 mio. m³/år.

Indvindingen af overfladevand i Danmark er meget begrænset og udgjorde i 2022 godt 3 % af den samlede indvinding. Overfladevand indgår ikke i drikkevandsforsyningen i Danmark. Brugen af overfladevand til dambrug ligger typisk på godt 100 mio. m³, men dette medregnes ikke i ressourceopgørelsen, da der i praksis er tale om, at vandet bare gennemstrømmer dambrug og herefter ledes direkte tilbage til samme vandløb.



Figur 1. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2022 opdelt på almene vandværker, erhvervsvand, industri og overfladevand. Den samlede indberettede indvinding er vist med en fed, mørkeblå linje. Bemærk, hvorledes den varierer med erhvervsvandingen, hvoraf markvand udgør hovedparten. Data fra 2022 er justeret med skøn over manglende rapportering.

1.2 Nitrat

Indledning

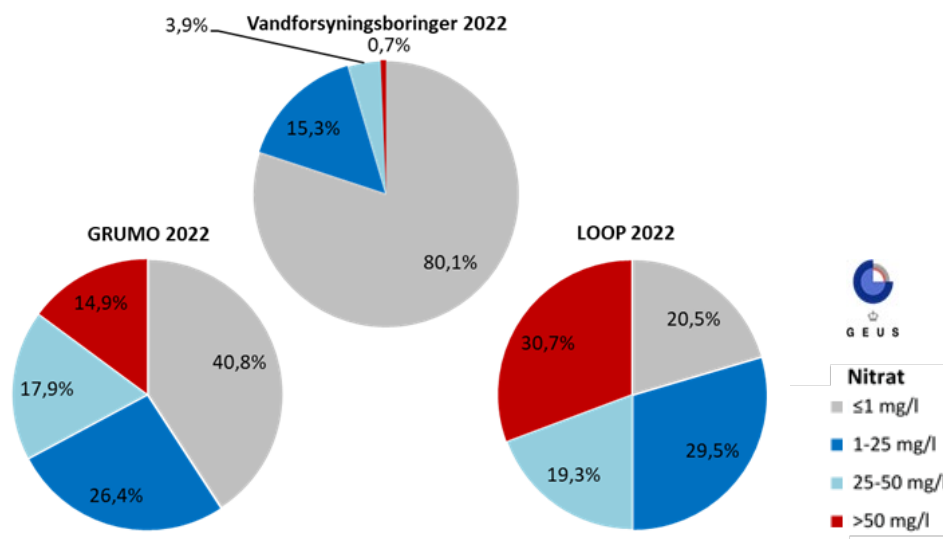
Nitrat i grundvandet er uønsket både af hensyn til drikkevandskvaliteten og på grund af risikoen for påvirkning af det øvrige vandmiljø. Det skyldes, at nitrat i drikkevandet kan være sundhedsskadeligt, og at nitrat i grundvandet kan bidrage til eutrofiering af vandløb, søer og det marine miljø ved udstrømning til overfladevand. Kvalitetskravet for nitrat i såvel grundvand som drikkevand er både nationalt og i EU fastsat til 50 mg/l. Af hensyn til grundvandsbeskyttelsen er ca. 17 % af Danmarks areal udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder for drikkevand i 2022.

Datagrundlag

Der udtages grundvandsprøver fra tre forskellige formål: GRUMO-indtag, LOOP-indtag og vandforsyningsboringer. GRUMO- og LOOP-indtagene dækker grundvandsdelen af det nationale overvågningsprogram NOVANA. GRUMO-indtagene findes i boringer med dybder ned til mere end 100 m u.t., LOOP-indtagene findes i korte, overfladenære boringer etableret for at følge udvaskning af nitrat til højtliggende grundvand under dyrkede arealer. Data fra vandforsyningsboringerne stammer fra den lovpligtige boringskontrol. Prøvetagningen i GRUMO veksler mellem kontrolovervågning, hvor alle programlagte indtag prøvetages, og operationel overvågning, hvor der fortrinsvis prøvetages indtag med en påvirkning af nitrat og pesticider, se kapitel 2. I 2022 er der gennemført en operationel overvågning, supplerende overvågning iht. nitratdirektivet og overvågning i redoxboringerne af nitratindholdet i grundvandet.

Status og udvikling, grundvandsovervågning

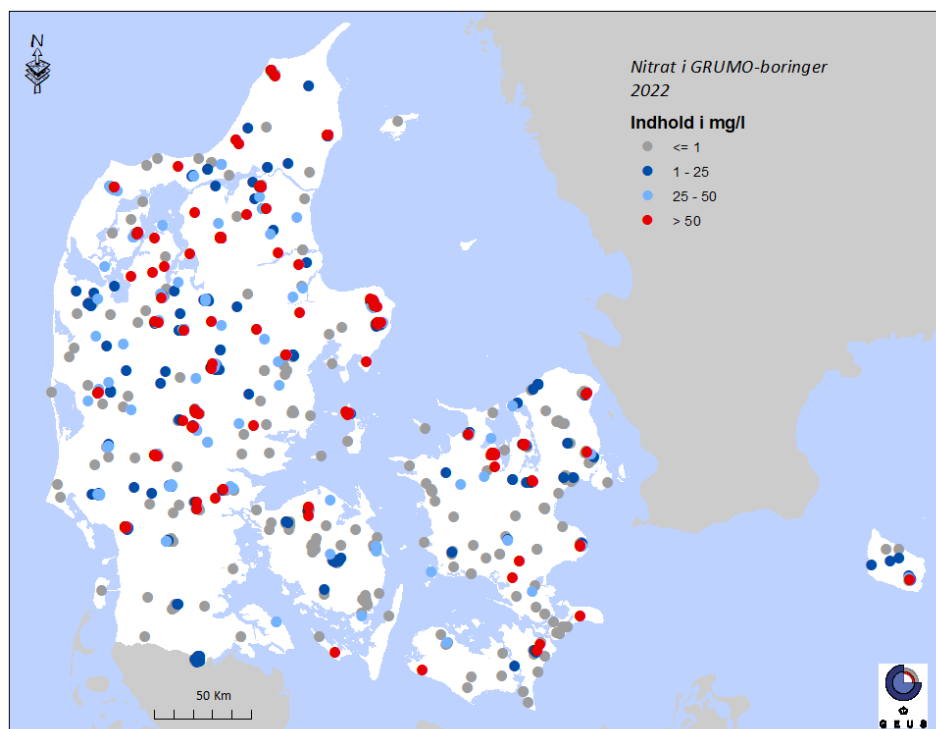
Figur 2 viser indholdet af nitrat i GRUMO- og LOOP-indtag samt vandforsyningsboringer prøvetaget i 2022.



Figur 2. GRUMO, LOOP og Vandforsyning. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold 2022 i 1.027 GRUMO-indtag, 88 LOOP-indtag og 1.800 vandforsyningsboringer.

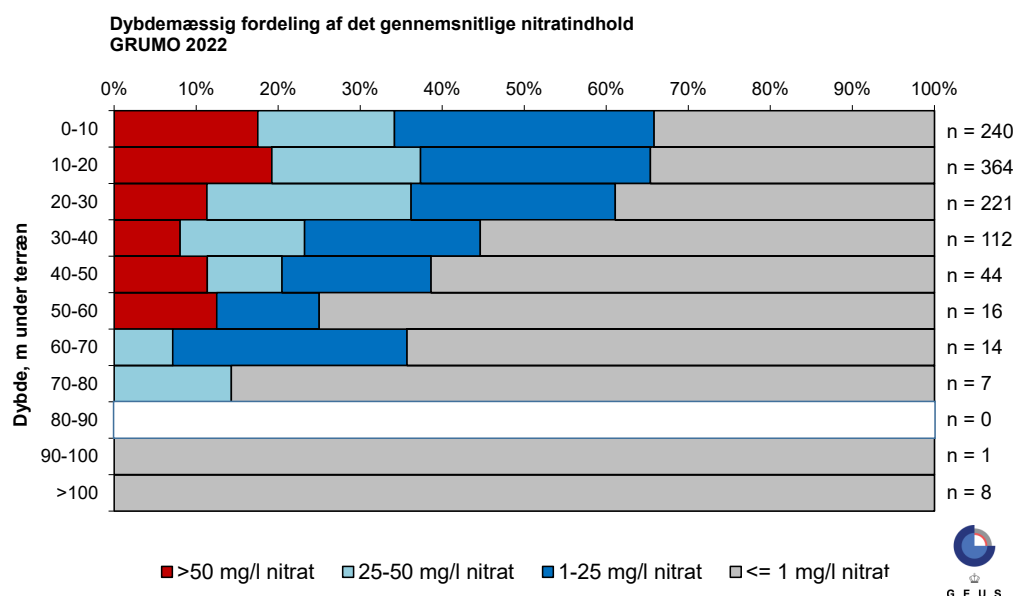
I ca. 15 % af GRUMO- og ca. 31 % af LOOP-indtagene lå nitratindeholdet over 50 mg/l, mens knap 1 % af indtagene i vandforsyningsboringer havde mere end 50 mg/l nitrat. I GRUMO- og LOOP-indtagene er nitratkonzentrationen mellem 25 og 50 mg/l i hhv. ca. 18 og 19 % mod ca. 4 % i vandforsyningsboringerne. Nitratfrit grundvand, (nitrat ≤1 mg/l) optræder i ca. 41 % af GRUMO-, i ca. 21 % af LOOP-indtagene og i ca. 79 % af vandforsyningsboringerne.

Figur 3 viser den geografiske fordeling af nitratindeholdet i GRUMO-indtag i 2022, hvoraf det ses, at nitratkonzentrationer over kvalitetskravet på 50 mg/l er fundet fordelt i hele landet.



Figur 3. GRUMO. Nitratindeholdet i grundvand i 2022 i 1.027 GRUMO-indtag. Nitratindeholdet er opdelt på fire koncentrationsklasser. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 4 viser dybdefordelingen for nitrat i GRUMO-indtag prøvetaget i 2022. Dybden er opdelt i 10 meters intervaller. Tættest på terræn (0-10 m u.t.) er nitrat til stede (>1 mg/l) i ca. 66 % af indtagene. Koncentrationen af nitrat er over 50 mg/l i omkring 18 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 34 % af indtagene. Nitratindholdet falder gradvist med dybden, og hovedparten (ca. 96 %) af indtagene findes i de øverste 50 meter. Fra 90 m u.t. er nitratkoncentrationen mindre end 1 mg/l i de relativt få undersøgte indtag.



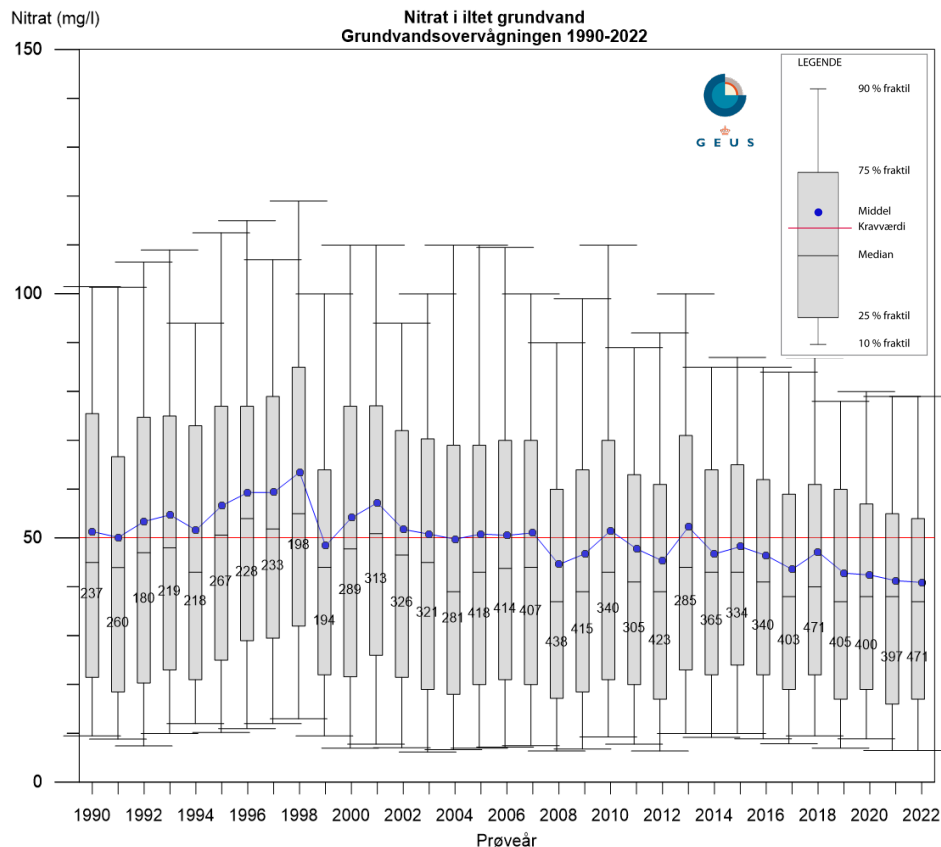
Figur 4. GRUMO. Dybdemæssig fordeling (til top af indtag i m u.t.) af det gennemsnitlige nitratindhold i 2022 i 1.027 GRUMO-indtag. Rød signatur viser den procentvise andel af indtag med koncentrationer over kvalitetskravet på 50 mg/l. Antal indtag i hvert dybdeinterval (n) er vist til højre for figuren.

Figur 5 viser for perioden 1990-2022 for hvert år fordelingen af det iltholdige grundvands nitratindhold i GRUMO-indtag. Figuren er baseret på den årlige gennemsnitlige nitratkoncentration pr. indtag, i de indtag, der indgik i overvågningen i det pågældende prøvetagningsår.

Figur 5 viser nitratindholdet i grundvandet på prøvetagningstidspunktet og afspejler ikke en egentlig tidslig udvikling af påvirkningen fra nitratudvaskningen. Det skyldes, at alderen af det iltede grundvand varierer fra få år og op til 50 år, således som dateringerne af grundvandet har vist (Hansen mfl., 2017).

I 2022 indeholdt omkring 38 % af de prøvetagede GRUMO-indtag iltholdigt grundvand, mens ca. 59 % af GRUMO-indtagene indeholdt nitrat. Det iltholdige grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår. Gennemsnitsværdi (middelværdi) og kvalitetskrav er vist sammen med 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktilene.

Nitratindholdet i det iltholdige grundvand udviser alle år en stor spredning. Medianværdien ligger igennem hele overvågningsperioden (1990-2022) noget under gennemsnitsværdien, hvilket indikerer, at der optræder en mindre andel meget høje nitratværdier. De højeste median- og gennemsnitsværdier blev fundet i de grundvandsprøver, der blev taget i perioden 1996-1998. De seneste 9 år har gennemsnitsværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand ligget under kvalitetskravet på 50 mg/l, og der er en tendens til, at såvel 75 % som 90 % fraktilen er faldende, hvilket skyldes, at færre indtag har meget høje koncentrationer. I 2022 er gennemsnitsværdien for nitrat i det iltholdige grundvand ca. 41 mg/l og medianværdien ca. 37 mg/l.

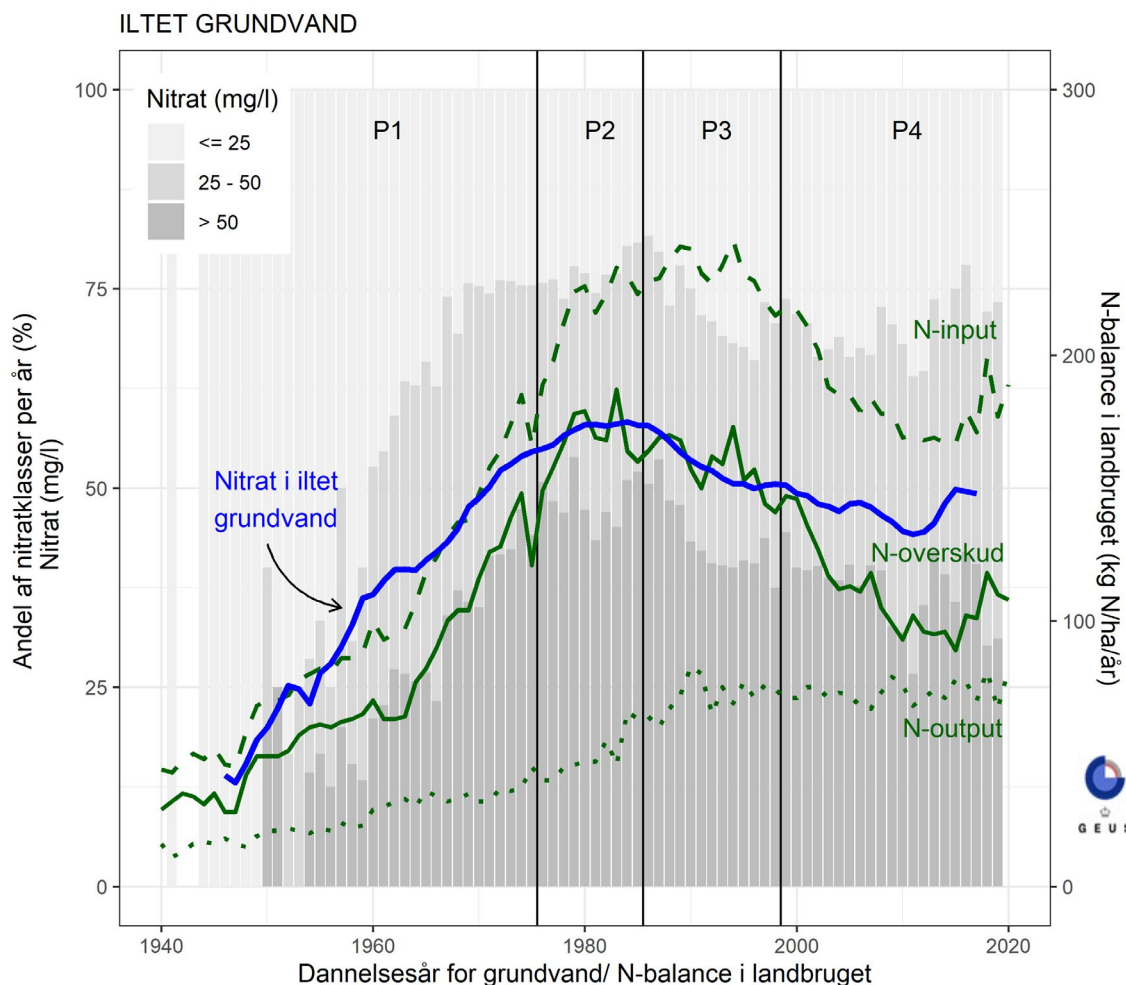


Figur 5. GRUMO. Tidsserie for nitratindeholdet i iltholdigt grundvand i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2022. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag pr. år. Antal af prøvetagede indtag med iltholdigt grundvand er angivet for hvert år.

Figur 6 viser et 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationerne baseret på grundvandets dannelsesetidspunkt i iltholdigt grundvand inddelt i fire perioder. Figur 6 viser også N-overskuddet i dansk landbrug beregnet på baggrund af data fra Danmarks Statistik for den primære danske landbrugssektor (personlig meddelelse: Tommy Dalgaard, Institut for Agroøkologi, AU). 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.

Der ses en tydelig sammenhæng mellem den årlige udvikling i N-overskuddet og nitrat i illet grundvand på det overordnede nationale niveau, hvor data fra hele landet indgår. Der ses en tendens til stagnation i N-overskuddet i perioden 2012-2015 på ca. 90-96 kg N/ha/år nogenlunde samtidig med stagnation i nitratindeholdet i illet grundvand i perioden 2009-2013 på ca. 45-46 mg/l. Tendensen til stagnationen i nitratindeholdet i illet grundvand er derfor en anelse tidligere end N-overskuddet, hvilket kan skyldes usikkerhed i dateringen af det meget unge grundvand og sammenligningen med et 5-års glidende middelindehold af nitrat i illet grundvand.

I de seneste år ses i Figur 6 en tendens til en stigning i både nitratindeholdet i illet grundvand og N-overskuddet i landbruget efter indførelse af Fødevarer- og Landbrugspakken fra 2016. Den procentuelle stigning i nitratindeholdet i illet grundvand fra 2010-2012 (årlige middel: ca. 44 mg/l) til 2016-2018 (årlige middel: ca. 49 mg/l) ligger på ca. 11 %. Denne observerede stigning er på niveau med den faglige prognose fra 2016 af nitratpåvirkningen i illet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof som følge af Fødevarer- og Landbrugspakken (Hansen og Larsen, 2016). Ved sammenligning med kvælstofbalancen beregnet på markniveau på baggrund af data fra Landovervågningen (Blicher-Mathiesen, 2024) ses også en tendens til en stigning i perioden 2016-2018 dog efterfulgt af et fald i kvælstofmarkoverskuddet frem til 2022.



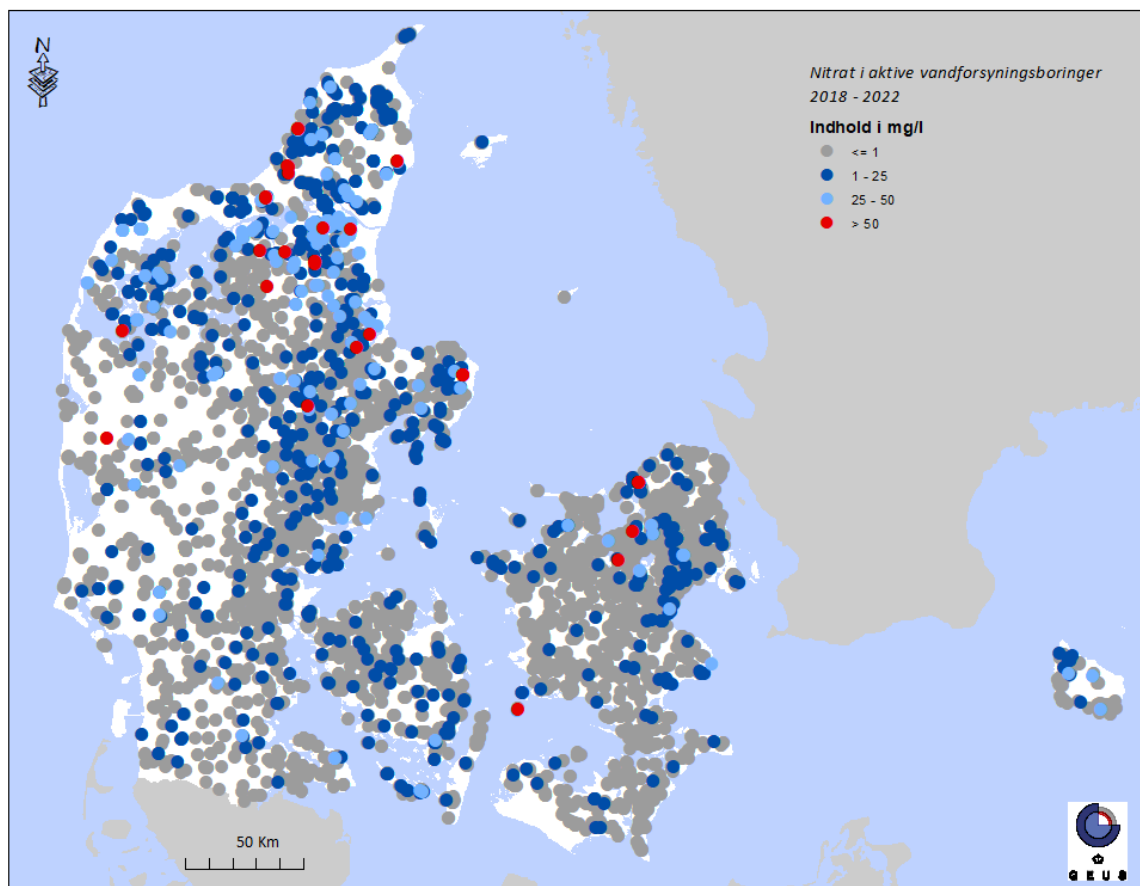
Figur 6. GRUMO. Udviklingen i nitrat i iltet grundvand: 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationen i iltet grundvand (blå linje). Andel af prøver i tre nitratklasser (>50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) som funktion af grundvandets dannelsesår. Figuren er baseret på 8.371 prøver fra 428 iltede, daterede indtag udtaget i perioden 1990-2022. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten. De årlige kvælstofbalancer (N-input, N-output og N-overskud) for landbruget er beregnet for den primære danske landbrugssektor (personlig meddelelse: Tommy Dalgaard, Institut for Agroøkologi, AU).

Vandforsyningsboringer

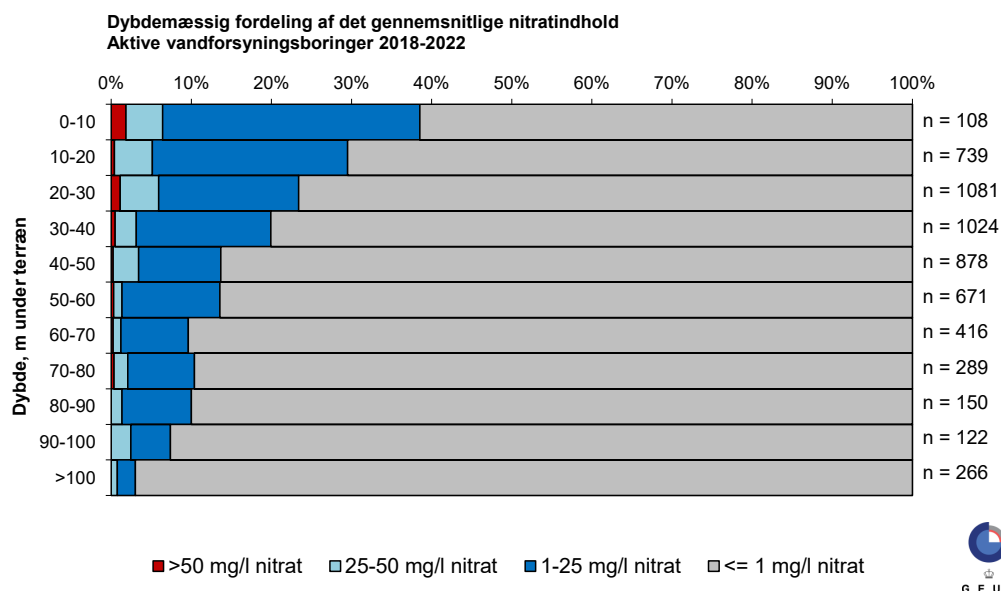
Figur 7 viser den geografiske fordeling af nitratindeholdet i grundvandet i vandforsyningsboringer gennem de seneste fem år (2018-2022), beregnet som gennemsnittet i perioden af det årlige gennemsnit for nitrat i de enkelte indtag.

De højeste nitratkoncentrationer målt i prøver fra vandforsyningsboringer optræder især i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette skyldes, at der i disse områder er en ringe naturlig beskyttelse af grundvandsmagasinerne med lerede dæklag, og at kalken flere steder findes tæt på terræn. Derfor er nitrat fra landbrugsarealerne trængt ned i grundvandsmagasinerne.

Figur 8 viser dybdefordelingen for nitrat i vandforsyningsboringer i perioden 2018-2022. Der er et gradvist fald i nitratindeholdet med dybden. Nitratkoncentrationerne er betydeligt lavere i vandforsyningsboringerne sammenlignet med nitrat i GRUMO-indtagene i 2022 (se Figur 4). I vandforsyningsboringerne blev der dog i perioden 2018-2022 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 70-80 m u.t. i enkelte borer. Der er også fundet nitratkoncentrationer med op til 50 mg/l i vandforsyningsboringer, som er dybere end 100 m u.t.



Figur 7. Vandforsyning. Nitratinholdet i grundvandet i 6.117 vandforsyningsboringer fordelt på fire koncentrations-klasser. Data viser gennemsnit pr. indtag i perioden 2018-2022. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.



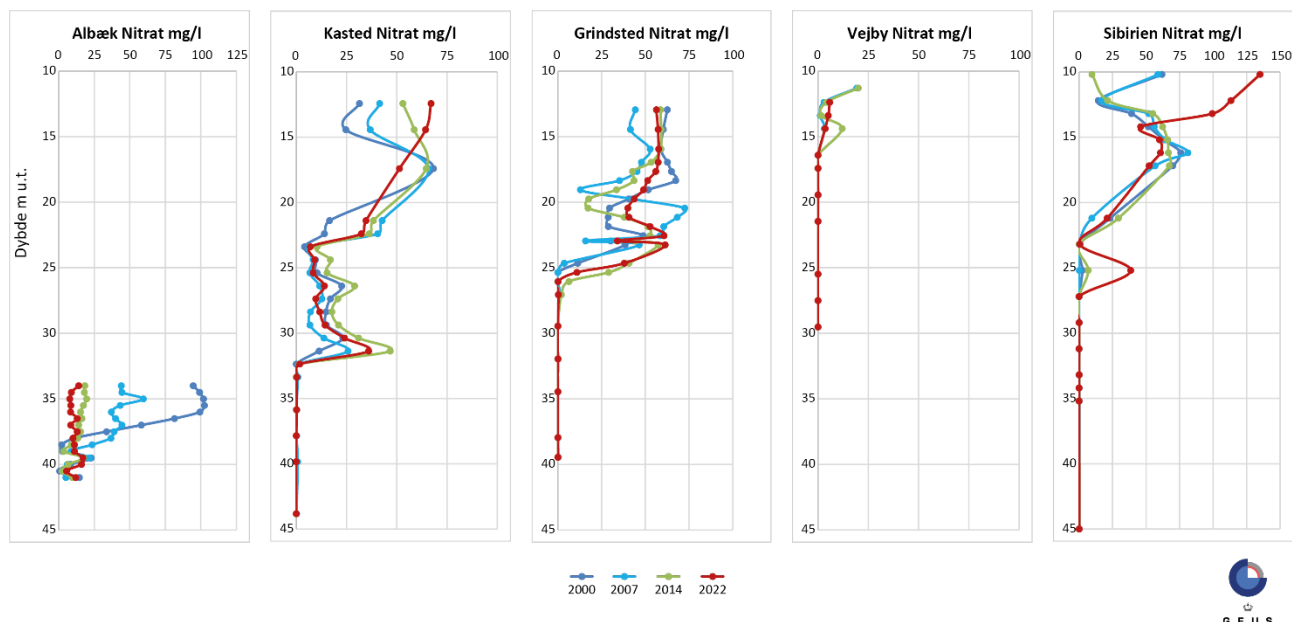
Figur 8. Vandforsyning. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratinhold i 2018-2022 i forhold til top af indtag i m u.t i 5.745 indtag i vandforsyningsboringer. Rød signatur viser den procentvis andel af indtag over kvalitetskravet for nitrat på 50 mg/l. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

Forklaringen på den større hyppighed af fund af nitrat i dybe indtag i vandforsyningsboringerne, 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 vandforsyningsboringerne end for GRUMO-indtag. Det generelt lavere nitratinhold i vandforsyningsboringer, sammenlignet med nitratinholdet i GRUMO-indtagene, hænger sammen med, at vandforsyningerne undgår indvinding fra borer, hvor vandkvaliteten ikke lever op til kvalitetskravet for nitrat (Schullehner og Hansen, 2014 og DANVA, 2018).

1.3 Redoxboringer

For at forbedre beskrivelsen og forståelsen af variationer over tid af redoxvandtypernes vertikale udbredelse, og dermed af især nitrats udbredelse i grundvandsmagasinerne, overvåges grundvandet i 5 multifilterboringer, de såkaldte redoxboringer, hver med 15-23 korte indtag. Denne overvågning suppleres med overvågning i 7 multifilter borer ved Rabisbæk, etableret til NPo-forskningsprogrammet i 1980'erne.

Figur 9 viser et eksempel på resultater fra redoxboringerne, hvor der for de 5 redoxboringer er vist dybdeprofiler med 7 års mellemrum til illustration af variationen i nitratinholdet gennem perioden. Læg blandt andet mærke til markante fald i Albæk og tilsvarende stigning i det øvre grundvand i Kasted og Sibirien gennem perioden.



Figur 9. GRUMO. Fordelingen af den gennemsnitlige koncentration af nitrat i forskellige dybder i redoxboringerne. Udbredelsen af nitrat er vist med et interval på 7 år for perioden 2000-2020, med undtagelse af Vejby, hvor måleserien er kortere.

Boringerne ved Rabisbæk er ikke tidligere rapporteret i grundvandsovervågningen, selvom de har indgået i overvågningen siden 1990, og derfor har rapporteringen i dette års rapport fokuseret på at skabe overblik over de indsamlede data, og præsentere dem på samme måde som de ordinære redoxboringer, der indgår i hovedrapporten. Dette er rapporteret i bilag 9. Fokus har ligget på at beskrive udviklingen i nitrat igennem de seneste 30 år i disse indtag.

Samlet for alle redoxboringer viser resultaterne, at der findes lokale variationer i redoxvandtyperne både dybdemæssigt og tidsmæssigt. Der er indikationer på at nitratfronten nogen steder langsomt bevæger sig mod dybere jordlag, men at den overordnede indtrængningsdybde for nitrat, ikke ser ud til at ændres i et omfang, der umiddelbart kan verificeres efter 25-35 års overvågning. Det skal bemærkes, at der for disse borer ikke er nogen vandindvinding.

1.4 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, mm. Ifølge grundvandsdirektivets bilag 1 (EU, 2006) dækker pesticidbegrebet også stoffer med biocidanvendelse fx desinfektionsmidler, konserveringsmidler og biocider i maling- og træbeskyttelse. Grundvandet overvåges for dets indhold af pesticidstoffer bl.a. for at vurdere, om reguleringen af pesticidforbruget har de ønskede effekter.

Datagrundlag

I denne rapport diskuteres pesticidanalyser fra perioden 2013-2022 fra indtag i GRUMO- og vandforsyningsboringer. Prøvetagningen i GRUMO veksler mellem kontrolovervågning, hvor alle indtag i pesticidovervågningen prøvetages, og operationel overvågning, hvor der fortrinsvis prøvetages indtag med tidligere pesticidfund. 2022 var et år med operationel overvågning. Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammerne. For enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter er kvalitetskravet (grænseværdien) i grundvand og drikkevand fastsat til 0,1 µg/l, mens den for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l. Kvalitetskravet gælder både for anvendelse som pesticid og biocid. Opgørelsen af pesticidpåvirkningen bygger på en metode, hvor det beregnes i hvilken andel af indtagene, der mindst én gang i en periode (typisk et, tre eller fem år) har været mindst ét stof med fund over detektionsgrænsen, mindst ét stof med overskridelse af kvalitetskravet på 0,1 µg/l, eller mindst én prøve, hvor pesticidstoffernes sum har overskredet kvalitetskravet på 0,5 µg/l.

Status, grundvandsovervågning

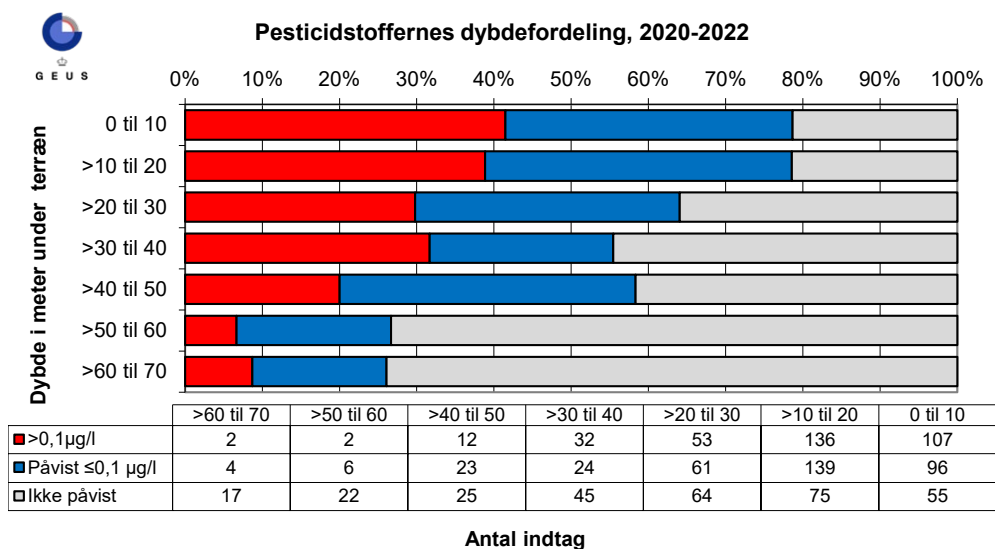
2022 var et år med operationel overvågning, og fundprocenterne for 2022 er derfor ikke repræsentative for hele stationsnettet. I perioden 2020-2022, derimod, er alle programlagte GRUMO-indtag analyseret for pesticider.

Tabel 1 viser, at der i perioden blev fundet pesticidstoffer i 67,6 % af de undersøgte indtag. Kvalitetskravet for enkeltstoffer (0,1 µg/l) var overskredet mindst én gang i 33,0 % af indtagene og kvalitetskravet for summen af målte stoffer (0,5 µg/l) var overskredet i 13,0 %, hvor der i alle tilfælde allerede var en overskridelse af kvalitetskravet for enkeltstoffer. Fund og overskridelser af kvalitetskravet var jævnt fordelt i hele landet.

Tabel 1. 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 kvalitetskravet (>0,1 µg/l for enkeltstoffer og >0,5 µg/l for summen) for enkelte år og for perioden 2020-2022, hvor alle indtag er analyseret mindst én gang. ^a: Kontrolovervågning, ^b: Operationel overvågning.

GRUMO	Indtag Antal				Indtag andel (%)		
	I alt	Med fund	Enkeltstof >0,1 µg/l	Sum >0,5 µg/l	Med fund	Enkeltstof >0,1 µg/l	Sum >0,5 µg/l
2022 ^b	694	575	285	118	82,9	41,1	17,0
2021 ^a	1031	603	272	125	58,5	26,4	12,1
2020 ^b	533	386	208	85	72,4	39,0	15,9
2020-2022	1049	709	346	136	67,6	33,0	13,0

Figur 10 viser dybdefordelingen for pesticidstoffernes forekomst i perioden 2020-2022. Fundandelene falder generelt med dybden.



Figur 10. GRUMO. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag, der er analyseret i 2020-2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, påvist ≤0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01 µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til indtagets top. Indtag med top dybere end 70 m er ikke vist.

Tidlig udvikling i den faste kerne af indtag i grundvandsovervågningen

Udviklingen i 11 enkeltstoffers fundandel er fulgt for en fast kerne af 323 indtag, som er prøvetaget jævnligt siden 1998. Da der er tale om udvalgte indtag, er fundandelene ikke nødvendigvis repræsentative for stationsnettet som helhed, men udviklingen over tid er sandsynligvis den samme som i resten af stationsnettet. DPC var det hyppigst påviste af de udvalgte stoffer i den faste kerne. DPC's udbredelse i disse indtag har været nogenlunde konstant i de fire tre-års perioder, hvorfra der findes data (årene 2017-2022), men en endelig konklusion kræver flere datapunkter. BAM's fundandele har været jævnt faldende siden 1998. Andelen af overskridelser af kvalitetskravet for BAM var faldende frem til 2014, men har derefter været konstant. DEIA's fundandele toppede omkring 2008, men andelen af indtag med overskridelse af kvalitetskravet har været stort set konstant siden 1998. Desisopropylatrazins fundandele har været faldende siden 2011, mens andelen af overskridelser af kvalitetskravet har været faldende i hele perioden, så overskridelser nu næsten ikke forekommer i den faste kerne af indtag. Metribuzin-desaminodiketo viser også en faldende tendens, tydeligst for overskridelser af kvalitetskravet. For CGA 108906 har andelen af indtag med fund har været kraftigt stigende siden 2016.

'Nye' stoffer i grundvandsovervågnings analyseprogram i 2022

Clopyralid var det eneste 'nye' stof i det generelle analyseprogram for grundvandsovervågningen i 2022 med fund i to af de 694 undersøgte indtag, hvilket gav en fundandel på 0,3 % uden overskridelse af kvalitetskravet. Med det nuværende datagrundlag kan det konkluderes, at clopyralid kun forekommer sporadisk og sandsynligvis ikke udgør et generelt grundvandsproblem i det åbne land.

Screening for 'nye' stoffer i 2022

I 2022 blev 249 udvalgte indtag screenet for fire pesticidstoffer: LM3, IN-E9260, THPAM og maleinhydrazid. LM3 blev påvist i 54 indtag (21,7 %) med overskridelse af kvalitetskravet i fem indtag (2,0%). LM3 er et nedbrydningsprodukt fra plantebeskyttelsesmidler med terbuthylazin og sandsynligvis også fra biocidet terbutryn. De tre andre screeningsstoffer blev ikke påvist.

Pesticider i vandforsyningsboringer

Tabel 2 viser, at der i 2022 blev fundet mindst ét pesticidstof i 50,2 % af de undersøgte vandforsyningsindtag, hvor 13,2 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet, og hvor 1,7 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet for pesticidstoffernes sum. Fundandelene har været kraftigt stigende i perioden 2016-2020. Stigningen skyldes ikke, at

grundvandets tilstand er væsentligt ændret i perioden, men at vores erkendelse af tilstanden er ændret, efterhånden som flere og flere indtag blev testet for især DPC, MDPC og DMS.

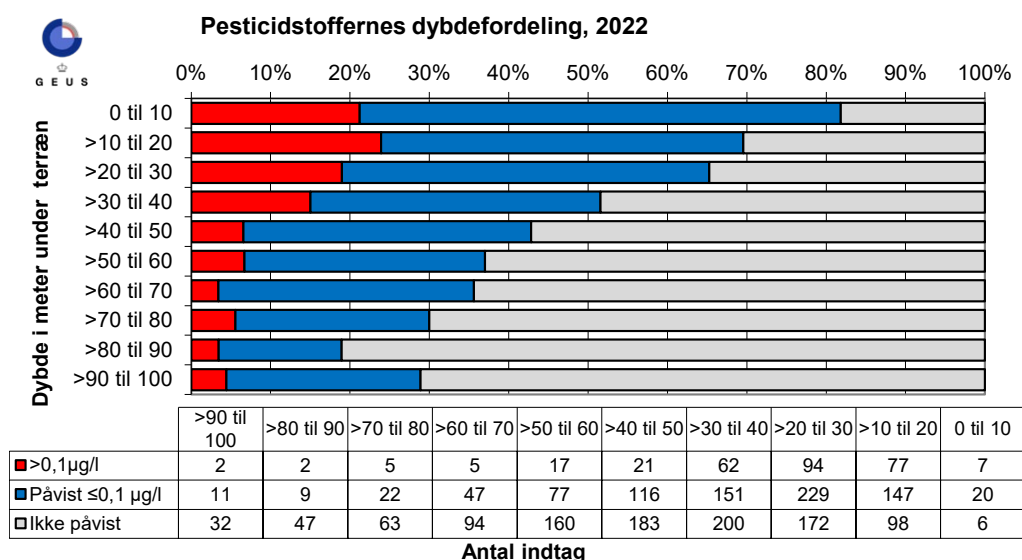
Tabel 2. Vandforsyning. Pesticidfund i vandforsyningsboringernes indtag vist som antal og procentvis fordeling af indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kvalitetskravet ($>0,1 \mu\text{g/l}$ for enkeltstoffer og $0,5 \mu\text{g/l}$ for summen) for enkelte år og for perioden 2018-2022. 2019-tal i parentes er opgørelser uden indtag, som kun er analyseret for CTAS og/eller chlorothalonilamidbenzoesyre. Hvert år bygger på data fra årsspecifikke udtræk fra Jupiter.

Vandforsyning	Indtag Antal				Indtag andel (%)		
	I alt	Med fund	Enkeltstof $>0,1 \mu\text{g/l}$	Sum $>0,5 \mu\text{g/l}$	Med fund	Enkeltstof $>0,1 \mu\text{g/l}$	Sum $>0,5 \mu\text{g/l}$
2022	2405	1208	317	41	50,2	13,2	1,7
2021	2393	1198	321	56	50,1	13,4	2,3
2020	2219	1131	323	51	51,0	14,6	2,3
2019	3933 (2494)	1142 (1130)	318 (317)	55 (55)	29,0 (45,3)	8,1 (12,7)	1,4 (2,2)
2018	2556*	1043*	284*	50*	40,8*	11,1*	2,0*
2018-2022	6386	2587	687	127	40,5	10,8	2,0

*Opgjort for boringer i stedet for indtag. Fra 2019 er pesticiddata opgjort for de enkelte vandværksindtag i stedet for (som tidligere) på boringsniveau. Databehandlingen bliver dermed identisk med grundvandsovervågningen.

I perioden 2018-2022 blev pesticidstoffer fundet mindst én gang i 40,5 % af de undersøgte indtag, hvor 10,8 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet. Kvalitetskravet for summen af pesticider var overskredet mindst én gang i 2,0 % af de undersøgte indtag. Pesticidfund over og under kvalitetskravet er udbredte i hele landet bortset fra et område i Vestjylland med mange dybe indtag og få overskridelser af kvalitetskravet.

Figur 11 viser pesticidfundenes dybdefordeling i 2022 i vandforsyningsindtag. Fundandele og overskridelser af kvalitetskravet er størst i det øverste grundvand og aftager med dybden, men der er enkelte fund og overskridelser af kvalitetskravet i boringer, som har filtertop dybere end 100 m u.t.



Figur 11. Vandforsyning. Pesticidstoffers dybdefordeling for vandforsyningsindtag prøvetaget i 2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $>0,1 \mu\text{g/l}$, påvist $\leq 0,1 \mu\text{g/l}$, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk $<0,01 \mu\text{g/l}$). Dybden angiver afstanden fra terræn til indtagets top. Indtag med top dybere end 100 m er ikke vist.

De hyppigst fundne pesticider

Tabel 3 viser de 5 hyppigst fundne pesticidstoffer i de seneste 10 år (perioden 2013-2022) i GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag. De 25 hyppigst fundne pesticidstoffer fremgår af Tabel 12 i kapitel 5.

Tabel 3. GRUMO & Vandforsyning. De 5 hyppigst fundne pesticidstoffer i perioden 2013-2022 i GRUMO- og vandforsyningsindtag. Tabellen viser andel indtag opdelt efter mindst ét fund eller mindst én overskridelse af kvalitetskravet ($>0,1 \mu\text{g/l}$). I tabellen indgår kun stoffer analyseret i mere end 100 indtag. Se også bilag 6.2 og 6.4, der viser alle analyserede stoffer. ^{a)} Kun analyseret i 228-305 indtag, ^{b)} Kun analyseret i 890 indtag.

GRUMO-indtag 2013-2022			Vandforsyningsindtag 2013-2022		
Stofnavn	Med fund (%)	$>0,1 \mu\text{g/l}$ (%)	Stofnavn	Med fund (%)	$>0,1 \mu\text{g/l}$ (%)
1,2,4-Triazol	32,3	8,4	DMS (N,N-Dimethylsulfamid	24,1	5,7
DMS (N,N-dimethylsulfamid)	31,8	5,2	R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) ^{b)}	18,7	2,5
DPC (desphenyl-chloridazon)	29,7	16,8	DPC (desphenyl-chloridazon)	16,5	4,7
LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on) ^{a)}	21,7	2,0	DEET ^{a)}	14,5	2,2
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	17,1	5,6	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	13,3	1,5

1,2,4-triazol. I perioden 2013-2022 blev 1,2,4-triazol fundet i 32,3 % af de undersøgte GRUMO-indtag (8,4 % over kvalitetskravet) og var dermed det hyppigste pesticidstof i grundvandsovervågningen i denne periode. I vandforsyningernes indtag blev 1,2,4-triazol i 2013-2022 påvist i 1,3 % af de undersøgte indtag uden nogen overskridelse af kvalitetskravet. Hyppigheden af fund og overskridelser i vandforsyningsindtagene er dermed væsentligt lavere end i GRUMO-indtag. Det skyldes sandsynligvis, at vandforsyningernes indtag ligger dybere end i grundvandsovervågningen, idet 1,2,4-triazol i nogen grad sorberer til jordens uorganiske fraktion og kan nedbrydes i både iltet og reduceret grundvandssediment (Albers mfl., 2023). 1,2,4-triazol er et nedbrydningsprodukt fra en række triazol-fungicider.

DMS (N,N-dimethylsulfamid) var i 2013-2022 det hyppigst påviste pesticidstof i vandforsyningernes indtag med fund i 24,1 % (5,7 % over kvalitetskravet) af de undersøgte indtag. I perioden 2013-2022 blev DMS påvist i 31,8 % af GRUMO-indtagene (5,2 % over kvalitetskravet). DMS er et nedbrydningsprodukt fra fungiciderne tolylfluand, dichlofluand og cyazofamid.

DPC (desphenylchloridazon). DPC blev i perioden 2013-2022 påvist i 29,7 % af de undersøgte GRUMO-indtag (16,8 % over kvalitetskravet). DPC er det eneste pesticidstof, der oftere er påvist over kvalitetskravet end under i GRUMO. I vandforsyningsboringer var DPC fundet i 16,5 % (4,7 % over kvalitetskravet). DPC og MDPC er nedbrydningsprodukter fra herbicidet chloridazon, som overvejende blev brugt i bederoer (sukkerroer og foderroer).

BAM (2,6-dichlorbenzamid). I 2013-2022 blev BAM påvist i 16,3 % af de undersøgte GRUMO-indtag (5,3 % over kvalitetskravet). I vandforsyningernes indtag blev BAM i 2013-2022 påvist i 13,3 % af de undersøgte indtag (1,5 % over kvalitetskravet). BAM har historisk været et af de hyppigst påviste nedbrydningsprodukter i GRUMO- og vandforsyningsindtag, men påvirkningen er aftagende.

LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on) blev i 2022 screenet i GRUMO og var det hyppigst fundne triazin (21,7 % af screenede indtag, 2,0 % over kvalitetskravet). LM3 er et nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin og sandsynligvis også fra biocidet terbutryn.

R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) kom på drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 den 1. juli 2022. R471811 blev i 2022 analyseret i prøver fra 890 vandforsyningsindtag med fund i 18,7 % (2,5 % over kvalitetskravet), hvilket gør R471811 til det næsthøjest fundne pesticidstof i vandforsyningernes indtag i perioden 2013-2022. R471811 indgik ikke i grundvandsovervågningen i 2022. R471811 er et nedbrydningsprodukt fra fungicidet chlorothalonil, der har været brugt som plantebeskyttelsesmiddel og biocid.

DEET (diethyltoluamid) har meget høj fundprocent i vandforsyningsindtag (14,5 %). DEET er et biocid-aktivstof, der blandt andet bruges i midler mod myg. Det er for tidligt at konkludere noget om DEET's udbredelse i grundvandet, dels fordi kun 228 vandforsyningsindtag er prøvetaget, og dels pga. en mistanke om forurening af nogle af prøverne fra prøvetagernes brug af myggemidler.

1.5 Organiske mikroforureninger, PFAS

Indledning

Organiske mikroforureninger er en meget forskelligartet stofgruppe med mange forskellige detektionsgrænser og kravværdier. I år afrapporteres kun for stoffer tilhørende gruppen af PFAS.

Datagrundlag

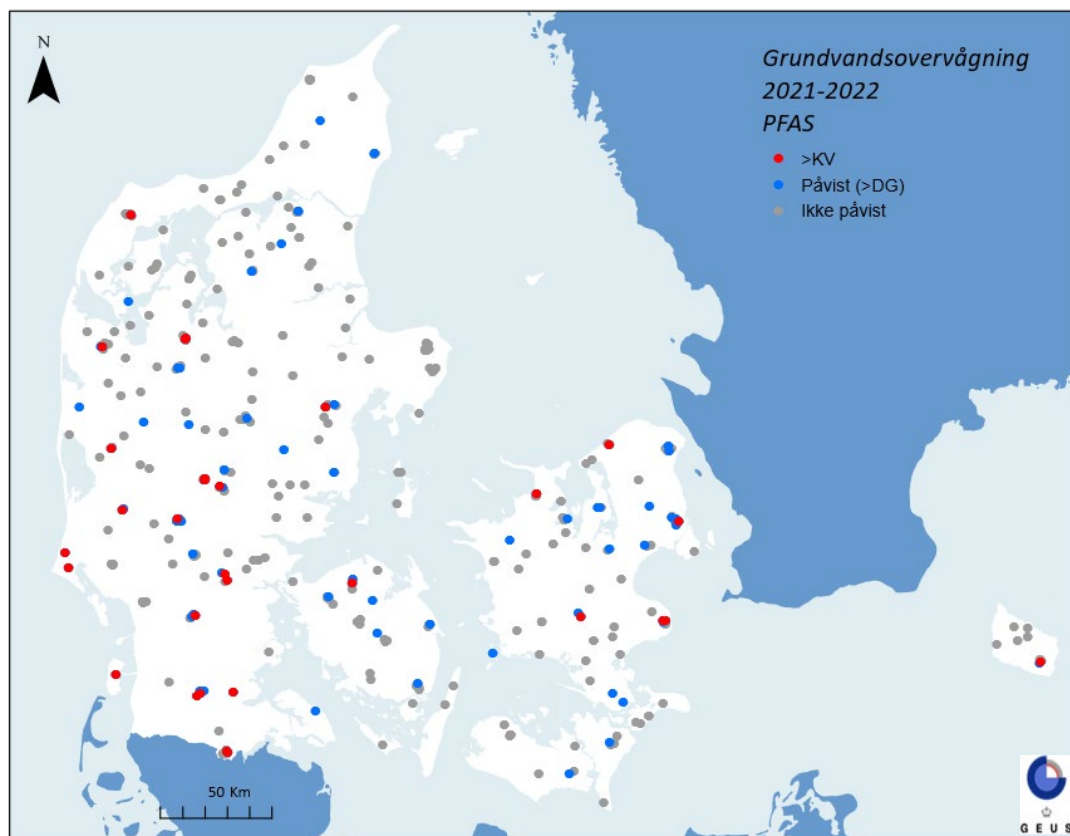
En analyse for PFAS i grundvand har de sidste mange år typisk været en analyse af de 12 stoffer, som siden 2015 har indgået i drikkevandsbekendtgørelsen. Der er dog et grundvandskvalitetskriterie for yderligere 10 stoffer (Sum af 22 stoffer), som fra maj 2023 også indgår i drikkevandsbekendtgørelsen. Fra september 2021 og frem er prøver til PFAS-analyse i grundvandsovervågningen derfor blevet analyseret for 22 stoffer. I 2022 blev også en del vandværksboringer analyseret for disse 22 PFAS-forbindelser. Detektionsgrænsen for PFAS-forbindelser har været faldende over de senere år, og særligt faldt den i løbet af 2021 for de fire PFAS-forbindelser, for hvilke kravværdien blev sænket fra 0,1 µg/l til 0,002 µg/l i juni 2021 (Miljøstyrelsen, 2021b). Da detektionsgrænser er meget afgørende for antallet af PFAS-fund i grundvandet, og dermed for hvorvidt data er sammenlignelige, indeholder årets rapport udelukkende PFAS-data fra 2021 og 2022 i grundvandsovervågningen og udelukkende data fra 2022 for de almene vandværkers boringskontrol.

Grundvandsovervågningen

Der var fund af 14 af de 22 PFAS-forbindelser, med PFOS som den hyppigst fundne PFAS-forbindelse, efterfulgt af PFOA, PFHxS og PFBS med næsten lige så mange fund. Samlet set var der fund af én eller flere PFAS-forbindelser i 89 ud af 380 undersøgte indtag, svarende til 23 %. Denne fundandel er noget højere end ved tidligere afrapporteringer, hvilket især skyldes de lavere detektionsgrænser. Der blev fundet mere end én PFAS-forbindelse i 86 af de 89 indtag med fund.

Koncentrationen var under kravværdien på 0,1 µg/l for Sum af 12 og Sum af 22 PFAS i alle undersøgte indtag. Højeste målte sum-koncentration var for begge parametre på 0,060 µg/l, altså på 60 % af kravværdien. Til gengæld blev der målt koncentrationer for Sum af 4 PFAS over kravværdien for drikkevand i 32 ud af 380 undersøgte indtag, svarende til 8 %. Højest målte koncentration var 0,043 µg/l, altså ca. 21 gange over kravværdien. Figur 12 viser, at de undersøgte indtag er spredt rundt i hele Danmark, og det samme ser ud til at gælde for både fund og koncentrationer over kravværdi.

Der har i tidligere GRUMO-rapporter været diskuteret en sandsynlig forekomst af falske positive i GRUMO-boringer på baggrund af uventede dybdefordelinger og forskel på, hvilke PFAS-forbindelser, som detekteres i GRUMO og i vandforsyningernes boringskontrol. De sidste par års prøvetagninger ser dog ud til at have rykket væsentligt ved dette billede, og det er således sandsynligt, at antallet af falske positive er minimeret, på trods af de mindskede detektionsgrænser. Der er således ikke længere mønstre, som ser mærkværdige ud i 2021-2022-datasættet, og det er de samme stoffer, som dominerer i GRUMO og i boringskontrollen.



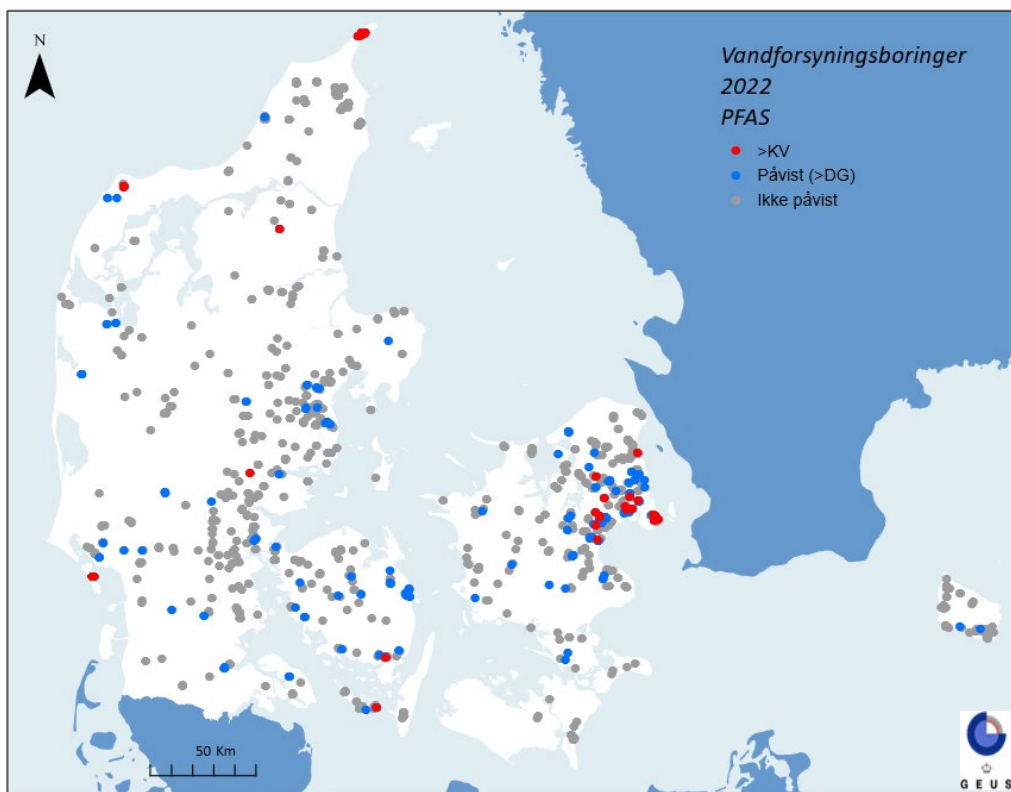
Figur 12. GRUMO. Forekomst af PFAS i grundvand i GRUMO 2021-2022. Rød markerer fund over kravværdien ($>0,002 \mu\text{g/l}$ for Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA). Blå markerer fund under kravværdien. Grå markerer intet målbart PFAS ($<DG$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Samlet set må det konkluderes, at PFAS-forbindelser detekteres i en betydelig andel af de undersøgte GRUMO-indtag. Koncentrationen af PFAS er i alle tilfælde betydeligt under kravværdien for Sum af 12 og 22 PFAS ($0,1 \mu\text{g/l}$), men i en del tilfælde ligger koncentrationen over kravværdien for summen af de fire stoffer PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA ($0,002 \mu\text{g/l}$). 2022-data har understøttet den foreløbige konklusion for 2021-data, at inkludering af yderligere 10 PFAS-forbindelser ikke bidrager væsentligt til fund af PFAS.

Vandforsyningsboringer

Det store fokus på PFAS-forbindelser har ført til en stor stigning i antallet af PFAS-analyser i vandforsyningsboringer. PFAS er således analyseret i prøver fra 1.309 vandforsyningsindtag i 2022, hvilket er mere end en fordobling ift. 2021 og mere end en tredobling ift. 2020. Ud af de 1.309 indtag, blev der fundet mindst én PFAS-forbindelse i 238 indtag, svarende til 18 %. I godt halvdelen (135) af indtagene med fund blev der detekteret mere end én PFAS-forbindelse Sum af 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA) lå over den i 2021 indførte kravværdi på $0,002 \mu\text{g/l}$ i 73 indtag, svarende til 5,6 %. Både fundandel og antal fund over kravværdien er højere i 2022 end i tidligere opgørelser, hvilket især skyldes den lavere detektionsgrænse for disse fire stoffer, som blev indført på analyselaboratorierne i løbet af 2021. Den højest målte værdi for Sum af 4 PFAS var $0,024 \mu\text{g/l}$, altså 12 gange kravværdien for drikkevand. Sum af 12 og Sum af 22 PFAS lå i alle tilfælde under kravværdien på $0,1 \mu\text{g/l}$.

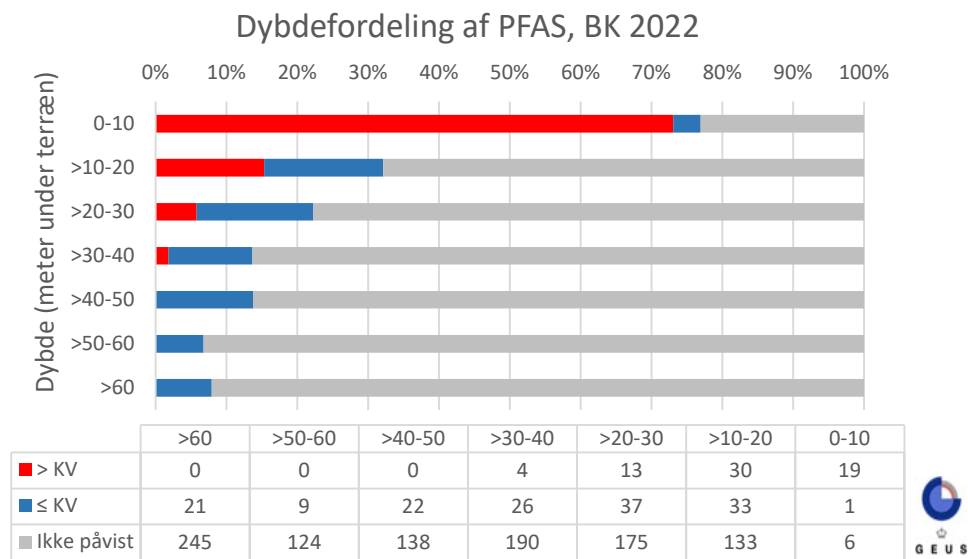
Figur 13 viser, at PFAS-forbindelser kan findes over hele landet, men fund af PFAS og i særdeleshed koncentrationer over kravværdien for Sum af 4 PFAS er koncentreret omkring København, omend der også ses koncentrationer over kravværdien i andre områder. Særligt er der også høje PFAS-koncentrationer i terrænnære indvindingsboringer nær Vesterhavet (Fanø, Hanstholm, Skagen).



Figur 13. Vandforsyning. Forekomst af PFAS i boringskontrollen 2022. Rød markerer fund over en fastsat kravværdi (i dette tilfælde udelukkende $>0,002 \mu\text{g/l}$ for 'Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA'). Blå markerer fund under kravværdien. Grå markerer ingen målbare PFAS-forbindelser ($<DG$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

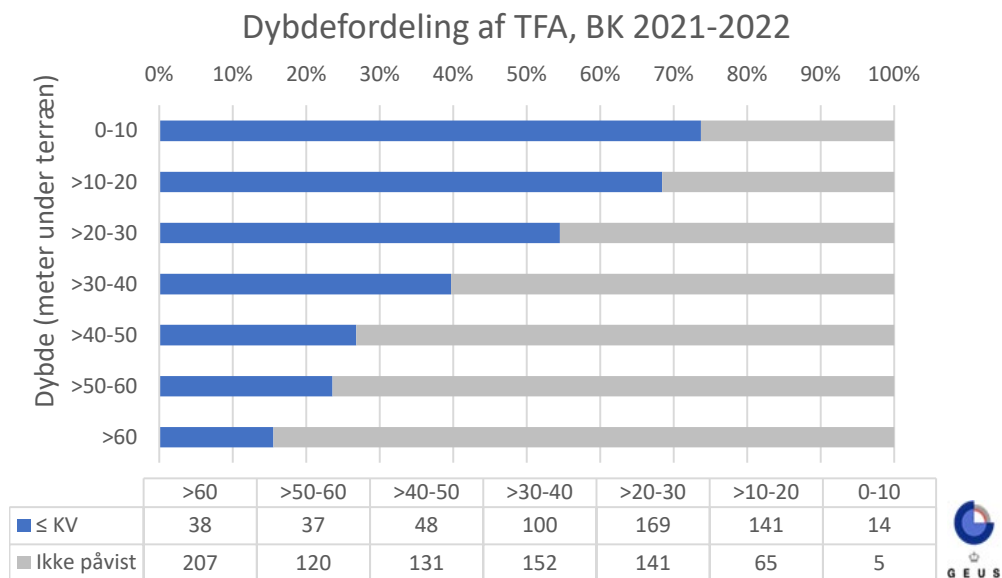
Figur 14 viser dybdefordelingen af PFAS i vandforsyningsboringerne, med en tydeligt aftagende andel af både fund og overskridelser af kravværdien med dybden. Denne dybdefordeling tyder på, at PFAS-forbindelser i øjeblikket hovedsageligt befinder sig i det mest terrænnære grundvand, hvilket stemmer godt overens med, at den største anvendelse af PFAS-forbindelser er foregået inden for de sidste 40 år. Da de fleste af de analyserede PFAS-forbindelser ikke antages at nedbrydes i jordmiljøet, og der samtidig er kommet øget fokus på mindsket udledning af PFAS til både jord- og vandmiljø, må dybdefordelingen forventes at ændres i fremtiden. Det tydelige mønster i dybdefordeling indikerer endvidere, at der ikke er tale om udbredt kontaminering af vandet i forbindelse med prøvetagning eller analyse, men at der er tale om reel forekomst af PFAS-forbindelser i grundvandet.

Mange vandforsyninger begyndte at analysere for PFAS forbindelsen TFA, triflouracetat, efter de mange fund i GRUMO-boringer i 2020. I forlængelse heraf blev TFA optaget i drikkevandsbekendtgørelsen med en kravværdi på $9 \mu\text{g/l}$. I alt er 1.456 indtag i vandforsyningsboringer blevet undersøgt, og TFA-koncentrationen lå over detektionsgrænsen (typisk $0,05 \mu\text{g/l}$) i 591 vandforsyningsindtag, svarende til 41 %. Den højest målte koncentration var $4,0 \mu\text{g/l}$, og i kun fire indtag blev der fundet mere end $1 \mu\text{g/l}$. Der var således ingen fund over den nuværende kravværdi.



Figur 14. Vandforsyning. Dybdefordeling for PFAS i 2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: Rød (> KV) markerer fund over en fastsat kravværdi (i dette tilfælde udelukkende >0,002 µg/l for 'Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA', se Tabel 13 i kapitel 6). Blå (≤ KV) markerer fund under kravværdien. Grå markerer ingen målbare PFAS-forbindelser (ikke påvist). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Tabellen under figuren viser antal undersøgte indtag i de forskellige dybder opdelt efter koncentrationsintervaller. Bemærk, at der er meget få undersøgte indtag fra 0-10 meters dybde med deraf følgende øget usikkerhed på fundandelen.

Figur 15 viser, at andelen af fund af TFA aftager med dybden. Da TFA, med den nuværende viden, ikke forventes at nedbrydes i jordmiljøet, må såvel koncentrationer som hyppigheden af fund af TFA forventes at stige fremover.



Figur 15. Vandforsyning. Dybdefordeling af TFA i vandforsyningsboringernes indtag i 2021-2022. Indtagene er opdelt i to koncentrationsintervaller: ≤ KV på 9 µg/l (påvist TFA) og ikke påvist (under detektionsgrænsen). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Tabellen under figuren angiver antal undersøgte indtag i de forskellige indtagsdybder opdelt efter koncentrationsintervaller.

2 Formål

Dette kapitel er udarbejdet i samarbejde med Miljøstyrelsen. Kapitel 2.1 er baseret på et udkast fra GEUS, mens kapitel 2.2 og 2.3 er udarbejdet af Miljøstyrelsen.

2.1 Grundvandsovervågningen i Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur, NOVANA

Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af Det Nationale Overvågningsprogram for Vandmiljø og Natur (NOVANA). Grundvandsovervågningen er tilrettelagt sådan, at overvågningen kan levere data både til brug for opfyldelse af EU-retslige forpligtelser og til brug for udvikling og forvaltning af national lovgivning.

Formålet med grundvandsovervågningen er beskrevet således i programbeskrivelsen for NOVANA i perioden 2017-21, (Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017) og overgangsåret 2022 (Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2021):

- *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 nogle af de forurenende stoffer (operationel overvågning)*
- *At levere data, der dokumenterer effekten af nationale vandmiljøplaner, vandområdeplaner, nitrat-handlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag (operationel overvågning)*
- *At bidrage med data, som med henblik på den årlige opdatering af kravene til vandforsyningernes 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 god 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*

Kontrolovervågningen udgør den grundlæggende overvågning af grundvandets generelle tilstand og udvikling i Danmark. Kontrolovervågningen repræsenterer grundvandsforekomster i hele landet og alle dybder og foregår som udgangspunkt i de samme boringsindtag over en længere årrække. Den samlede mængde af programlagte indtag i overvågningsboringerne kaldes også indtagsnettet og indtagene omtales som GRUMO-indtag.

Operationel overvågning er et supplement til kontrolovervågningen og gennemføres i indtag placeret i grundvandsforekomster i ringe tilstand og i indtag herudover, hvor der i indtaget er konstateret overskridelser af fastsatte kravværdier. Den operationelle overvågning gennemføres årligt på en delmængde af de indtag, hvor der foretages kontrolovervågning.

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 den første vandmiljøplan i 1987. Det daværende overvågningsprogram havde 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 befolkningen en forsyning af drikkevand af god kvalitet (Miljøstyrelsen, 1988).

GRUMO-stationsnettet blev derfor dengang designet med det formål at give et billede af grundvandets tilstand og udvikling i en række udvalgte oplande, de såkaldte GRUMO-områder. Det blev vurderet, at disse områder kunne repræsentere grundvandet 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 overvåge og afrapportere efter EU-direktiver.

Hvordan denne tilpasning er sket, er beskrevet nærmere i Appendiks 2.

Tabel 4 giver et overblik over de forskellige programperioder siden overvågningens start og giver referencerne til programbeskrivelserne gennem tiden. Programbeskrivelserne, aktuelt for denne rapport NOVANA 2022, indeholder oplysninger om de fastlagte strategier for grundvandsovervågningen i de respektive perioder, herunder om udbygningen af stationsnettet af GRUMO-indtag og hvordan overvågningsdata fra de enkelte typer af indtag anvendes.

Tabel 4. 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 2016	1	Forlængelse 1 år	Naturstyrelsen & DCE, 2016
2017-2021	NOVANA 2017-2021	5		Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017
2022	NOVANA 2022	1	Forlængelse 1 år	Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2021

2.2 Retligt grundlag for Grundvandsovervågningen

Bemærk, at der refereres til love og bekendtgørelser gældende for overvågningsåret 2022.

Overvågningsbekendtgørelsen

Bekendtgørelse nr. 1001 af 29. juni 2016 om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder (overvågningsbekendtgørelsen) indeholder regler for udarbejdelse af programmer for overvågning af vandmiljøet i vandforekomster og naturen i internationale naturbeskyttelsesområder. Bekendtgørelsen indeholder også bestemmelser om klassificering af overfladevandområders tilstand og om vurdering af grundvandsforekomsternes tilstand. Bekendtgørelsen var grundlaget for NOVANA 2022, herunder delprogrammerne GRUMO og LOOP.

Overvågningsbekendtgørelsen gennemfører bl.a. bestemmelser i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger (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 (nitratudirektivet).

Drikkevandsbekendtgørelsen

Drikkevandsbekendtgørelsen opdateres jævnligt. Seneste ændring til forskriften gældende for 2022 er Bekendtgørelse nr. 1383 af 3. oktober 2022 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Februar 2024 er den gældende ændring til forskriften Bekendtgørelse nr. 1023 af 29. juni 2023.

Drikkevandsbekendtgørelsen fastsætter reglerne for de kvalitetskrav, som drikkevand skal opfylde, og hvordan det kontrolleres, at kvalitetskravene overholdes. Denne kontrol omfatter både kontrol af det drikkevand, der leveres ved forbrugerens taphane og kontrollen af det råvand, der indvindes fra vandforsyningsboringerne (boringskontrollen). Drikkevandsbekendtgørelsens bilag indeholder de stoffer, som vandforsyninger, der leverer drikkevand, som minimum skal sørge for at analysere drikkevandet og råvandet for. Langt de fleste vandforsyninger er omfattet af bekendtgørelsens regler: de almene vandværker (forsyner minimum 10 husstande), ikke almene vandforsyninger med anden kommerciel eller offentlig aktivitet (institutioner, restaurationer, hoteller, campingplads m.m.) og ikke almene vandforsyninger, der forsyner mere end én husholdning. De eneste vandforsyninger, der er undtaget fra bekendtgørelsens regler, og som kun skal tage en prøve efter opfordring fra kommunerne, dog uden pligt om at tage en prøve, er vandforsyninger, der dagligt leverer under 10 m³ vand til en enkelt husstand, der ikke har kommerciel eller offentlig aktivitet. 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 drikkevandsbekendtgørelsens krav til kontrol af drikkevandet og til boringskontrollen.

Drikkevandsbekendtgørelsen gennemfører bestemmelser i Rådets direktiv 98/83/EF af 3. nov. 1998 om kvaliteten af drikkevand med senere ændringer (drikkevandsdirektivet) og bestemmelser i vandrammedirektivet.

Analysekvalitetsbekendtgørelsen

Bekendtgørelse nr. 2362 af 26. november 2021 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 (vandrammedirektivet).

2.3 Rapportering af data fra Grundvandsovervågningen

Samtlige rapporterede data er tilgængelige for offentligheden i den fællesoffentlige database Jupiter (se fx 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 om udviklingen i grundvandets kvalitet og kvantitet. GEUS har som fagdatacenter for grundvand siden 1990 udarbejdet en årlig landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen, dvs. resultaterne fra GRUMO-stationsnettet, grundvandsdelen af landovervågningsprogrammet, LOOP, og de almene vandforsyningers boringskontrol samt data fra indberettede indvundne vandmængder (Grundvandsovervågningens hjemmeside, se litteraturlisten). De forskellige datakilder er nærmere beskrevet i Appendiks 1.

Siden 2005, der var det første år, hvor NOVANA-programmerne blev afrapporteret (se Tabel 4), 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 figurer eller tabeller for data, der har 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 nitratinhold 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 med 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 håndteringen heraf er beskrevet, hvor det er relevant i de enkelte fagkapitler og i Appendiks 2.

Særligt om afrapporteringen af data for pesticider

I denne rapport afrapporteres data fra analyser af grundvandsprøver for pesticiders aktivstoffer og aktivstofferne nedbrydningsprodukter. Nedenfor er der redegjort for, hvad der (i forskellige sammenhænge) forstås ved ordene 'pesticider', 'aktivstoffer' og 'nedbrydningsprodukter', og hvordan de forstås og anvendes i rapporten.

Pesticider

I EU-regulering og i en række videnskabelige sammenhænge anvendes ordet 'pesticider' i stedet for det danske 'bekæmpelsesmidler'.

Pesticider er defineret i Europa-parlamentets og rådets direktiv 2009/128/EF af 21. oktober 2009 om en ramme for Fællesskabets indsats for en bæredygtig anvendelse af pesticider med senere ændringer art. 3, nr. 10:

»Pesticid«:

a) et plantebeskyttelsesmiddel som defineret i forordning (EF) nr. 1107/2009

b) et biocidholdigt produkt som defineret i Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 98/8/EF af 16. februar 1998 om markedsføring af biocidholdige produkter.

Bekæmpelsesmidler - pesticider - er således, som det fremgår ovenfor, opdelt i de 2 hovedgrupper: Plantebeskyttelsesmidler og biocidholdige produkter.

Retten til at markedsføre bekæmpelsesmidlerne og til hvilke formål reguleres i de to forordninger:

1) Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EF) nr. 1107/2009 af 21. oktober 2009 om markedsføring af plantebeskyttelsesmidler og om ophævelse af Rådets direktiv 79/117/EØF og 91/414/EØF med senere ændringer

2) Europa-Parlamentets og Rådets forordning (EU) nr. 528/2012 af 22. maj 2012 om tilgængeliggørelse på markedet og anvendelse af biocidholdige produkter med senere ændringer.

Forordningerne betegnes oftest som henholdsvis 'forordningen om plantebeskyttelsesmidler' (eller 'pesticidforordningen') og 'biocidforordningen'.

Plantebeskyttelsesmidler er produkter, der i den form, hvori de leveres til brugeren, består af eller indeholder aktivstoffer, safenere eller synergister og er bestemt til et af følgende formål:

- a) at beskytte planter eller planteprodukter mod alle skadegørere eller at forebygge angreb fra sådanne skadegørere, medmindre hovedformålet med det pågældende produkt må anses for at være af hygiejnemæssig karakter snarere end beskyttelse af planter eller planteprodukter
- b) at påvirke planters livsprocesser, fx ved at indvirke på planternes vækst, på anden måde end som næringstof eller biostimulant til planter
- c) at konservere planteprodukter, for så vidt de pågældende stoffer eller produkter ikke er omfattet af særlige fællesskabsbestemmelser om konserveringsmidler

d) at ødelægge uønskede planter eller plantedele, bortset fra alger, medmindre produkterne anvendes på jord eller vand for at beskytte planter

e) at bremse eller forebygge uønsket vækst af planter, bortset fra alger, medmindre produkterne anvendes på jord eller vand for at beskytte planter'.

Se evt. forordningen om plantebeskyttelsesmidler, art. 2, stk. 1.

Ordet 'plantebeskyttelsesmidler' anvendes imidlertid sjældent i ikke-fagkredse i Danmark, midlerne betegnes i stedet som fx 'sprøjtemidler' eller 'pesticider'.

Biocidmidler eller biocidholdige produkter, som de også kaldes, er:

'- stoffer eller blandinger i den form, hvori de leveres til brugeren, som består af, indeholder eller genererer et eller flere aktivstoffer, som er bestemt til at kunne ødelægge, afskrække, uskadeliggøre, hindre virkningen af eller bekæmpe virkningen af skadegørere på anden vis end blot ved fysisk eller mekanisk påvirkning,

- stoffer eller blandinger genereret fra stoffer eller blandinger, der ikke i sig selv er produkter i den i første led omhandlede forstand, og som er bestemt til at kunne ødelægge, afskrække, uskadeliggøre, hindre virkningen af eller bekæmpe virkningen af skadegørere på anden vis end blot ved fysisk eller mekanisk påvirkning.

En behandlet artikel, der har en primær biocidfunktion, betragtes som et biocidholdigt produkt.'

Se evt. biocidforordningen, art. 3, litra a.

Biocidmidler eller biocidholdige produkter betegnes ofte som biocider.

Plantebeskyttelsesmidler og biocidholdige produkter er omfattet af definitionen af pesticider uafhængigt af, om de er eller har været godkendt til brug i Danmark eller EU. Afgørende er, hvorvidt midlerne har de egenskaber, der indebærer, at midlerne må anses for omfattet af forordningernes definitioner af henholdsvis 'plantebeskyttelsesmiddel' og 'biocidholdigt produkt'.

Aktivstoffer og nedbrydningsprodukter

Grundvandsovervågningen er ikke rettet mod forekomsten af plantebeskyttelsesmidler eller biocidholdige produkter, men mod forekomsten af de aktive stoffer i midlerne eller produkterne og disse aktivstoffers omdannelses- og nedbrydningsprodukter.

Et aktivstof er i denne sammenhæng:

'et stof eller en mikroorganisme, der har virkning på eller imod skadegørere – eller på planter, plantedele eller planteprodukter'.

Se biocidforordningens art. 3, litra c, og forordningen om plantebeskyttelsesmidler art. 2, stk. 2. I denne rapport anvendes ordet nedbrydningsprodukter som en samlet betegnelse for omdannelses- og nedbrydningsprodukter (også kaldet metabolitter). Bemærk, at i mange sammenhænge bruges ordet 'pesticider' for aktivstofferne i bekæmpelsesmidler.

I denne rapport bruges ordet pesticidstoffer som en samlet betegnelse for aktivstoffer og aktivstofferne nedbrydningsprodukter.

En række kemiske stoffer har været anvendt og/eller anvendes som aktivstof i både plantebeskyttelsesmidler og biocidholdige produkter, det gælder fx aktivstoffer i en række svampemidler. Det er vigtigt at være opmærksom på, at der også er stoffer, som er anvendt både som aktivstoffer i plantebeskyttelsesmidler og biocidholdige produkter og i fx industrielle processer eller i andre produkter som veterinær eller human medicin. Det gælder fx formaldehyd og triazoler. For disse stoffer gælder, at en omfattende

analyse af data om anvendte mængder af stoffet eller moderstoffet (historisk og aktuelt) og til hvilke formål, karakteren af forureninger med stoffet, forureningernes spredning geografisk mv. vil være et nødvendigt grundlag for konklusioner om, hvorvidt fund af stoffet er et resultat af anvendelse af (aktiv)stoffet i bekæmpelsesmidler eller anden anvendelse. Denne analyse ligger udenfor rammerne af grundvandsovervågningsrapporten.

Kvalitetskrav

For pesticiders aktivstoffer og aktivstoffers relevante nedbrydningsprodukter er kvalitetskravene 'drikkevandskvalitetskrav' og 'grundvandskvalitetskrav' fastsat. I Danmark reguleres alle nedbrydningsprodukter med enkelte undtagelser, uanset om de er relevante eller ikke-relevante efter kravværdien 0,10 µg/l. Dette er ikke tilfældet i andre EU-lande.

Drikkevandskvalitetskrav for pesticider og stoffernes nedbrydningsprodukter er fastsat i drikkevandsbekendtgørelsens § 4, jf. bilag 1 b, d og e og bilag 2. Kravene, der (bl.a.) gælder for indvundet og simpelt behandlet grundvand, der leveres til forbrugere, er fastsat for aktivstoffer i absolut størstedelen af de forskellige typer af bekæmpelsesmidler - og for aktivstoffers nedbrydningsprodukter, men altså ikke for aktivstoffer i alle typer af bekæmpelsesmidler - og disse stoffers nedbrydningsprodukter. Drikkevandskvalitetskravene gælder for aktivstoffer og stoffernes nedbrydningsprodukter fra følgende typer af bekæmpelsesmidler: Organiske insekticider, organiske herbicider, organiske fungicider, organiske nematocider, organiske acaricider, organiske algicider, organiske rodenticider og organiske slimicider samt lignende produkter (bl.a. vækstregulatorer). Dette betyder, at drikkevandskvalitetskravene gælder for organiske aktivstoffer i pesticider, der anvendes mod insekter, uønskede planter (ukrudt), svampe, (rund)orme, spindlere, alger, gnavere (særligt mus og rotter), slimdannelse og lignende produkter - samt disse aktivstoffers nedbrydningsprodukter. Drikkevandskvalitetskravene gælder dermed for absolut størstedelen af de kendte aktivstoffer i bekæmpelsesmidler og disse stoffers nedbrydningsprodukter.

Drikkevandskvalitetskravene er fastsat til:

- 1) 0,030 µg/l for hvert enkelt af stofferne aldrin, dieldrin, heptachlor, heptachlorepoxyd. Anvendelse af stofferne er forbudt for mange år siden, og kun stoffet dieldrin har været anvendt i væsentligt omfang i Danmark. Målinger for stofferne i grundvand i perioden 1993-2003 førte ikke til fund.
- 2) 0,10 µg/l for hvert aktivstof i de andre ovennævnte bekæmpelsesmidler og hvert nedbrydningsprodukt af et af aktivstofferne.
- 3) 0,50 µg/l for summen af de af 1 og 2) omfattede stoffer.

Grundvandskvalitetskravene, der anvendes ved vurdering af grundvandsforekomsters kemiske tilstand, er fastsat i bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for overfladevand og grundvandsforekomster, § 4, jf. bilag 3. Grundvandskvalitetskravet gælder for aktivstoffer i alle pesticider og for aktivstoffers nedbrydningsprodukter. For enkelte biocidstoffer er det uafklaret, i hvor stort omfang de skal anses som pesticidstoffer i grundvandet eller om de primært stammer fra industrikemikalier.

Grundvandskvalitetskravene er fastsat til:

- 1) 0,1 µg/l for hvert aktivstof i et bekæmpelsesmiddel og hvert nedbrydningsprodukt af et aktivstof
- 2) 0,5 µg/l for summen af de af 1) omfattede stoffer

Analyse for pesticidernes aktivstoffer og stoffernes nedbrydningsprodukter

Grundvandet overvåges ikke for alle pesticidernes aktivstoffer og aktivstoffers nedbrydningsprodukter. Overvågningen er som udgangspunkt målrettet de stoffer, der vurderes at have de mest problematiske egenskaber og/eller stammer fra aktivstoffer, som er anvendt i et omfang og på en sådan måde, at det må forventes, at de kan have forurennet grundvandet i ikke ubetydeligt omfang. Miljøstyrelsen vurderer løbende, om der er behov for at justere overvågningen, og der er med den politiske tillægsaftale til Pesticidstrategi 2017-2021 sikret finansiering til måling for væsentlig flere stoffer i årene 2019-2022.

I bilagene er der redegjort for hvilke aktivstoffer i pesticider og hvilke aktivstoffers nedbrydningsprodukter, der er analyseret for i GRUMO og i boringskontrollen i perioden 1989-2022. Det fremgår heraf, at i årene 1989-2016 er det især plantebeskyttelsesmidlernes aktivstoffer og disse stoffers nedbrydningsprodukter, der er analyseret for.

Afreportering til EU efter vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet

Data fra vandforsyningernes boringskontrol, fra GRUMO, og grundvandsdata fra LOOP-boringer anvendes sammen med andre relevante data, indberettet til Jupiter, ved afreporteringen 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 sjette 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 2.050 grundvandsforekomster (Troldborg, 2020) forud for 3. vandplanperiode (2021-27). Afgrænsningen af grundvandsforekomsterne og en efterfølgende gruppering 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 miljømål 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 og forbedre forekomsters tilstand.

Afreportering 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. Reportering efter nitratdirektivet for grundvand er alene baseret på data fra analyser af grundvand fra GRUMO-indtag. Den seneste reportering efter nitratdirektivet er fra 2021 og dækker perioden 2016-2019. (Miljøstyrelsen, 2021a).

Danmark er endvidere forpligtet til en årlig afreportering for så vidt angår status vedrørende Kommissionens gennemførelsesafgørelse om undtagelse fra nitratdirektivet (kvægundtagelsen) (2020/1074). Det er bl.a. en forudsætning for opretholdelse af kvægundtagelsen, at Danmark gennemfører en skærpet overvågning af vandkvaliteten i grundvand eller overfladevand på mindst 3 % af de bedrifter, der er omfattet af undtagelsen og GRUMO-data bidrager til denne status.

Nitratdirektivet har til formål at nedbringe vandforurening forårsaget eller fremkaldt af nitrat, der stammer fra landbruget, og at forebygge yderligere forurening af denne art. Nitratdirektivet forpligter medlemsstaterne til at udarbejde og gennemføre handlingsprogrammer for udpegede nitratsårbare zoner. Danmark har dog ét nitrathandlingsprogram, der anvendes på hele det danske område og er dermed fritaget for at udpege nitratsårbare zoner. 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 indvundne vandmængder indberettes som udgangspunkt hvert år til det Europæiske Miljøagentur (EEA) efter en såkaldt EEA request (anmodning). Data indgår i den internationale reportering, 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. NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (9-2-2024) og NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (9-2-2024)

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 <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/novana.pdf> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2021: NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2022: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/05/978-87-7038-419-3.pdf> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, 2021: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2016-2019 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). March 2021.

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana.pdf> og <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana2.pdf> (9-2-2024)

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/novana.pdf> (9-2-2024)

Andre henvisninger

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. https://www.geus.dk/media/6777/q03_pejlinger.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., 2023: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2023. <https://data.geus.dk/pure-pdf/Pr%C3%B8vetagning%20af%20grundvand.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 19.dec 2018. https://www.geus.dk/Media/E/A/dq01-pejl_20140615_20181219.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., Ernstsén, V., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for kemidata- grundvand. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 20.dec 2018 <https://www.geus.dk/media/6782/kemidata-grundvand.pdf> (9-2-2024)

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

Troldborg, L., 2020: Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpegning af drikkevandsforekomster. GEUS-rapport 2020/1 https://www.geus.dk/Media/2/5/GEUSrapport_2020_1_GVF_afgrænsning_web.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., Mortensen, M., Sivertsen, J., Iversen, L., Wandall, T., 2022: Etablering og vedligehold af overvågningsboringer. Teknisk anvisning. GEUS, 2022. https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS_Teknisk_Anvisning_2022_Etablering%20og%20vedligehold%20af%20overv%C3%A5gningsboringer%20i%20grundvandsoverv%C3%A5gningen_web.pdf (9-2-2024)

Relevante hjemmesider og links

EEA-hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (9-2-2024)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (9-2-2024)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncenter for Miljø og ressourcer: <https://www.miljoeogressourcer.dk/> (9-2-2024)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

Parameterlisten: <https://parameterlisten.miljoeportal.dk/parameters>

STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (9-2-2024)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (9-2-2024)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (9-2-2024)

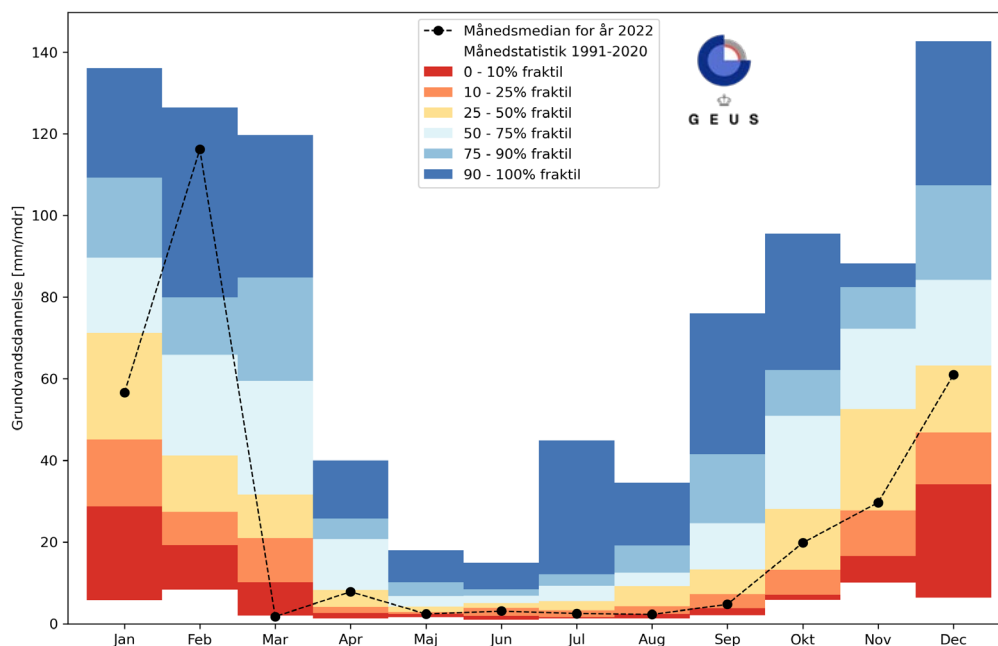
3 Vandindvinding og det Nationale Pejleprogram

Mængden af indvundet grundvand og overfladevand, kaldet 'Indvundne vandmængder', er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse. Disse data er uundværlige for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i arbejdet med vandområdeplanlægningen. For at muliggøre en optimal allokering af den tilgængelige vandressource er der behov for, at kommunerne fortsat sikrer, at de indvundne vandmængder i videst muligt 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 samtidigt at kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejletidsserier og enkeltmålinger af vandstanden. Data fra pejleprogrammet indgår desuden i grundvandsmodeller til vurderinger af såvel vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål, strømningsretning, samt påvirkningen af grundvand og grundvandsafhængige økosystemer. Pejldata af god kvalitet er afgørende for, at man kan foretage pålidelige vurderinger og modelberegninger. Der er derfor til stadighed fokus på, at der foretages velfungerende pejlinger og på kvalitetssikring af de indsamlede data.

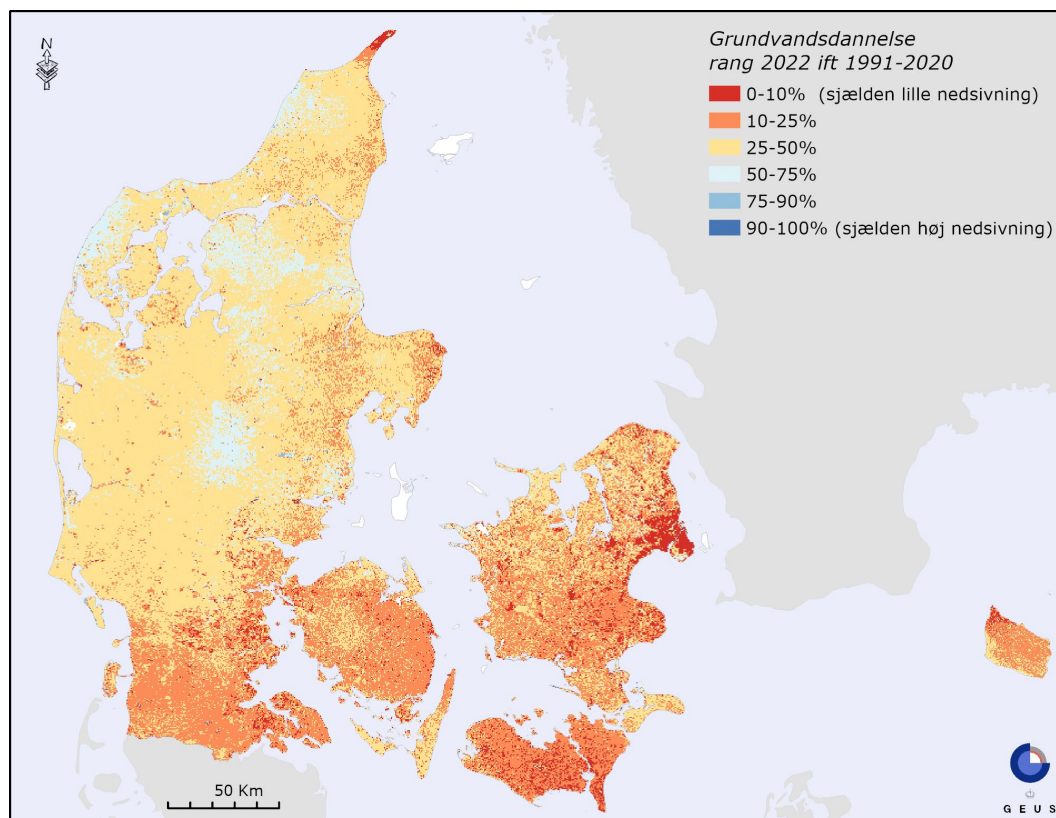
3.1 Grundvandsdannelsen

For at forstå udviklingen i grundvandets mængdemæssige forhold er det vigtigt at skelne mellem effekter fra ændret oppumpning og ændringer i nedbør og grundvandsdannelse. Nedbørsmængden er for 2022 på landsplan opgjort til 690 millimeter, hvilket er noget lavere end normalen for 1991-2020 på 759 mm. Dette dækker dog over store geografiske variationer (DMI, 2023). Med den nationale vandressourcemodel (Stisen mfl. 2019) kan der på dagligt niveau udregnes en vandbalance for rodzonen under hensyntagen til udvikling i rodtyber, jordbundsforhold, afstand til grundvandet og klima. Den del af vandbalancen for rodzonen, som er i overskud, går til dannelsen af nyt grundvand (kaldet grundvandsdannelsen). Dannelsen af nyt grundvand sker løbende hen over året, men primært i de måneder, hvor der er lille fordampning og stor nedbør. Figur 16 viser for år 2022, at der som gennemsnit var relativt lille grundvandsdannelse i alle måneder på nær februar sammenlignet med normalen for perioden (1991-2020).



Figur 16. Kurven viser den gennemsnitlige månedsgrundvandsdannelse på landsplan for 2022 opgjort ift. hele perioden. Søjlerne viser fraktiler for månedsgrundvandsdannelsen for klimanormalperioden 1991-2020.

Figur 17 viser, at der for størstedelen af landet var en meget lille grundvandsdannelse for 2022. Mens den nordlige og vestlige del af Jylland fik en grundvandsdannelse, der typisk var mindre end medianen for klimanormalen, så fik de sydlige og østlige dele af landet en grundvandsdannelse, der typisk var mindre end 25 % kvartilen for klimanormalen. Den relative grundvandsdannelse for alle år i perioden 1989-2022 fremgår af bilag 1.



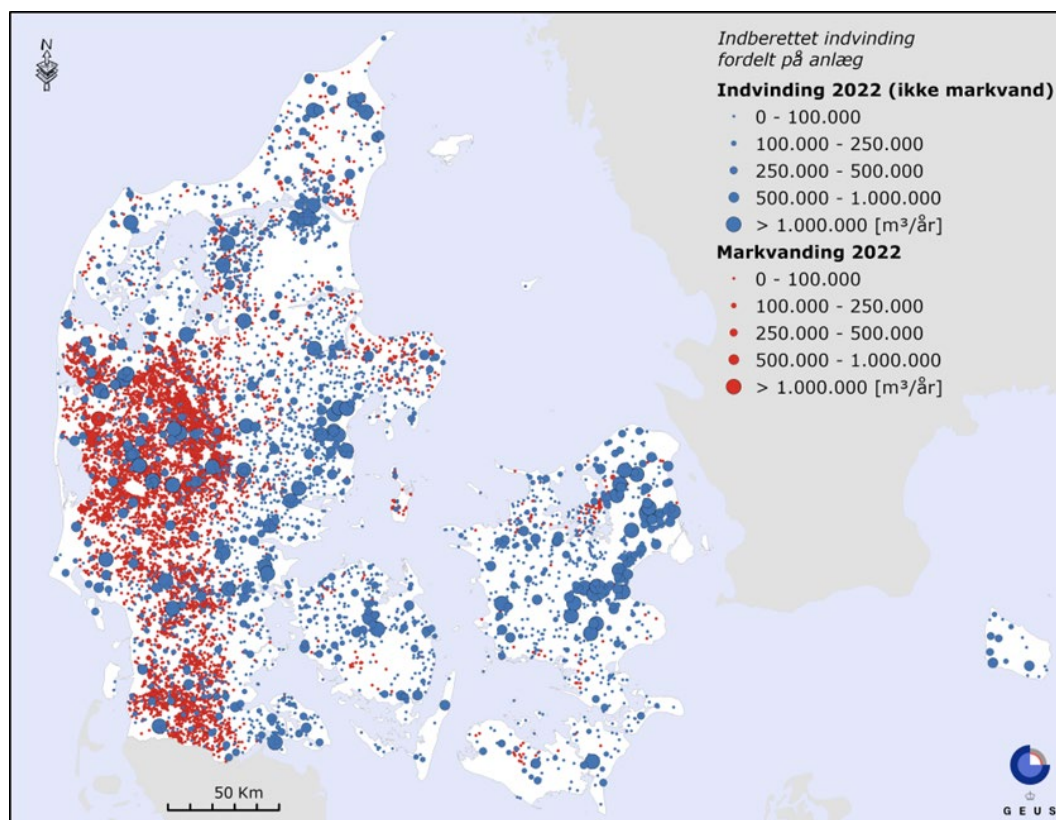
Figur 17. Den geografiske fordeling af grundvandsdannelsen for 2022 opgjort som fraktiler af hele klimanormalperioden 1991-2020. (10 % fraktilen svarer til den tredje laveste grundvandsdannelse i perioden, mens 90% fraktilen svarer til den tredje største grundvandsdannelse i den 30 års periode).

3.2 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 indvundne vandmængder). Derudover indvindes der på en række vandværker til institutioner og små vandværker (ikke almene vandværker), som hver forsyner mindre end 10 ejendomme (eller ca. 50 personer). Der er i Danmark registreret ca. 50.000 ikke-almene vandværker i Jupiter. Ca. 1.800 eller blot 3,6 % af disse anlæg har indberettet mængderne af deres vandindvinding mindst én gang siden 1989. For 2022 er der indberettet vandindvinding på omkring 625 af disse med en samlet indvinding på mindre end 4 mio. m³.

Figur 18 viser den geografiske fordeling af indberettet grundvandsindvinding for 2022 på anlægsniveau, opdelt i markvandingsanlæg og øvrige anlæg. I Danmark anvendes den største andel af de indvundne vandmængder til drikkevandsforsyning, men der bruges også betragtelige mængder til andre formål, hvoraf markvanding udgør den største andel.



Figur 18. Grundvandsindvinding i Danmark i 2022 fordelt på anlæg større end 1.000 m³/år, med en signatur, der angiver størrelsen af indvindingen. Rød signatur angiver markvandingsanlæg, og blå signatur angiver de øvrige anlæg.

Figur 18 viser også at, markvandingen primært er koncentreret vest for Hovedopholdslinjen i det vestlige og sydlige Jylland. Herudover anvendes grundvand til en lang række forskellige formål indenfor industri, institutioner, gartneri og dambrug. Samlet set blev der i 2022 indberettet vandindvinding fra 12.153 anlæg med en indvinding større end 1.000 m³/år. Den største enkelte indvinding af overfladevand, der udpumpes med drikkevandskvalitet, finder sted ved Kalundborg Forsyning, der indvinder knap 4 mio. m³/år til procesvand på lokale virksomheder.

Målsætning

Af hensyn til forsyningssikkerheden, 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 indvindes. 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 indvundne vandmængder i forhold til behovet for vandføring i vandløb og vandstanden i moser, rigkær, søer mv. 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 ændringer i indvundne grundvands- og overfladevandsmængder på såvel lokal som regional og national skala. Den miljømæssige påvirkning af den samlede indvinding for grundvandsforekomsterne vurderes i vandområdeplanerne hvert 6. år, se også Kapitel 2. De indsamlede data i grundvandsovervågningen er et vigtigt bidrag hertil.

Datagrundlag

Data om indvundne vandmængder indberettes af kommunerne til Jupiter efter drikkevandsbekendtgørelsen og i overensstemmelse med dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske Regioner og KL, 2023).

Data i Jupiter er dynamiske, således forstået at fejlbehæftede indberetninger løbende bliver tilrettet. Typisk er der tale om en korrektion af indberettede vandmængder og/eller korrektion af formålsangivelser. Dette betyder, at data i Tabel 5 ikke vil være helt identiske med de tidligere rapporterede data, (fx Thorling mfl., 2023).

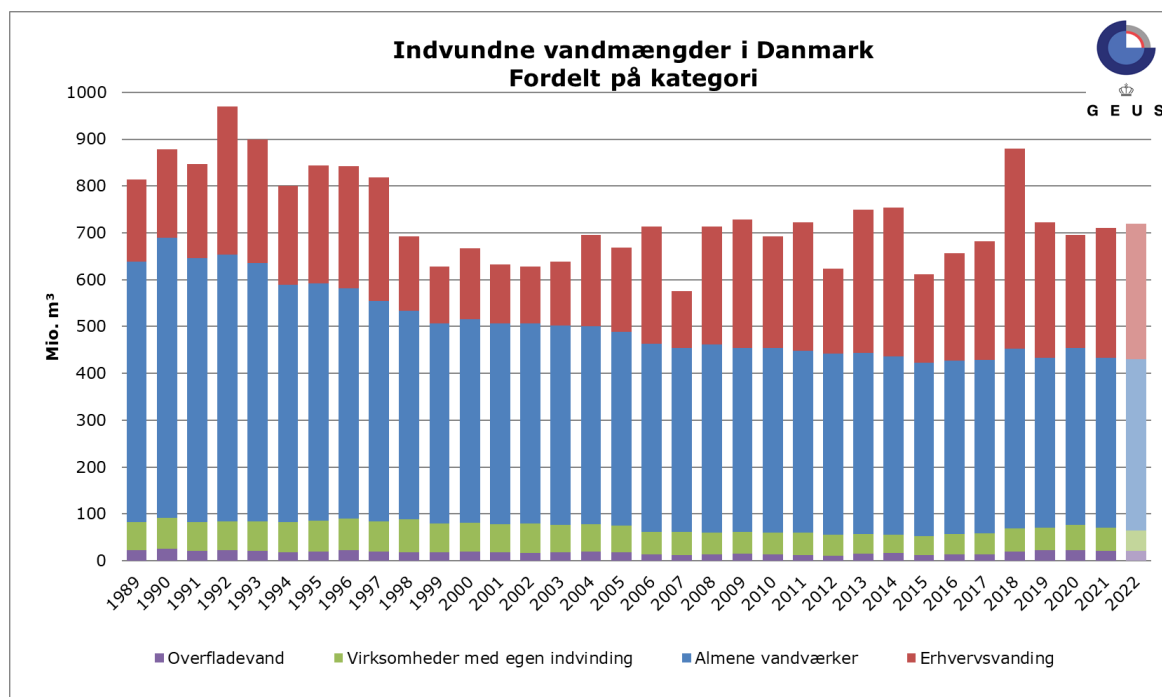
16 kommuner havde ikke indberettet indvindingsdata for 2022 inden udtræksdatoen 22. september 2023. Det er ikke usædvanligt, at der mangler indberetninger, efter tidsfristen for indberetning 1. april er overskredet, men det er sjældent de samme kommuner, der mangler indberetninger af indvindinger fra år til år. Derfor er det til denne rapport skønnet hvor store vandmængder, der ikke er indberettet, på baggrund af de samme kommuners indberetninger de forudgående ti år. Samlet set vurderes der på denne baggrund at mangle indberetninger af omkring 41 mio. m³ for 2022, svarende til ca. 6 % af de samlede indvindinger, hvilket er noget over niveau ift. 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 19 viser vandindvindingen for hele landet samlet og fordelt på fire kategorier i perioden 1989-2022. Vandindvindingen er opdelt på disse kategorier:

- *Almene vandværker: Vandforsyningsanlæg, der forsyner 10 eller flere ejendomme*
- *Erhvervsvanding: Dambrug, markvanding, gartneri.*
- *Virksomheder med egen indvinding: Erhverv, industri, institutioner, afværgepumpninger, grundvandssænkninger samt ikke-almene vandværker (forsyning til mindre end 10 ejendomme).*
- *Overfladevand til alle formål.*



Figur 19. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2022 opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Data fra 2022 er justeret med skøn over manglende rapportering og er vist med nedtonede farver.

Indvindingen af overfladevand på 21 mio. m³ i 2022 er vanskelig at erkende i figuren og er ikke meget forskellig fra de forudgående år. Overordnet antages det, at dambrugen 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 5 viser de data, der ligger til grund for Figur 19. For kategorien 'almene vandværker' ses et fald i de indvundne vandmængder gennem 90'erne fra ca. 600 mio. m³ i 1990 og i mindre grad gennem 00'erne til et niveau på knap 370 mio. m³ i 2022.

Tabel 5. Indvundne vandmængder i Danmark er opdelt på fire kategorier i mio. m³/år. Bemærk: Kommunerne har i nogle tilfælde opdateret ældre data siden sidste rapportering (Thorling mfl., 2023).

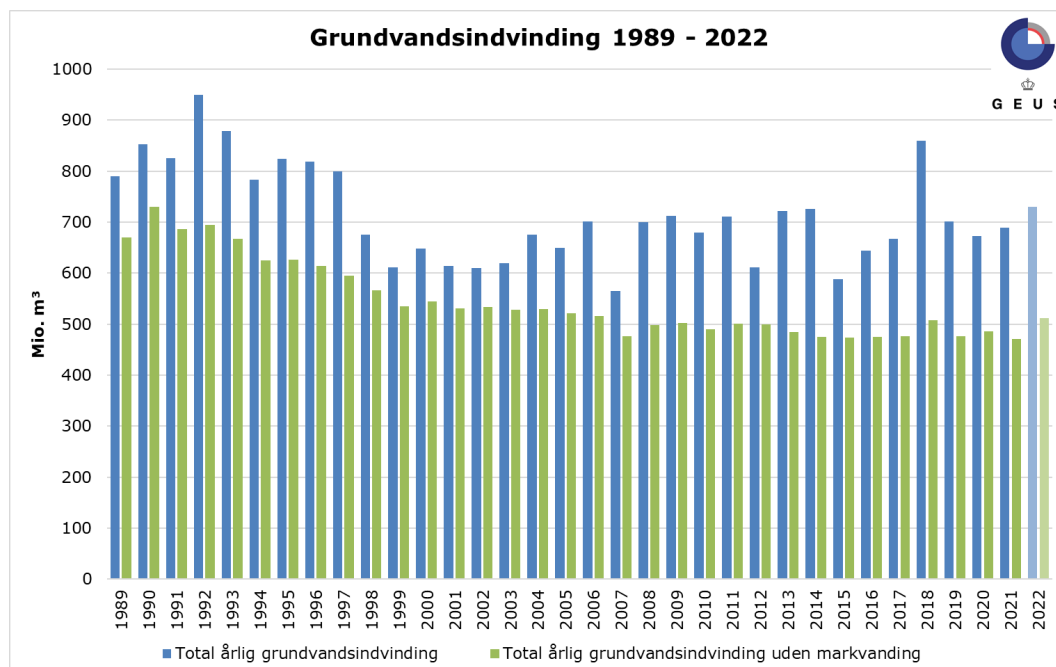
Årstal	Almene vandværker Mio. m ³ /år	Erhvervsindvinding Mio. m ³ /år	Virksomheder med egen indvinding Mio. m ³ /år	Overfladevand Mio. m ³ /år
1989	555	176	60	23
1990	598	188	67	25
1991	564	201	61	21
1992	570	316	62	22
1993	552	264	63	21
1994	506	212	65	18
1995	506	252	67	19
1996	492	260	67	23
1997	471	264	64	20
1998	445	158	71	18
1999	427	121	62	18
2000	434	152	62	19
2001	429	125	60	18
2002	427	122	62	17
2003	426	136	58	18
2004	423	194	58	20
2005	414	179	57	18
2006	402	251	48	13
2007	394	121	49	12
2008	402	252	47	13
2009	394	273	46	15
2010	395	237	47	13
2011	388	275	48	12
2012	387	180	45	11
2013	386	306	42	15
2014	380	318	40	16
2015	370	188	41	12
2016	371	229	44	13
2017	370	253	45	14
2018	384	427	50	19
2019	364	289	48	22
2020	378	241	54	22
2021	363	276	50	21
2022	365	290	44	21

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien erhvervsindvinding) er for 2022 opgjort til 290 mio. m³, svarende til den øvre kvartil sammenlignet med hele perioden (1989-2022), formentlig som følge af højt markvandsbehov pga. den relativt lave nedbør og høje fordampning for 2022. Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding har udvist en svagt faldende tendens fra slutningen af 1990'erne og frem, men synes nu at være stabiliseret omkring 40-50 mio. m³/år.

Status og udvikling for indvinding af grundvand

Figur 20 viser de totale indvundne mængder grundvand i perioden 1989-2022 med blå søjler, mens de grønne søjler viser samlet mængde indvundet grundvand uden markvanding. Indvinding til markvanding udviser store variationer fra år til år, da behovet afhænger af nedbør og fordampning i vækstsæsonen.

Udviklingen i de indvundne vandmængder i Danmark (uden markvanding) viser en faldende tendens frem til år 2002 og en svagt faldende tendens siden. Den samlede indvundne mængde af grundvand i Danmark (uden markvanding) er for 2022 opgjort til 512 mio. m³/år, mens den for 1990 er opgjort til ca. 700 mio. m³/år. Medregnes markvandingen, der typisk udgør 15-40 % af de samlede mængder indvundet grundvand i Danmark, er der ingen tydelige udviklingstendenser i samlet grundvandsindvinding fra 2002 og frem.



Figur 20. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding (1989-2022) baseret på indberettede data. Data fra 2022 er justeret med skøn over manglende rapportering og er vist med nedtonede farver.

I alt er der i 2022 indberettet grundvandsindvindinger på 730 mio. m³, når markvandingen medregnes, hvilket er lidt over niveauet for medianen for de seneste 10 år (689 mio. m³). Det skal bemærkes, at specielt tallene for det seneste års indberetninger er behæftet med nogen usikkerhed som følge af manglende indberetninger, og de er derfor vist med nedtonede farver på Figur 20. En gennemgang af de årlige opgørelser i grundvandsovervågningen viser, at også tallene fra de seneste 5-10 år, specielt for kategorien almene vandforsyninger, 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 viste, at der var betydelige variationer i kvaliteten af dataindberetningen fra kommune til kommune, specielt i den første del af perioden samt i perioden omkring Kommunalreformen (2006-2008). Uanset problemer med indberetningskvaliteten er markvandingen naturligt stærkt varierende, primært som følge af variationer i vejret. Det fremgår bl.a., at 2007 var et år

med særligt lavt forbrug af vand til markvandingsformål. Beregninger (Hvid, 2011, se også Thorling 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, fx 2018, udgør meget betragtelige andele af indvindingen på såvel lokal som national skala.

3.3 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 er i perioden 2010-2022 løbende blevet revideret for at give en bedre dækning af grundvandsforekomsterne og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet.

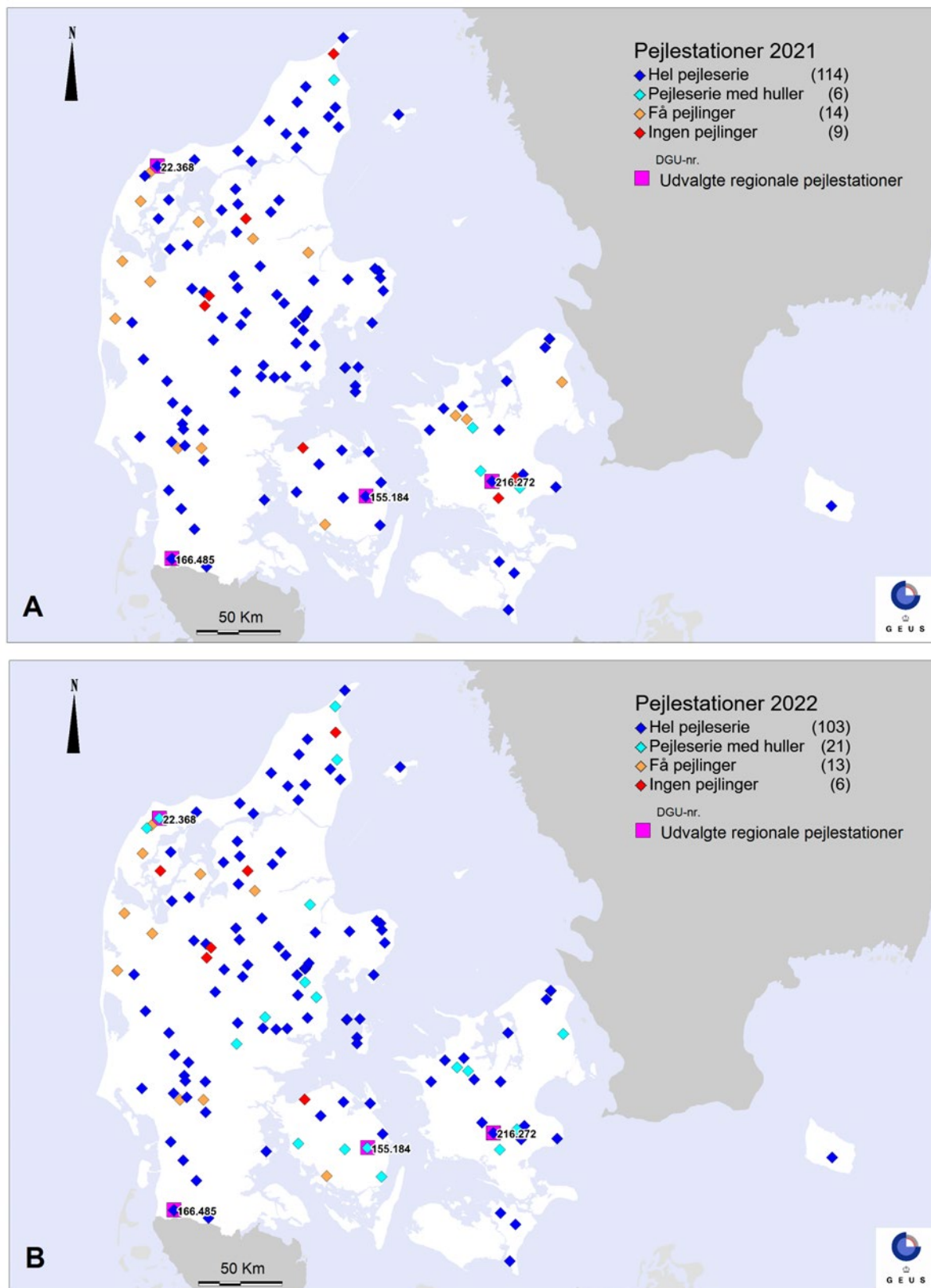
Pejledata er en indikator for udviklingen i grundvandsressourcens størrelse. Ændringer i ressourcens størrelse har betydning for den mængde grundvand, der kan indvindes til drikkevandsforsyning, markvand, erhverv og andre formål, samt for den økologiske tilstand i enge, moser, vandløb og søer mv., der er afhængige af tilførsel af grundvand. 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 i indtagene registreret manuelt og med lavere hyppighed, hvilket i bedste fald var én gang månedligt. En pejlestation er således defineret som et indtag, med en fast indbygget datalogger. Derudover foretages der manuelle pejlinger af rolandspejlet, i forbindelse med prøvetagningen af GRUMO-indtagene. Enkelt-pejlinger lægges efterfølgende manuelt i Jupiter

På nogle lokaliteter har overvågning af grundvandsstanden fundet sted gennem mange årtier, i nogle tilfælde mere end 70 år. Den meget lange tidshorisont udgør en udfordring mht. at fastholde en ensartet og sammenlignelig kvalitet i indsamlingen af data til pejletidsserier, da kvaliteten af de indsamlede data er meget følsom over for ændringer i fx målepunkter, personale og målemetoder. Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejleprogram har et forløb, der indikerer, at fejl i data er opstået ved fx ændringer i borerens referencepunkt eller udfald i en datalogger. For at udbedre dette arbejdes der løbende med at rette oplagte datafejl i samarbejde med Miljøstyrelsen. Senest er foretaget en samlet gennemgang af indtagenes fordeling og datakvalitet i det eksisterende pejlenet anno 2022 med tilhørende anbefalinger til opgradering af nettet (Ditlefsen og Sivertsen, 2022). Samtidig arbejdes der hos Miljøstyrelsen for etablering af nye metoder til dataopsamling i realtid.

Nærværende opgørelse af udviklingen i grundvandsstanden omfatter både udviklingen i 2021 og 2022, da det af ressourcemæssige grunde ikke var muligt for Miljøstyrelsen at tilse pejlestationerne og levere data ved udgangen af 2021. Det samlede datasæt blev rapporteret af Miljøstyrelsen til Jupiter primo 2023 og var endelig kvalitetssikret 1. juli 2023. I 2021-22 omfattede pejlestationsnettet i alt 143 indtag fordelt på 134 borer. Den udsatte indsamling af data medførte, at nogle automatiske dataloggere stoppede med at virke i løbet af den forlængede indsamlingsperiode. Datadækningen i 2021 og 2022 er derfor lidt forskellig.



Figur 21. Geografisk fordeling af de 143 pejlestationer, der indgik i Det nationale Pejlenet 2021(A) og 2022(B). Med pink er markeret de 4 af 5 regionalt udvalgte pejlestationer med lange tidsserier overvåget i denne periode.

I 2021 blev 114 indtag logget dagligt (typisk hver 3. time) hele året, 6 indtag blev logget kontinuerligt, men med større huller i dataserien, 14 indtag blev pejlet manuelt nogle få gange i løbet af året, idet de ikke er færdigudbygget som pejlestationer, mens der for 9 indtag ikke foreligger data.

I 2022 blev 103 indtag logget kontinuerligt hele året, 21 indtag blev logget kontinuerligt, men med større huller i dataserien, 13 indtag blev pejlet manuelt nogle få gange i løbet af året, mens der for 6 indtag ikke foreligger data.

Figur 21 viser et kort over pejlenettet i henholdsvis i 2021 og 2022. Det fremgår bl.a., at antallet af pejlestationer med ubrudte dataserier faldt fra 114 i 2021 til 103 i 2022, mens antallet af pejlestationer med større huller i dataserierne steg fra 6 til 21, formodentlig fordi nogle loggere løb tør for strøm eller data-plads i løbet af 2022.

I forhold til den geografiske fordeling af pejlestationerne skal det derudover bemærkes, at der stort set ikke er pejlestationer omkring og syd for København, i Sydvestsjælland, i Trekantområdet, i det østlige Himmerland og omkring det sydfynske Øhav og slet ingen på Lolland. På baggrund af en nærmere analyse af geografiske mangler i pejlenettet (Ditlefsen og Sivertsen, 2022) arbejdes der p.t. på at finde praktiske løsninger til at indhente pejledata fra disse områder, fx via samarbejde med forsyningsselskaber.

Udvikling af grundvandsstanden

Grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand afhænger af balancen mellem grundvandsdannelsen og mængderne af oppumpet grundvand til forskellige formål, se kapitel 3.1. De seneste 100 år har årsnedbøren i Danmark været stigende (Mernild mfl., 2019), se også Appendiks 3.

Ifølge DMI bød 2021 på usædvanligt normalt vejr sammenlignet med referenceperioden 1990-2020. Det gælder også nedbøren, hvor der i 2021 på landsplan faldt 741 millimeter, hvilket er 18 millimeter eller 2,4 % mindre end normalen for perioden. Dog var sommeren 2021 karakteriseret ved ekstra mange skybrud. Desuden sås typiske regionale forskelle med generelt mest nedbør i det vestlige Jylland, mens det var tørrest på Bornholm (DMI, 2023). Da nedbøren og dermed grundvandsdannelsen i 2021 var på et normalt niveau uden store afvigelser, er det valgt ikke at se nærmere på vandstandsudviklingen i 2021 specifikt.

2022 var derimod et tørt og varmt år, hvor der på landsplan faldt 691 mm, hvilket er 68 mm eller 9 % mindre end normalen for perioden (DMI, 2023). Mindre nedbør prægede store dele af året, idet 9 ud af 12 måneder var tørrere end normalt, og kun februar måned kunne karakteriseres som regnfuld med ca. 125 mm nedbør, se Figur 16. Også i 2022 sås de karakteristiske regionale forskelle i nedbørens fordeling, hvilket også afspejles i grundvandsdannelsen, se Figur 17.

For at forstå udviklingen i grundvandsmængden er det vigtigt at skelne mellem effekter fra ændret oppumpning og ændringer i nettonedbør og grundvandsdannelse. Da effekterne af variationer i grundvandsdannelsen forventes at kunne spores først i de overfladenære grundvandsmagasiner, er der i afrapporteringen særlig fokus på vandstandsudviklingen i disse magasiner og her især indtag, som fremstår upåvirket af lokal oppumpning.

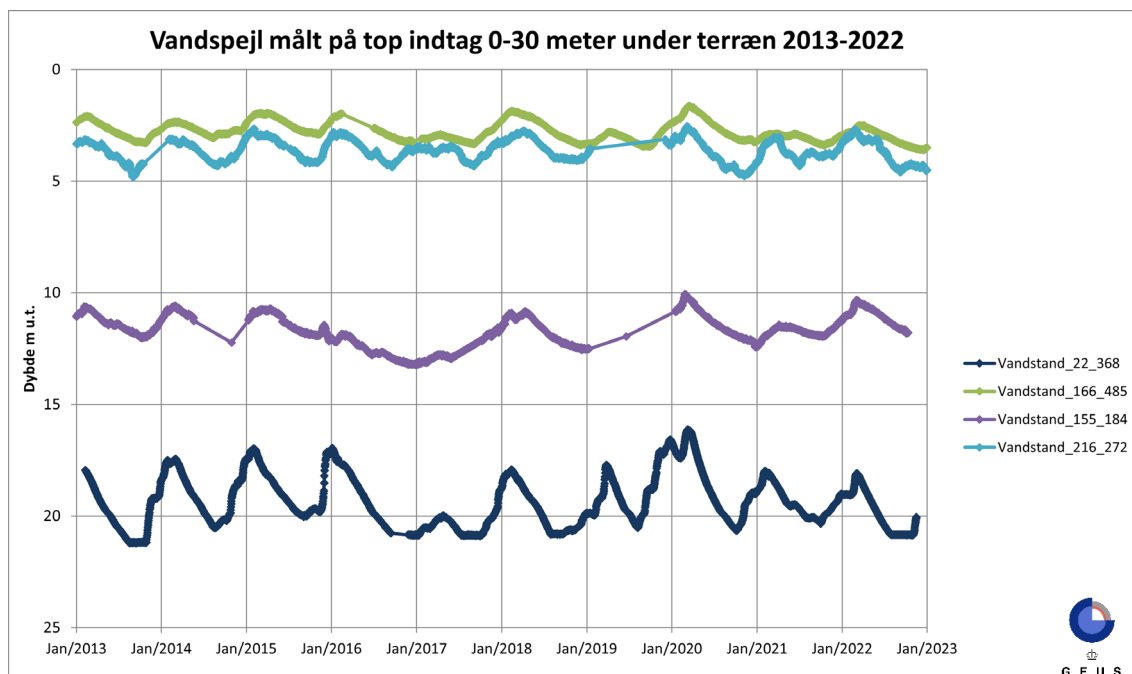
På baggrund af en analyse af pejleseriernes kvalitet (Thorling mfl., 2016) blev der i 2016 udpeget fem regionale terrænnære indtag (0-30 m u.t.) med lange tidsserier:

- | | |
|-----------------|---|
| • Nordjylland | DGU nr. 22.368 indtag 1 (Kalk/kridt, frit magasin) |
| • Midtjylland | DGU nr. 75.1284 indtag 1 (Sand, frit magasin) INGEN data 2021-22 |
| • Sønderjylland | DGU nr. 166.485 indtag 1 (Sand, frit magasin) |
| • Fyn | DGU nr. 155.184 indtag 1 (Sand, spændt magasin) INGEN data i 2019 |
| • Sjælland | DGU nr. 216.272 indtag 1 (Kalk/kridt, spændt magasin) INGEN data i 2019 |

Tidligere vandstandsvariationer i de udvalgte indtag i perioden 1960-2015 er beskrevet i (Thorling mfl., 2016). Analysen af de lange pejletidsserier viser bl.a. effekten af 2 tidligere tørkeperioder i hhv. 1975-76 og 1996.

I seneste datasæt for 2021 og 2022 mangler der imidlertid data for DGU nr. 75.1284, så dette indtag indgår ikke i dette års afrapportering.

Figur 22 viser vandstandsvariationerne i perioden 2013-2023 for de 4 resterende udvalgte indtag. Her ses karakteristiske årstidsvariationer (Thorling mfl. 2018), hvor vandstanden de fleste år stiger i 4. kvartal for at toppe i begyndelsen af det efterfølgende år. Det bemærkes, at minimumsvandstanden ultimo 2022 i 3 af 4 indtag er lavere end de forudgående minima, mens det fjerde indtag (DGU nr. 155.184) mangler data for november og december 2022 og derfor antageligt ikke viser årets minimum vandstand.

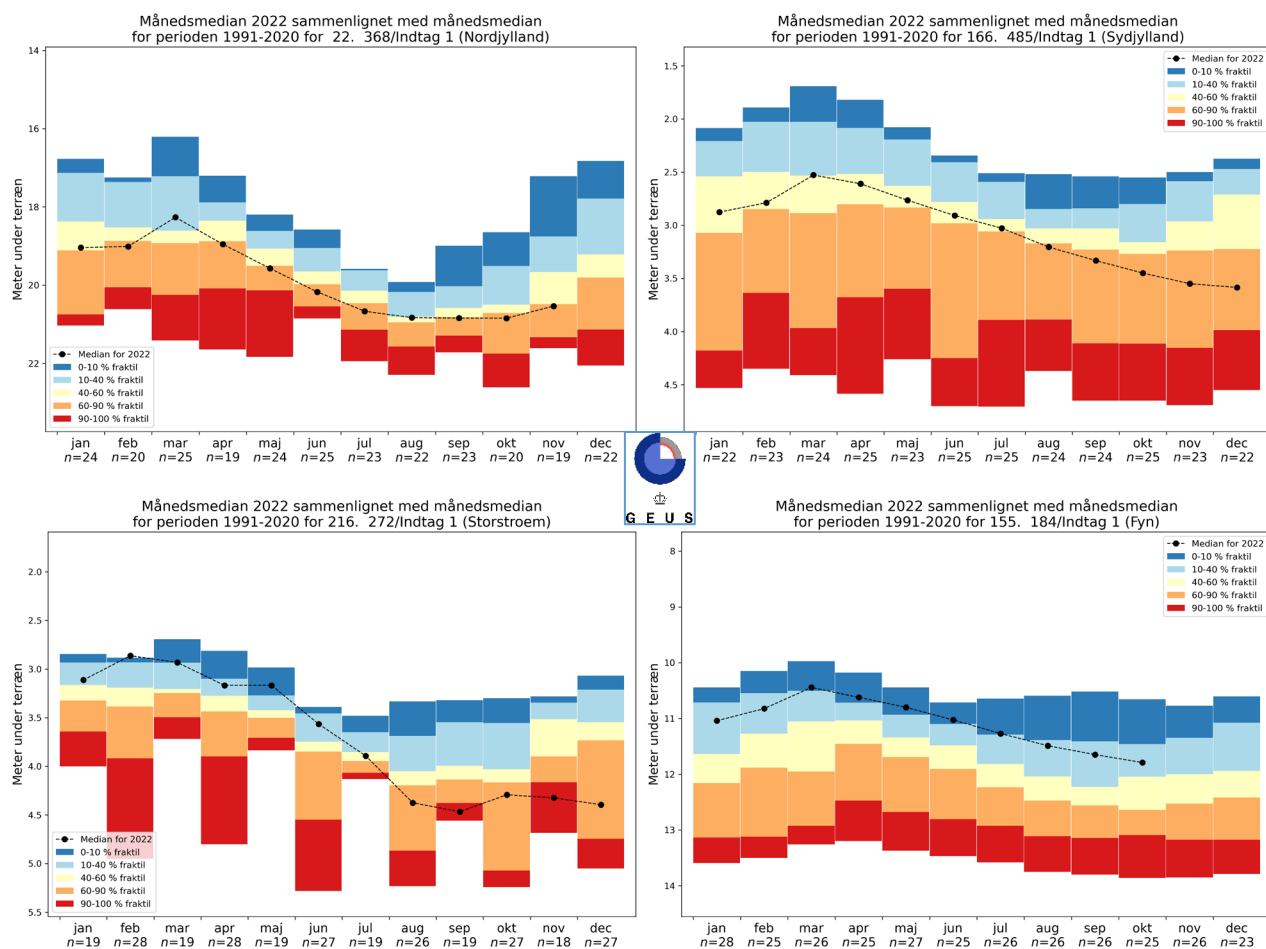


Figur 22. Pejletidsserier (vandstand m u.t.) i 4 udvalgte regionale indtag, 2013-2022, se Thorling mfl. 2016 for en samlet beskrivelse af udviklingen 1960-2015.

Figur 23 viser vandspejlsvariationerne i 2022 i de fire regionale indtag i forhold til variationerne i klimanormalperioden 1991-2020. Figur 23 er udarbejdet efter de samme principper som Figur 16. De enkelte delfigurer viser for hver måned i 2022 en markering af medianværdien af alle pejlinger i det enkelte indtag. Denne månedsmedian sammenlignes med fordelingen af tidligere observationer fra samme indtag for hver måned i klimanormalperioden 1991-2020, idet der beregnes hhv. vandspejl hver måned for 0-10, 10-40, 40-60, 60-90 og 90-100 % fraktiler, der er vist med hver sin farve. Den lysegule farve repræsenterer niveauer omkring medianen (40-60 % fraktilen) for perioden 1991-2020. De røde og orange farver repræsenterer lave grundvandsstande, mens de blå farver viser værdier for høj grundvandsstand i indtagene i forhold til den forudgående periode. Diagrammerne findes også i et større format i bilag 2.

Figur 23 viser, at vandstanden i de udvalgte indtag de første tre måneder af 2022 lå omkring eller over medianen for vandstanden for perioden 1991-2020. I tre af de fire indtag lå vandstanden ved slutningen af 2022 derimod under niveauet (dvs. med en lavere vandstand end 40-60 % fraktilen) for den forudgående klimanormalperiode (1991-2020). Det fjerde indtag på Figur 23 (DGU nr. 155.184-1) mangler data for slutning af året, men synes dog generelt også at være aftagende.

Med henblik på at undersøge om den faldende vandstand mod slutningen af året er en udbredt tendens for 2022, er dette yderligere undersøgt i pejleserier fra 21 indtag, der vurderes at være relativt uforstyrret af omgivende vandindvinding.



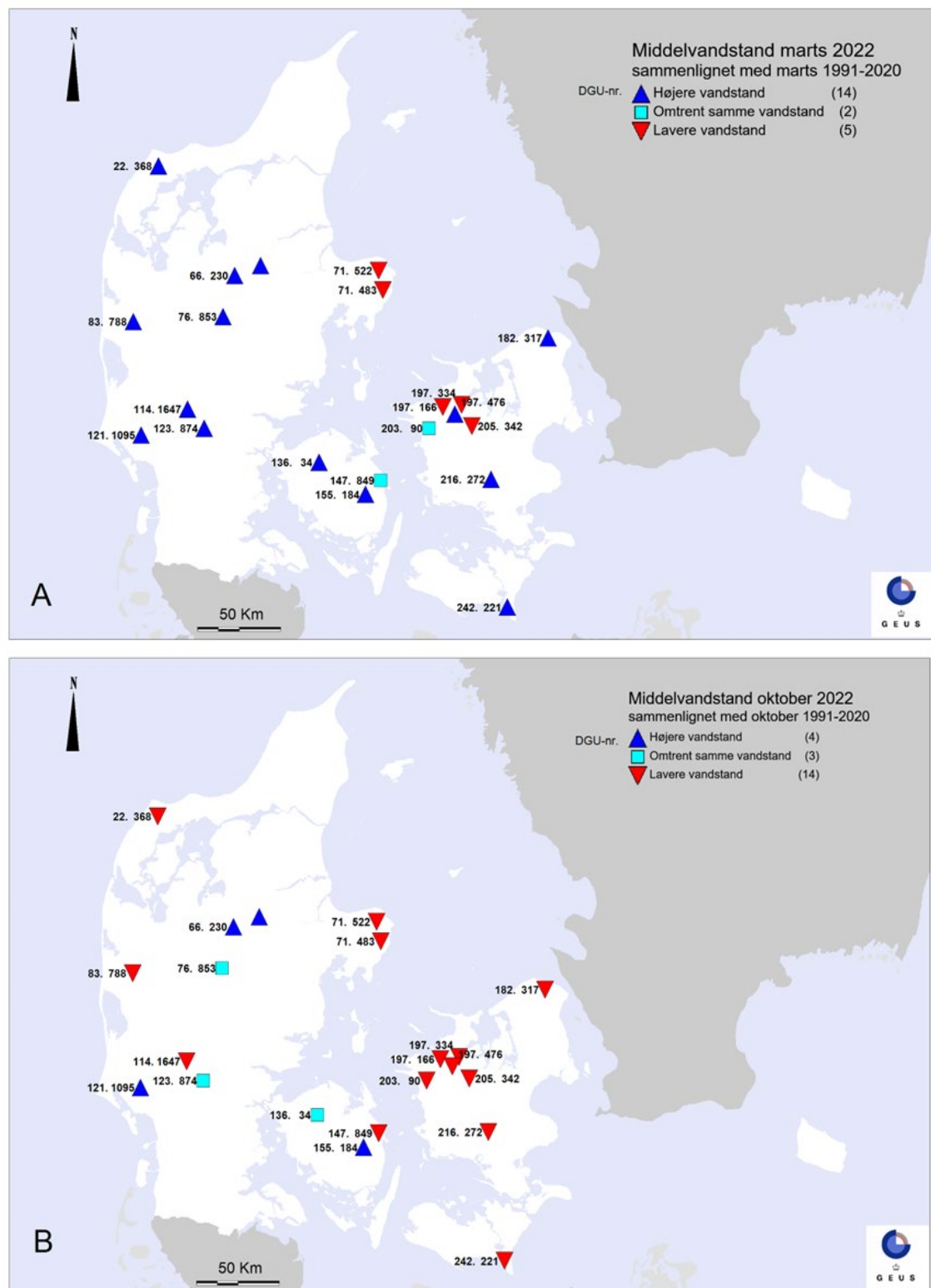
Figur 23. Kurverne viser pejletidsserier (vandstand m u.t.) vist som månedsmedian i 2022 sammenlignet med fordelingen af månedsværdier i klimanormalperioden 1991-2020 vist som kolonner, for 4 udvalgte pejleindtag: DGU-nr. 22.368 i Nordjylland, DGU-nr. 166.485 i Syddjylland, DGU-nr. 155.184 på Fyn og DGU-nr. 216.272 ved Storstrøm. n angiver antal år, der indgår i beregningen af månedsfordelingerne. De enkelte diagrammer findes i et større format i bilag 2.

Figur 24 viser vandstandsafvigelseerne for henholdsvis marts (A) og oktober (B) 2022 i forhold til klimanormalperioden 1991-2020.

Figur 24 viser, at i marts lå vandstanden i blot 5 af 21 indtag dybere end marts-vandstanden for klimanormalen 1991-2020, mens 14 af 21 indtag lå dybere end vandstanden for klimanormalen i oktober 2022.

Dette synes at stemme med DMI's beskrivelse af nedbørsforholdene i 2022, der var et varmt og tørt år, Mindre nedbør prægede store dele af året, idet 9 ud af 12 måneder var tørrere end normalt, og kun februar måned kunne karakteriseres som regnfuld (DMI, 2023). Således synes effekten af det tørre år 2022 at kunne ses i en række af de undersøgte indtag.

I tidligere rapporter (Thorling mfl. 2020 og Thorling mfl. 2021) er der på tilsvarende vis som i Figur 24 beskrevet effekter på vandstanden som følge af enkelte særligt våde og særligt tørre år. I de tidligere eksempler ses disse effekter i løbet af 1-2 år at været udjævnet, så vandstanden er tilbage på niveauet før hændelsen.

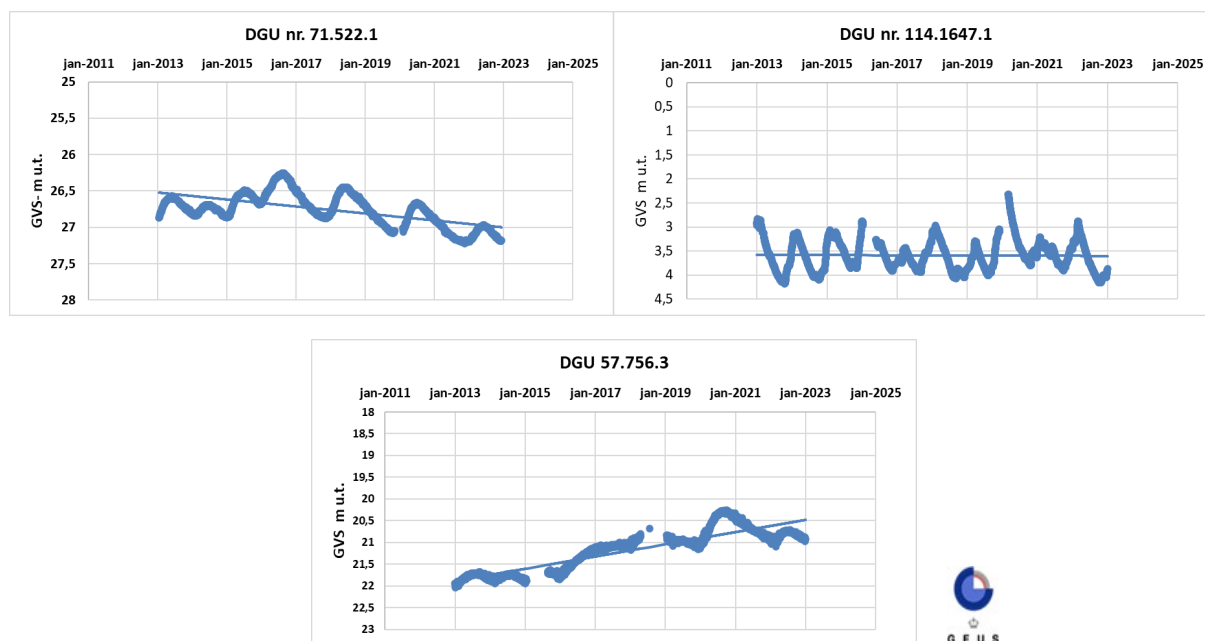


Figur 24. Vandstandsafvigelserne for henholdsvis marts (A) og oktober (B) 2022 i forhold til klimanormalperioden 1991-2020.

Regionale langtidstrends

Det er også vigtigt at undersøge, om der forekommer længerevarende variationer/trends i grundvandsstanden, når grundvandets kvantitative tilstand vurderes, og ikke alene undersøge effekten af enkelte tørre eller våde år.

I et forsøg på at belyse længerevarende trends i grundvandsstanden er 21 pejleindtag udvalgt, som har lange pejleserier og som forekommer upåvirkede af lokal oppumpning af grundvand. Den generelle udvikling i vandstanden de seneste ca. 10 år (2012-22) er undersøgt ved hjælp af lineær regression. Figur 25 viser eksempler på tre af de undersøgte pejetidsserier med henholdsvis faldende, uændret og stigende vandstand.



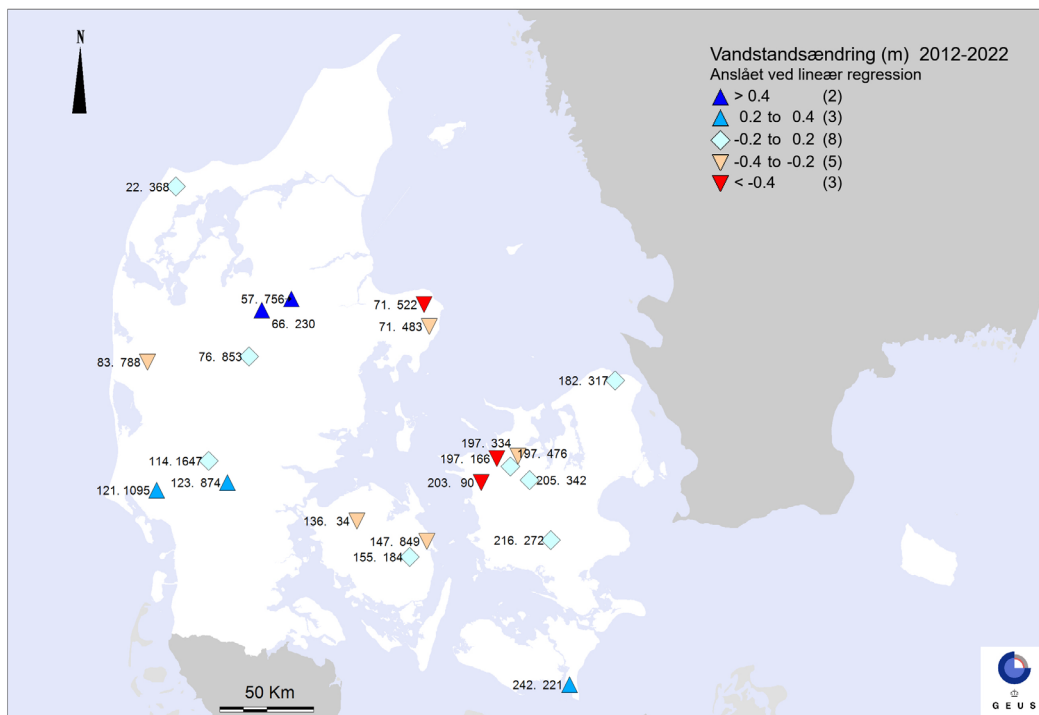
Figur 25. Eksempler på lineær regression af vandstand over 10 år for udvalgte pejleserie med henholdsvis aftagende, uændret og stigende vandstand.

Figur 26 viser et geografisk plot af de fundne 10-års tendenser. Generelt har de fleste indtag små ændringer (+/- 20 cm) over de seneste 10 år. Vandstandsændringer på mere end 20 cm ses overvejende i form af stigende vandstand i det vestlige og centrale Jylland, mens der i resten af landet overvejende ses faldende vandstand over de seneste 10 år.

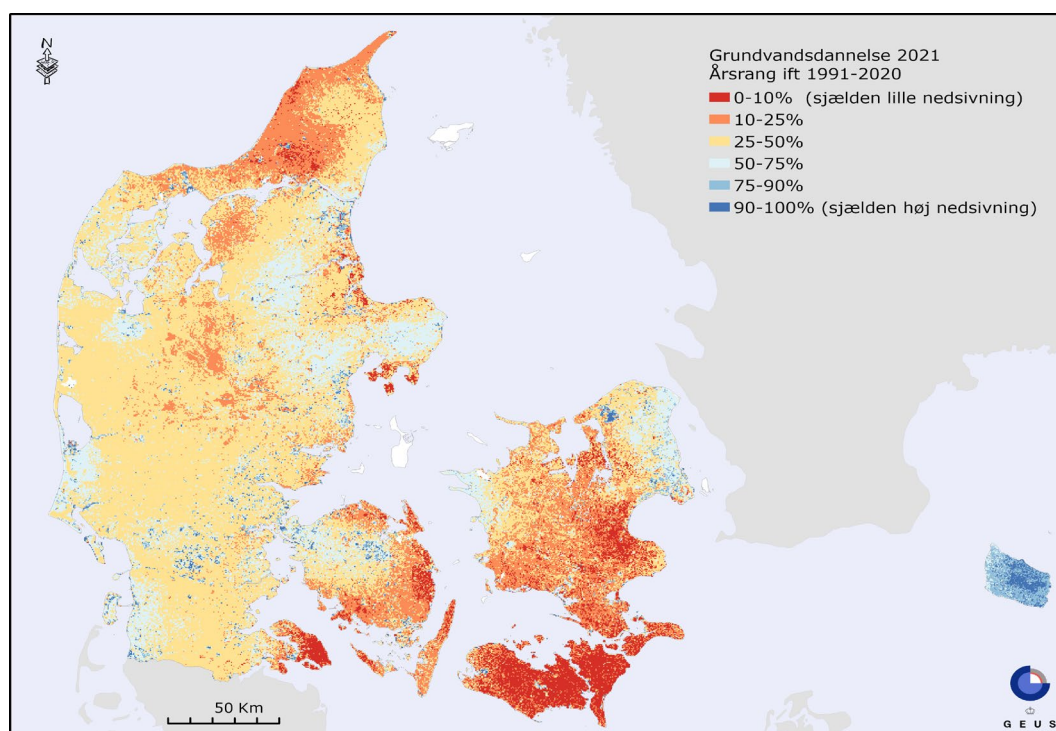
Det skal dog bemærkes, at datasættet er relativt begrænset og stedvist mangler datapunkter samt at ændringerne generelt er små. Det antyder således blot en mulig tendens, som umiddelbart stemmer overens med fordelingen af grundvandsdannelsen i hhv. 2021 og 2022 sammenlignet med grundvandsdannelsen de foregående ca. 30 år. Således viser beregninger for 2021 (der samlet set havde normal nedbør) dels en højere grundvandsdannelse mange steder i Midt- og Vestjylland og på Bornholm dels en lavere grundvandsdannelse i den sydøstlige del af landet samt i det vestlige Vendsyssel sammenlignet med grundvandsdannelsen de foregående 30 år, se Figur 27.

Samme geografiske fordeling ses overordnet i 2022 (der var et tørt år), hvor grundvandsdannelsen centralt i Midtjylland lå omkring det normale (50 % fraktilen) for de forudgående 30 år, mens der i Syd- og Østdanmark (bortset fra Bornholm) var en reduceret grundvandsdannelse i forhold til den forudgående periode, se Figur 17.

Ovenstående antyder således, at der gemmer sig karakteristiske regionale forskelle i de observerede trends for de seneste 10 år. For at undersøge dette nærmere kræves dog en tættere dækning med flere strategisk placerede pejleindtag med lange upåvirkede pejleserier, som muligvis findes hos nogle af de større vandforsyninger.



Figur 26. Vandstandsændringer (m) i perioden 2012-2022 i indtag, der vurderes som upåvirkede af vandindvinding.



Figur 27. Den geografiske af fordeling af grundvandsdannelse for 2021 opgjort som fraktiler af hele perioden (10% fraktilen svarer til den tredje laveste grundvandsdannelse i perioden, mens 90% fraktilen svarer til den tredje største grundvandsdannelse i perioden).

Referencer: Det Nationale Pejleprogram

Vejledninger mv.

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2023: Dataansvarsaftalen, https://miljoeportal.dk/media/1395/dataansvarsaftalens-bilag-3-om-grundvand-revideret-maj-2020_ver20200616.pdf (9-2-2024)

Andre referencer:

Ditlefsen C. og Sivertsen, J. (2022): Datakvalitet og stationsfordeling i Det nationale Pejlenet. Intern rapport GEUS.

DMI, 2023: <https://www.dmi.dk/vejarkiv/normaler-danmark/> (9-2-2024)

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 www.geus.dk/media/7937/geus-rapport-om-implementering-af-model-ler-til-brug-for-vandforvaltning2014_74.pdf (9-2-2024)

Henriksen, H., Stisen, S., Trolborg, L., He, X & Jørgensen, LF. 2015: Analyse af øget vandindvinding til markvanding. GEUS rapport 2015/29. https://www.geus.dk/media/7936/geus-rapport-om-oegget-vandindvinding-til-markvanding29_2015.pdf (9-2-2024)

Hvid, S. Kolind, 2011: Videncenter for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (9-2-2024)

Mernild, S. H., Christensen J.H., Cappelen, J. (2019): Nedbørsekstremer og regnfattige somre. Aktuell Naturvidenskab Nr. 2 2019, 8-12.

Stisen, S., Ondracek, M., Trolborg, L., Schneider, R.J.M., van Til, M.J., 2019: National Vandressource Model – Modelopstilling og kalibrering af DK-model2019. GEUS-rapport 2019/31. GEUS 2019 https://data.geus.dk/pure-pdf/32631_GEUS_R_2019_31_opt.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. https://www.geus.dk/media/6777/q03_pejlinger.pdf (9-2-2024)

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. <https://www.geus.dk/Media/9/C/q-o-2010.pdf> (9-2-2024)

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. <https://www.geus.dk/Media/8/B/q-o-2015.pdf> (9-2-2024)

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. <https://www.geus.dk/media/7921/grundvand1989-2016-endelig-momsilag.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2020: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2018. Teknisk rapport, <https://www.geus.dk/media/8321/grundvand1989-2018-rettet.pdf> GEUS 2020. (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C. N., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2019. Teknisk rapport, <https://www.geus.dk/Media/2/1/Grundvandsoverva%C3%A5ning%201989-2019.pdf> GEUS 2021. (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C. N., Ditlefsen, Hansen, B., Johnsen, A.R., Kazmierczak, J. og Trolborg, L. 2023: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2021. Teknisk rapport, GEUS 2023. https://www.geus.dk/Media/638175711147491678/Grundvand1989-2021_rev.pdf (9-2-2024)

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (9-2-2024)

DMI's hjemmeside: www.dmi.dk (9-2-2024)

EEA's hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (9-2-2024)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (9-2-2024)

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 nogle steder kun findes tæt på terræn og andre steder ned til mere end 100 m u.t. Udbredelsen af nitrat i grundvandsmagasinerne er størst, hvor beskyttelsen af magasinerne fra øvre lerlag 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 i oplandet*
- *Graden af 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 nitraten fra udvaskningen ikke omsat, og derfor kan nitratkoncentrationen direkte sammenlignes med nitratudvaskningen fra rodzonen. Datering af det iltholdige grundvand muliggør, at transporttiden for nitrat fra rodzonen til indtaget med det iltede grundvand kan vurderes, se appendiks 3.2. Derved kan tidspunktet for udvaskning af kvælstof fra landbrugsarealerne direkte relateres til de målte nitratkoncentrationer i det iltede grundvand. Med denne metode er det dermed muligt at vurdere effekten af de nationale handlingsplaner, som har til formål at reducere udvaskningen af nitrat fra landbrugsarealerne og dermed bl.a. indholdet af nitrat i grundvandet.

Målsætning

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 EU's grundvandsdirektiv fastsat et grundvandskvalitetskrav på 50 mg/l svarende til kvalitetskravet for indholdet af nitrat i drikkevand i EU's drikkevandsdirektiv.

Nitrat i grundvandet stammer langt overvejende fra nitratudvaskning fra landbrugsarealer. Hensynet til en tilfredsstillende grundvandskvalitet er én af årsagerne til kvælstofregulering af landbruget. Reguleringen er sket i form af nationale handlingsplaner siden 1985 og ved udarbejdelse af kommunale indsatsplaner for beskyttelse af grundvandet i forbindelse med Den Nationale Grundvandskortlægning, som startede i 2000. Her er ca. 17 % af Danmarks areal udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder for drikkevand i 2022. I Danmark er der gennem årene udarbejdet nitratbehandlingsprogrammer gældende for hele landet som led i implementeringen af nitratdirektivet.

4.1 Sammenligning af datasæt

Det samlede datagrundlag

Der udtages vandprøver fra indtag fra tre forskellige typer af borer: GRUMO-, LOOP- og vandforsyningsboringer. 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.t. LOOP-indtagene findes i korte, overfladenære borer etableret for at følge udvaskning af nitrat til højtliggende grundvand under dyrkede arealer. Data fra vandforsyningsboringerne stammer fra den lovpligtige boringskontrol. Dybdefordeling for indtagene i LOOP-, GRUMO- og vandforsyningsboringer er diskuteret i Appendiks 2.

Rapporteringen om nitrat i grundvandet er baseret på 1) det seneste prøvetagningsår (2022) og 2) en periodeopgørelse for den seneste 5-årsperiode (2018-2022). Periodelængden på fem år er valgt, fordi boringskontrollen for vandforsyningsboringer 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 samme indtag.

Tabel 6 viser antallet af prøver analyseret for nitrat i GRUMO- og LOOP-indtag samt vandforsyningsboringer i de seneste fem år (2018-2022). Antallet af prøver i 2022 afspejler, at der er prøvetaget for nitrat med operationel overvågning og overvågning i multifilterboringer kaldet redoxboringer. Der er prøvetaget 162 redoxindtag fordelt på 5 redoxboringer og 6 boringer ved Rabis bæk i 2022, der er rapporteret i kapitel 4.5 og bilag 9 og samtidigt indgår i databehandlingen i kapitel 4.2 om nitrat. Redoxboringerne prøvetages typisk hvert 3. år, med 1-3 prøvetagninger i løbet af året.

Prøvetagningsfrekvens

Tabel 6 viser omfanget af prøver for nitrat i 2022 i grundvandsovervågningen. Der er udtaget 1.169 prøver fra 1.027 GRUMO-indtag, heraf 162 redoxindtag, se kapitel 4.5. 955 indtag er prøvetaget én gang, og derudover er 3 indtag prøvetaget 2 gange og 69 indtag er prøvetaget 3 gange i 2022. I LOOP er der indsamlet i alt 349 prøver i 2022, fra 88 LOOP-indtag. Prøvetagningsfrekvensen varierer for LOOP-indtagene, idet indtag med nitratholdigt grundvand almindeligvis prøvetages seks gange om året, mens indtag med reduceret, nitratfrit grundvand oftest prøvetages én gang om året. I 2022 er der 1.934 prøver fra 1.800 vandforsyningsboringer, hvoraf de fleste indtag er prøvetaget én gang.

I perioden fra 2018-2022 er der analyseret for nitrat i 17.252 prøver fra i alt 7.451 indtag, som er fordelt på 1.242 GRUMO-indtag (prøvetaget én til 9 gange), 92 LOOP-indtag (prøvetaget 2 til 31 gange) og 6.117 vandforsyningsboringer (prøvetaget én til 16 gange).

Tabel 6. GRUMO, LOOP & Vandforsyning. Antal prøver analyseret for nitrat fra GRUMO-indtag, LOOP-indtag og vandforsyningsboringer for hvert år og den samlede periode 2018-2022. I parentes er vist antallet af indtag i løbet af sidste periode og for hele 5-års-perioden.

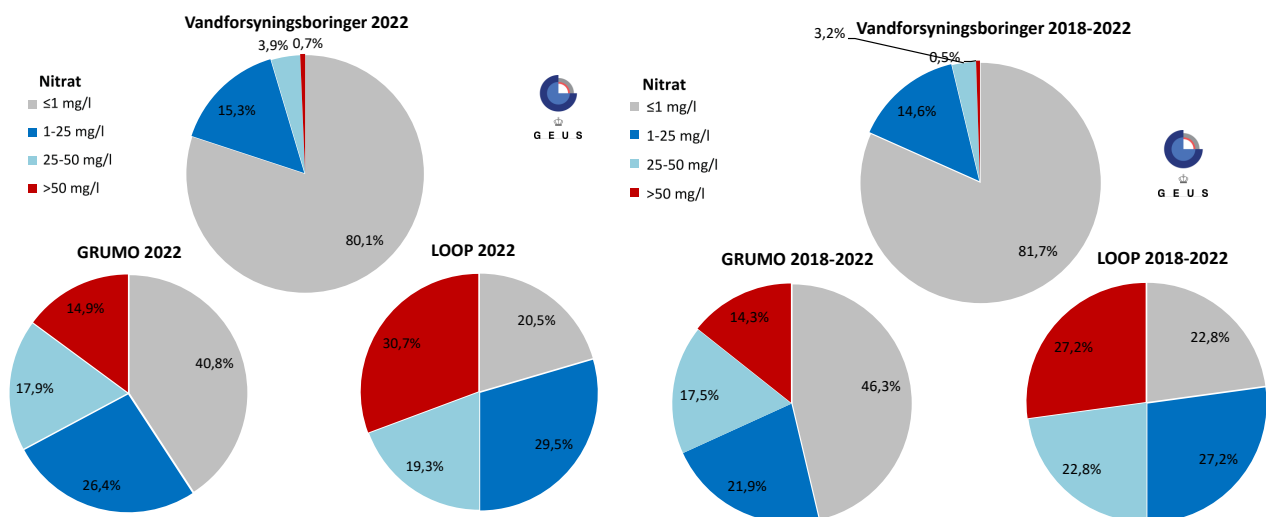
Årstal	Antal prøver (antal indtag)			
	GRUMO	LOOP	Vandforsyningsboringer	I alt
2022	1.169 (1.027)	349 (88)	1.934 (1.800)	3.452 (2.915)
2021	1.089	382	2.076	3.547
2020	979	368	1.919	3.266
2019	1.053	392	2.071	3.516
2018	1.102	337	2.032	3.471
2018-2022	5.392 (1.242)	1.828 (92)	10.032 (6.117)	17.252 (7.451)

Fordeling af nitrat

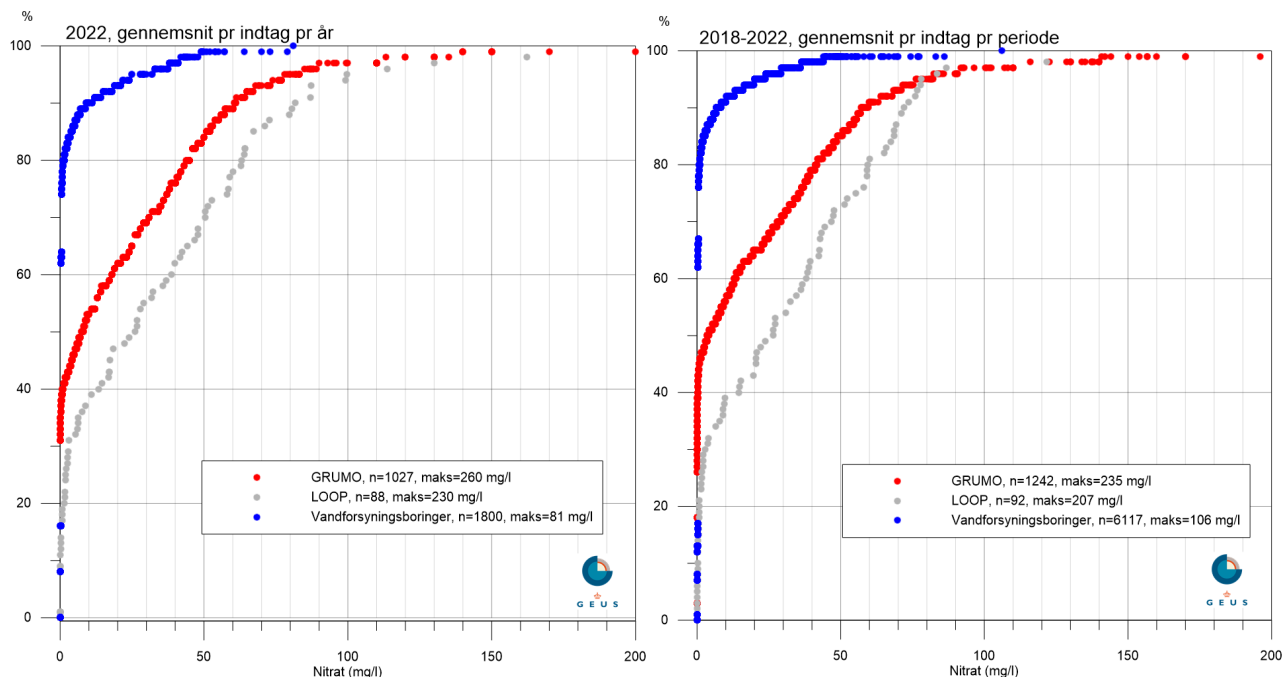
Figur 28 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag analyseret i 2022 og i perioden 2018-2022. Nitratindeholdet er opdelt i koncentrationsintervaller for tre datatyper: LOOP, GRUMO og vandforsyningsboringer.

I 2022 er der et gennemsnitligt nitratindehold over 50 mg/l i hhv. 30,7 % og 14,9 % af LOOP- og GRUMO-indtagene. For grundvand i vandforsyningsboringer er den tilsvarende andel 0,7 %. I 2022 er der fundet nitratholdigt grundvand med >1 mg/l nitrat i hhv. 79,5 %, 59,2 % og 19,9 % af de prøvetagede indtag i hhv. LOOP- og GRUMO-indtag og vandforsyningsboringer.

Figur 29 viser fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold på indtagsniveau i grundvandet i 2022 og i perioden 2018-2022 i hhv. GRUMO-, LOOP-indtag og vandforsyningsboringer, præsenteret som kumulerede frekvenser i %, se Appendiks 1.2.



Figur 28. GRUMO, LOOP & Vandforsyning. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag i 2022 for 1.027 GRUMO-indtag, 88 LOOP-indtag og 1.800 vandforsyningsboringer og i perioden 2018-2022 for 1.242 GRUMO-indtag, 92 LOOP-indtag og 6.117 vandforsyningsboringer.



Figur 29. GRUMO, LOOP & Vandforsyning. Koncentrationsfordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold i grundvandet i 2022 (venstre del af figuren) og i perioden 2018-2022 (højre del af figuren) i alle indtag fra GRUMO- og LOOP-indtag og vandforsyningsboringer med koncentrationer under 200 mg/l. Antallet af indtag og maks. koncentration af nitrat for hvert datasæt fremgår af signaturforklaringen.

Både Figur 28 og 29 viser, at i GRUMO-indtagene, LOOP-indtagene og vandforsyningsboringerne ligger fordelingen af nitratkoncentrationer i 2022 på samme niveau som i seneste 5-års-periode.

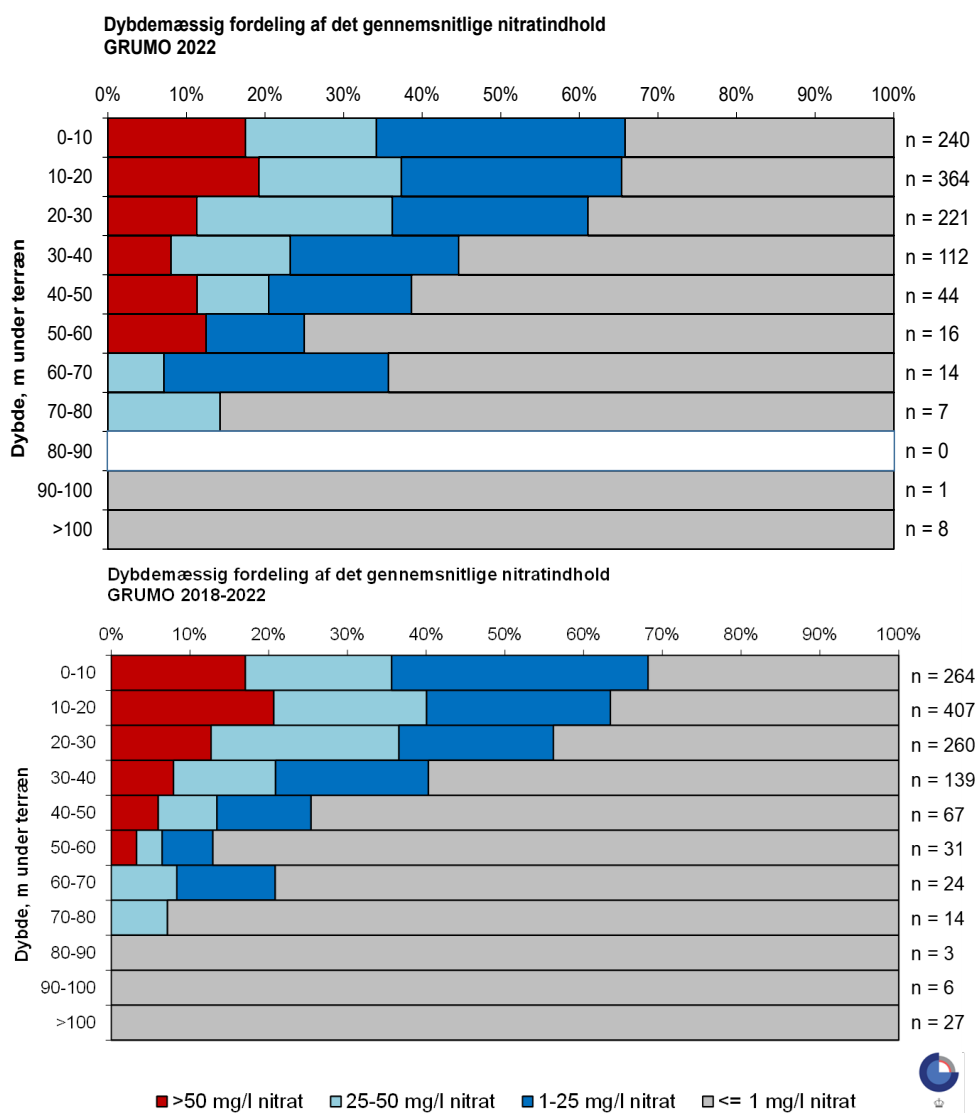
Det ses også, at for hver af de tre datagrupper er der en mindre andel af indtag med høje nitratkoncentrationer, som kan identificeres, der hvor kurverne flader ud. En anden delpopulation af data kan identificeres der, hvor kurverne skærer y-aksen ved $x=1$ mg/l, og udgør den andel af indtagene, der indeholder nitratfrit grundvand. Nitratfrit grundvand (defineret som nitrat ≤ 1 mg/l) findes i 2022 i 40,8 %, 20,5 % og 80,1 % af indtagene i hhv. GRUMO-indtag, LOOP-indtag og vandforsyningsboringer, se også Figur 28.

Forskellene mellem de tre datasæt er hovedsageligt et resultat af forskelle i dybdefordelingen og også længden af indtagene i borerne i de forskellige stationsnet (se Figur 30, Figur 37 og Figur 39, samt Appendiks 2). Det spiller også ind, at GRUMO-indtagene og vandforsyningsboringerne overvåger nitratudvaskningen fra et større geografisk område end LOOP-indtagene.

4.2 Grundvandsovervågning

Status for nitrat

Figur 30 viser fordelingen af nitrat i GRUMO-indtagene i 2022 og i perioden 2018-2022 opdelt på dybdeintervaller à 10 m og i fire koncentrationsklasser (≤ 1 , 1-25, 25-50 og > 50 mg/l). I dybdeintervallet 0-10 m u.t. er koncentrationen af nitrat i grundvandet over 50 mg/l i ca. 18 % af indtagene og over 25 mg/l i ca. 34 % af indtagene i 2022. Nogenlunde samme koncentrationsniveauer findes for perioden 2018-2022, hvor de tilsvarende værdier ligger på hhv. 17 og 36 %.

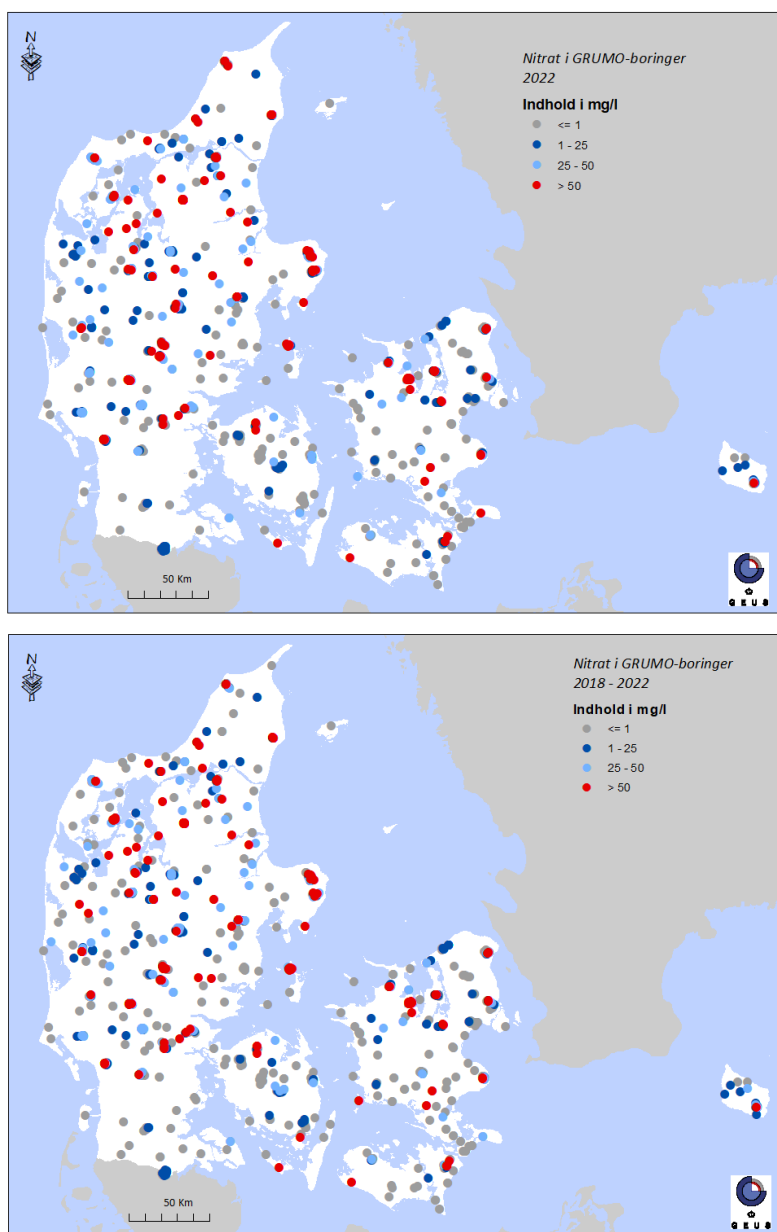


Figur 30. GRUMO. Dybde-mæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratinhold i forhold til top af indtag i m u.t. i 1.027 og 1.242 GRUMO-indtag for hhv. 2022 og perioden 2018-2022, opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren (n).

Der ses et gradvist fald i nitratinholdet med dybden med omtrent det samme mønster i 2022 som i perioden 2018-2022. Det gradvise fald, hvor den relative andel af indtag i reduceret grundvand stiger med dybden (andel med nitratkonzentration ≤ 1 mg/l), skyldes et samspil af flere faktorer, hvoraf den vigtigste er nitratreduktion, idet sandsynligheden for reducerende forhold øges med dybden.

Antallet af indtag falder også med dybden med den største andel (ca. 96 %) af indtag i de øverste 50 m, således at antallet af GRUMO-indtag dybere end 50 m's dybde kun udgør omkring 4 % af alle indtagene, der er prøvetaget i 2022, se også Figur 78. Fra 60 m u.t. er der ingen indtag med en gennemsnitlig nitratkonzentration over 50 mg/l i GRUMO-indtag i 2022 og i perioden 2018-2022. Der er ingen målinger i intervallet fra 80-90 m u.t. og fra omkring 90 m u.t. ligger nitratkonzentrationen generelt under 1 mg/l.

Figur 31 viser den geografiske fordeling af nitratinholdet for GRUMO-indtag i hhv. 2022 og 2018-2022. Det ses, at nitrat optræder i koncentrationer over kvalitetskravet jævnt fordelt i hele landet.

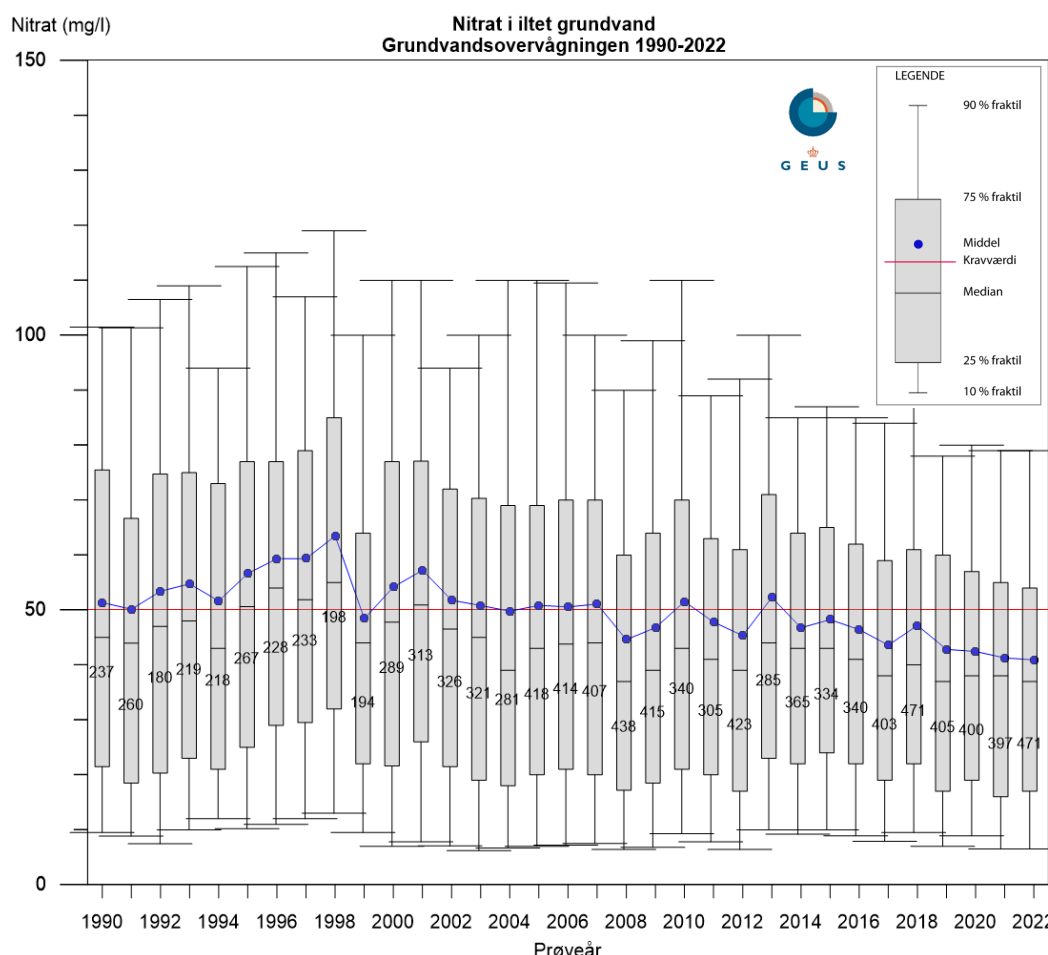


Figur 31. GRUMO. Gennemsnitligt nitratinhold i grundvandet i GRUMO-indtag 2022 (øverst) og 2018-2022 (nederst). Nitratinholdet i de hhv. 1.027 og 1.242 indtag er opdelt på fire koncentrationsklasser. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 32 viser udviklingen i fordelingen af det iltholdige grundvands nitratindehold i GRUMO-indtag fra prøvetagningsårene 1990-2022. Indtag med iltholdigt grundvand er identificeret ved hjælp af algoritmen i bilag 3 (se også Appendiks 3, Figur 85). Figuren er baseret på det gennemsnitlige årlige nitratindehold pr. indtag. Omkring 46 % (471 indtag) af de prøvetagede GRUMO-indtag i 2022 indeholdt iltholdigt grundvand, mens ca. 59 % (608 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 % fraktillerne samt gennemsnitsværdi og kvalitetskrav er vist.

Figuren udtrykker nitratindeholdet i grundvandet på prøvetagningstidspunktet og afspejler ikke en egentlig tidslig udvikling af 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 3.2.

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 prøver fra 1996-1998. De sidste 9 prøvetagningsår har gennemsnitsværdien af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand ligget under kvalitetskravet på 50 mg/l, og der er en tendens til, at såvel 75 % som 90 % fraktilen er faldende, og dermed at færre indtag viser meget høje koncentrationer. I 2022 ligger de gennemsnitsværdi af nitrat i det iltholdige grundvand på ca. 41 mg/l og medianværdien på ca. 37 mg/l.



Figur 32. GRUMO. Tidsserie for nitratindeholdet i iltholdigt grundvand i GRUMO-indtag vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2022. Figuren er baseret på det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag pr. år. Antal af prøvetagede indtag med iltholdigt grundvand er angivet for hvert år.

Tidslig udvikling i iltet grundvand

Udviklingen i nitratindeholdet i grundvandet vurderes på baggrund af GRUMO-indtag med iltholdigt grundvand sammenholdt med grundvandets dannelsesår. Datering af nitratholdigt grundvand bruges til at estimere grundvandets dannelsesår, og dermed nitratens transporttid fra rodzonen til indtaget i grundvandet, hvor prøven udtages. Dermed kan det estimerede tidspunkt for udvaskning af kvælstof fra landbruget direkte relateres til de målte nitratkoncentrationer i iltet grundvand, og herved kan effekten af indsatser i de danske miljøhandlingsplaner for nedbringelse af nitratudvaskningen evalueres. Reelt er det, som man måler, transporttiden fra grundvandsspejl og frem til indtaget, idet transporttiden gennem den umættede zone negligeres. Dateringsmetoderne er beskrevet i Appendiks 3.2.

Der blev i forbindelse med rapporteringen i 2022 gennemført analyser af udviklingen i nitratindeholdet i grundvandet med data fra 1990-2021. Trendanalyserne fra 2022 er til denne rapport gentaget med inddragelse af data fra 2022. Figur 33 viser det 5-års glidende gennemsnit for nitratindeholdet i iltet grundvand baseret på 8.371 prøver fra 428 GRUMO-indtag. Disse indtag er dateret med CFC-metoden i perioden fra 1997-2006 og/eller med $^3\text{H}/^3\text{He}$ - (tritium-helium)metoden i perioden fra 2013-2020. Dateringerne anvendes i en prioriteret rækkefølge til beregning af dannelsesåret for grundvand. Hvis et indtag er dateret med begge metoder, anvendes $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen, når denne er mindre end 15 år og prøvetagningsåret for CFC-dateringen ligger efter 2013, da $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden vurderes til at have størst sikkerhed. Det skyldes, at CFC-metoden ikke længere er anvendelig til datering af det yngste grundvand, da koncentrationerne i atmosfæren af CFC-gasserne er faldet efter det globale forbud i Montreal Protokollen. Hvis der findes flere dateringer fra samme indtag, anvendes et gennemsnit baseret på begge metoder. Indtag med flere dateringer, der samtidigt har vekslende redoxforhold, indgår ikke i analysen.

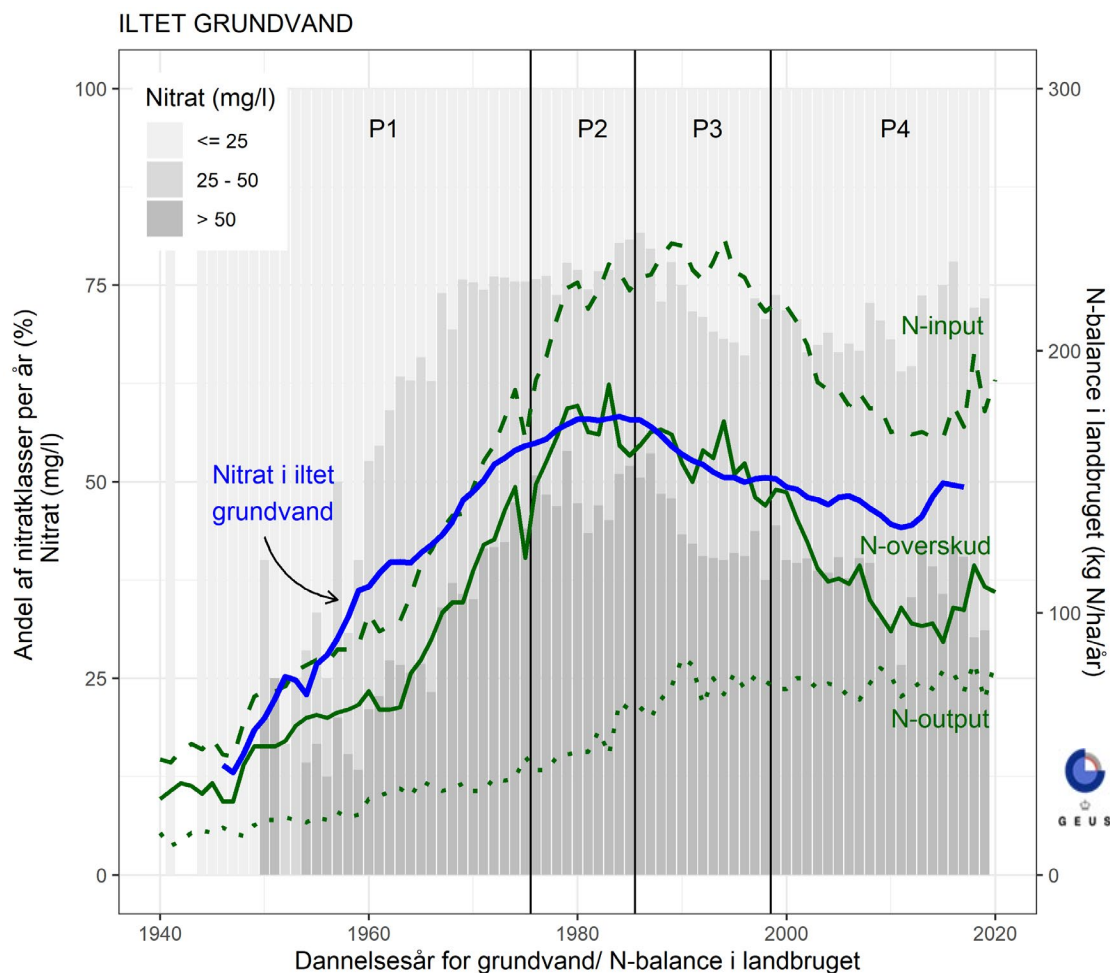
Figur 33 viser det 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationerne i iltholdigt grundvand inddelt i fire perioder som i en tidligere analyse (Thorling mfl., 2016; Hansen & Larsen, 2016 og Hansen mfl., 2017): 1. periode 1940-1975, 2. periode 1976-1985, 3. periode 1986-1998 og 4. periode 1998-2020. Perioderne er fastlagt på baggrund af den overordnede udvikling i nitratindeholdet i iltet grundvand og tidspunktet for igangsættelse af en række af vandmiljøhandlingsplaner. I 1. periode er nitratindeholdet kraftigt stigende og i 2. periode nås et maksimum omkring det tidligere fundne knæpunkt i 1983 (Thorling mfl., 2010a; 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), Grøn vækst (2009), Vandplan I (2014), Fødevarer- og Landbrugspakken (2015) og Vandplan II (2016) er initialiseret i 4. periode.

Figur 33 viser også N-overskuddet i dansk landbrug beregnet på baggrund af data fra Danmarks Statistik fra den primære danske landbrugssektor (personlig meddelelse: Tommy Dalgaard, Institut for Agroøkologi, AU). N-overskuddet er her defineret som forskellen mellem kvælstofimport til Danmark (syntetisk gødning, foder til dyr, organiske restprodukter, atmosfærisk deposition og fiksering) og kvælstofeksport (vegetabiliske og animalske produkter). Dermed er N-overskuddet 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, bl.a. at kvælstofoverskuddet har været stigende fra 1940'erne og frem til ca. 1983.

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, som også vist i Hansen og Larsen (2016) og Hansen mfl. (2017). Der ses en tendens til stagnation i N-overskuddet i perioden 2012-2015 på ca. 90-96 kg N/ha/år nogenlunde samtidig med stagnationen i nitratindeholdet i iltet grundvand i perioden 2009-2013 på ca. 45-46 mg/l. Tendensen til stagnationen i nitratindeholdet i iltet grundvand er derfor en anelse tidligere end N-overskuddet, hvilket kan skyldes 1) usikkerhed i dateringen af det meget unge grundvand, 2) usikkerhed i beregningen af det årlige kvælstofoverskud og 3) sammenligningen af årlige kvælstofoverskud med et 5-års glidende middelindehold af nitrat i iltet grundvand.

I de seneste år ses en tendens til en stigning i både nitratindeholdet i iltet grundvand og N-overskuddet i landbruget efter indførsel af Fødevarer- og Landbrugspakken fra 2016. Den procentuelle stigning i nitratindeholdet i iltet grundvand fra 2010-2012 (årlige middel: ca. 44 mg/l) til 2016-2018 (årlige middel: ca. 49 mg/l) ligger på ca. 11 %. Denne observerede stigning er på niveau med den faglige prognose fra 2016 af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof som følge af

Fødevarer- og Landbrugspakken (Hansen og Larsen, 2016). Ved sammenligning med kvælstofbalancen beregnet på markniveau på baggrund af data fra Landovervågningen (Blicher-Mathiesen, 2024) ses også en tendens til en stigning i perioden 2016-2018 dog efterfulgt af et fald i markoverskuddet af kvælstof frem til 2022.



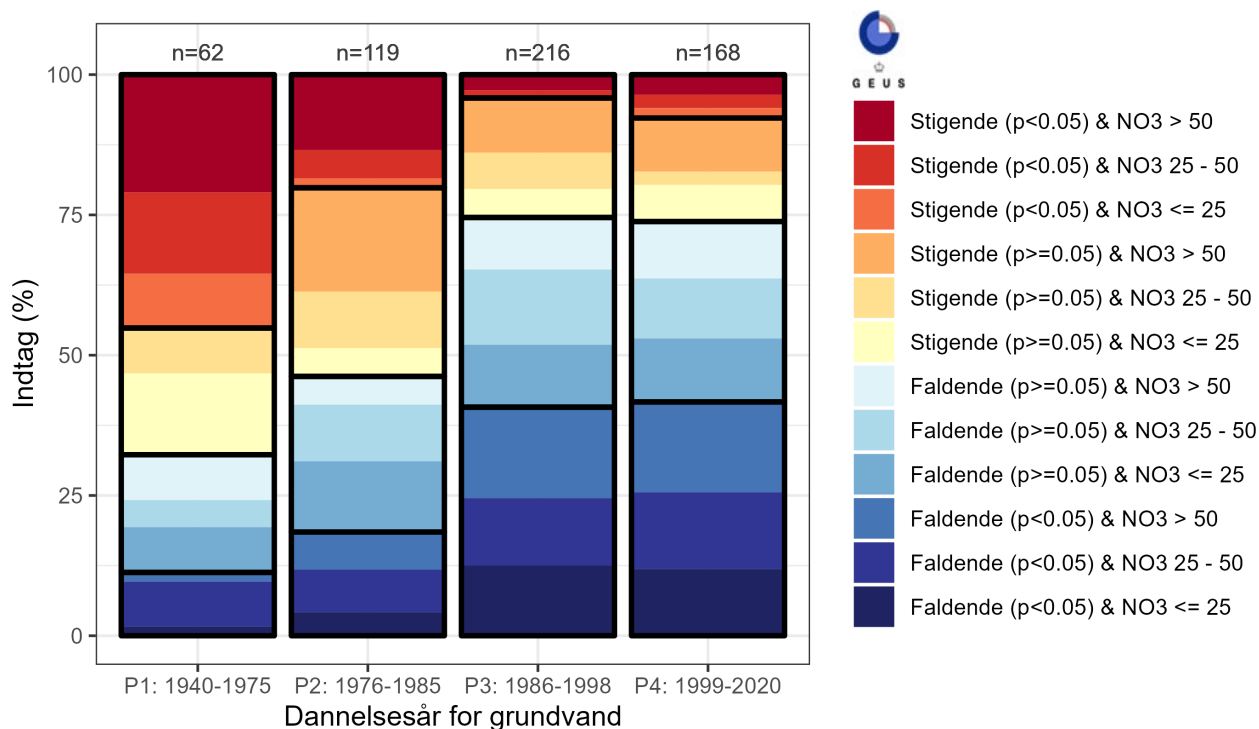
Figur 33. GRUMO. Udviklingen i nitrat i iltet grundvand: 5-års glidende gennemsnit af nitratkoncentrationen i iltet grundvand (blå linje). Andel af prøver i tre nitratklasser (>50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) som funktion af grundvandets dannelsesår. Figuren er baseret på 8.371 prøver fra 428 iltede, daterede indtag udtaget i perioden 1990-2022. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten. De årlige kvælstofbalancer (N-input, N-output og N-overskud) for landbruget er beregnet for den primære danske landbrugssektor (personlig meddelelse: Tommy Dalgaard, Institut for Agroøkologi, AU).

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 6.193 prøver fra 364 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst otte år i de enkelte delperioder. I alt 565 tidsserier indgår i de fire delperioder i Figur 34 (1940-75, 1976-85, 1986-1998 og 1999-2020), hvilket betyder, at nogle af de 364 indtag går igen i flere delperioder. Antal indtag i hver periode er ikke ens og varierer fra 62 til 216 indtag.

En nitrat-trend tolkes som stigende, hvis hældningskoefficienten af regressionslinjen gennem målepunkterne er positiv, og faldende, hvis den er negativ. Figur 34 viser det akkumulerede resultat af de 364 beregnede nitrat-trends fordelt på de fire perioder med både signifikante og ikke-signifikante trends ved et 95 % konfidensniveau. Desuden er koncentrationsfordelingen vist indenfor hver af de fire typer nitrat-trends.

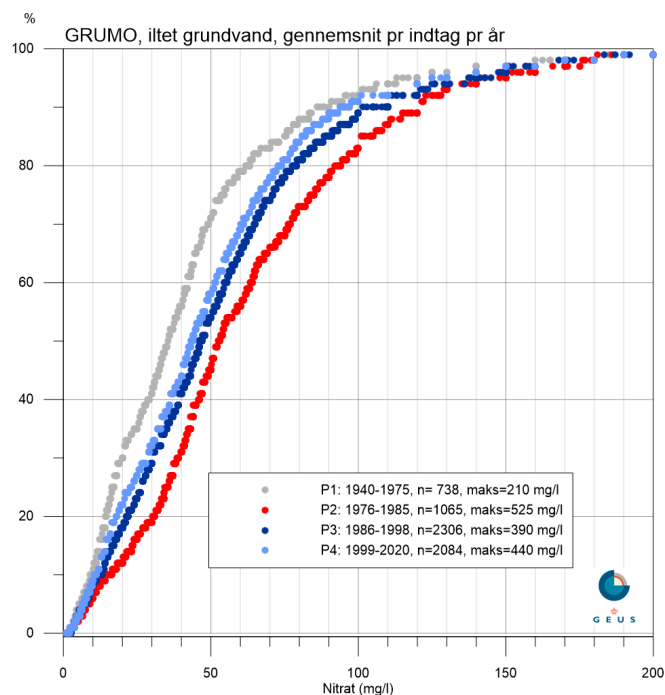
Figur 34 viser et tydelig skift fra overvejende stigende til overvejende faldende nitratkoncentrationer fra 1. og 2. periode til 3. og 4. periode, både når kun udviklingen i de signifikante trends betragtes, og når både signifikante og ikke-signifikante trends på 95 % niveau undersøges. Figur 34 viser også, at der ikke er nogen væsentlig forskel på udviklingstendensen i nitratindholdet i iltet grundvand fra 3. periode (1986-1998) til 4. periode (1999-2020), dog er andelen af signifikant stigende trends steget fra ca. 4% til ca. 8% fra 3. til 4. periode.

De seneste analyser i 4. periode (1999-2020) viser, at ca. 36 % (61 ud af 168) af indtagene har koncentrationer over 50 mg/l, hvor signifikant stigende nitratrends udgør 10 % (6 ud af 61) og ikke-signifikante nitratrends udgør 57 % (35 ud af 61) og signifikant faldende nitratrends udgør 33 % (20 ud af 61).



Figur 34. GRUMO. Andel af nitratrends og seneste koncentrationsinterval for nitrat i iltet grundvand i fire perioder baseret på grundvandets dannelsesår. Analysen inkluderer i alt 6.193 nitratkoncentrationer (årlige gennemsnit) fra 364 indtag, hvor tidsserierne dækker mindst 8 år. Tallene (n) over søjlerne angiver antallet af indtag i hver periode. Der er vist både signifikante og ikke-signifikante nitratrends på 95 % konfidensniveau. Figuren er baseret på data indsamlet fra 1990-2022.

Figur 35 viser fordelingen af det gennemsnitlige årlige nitratindhold i iltet grundvand per indtag i hver af de fire perioder. En parvis statistisk analyse (Wilcoxon rank sum i R) viser, at populationen af data i hver af de fire perioder er statistisk forskellige ($p < 0,00047$). Det ses, at fordelingen af nitratkoncentrationer i iltet grundvand lå lavest (29 % > 50 mg/l) i 1. periode (P1, 1940-1975) og var på det højeste (54 % > 50 mg/l) i 2. periode (P2, 1976-1985). I 3. periode (P3, 1986-1998) er koncentrationerne faldet betydeligt (46 % > 50 mg/l) og i 4. periode (P4, 1999-2020) er der sket et mindre fald i nitratkoncentrationerne (42 % > 50 mg/l).

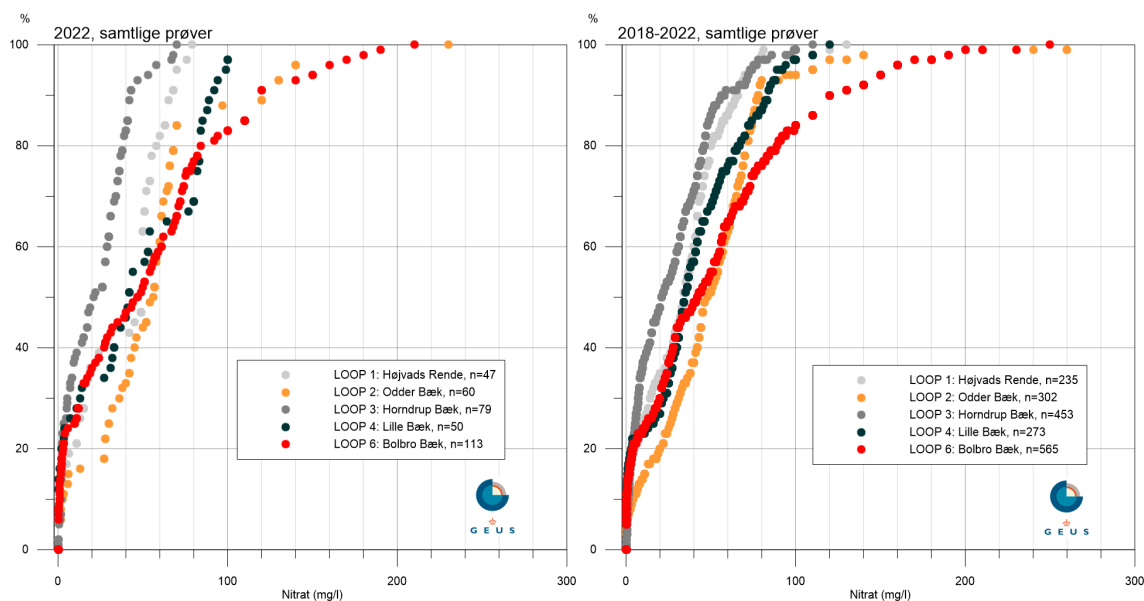


Figur 35. GRUMO. Koncentrationsfordelingen i iltet grundvand i de fire perioder vist i Figur 34. Analysen inkluderer i alt 6.193 nitratkoncentrationer (årliche gennemsnit) fra 364 indtag og er baseret på data indsamlet fra 1990-2022.

4.3 Landovervågningen

Status for nitrat

Figur 36 viser fordelingen af nitratkoncentrationen i samtlige prøver i 2022 og i perioden 2018-2022 i hvert af de fem målte LOOP-oplande afbildet i et fraktildiagram, mens koncentrationsfordelingen for det gennemsnitlige nitratindhold på indtagsniveau for LOOP samlet set er vist i Figur 29.

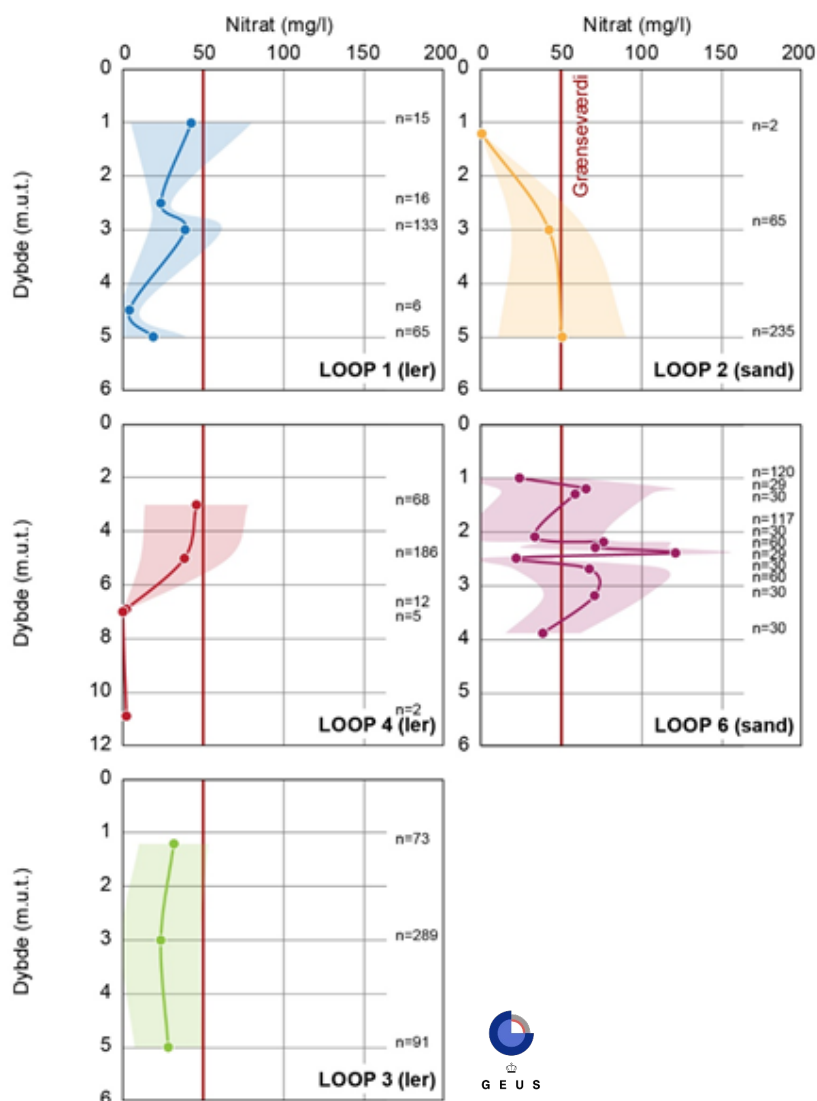


Figur 36. LOOP. Koncentrationsfordelingen for nitrat i samtlige prøver fra 2022 (til venstre) og i perioden 2018-22 (til højre) i de 5 målte LOOP-oplande afbildet i et fraktildiagram. Grålige signaturer viser lerjordsoplande: LOOP 1, 3 og 4, mens rødlige signaturer viser sandjordsoplande: LOOP 2 og 6.

Generelt ses en større andel af meget høje koncentrationer i sandjordsoplandene (rødlige signaturer, LOOP 2 og 6) end i lerjordsoplandene (grålige signaturer, LOOP 1, 3 og 4), dog med variationer fra år til år.

De højeste koncentrationer af nitrat er målt i LOOP 6 med koncentrationer på op til 210 mg/l og LOOP 2 med koncentrationer op til 230 mg/l i 2022. De høje koncentrationer 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., 2023), men også at flest indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand.

Figur 37 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i LOOP-områderne fra 2018-2022. Antallet af prøver, som ligger til grund for de beregnede gennemsnitlige nitratkoncentrationer varierer meget: fra 2 prøver (LOOP 2: indtagstop 1,2 m u.t og LOOP 4: indtagstop 10,9 m u.t.) til 289 prøver (LOOP 3: indtagstop 3 m u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning omkring den gennemsnitlige nitratkoncentration, og standardafvigelsen er op til 54 mg/l (LOOP 6: indtagstop 1,2 m u.t.).



Figur 37. LOOP. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand i LOOP-indtag opgjort på filterdybder (indtagets top) i m u.t. for lerjords- og sandjordsoplandene i perioden 2018-2022. Gennemsnittet er baseret på alle målinger i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med det farvede område. Antallet af målinger (n) er vist for hver dybde.

Figur 37 viser, i overensstemmelse med Figur 36, at nitratkoncentrationerne i sandjordsoplandene er væsentligt højere end i lerjordsoplandene i perioden 2018-2022. I to af lerjordsoplandene (LOOP 1 og 4) aftager nitratindeholdet med dybden, hvilket må tilskrives nitratreduktion, idet nitratfronten ligger forholdsvis tæt på terræn. I LOOP 4 (på Fyn) er der målinger til ca. 11 m u.t. Her viser resultaterne, at nitratfronten ligger mellem 5 og 7 m u.t., da grundvandet er nitratfrit fra 7 m u.t. I LOOP 2 og 6 (sandjord) og LOOP 1 (lerjord) er der stor dybdevariation i nitratindeholdet. Dette er særlig udtalt på sandjordene og skyldes sandsynligvis lokale hydrogeologiske forhold og variationer i nitratreduktionen med horisontal strømning af nitratholdigt grundvand fra tilstødende marker.

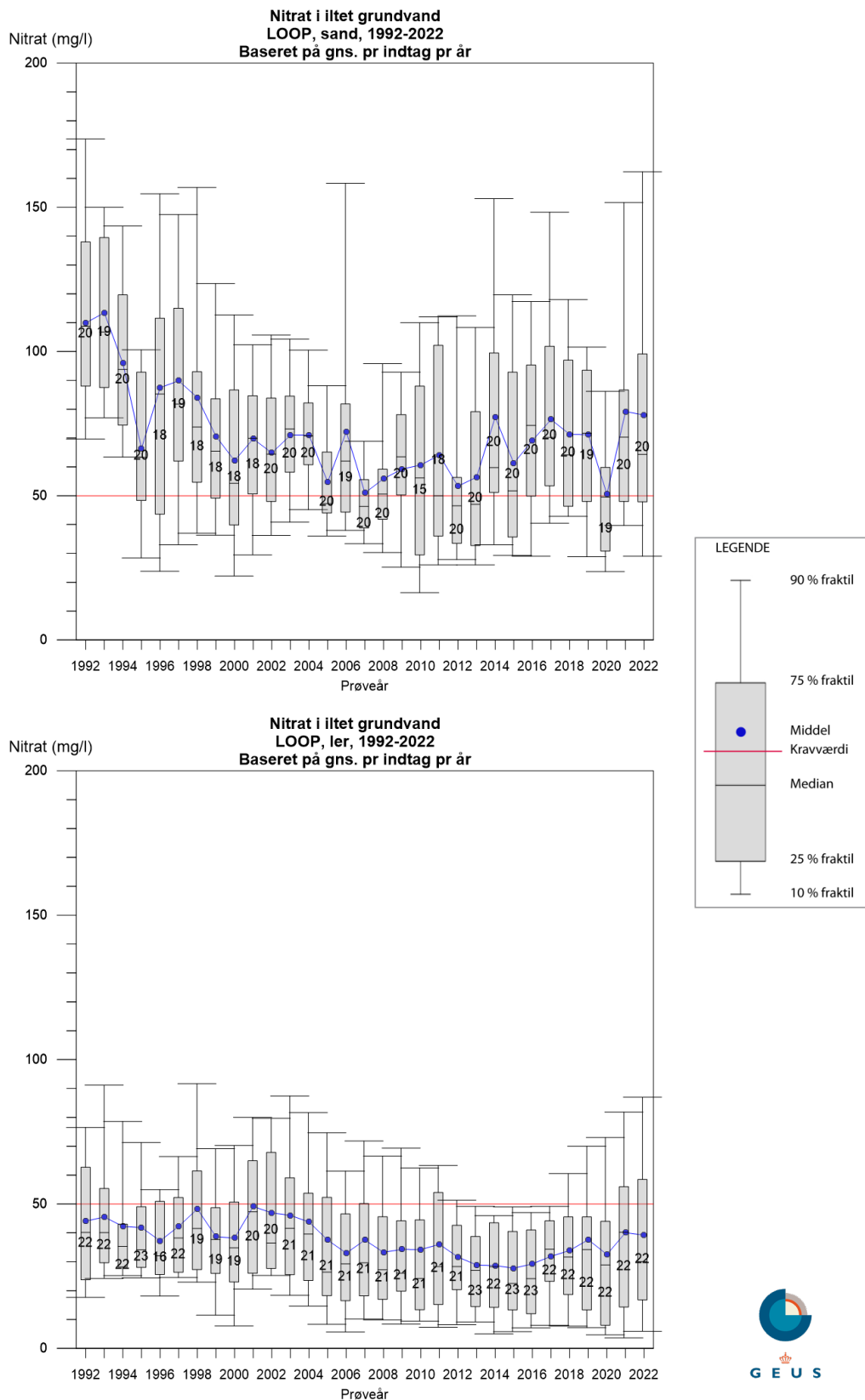
Figur 38 viser udviklingen i det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag i det iltholdige grundvand for LOOP-oplande med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4) i forhold til prøvetagningsåret. I andre sammenhænge rapporteres på basis af hydrologiske år (Blicher-Mathiesen mfl., 2024).

I 2022 overvågedes i alt 20 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på sand (LOOP 2: 7 indtag og LOOP 6: 13 indtag) og i alt 22 LOOP-indtag med iltholdigt grundvand på ler (LOOP 1: 2 indtag, LOOP 3: 13 indtag og LOOP 4: 7 indtag), hvor data er anvendt til analyse af udviklingen vist i Figur 38. I LOOP 3 er der to yderligere indtag med iltholdigt grundvand i 2022, men da redoxforholdene varierer i disse indtag indgår data ikke i analysen vist i Figur 38. De iltede indtag prøvetages om muligt seks gange om året.

Figur 38 viser, at der er stor spredning i nitratindeholdet mellem indtagene, når det illustreres som fordelingen af de årlige gennemsnit på indtagsniveau. Generelt er der et højere nitratindehold i grundvandet i sandjordsoplandene end i lerjordsoplandene, som det også fremgår af Figur 36 og Figur 37.

I 2022 ligger det gennemsnitlige nitratindehold over 50 mg/l i det iltholdige øvre grundvand i LOOP på sand- og lerjordsoplandene i hhv. ca. 70 % (14 ud af 20) og ca. 36 % (8 ud af 22) af indtagene.

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 1992-2022 ligger den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat for alle iltede indtag på sandjordene over kvalitetskravet, mens den årlige gennemsnitskoncentration på lerjordene ligger under kvalitetskravet. I 2022 ligger det gennemsnitlige nitratindehold på 78 mg/l og 39 mg/l i hhv. sand- og lerjordsoplandene, hvilket er på niveau med 2021 og betydeligt højere end i 2020. Der arbejdes på om der er tale om statistisk signifikante stigninger i nitratkoncentrationerne i grundvandet gennem de seneste år og om der er sammenhæng til udvaskningen af nitrat fra rodzonen. Dette arbejdet udføres i samarbejde med DCE.

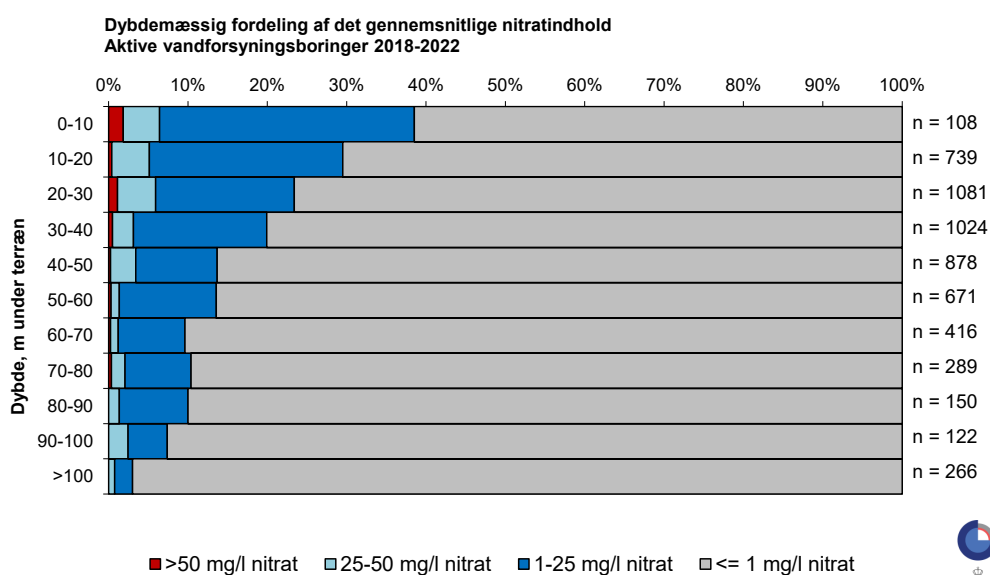


Figur 38. LOOP. Udviklingen i det iltholdige grundvands nitratindhold i LOOP-oplande opdelt på sandjord (øverst, LOOP 2 og 6) og lerjord (nederst, LOOP 1, 3 og 4) vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1992-2022, baseret på det gennemsnitlige nitratindhold pr. indtag. Antallet af indtag er angivet for hvert år.

4.4 Vandforsyningsboringer

Status for nitrat

Figur 39 viser dybdefordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold i vandforsyningsboringer i perioden 2018-2022. I figuren indgår data fra 5.745 vandforsyningsboringer, trods det at nitratindeholdet er målt i 6.117 vandforsyningsboringer i perioden 2018-2022. Det vil sige, at der mangler dybdeoplysninger fra 372 vandforsyningsboringer, der er blevet prøvetaget for nitrat i perioden 2018-2022. Ligeledes kan der i figuren optræde data fra boringer, som er sat ud af drift, men som stadig overvåges, og derfor optræder som vandforsyningsboringer i Jupiter. Generelt er der betydeligt lavere koncentrationer af nitrat i vandforsyningsboringerne end i GRUMO- og LOOP-indtagene. Dette kan forklares med, at vandforsyningerne prøver at undgå indvinding fra den del af grundvandet, der overskrider kvalitetskravet på 50 mg/l (Schullehner & Hansen, 2014 og DANVA, 2018).



Figur 39. Vandforsyning. Dybdemæssig fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i 2018-2022 i forhold til top af indtag i m u.t. i 5.745 vandforsyningsboringer med kendt dybde til overkant af indtag, opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for figuren.

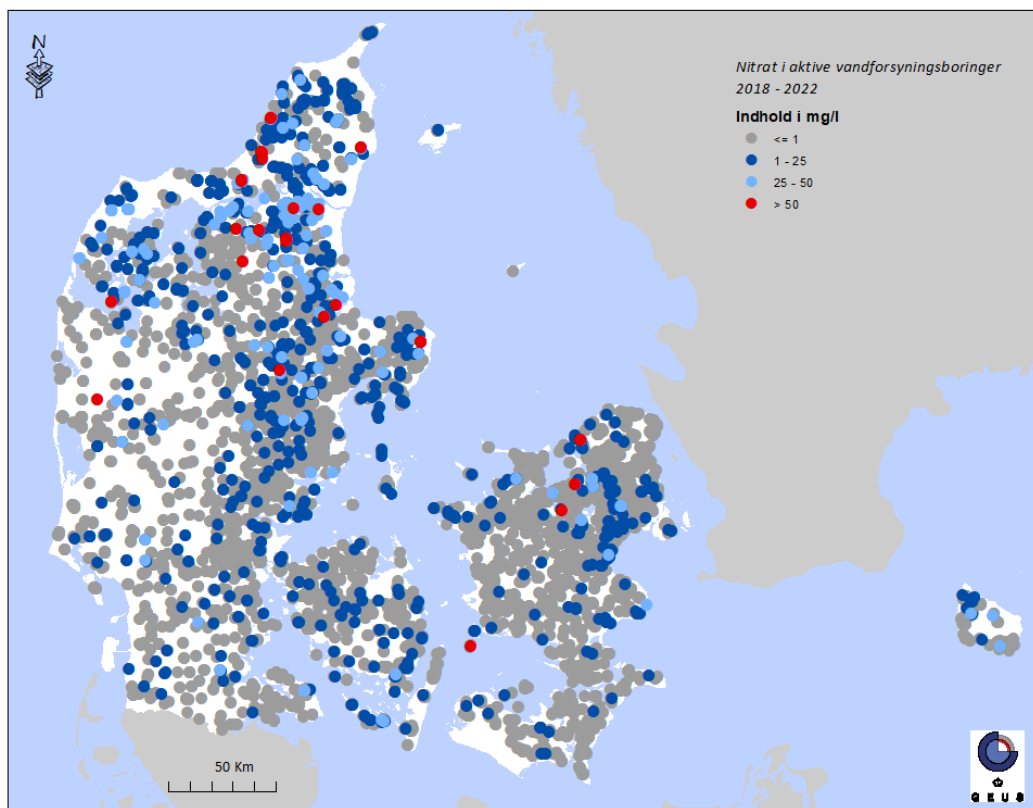
I intervallet 0-10 m u.t. er der påvist nitrat i omkring 39 % af indtagene. Her er koncentrationen af nitrat i grundvandet over 50 mg/l i omkring 2 % af indtagene og over 25 mg/l i omkring 6 % af indtagene. Der er i perioden 2018-2022 fundet nitrat med koncentrationer over 50 mg/l ned til 70-80 m u.t.

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 vandforsyningsboringer 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 vandforsyningsboringerne, 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 vandforsyningsboringerne end for GRUMO-indtag, se Figur 77, Appendiks 2.

Figur 40 viser den geografiske fordeling af nitratindeholdet i 6.117 vandforsyningsboringer i 5-årsperioden 2018-2022. 32 boringer havde et gennemsnitligt nitratindehold over kvalitetskravet for grundvand og drikkevand i denne periode.

Nitrat i grundvandet i vandforsyningsboringer optræder særligt i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette hænger sammen med, at den naturlige geologiske beskyttelse af grundvandsmagasinerne i disse områder er ringe på grund af tynde lerdæklag og højtliggende kalk, der betinger en relativ dybtliggende nitratfront. Mulighederne for at finde nitratfrit grundvand til vandindvinding er samtidig

ringere i disse områder end i resten af landet, da boring efter dybere grundvand i disse områder giver andre vandkvalitetsproblemer.



Figur 40. Vandforsyning. Nitratindholdet i grundvandet i 6.117 vandforsyningsboringer fordelt på fire koncentrationsklasser. Kortet er baseret på gennemsnit pr. indtag i perioden 2018-2022. Der kan indgå boringer, som ikke længere anvendes til drikkevandsforsyning. De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

4.5. Nitrat i redoxboringerne

Målsætning og relevans

For at forbedre beskrivelsen og forståelsen af variationer af redoxzonernes vertikale udbredelse, og dermed af især udbredelsen af nitrat i grundvandsmagasinerne, blev der i perioden 1999-2003 etableret 5 særlige redoxboringer, hver med 15-23 korte indtag. Ændringer i indtrængningsdybden for nitrat og ilt har stor betydning for miljøtilstanden i tilknyttede overfladevandssystemer, idet jo større mægtighed de nitratholdige lag har, desto større risiko er der for, at de tilknyttede overfladevandssystemer modtager grundvand med nitrat. Samtidig har det en væsentlig betydning for, hvor stor en del af drikkevandsressourcen og grundvandsforekomsterne, der er påvirket af nitrat. Ud over disse 5 redoxboringer overvåges grundvandets redoxforhold også ved Rabisbæk, se Bilag 9.

Den nitratreducerende zones evne til at reducere nitrat afhænger af de geologiske lags geokemiske egenskaber. Hvis den nitratreducerende zone (med vandtype B, se nedenfor) har en stor mægtighed, er det en indikation på, at nitratreduktionsprocesserne er langsomme i forhold til strømningshastigheden i det pågældende magasin, og at tilgængeligheden af reaktive nitratreducerende stoffer er lav. Magasinernes reduktionskapacitet, og ikke mindst omsætningshastigheden af nitrat, er af stor betydning for drikkevandsforsyningen. I områder med lav reaktionshastighed og/eller lav reduktionskapacitet, er der stor risiko for nitratgennembrud, især hvis de naturlige strømningsforhold ændres på grund af vandindvinding. Således kan der forekomme stigende nitratkoncentrationer i vandforsyningsboringer, hvis nitratomdannelsen er for langsom i forhold til de ændrede strømningsforhold i magasinet forårsaget af vandindvindingen.

En bedre forståelse af de tidsmæssige variationer i redoxzonernes rumlige udbredelse kan desuden understøtte fortolkningen af tidsserier for især nitrat, sulfat og andre redoxfølsomme parametre, der etableres i overvågningsprogrammet, og dermed understøtte et af overvågningens primære formål, nemlig at vurdere effekterne af de nationale miljøtiltag i forhold til de opstillede målsætninger, se Kapitel 2.

Samlet set viser resultaterne fra redoxboringer, at der optræder lokale variationer i redoxvandtyperne dybdefordeling inden for korte tidsrum, idet der nogle steder sker et skift mellem iltet og reduceret grundvand, men at den overordnede indtrængningsdybde for nitrat, ikke ser ud til at ændres i et omfang, der umiddelbart kan verificeres efter 25-35 års overvågning. Der er dog enkelte indtag som fx i Kasted 32,3 m u.t., der udviser tegn på stadig mere iltede forhold. Det skal bemærkes, at der for disse boringer ikke er nogen vandindvinding.

Resultaterne er også egnede til at beskrive hvordan effekten af ændret arealanvendelse udbredes ned gennem magasinerne over mange år på grund af grundvandets aldersfordeling.

Datagrundlag

En række redoxfølsomme stoffer som ilt, nitrat, nitrit, jern, mangan, sulfat, er sammen med klorid, pH, ledningsevne og redoxpotentiale analyseret i redoxboringerne mange indtag i perioden 1999-2022. Derudover indsamles pejlinger af grundvandsspejlet i flere dybder. Indtil 2011 blev boringerne prøvetaget én til flere gange hvert år. Siden er prøvetagningen blevet mindre hyppig og har fundet sted i hvert andet år, senest i 2022. I 2022 blev boringen ved Albæk prøvetaget én gang og de resterende fire redoxboringer blev prøvetaget tre gange.

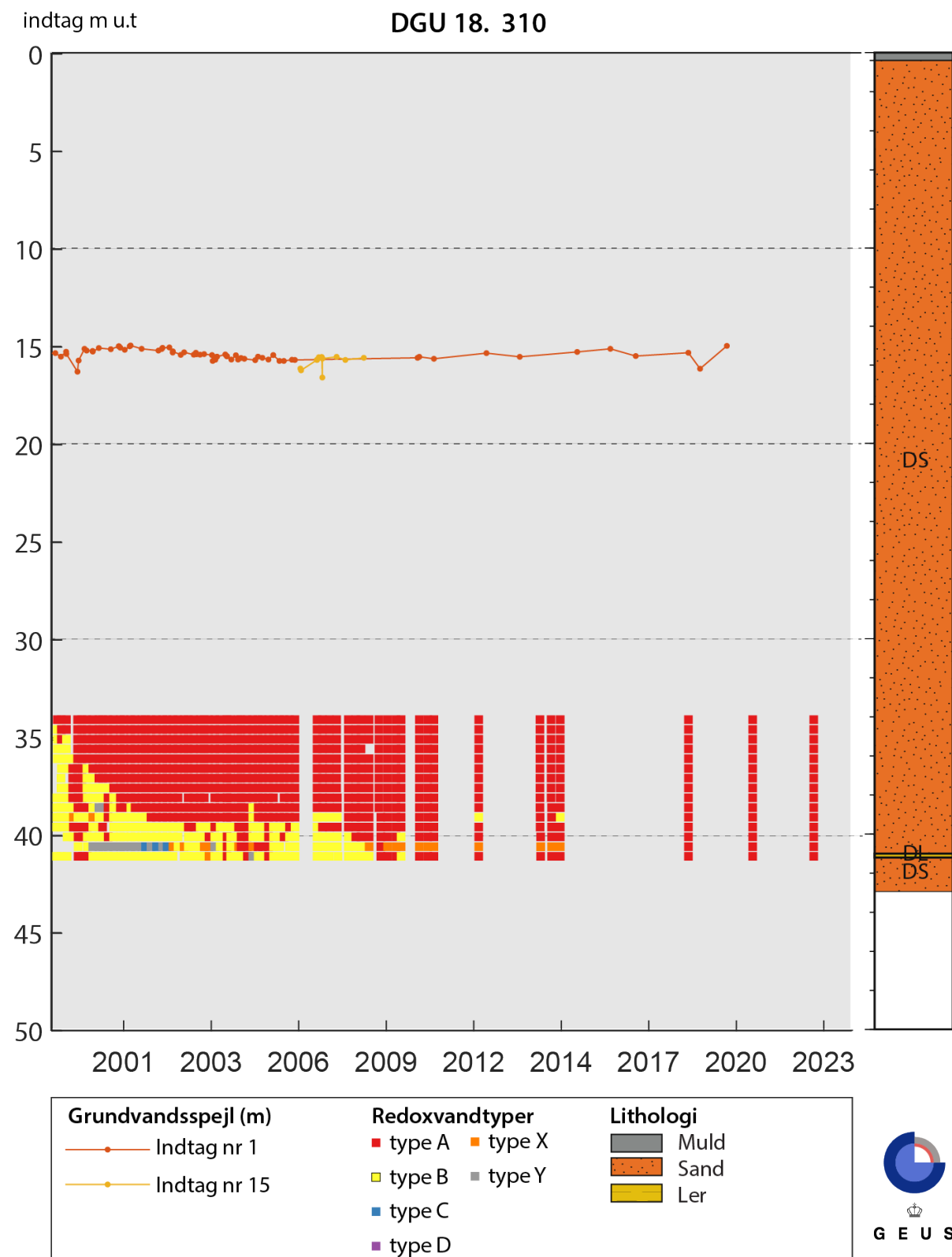
Redoxvandtyperne vist på figurerne er fastsat ud fra følgende kriterier i prioriteret rækkefølge, se også Figur 85 Appendiks 3.:

- A: Iltholdigt grundvand: $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$, $\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{O}_2 \geq 1 \text{ mg/l}$.
- B: Anoxisk nitratreducerende zone: $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$, $\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{O}_2 < 1 \text{ mg/l}$.
- C: Reduceret grundvand: $\text{NO}_3 \leq 1 \text{ mg/l}$, $\text{Fe} \geq 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{SO}_4 \geq 20 \text{ mg/l}$.
- D: Stærkt reduceret grundvand: $\text{NO}_3 \leq 1 \text{ mg/l}$, $\text{Fe} \geq 0,2 \text{ mg/l}$ og $\text{SO}_4 < 20 \text{ mg/l}$.
- X: Usikre redoxforhold med nitrat og jern: $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$ og $\text{Fe} \geq 0,2 \text{ mg/l}$.
- Y: Usikre redoxforhold uden nitrat og jern: $\text{NO}_3 \leq 1 \text{ mg/l}$ og $\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$.

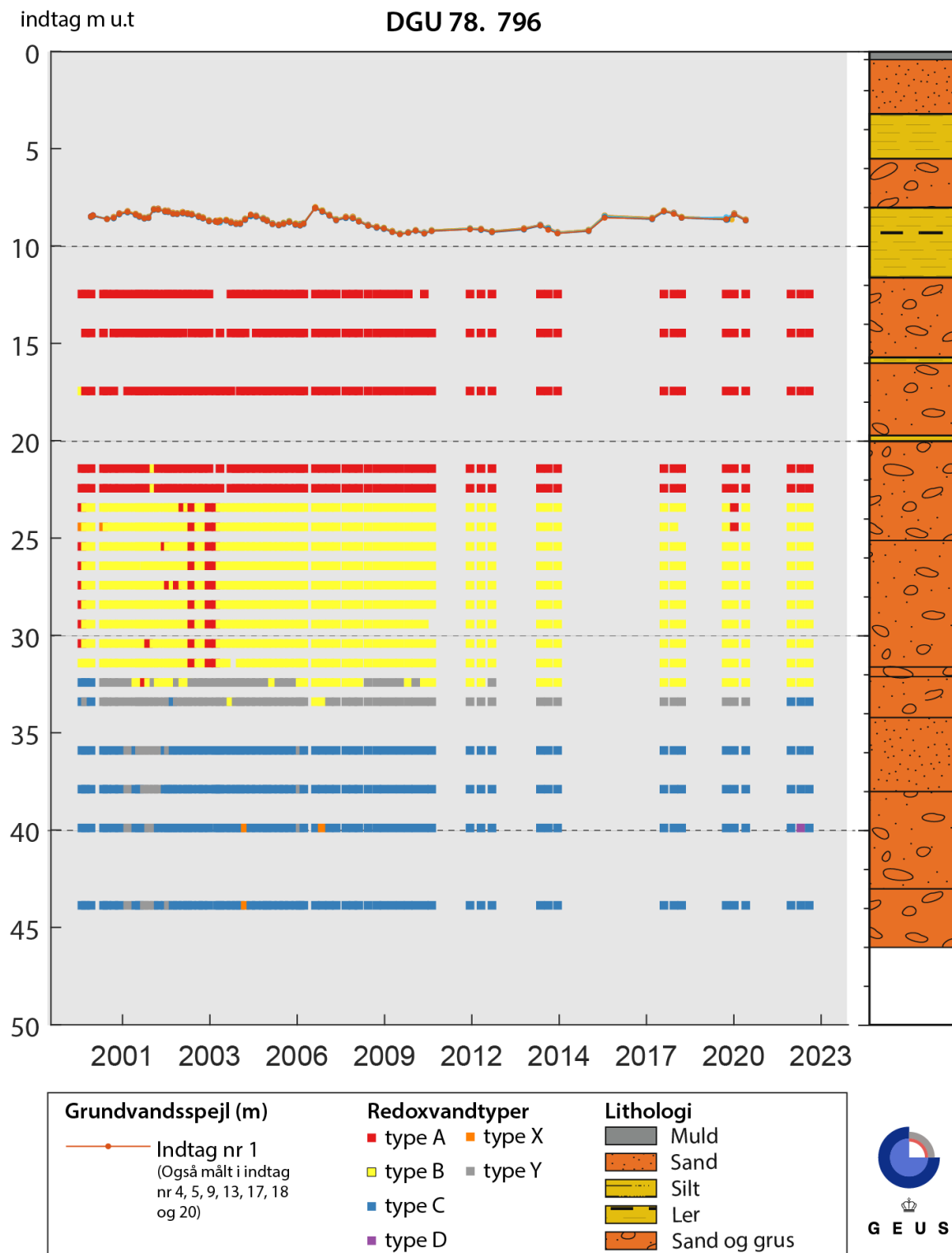
Denne klassificering er en mindre justering i forhold til tidligere, idet der nu anvendes helt de samme kriterier som i den øvrige del af rapporten. Bemærk, at ilt har betydning for vandtype A og B, og har lavest prioritet, idet det vurderes, at der er relativ stor usikkerhed på analyserne for ilt, sammenlignet med nitrat og jern, på grund af de lave ydelser i indtagene i redoxboringerne. Hvis der ikke foreligger iltanalyser, er mangan anvendt som indikator for ilt, med et kriterie på $< 0,1 \text{ mg/l}$, som indikation på iltholdige forhold. Der er lavet en manuel vurdering, hvor der mangler data for nitrat, jern eller sulfat. Redoxboringerne er beliggende ved Albæk i Nordjylland, Kasted nordvest for Århus, Grindsted i Midtjylland, Vejby i Nordsjælland og Sibirien på Falster, se Appendiks 2, Figur 71.

Redoxboringen ved Albæk i Nordjylland - DGU nr. 18.310

Figur 41 viser vandtyperne i redoxboringen ved Albæk med indtag i intervallet 34-41 m u.t. Grundvandsmagasinet består af fin- til mellemkornet sand og grundvandsspejlet ligger ca. 15 m u.t. Redoxforholdene i boringen har udviklet sig mod mere iltet grundvand, og i 2022 indeholdt alle indtag ilt- og nitratholdigt grundvand (vandtype A). Samtidig er der sket en udvikling mod lavere nitratkoncentrationer, og i 2022 var nitratkoncentrationen i alle indtag faldet til højst 15 mg/l, se Figur 48. I rapportering for 2020 data blev forholdene for denne boring indgående diskuteret (Thorling mfl.: 2021). Det kan ikke udelukkes forekomsten af vandtype B de første år var en effekt af borearbejdet.



Figur 41. GRUMO. Albæk i Nordjylland, DGU nr. 18.310, med redoxvandtyper og grundvandsspejl i to indtag for perioden 1999-2022. Det geologiske profil er vist længst til højre på figuren.



Figur 42. GRUMO. Kasted nordvest for Århus, DGU nr. 78.796, med redoxvandstyper for perioden 1999-2022. Grundvandsspejl i ca. 9 m u.t. Det geologiske profil er vist længst til højre på figuren.

Redoxboring ved Kasted nordvest for Århus - DGU nr. 78.796

Figur 42 viser redoxboringen ved Kasted, hvor redoxzonerne har ligget relativt stabilt, siden etablering af boringen i 1999 og frem til 2022. Grundvandsspejlet ligger i ca. 9 m u.t. i alle de 7 indtag, der pejles regelmæssigt. De øverste ca. 15 meter af den vandmættede del af grundvandsmagasinet er nitrat- og iltholdigt vandtype A, der følges af en ca. 10 m iltfri og nitratholdig zone, vandtype B og herunder findes svagt reduceret grundvand, vandtype C. Bemærk en permanent overgangszone med vandtype Y, dvs. vand uden hverken nitrat eller jern mellem vandtype B og C, en vandtype der dog har været fraværende i 2022. Der kan iagttages en mindre forskydning mod større dybde af vandtype B over årene idet indtaget i 32,3 m u.t. er gået fra vandtype C via vandtype Y til vandtype B.

I 2022 var koncentrationen af nitrat i den iltholdige zone ca. 30-70 mg/l, og indholdet aftog til ca. 10 mg/l i den øverste del af anoxiske zone, hvorefter nitratinholdet steg til ca. 40 mg/l i den nederste del af den anoxiske zone, se Figur 48. I den iltholdige zone var indholdet af ilt i 2022 ca. 5-7 mg/l. Forholdsvis høje koncentrationer af sulfat i den nitrat-reducerende iltfrie zone (120 mg/l) tyder på, at reduktionen af nitrat sker med pyrit, se Appendiks 3. Koncentrationen af sulfat stiger overraskende ned gennem den iltholdige zone, (hvor der hverken er opløst jern, mangan eller ammonium), fra ca. 25 til 80 mg/l. Dette kan have noget at gøre med at de øverste indtag er påvirket af skov, mens de dybere indtag har deres grundvandsdannede opland i landbrugsområdet umiddelbart opstrøms boringen. Århus Vand har en kildeplads ca. 500 m nedstrøms denne boring.

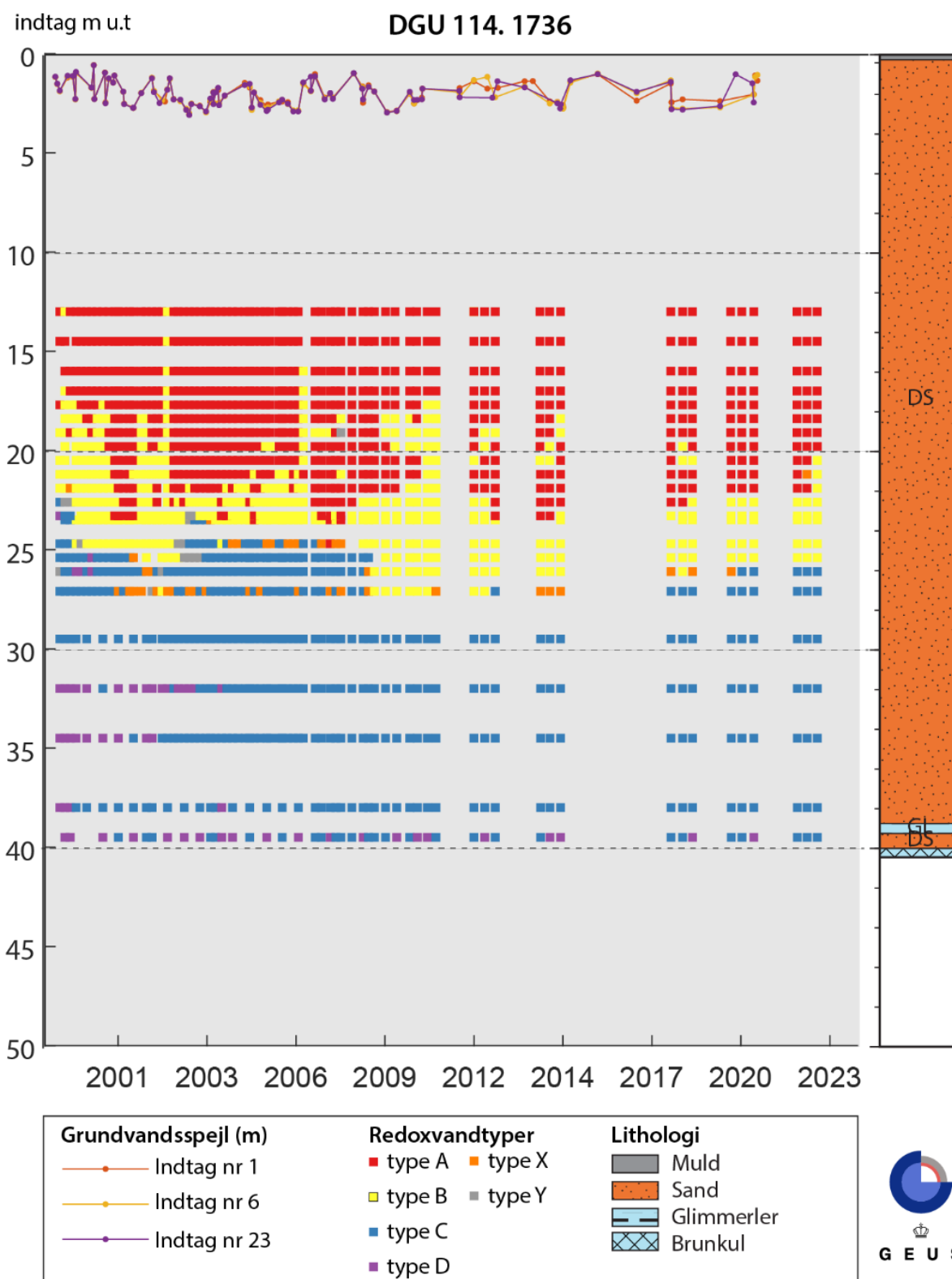
Redoxboring ved Grindsted i Midtjylland - DGU nr. 114.1736

Figur 43 viser vandtyperne i redoxboringen ved Grindsted med indtag i intervallet 13-39 m u.t. Det fremgår, at den rumlige udbredelse af redoxzonerne i boringen ved Grindsted har varieret en del i perioden 1999-2010. I perioden 2012-2022 har udbredelsen af de forskellige redoxzoner været mere stabil, med mindre variationer i vandtyperne A og B i 20-26 m u.t., og en tendens til at den reducerede zone er rykket nogle meter opad. Den øvre, ilt- og nitratholdige zone, vandtype A, vurderes at strække sig fra 3 m u.t. ned til ca. 23 m u.t. og udgør de øverste 20 m af grundvandsmagasinet. Herefter følger en ca. 3 m iltfri nitratholdig zone, vandtype B, der afløses af en 10 meter svagt reduceret zone uden ilt og nitrat, vandtype C. I det dybeste indtag, 29,5 m u.t., optræder fra tid til anden stærkt reduceret grundvand, vandtype D. I 2022 var koncentrationen af nitrat i størstedelen af det iltede grundvandsmagasin mellem 40 og 60 mg/l, hvorunder koncentrationen faldt ned gennem den anoxiske nitratholdige zone (vandtype B) se Figur 48.

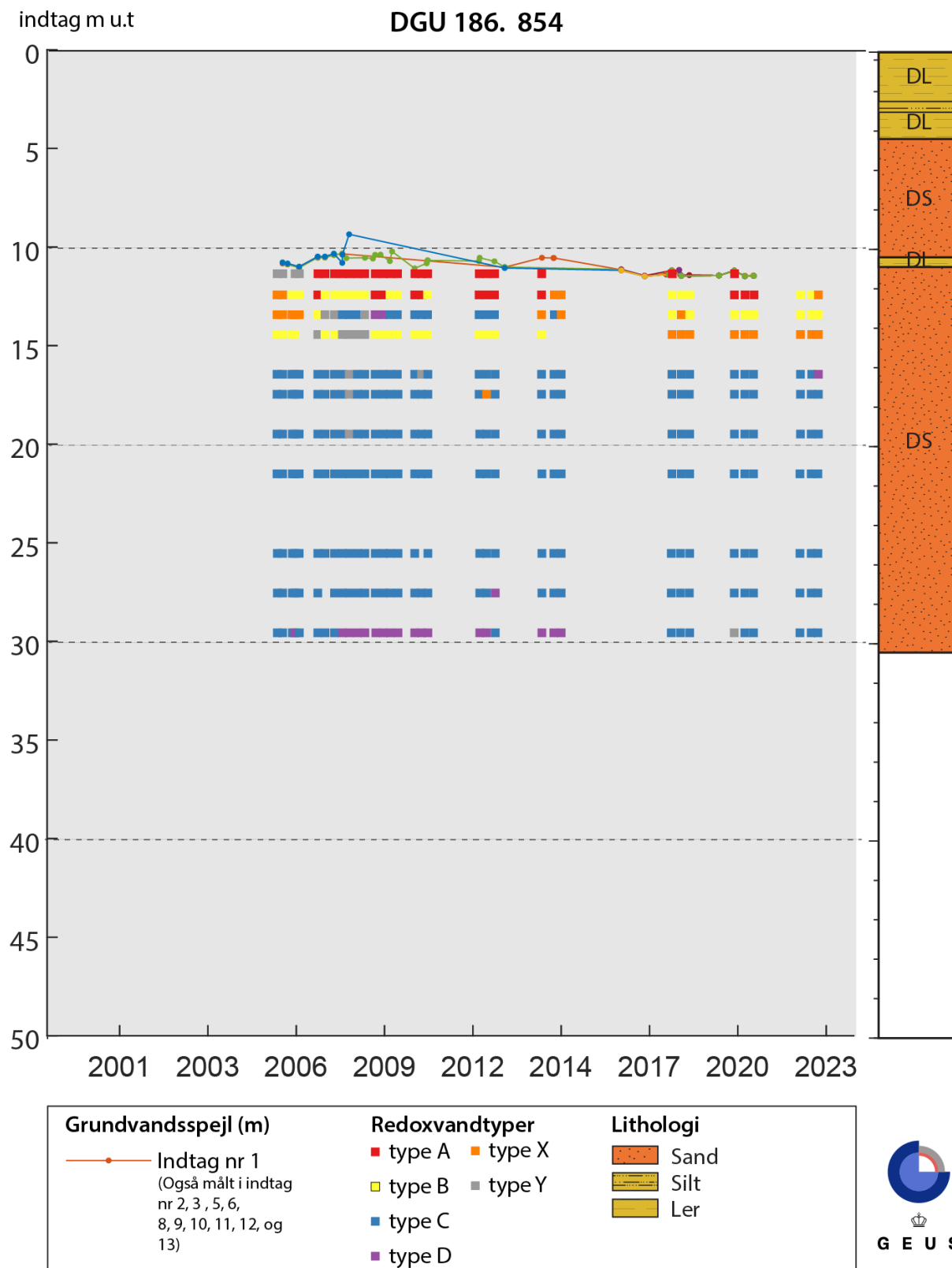
Indvindingsboringer fra Grindsted Vandforsyning ligger mindre end 500 m nedstrøms for redoxboringen, og disse boringer kan tænkes at have en vis påvirkning på redoxforholdene, men er næppe eneste årsag til variationerne i zonernes beliggenhed og især i afgrænsningen af zonerne i de øvre lag. Dette skyldes, at der indvindes fra væsentlig større dybde end redoxboringen (ca. 95-110 m u.t.), og at indvindingen har fundet sted i alle årene. Der kan observeres variationer i grundvandsspejlet på flere meter inden for et enkelt år og imellem årene, og det kan ikke udelukkes, at dette spiller ind på de varierende redoxforhold og nitratkoncentrationer.

Redoxboring ved Vejby i Nordsjælland - DGU nr. 186.854

Figur 44 viser vandtyperne i redoxboringen ved Vejby med indtag i intervallet 12-30 m u.t. Der er en nitratkoncentration på ca. 15 mg/l i 2022 i det øverste grundvand umiddelbart under grundvandsspejlet, se Figur 48. Det øverste indtag indeholder 7 mg/l ilt, men blot 1 m herunder er iltindholdet faldet til ca. 1 mg/l og vandtype B præger resten af de øverste få nitratholdige meter af grundvandsmagasinet, ned til ca. 14 m u.t. I overgangen mellem de nitratholdige lag og de nitratreducerede lag ses de i seneste år vandtype X, hvor der er både en smule nitrat og jern til stede: Redoxpotentialet er negativt, mens der fortsat er 3-4 mg/l nitrat tilbage. I de dybere indtag har vandtypen siden 2006, hvor boringen blev etableret, været uændret svagt reduceret, vandtype C, på nær i indtaget i 29,5 m u.t., hvor sulfatindholdet svinger omkring 20 mg/l og dermed svinger mellem vandtype C og D. Boringen er placeret tæt på en vej og i perioder har specielt indtagene i 12 og 13 m u.t. været stærkt påvirket af klorid, med koncentrationer op til 560 mg/l. I 2020 var koncentrationen af klorid 110 mg/l i 12 m u.t. og 40-60 mg/l i de dybere indtag.



Figur 43. GRUMO. Grindsted i Midtjylland, DGU nr. 114.1736 med redoxvandtyper for perioden 1999-2022. Grundvandsspejlet er beliggende i ca. 2 m u.t. Det geologiske profil er vist længst til højre på figuren.



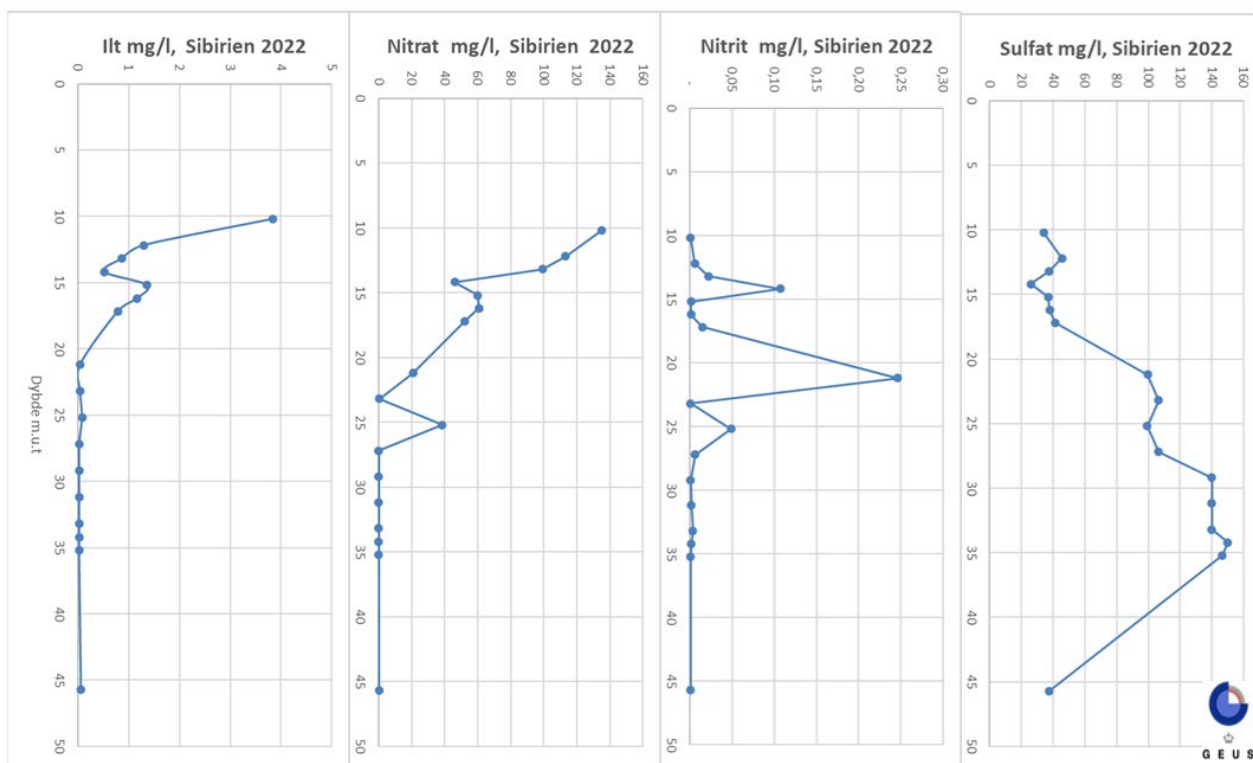
Figur 44. GRUMO. Vejby i Nordsjælland, DGU nr. 186.854, med redoxvandtyper for perioden 2006-2022. Grundvandsspejlet er beliggende i ca. 11 m u.t. Det geologiske profil er vist længst til højre på figuren.

Redoxboring ved Sibirien på Falster - DGU nr. 238.900

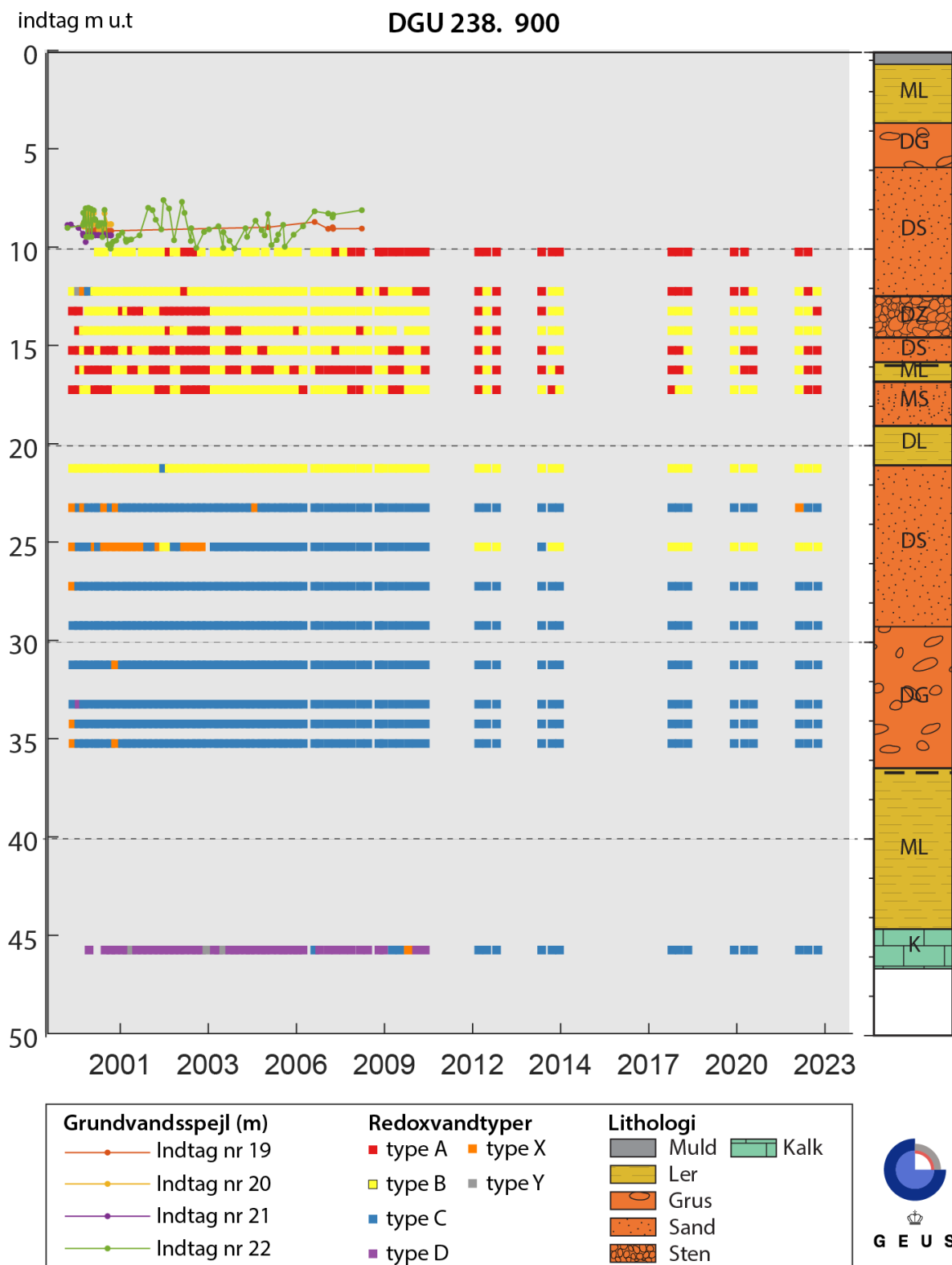
I dette års rapportering ses der nærmere på redoxboringen ved Sibirien på Falster, lige som der i rapporteringen af 2020 data (Thorling mfl., 2021b) var fokus på redoxboringen ved Albæk, Nordjylland og ved rapportering af 2018 data fokus på redoxboringen ved Grindsted (Thorling mfl. 2019). Figur 45 viser den dybdemæssige fordeling af de gennemsnitlige koncentrationer af ilt, nitrat, nitrit og sulfat i 2022 i DGU 238.900 i Sibirien på Falster. Det fremgår, at vandtype A optræder i de øverste indtag (10,2-17,2 m u.t.) og indtaget i 25 m u.t. lige netop ligger over 1 mg/l ilt. Der er nitrat ned til 25 m u.t, dog med nitratfrit vand i 23,2 m u.t. De højeste nitratkoncentrationer for vandtype A ligger mellem 100 og 140 mg/l, hvorefter nitrat falder i den anoxiske zone. Iltindholdet afspejles i indholdet af nitrit, idet der er forhøjet nitrit i de fleste prøver med vandtype B, med særligt høje indhold i 14,2 og 21,2 m u.t. Sulfatindholdet viser, at pyrit spiller en rolle for nitratreduktionen, idet der i det iltede vand er ca. 40 mg/l, mens der i det iltfrie vand er op til 140 mg/l nitrat.

Figur 46 viser den dybdemæssige fordeling af redoxvandtyperne fra 2000-2022, og det fremgår, at der i hele overvågningsperioden har været nitrat ned til ca. 21 m u.t. Selve nitratfronten har ikke ligget fast idet der hyppigt ses indslag af nitrat i ca. 25. m u.t. Heller ikke grænsen mellem vandtype A og B har ligget fast, hvilket hænger sammen med at der er et lavt iltindhold omkring 0,5-1,0 mg/l ned til nitratfronten, se også Figur 46. Koncentrationen af sulfat i det dybere grundvand er op til 150 mg/l, på nær for det dybeste indtag, der er etableret i kalk, hvor koncentrationen kun var omkring 13 mg/l, og dermed vandtype D.

Grundvandsspejlet er pejlet frem til 2008 og målt til ca. 9 m u.t. Siden da er der opstået usikkerhed om, hvilken dybde de forskellige pejlerør repræsenterer, hvorefter pejlingerne er ophørt.

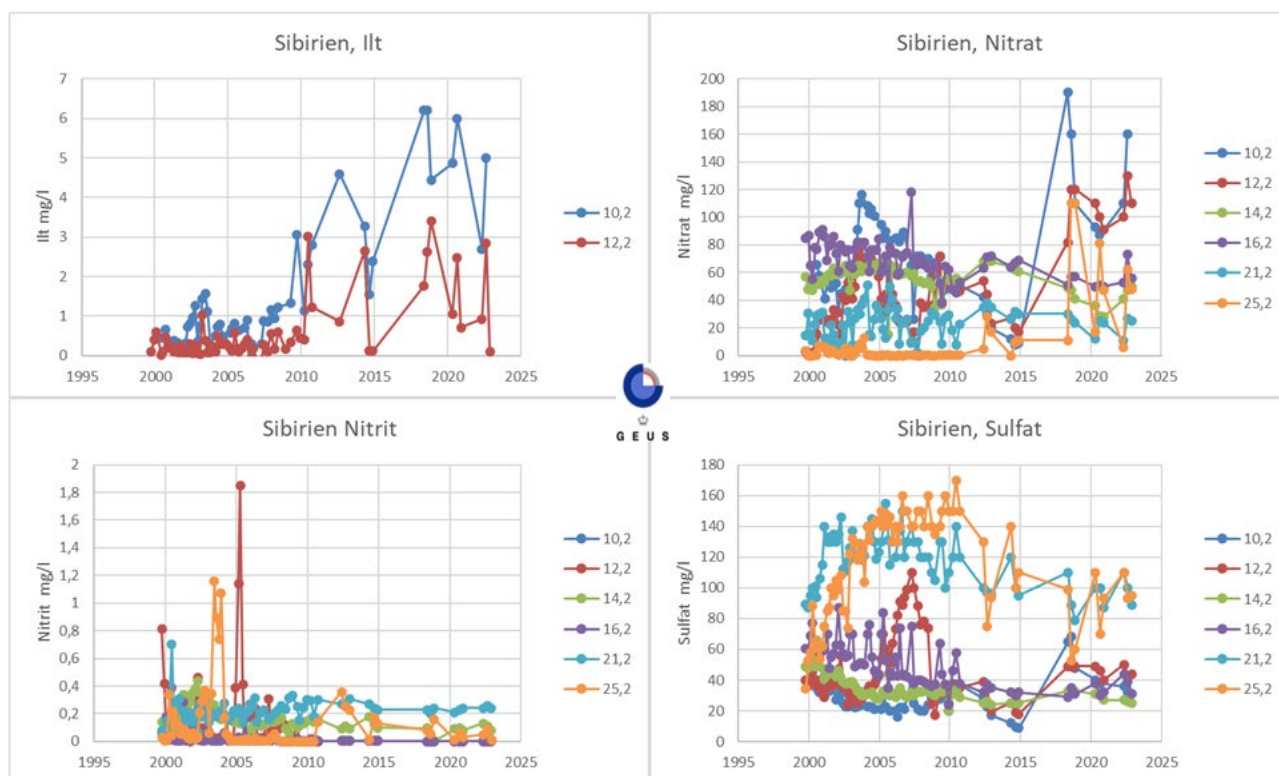


Figur 45. GRUMO. Dybdefordeling af den gennemsnitlige koncentration i 2022 af ilt, nitrat nitrit og sulfat i DGU 238.900 i Sibirien. Grundvandsspejlet ligger i ca. 9 m u.t.



Figur 46. GRUMO. Sibirien på Falster, DGU nr. 238.900, med redoxvandtyper for perioden 1999-2022. Grundvandsspejlet er beliggende i 9 m u.t. Det geologiske profil er vist længst til højre på figuren.

Figur 47 viser den tidlige udvikling af ilt, nitrat, nitrit og sulfat for udvalgte indtag i DGU 238.900 fra 2000 til 2022. Det fremgår, at der efter ca. 10 års overvågning er et skift til højere iltindhold i de to øverste indtag (10,2 og 12,2 m u.t.). Nitratkoncentrationen har ligget nogenlunde konstant i de fleste indtag, på nær indtaget i 25,2 m u.t., hvor der de seneste år er set gentagne episoder med meget høje nitratkoncentrationer med op til 110 mg/l i 2018. Det fremgår også, at nitritindholdet ligger nogenlunde konstant i de fleste indtag, med klart signal om aktiv nitratreduktion i vandtype B. Sulfatindholdet i 25,2 m u.t. svinger modsat nitratindholdet. Det er også bemærkelsesværdigt at sulfatindholdet i de indtag, der går fra vandtype C til B (21,2 og 23,2 m u.t.), dvs. fra reduceret til anoxisk, i årene op til de først indslag af nitrat har stigende sulfatindhold, hvilket er i god overensstemmelse med at nitratfronten kommer tættere på indtagene.



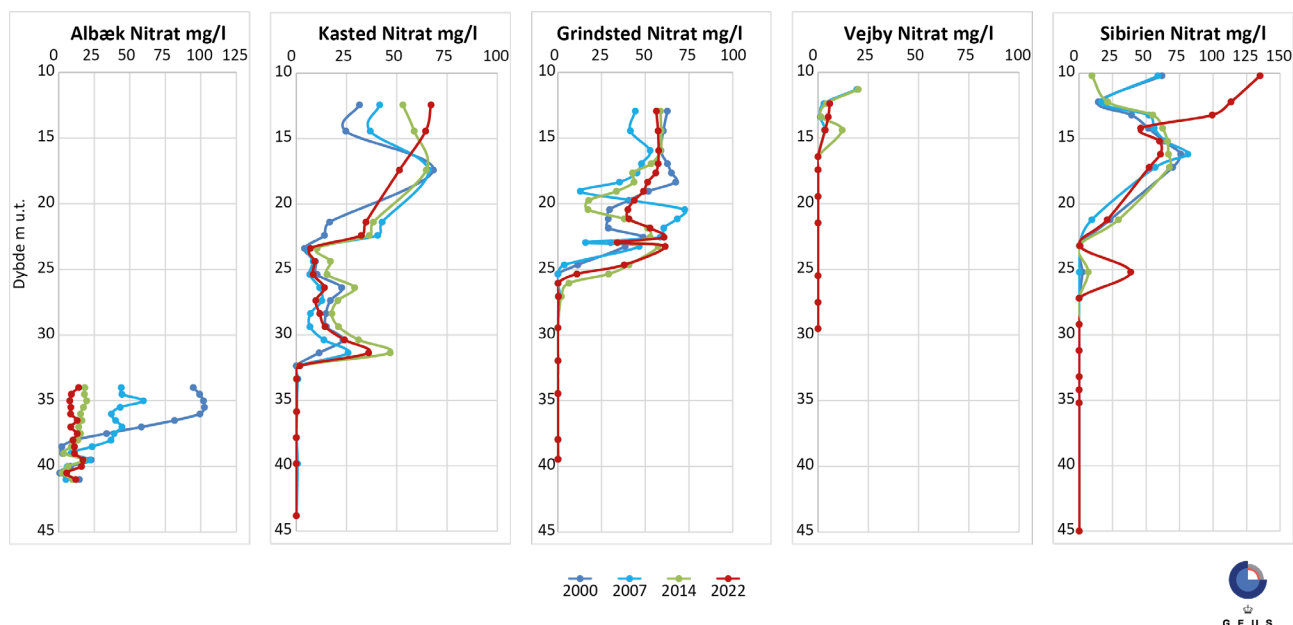
Figur 47. GRUMO. Tidsserier for ilt, nitrat, nitrit og sulfat i 6 indtag fordelt over den nitratholdige del af redoxboringen ved Sibirien (DGU nr. 238.900) i perioden 2000-2022.

Tidsserier for dybdeprofiler med nitrat

Figur 48 viser, hvorledes den årlige gennemsnitskoncentration af nitrat har varieret ned igennem de forskellige redoxboringer i perioden 2000-2022, opdelt på ca. 7 års intervaller. Det fremgår, at der gennem de ca. 22 år, hvor borerne har været overvåget, optræder betydelige ændringer i nitratkoncentrationerne i alle borer.

I boringen ved Albæk er koncentrationen af nitrat faldet markant i perioden 2000-2010, se Thorling mfl. 2021, hvor den tidligere i nogle indtag var markant højere end kvalitetskravet på 50 mg/l. I perioden 2012-2018 har koncentrationen af nitrat i grundvandet været forholdsvis lavt og stort set uændret og under kvalitetskravet (<20 mg/l).

Ved Kasted har koncentrationen af nitrat i de øverste indtag ned til ca. 17 m u.t. en stigende tendens og har ligget over 50 mg/l i siden 2014. Herunder er nitratkoncentrationen svingende og ligger under kvalitetskravet i dybderne med vandtype B, se Figur 42.



Figur 48. GRUMO. Fordelingen af den gennemsnitlige koncentration af nitrat i forskellige dybder i redoxboringerne. Udbredelsen af nitrat er vist med et interval på 7 år for perioden 2000-2020, med undtagelse af Vejby, hvor måleserien er kortere.

Ved Grindsted har koncentrationen af nitrat ned til 26 m u.t. varieret meget gennem perioden og ofte ligget over kvalitetskravet.

Grundvandet ved Vejby indeholder forholdsvis lidt nitrat og den maksimale koncentration ligger under 20 mg/l i 2006-2022. Nitrat træffes kun i det allerøverste grundvand lige under grundvandsspejlet.

Ved Sibirien er den maksimale nitratkoncentration for 2000-2022 målt i indtagene omkring 10 m u.t., hvor gennemsnitskoncentrationen nu er ca. 125 mg/l. Nitratkoncentrationen har ligget over kvalitetskravet i stort set hele perioden 2000-2022 i de øverste 17 m. I indtaget 25,2 m u.t. er koncentrationen af nitrat steget markant i 2014-2022, hvilket også ses af ændringerne i redoxvandtyperne på Figur 46, hvor det fremgår, at forholdene i dette indtag er blevet mere iltede.

Referencer: Nitrat

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M. Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Larsen, S.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2024. Landovervågningsoplande 2022. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport nr. xxx.

DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

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

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

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

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

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

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. <https://www.geus.dk/Media/B/4/g-o-2008.pdf> (9-2-2024)

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. <https://www.geus.dk/Media/8/B/g-o-2015.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2020: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2018. Teknisk rapport, <https://www.geus.dk/media/8321/grundvand1989-2018-rettet.pdf> GEUS 2020. (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, C. Hansen, B., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2021b: Grundvand. Status og udvikling 1989–2020. Teknisk rapport, GEUS 2021. https://www.geus.dk/Media/637753300019725848/Grundvand%201989-2020_a.pdf (9-2-2024)

Links:

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

5 Pesticider og deres nedbrydningsprodukter

Indledning

Pesticidkapitlet er opdelt i tre hovedafsnit. Første hovedafsnit omhandler resultater fra NOVANA's delprogram for grundvandsovervågning (GRUMO). Andet hovedafsnit omhandler resultater fra de almene vandforsyningers lovpligtige overvågning af vandforsyningsboringer (boringskontrollen). I tredje hovedafsnit sammenlignes resultaterne fra de to programmer og de stofgrupper, der hyppigst findes i grundvandet, diskuteres.

Tabel 7 viser de aktivstoffer og nedbrydningsprodukter, der indgik i grundvandsovervågningsens stofliste for pesticidstoffer og drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 i 2022. Stoffer, der er tilføjet i 2022, er mærket med 'nyt'. I grundvand kan pesticidstoffer stamme fra erhvervsmæssig brug af sprøjtemidler og bejdsemidler i skovbrug og jordbrug, fra virksomheders og privates anvendelse i haver og anlæg, og fra anvendelse på befæstede arealer. Dertil kommer udvaskning fra spild og punktkilder, fx vaskepladser. Pesticidstofferne dækker også stoffer med biocidanvendelse og deres nedbrydningsprodukter, jf. grundvandsdirektivets bilag 1, se også kapitel 2 og Appendiks 1. Pesticidstoffer i grundvandet kan derfor også stamme fra biocidanvendelse i fx byggematerialer, imprægneret træ og facademaling. I praksis er det for nogle stoffer vanskeligt at afgøre, om stoffet bør opfattes som et pesticid/biocid i grundvandsanalyser, da stofferne kan have andre kilder end pesticidanvendelse. I pesticidkapitlet har GEUS derfor medtaget udvalgte biocidstoffer, som har tydeligt miljøfremmede egenskaber (for flere detaljer, se Appendiks 1.1).

Trifluoreddikesyre (TFA) og saccharin kan begge være pesticidnedbrydningsprodukter, men indgår ikke i gruppen af pesticidstoffer. Miljøstyrelsen har, på baggrund af TFA's store geografiske udbredelse i grundvandet i Danmark og de internationale erfaringer, vurderet, at pesticidanvendelse ikke er hovedkilden til TFA i grundvandet (Miljøstyrelsen, 2021a og b), se også kapitel 7. Saccharin er godkendt som fødevarer- og foderings ingrediens. Miljøstyrelsen anser derfor ikke saccharin for en relevant metabolit, og udvaskningen til grundvandet indgår ikke i risikovurderingen ved moderstoffernes godkendelse (Miljøstyrelsen, 2021a).

ETU og 4-nitrophenol er pesticidnedbrydningsprodukter men kan også have industrielle kilder, der ikke er pesticid/biocid-anvendelser. Så vidt vides, har ETU og 4-nitrophenol ikke haft industrielle anvendelser, der indebar 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. I analyseprogrammet for organiske mikroforureninger indgår biocidet pentachlorphenol, som for nuværende rapporteres som pesticid, samt biocidet chloroform, der rapporteres som organisk mikroforurening pga. et højt, naturligt baggrunds niveau. Stofferne hexachlorbenzen og pentachlorbenzen rapporteres som pesticidstoffer, men dannes også ved forbrændingsprocesser. Afgrænsningen af organiske mikroforureninger versus biocid-/pesticidstoffer opdateres i Jupiter og grundvandsovervågningen efterhånden som vidensgrundlaget og det administrative grundlag bliver bedre.

Ifølge drikkevandsdirektivets bilag 1B er kvalitetskravet (grænseværdien) for pesticidindholdet i drikkevand 0,10 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og nedbrydningsprodukter, mens det for summen af enkeltstoffer i en prøve er 0,50 µg/l. I grundvandsdirektivets bilag 1 er de tilsvarende kravværdier angivet til henholdsvis 0,1 µg/l og 0,5 µg/l. Kvalitetskravene gælder både for anvendelse som pesticid og som biocid. I pesticidkapitlet bruges kravværdierne numeriske værdi, og de indberettede pesticidkoncentrationer afrundes derfor ikke inden databearbejdning. Insekticiderne aldrin, dieldrin, heptachlor og heptachlor-repoxid har i drikkevandsdirektivet skærpede kvalitetskrav på 0,030 µg/l. Disse stoffer er ikke nævnt i grundvandsdirektivet, hvorfor de generelle grundvandskvalitetskrav på henholdsvis 0,1 µg/l for enkeltstoffer og 0,5 µg/l for sum bruges i kapitlets generelle pesticidopgørelser. Nogle biocidstoffer har desuden selvstændige kvalitetskrav udover det generelle kvalitetskrav for biocider på 0,1 µg/l, fx grundvandskvalitetskrav for phenoler (methylphenoler og dimethylphenoler) på 0,5 µg/l, (Miljøstyrelsen, 2021c) og drikkevandskrav på 0,01 µg/l for pentachlorphenol, (drikkevandsbekendtgørelsen) og 50 µg/l for formaldehyd (Miljøstyrelsen, 2018b). I tilfælde med dobbelte kravværdier, rapporteres på baggrund af det generelle krav i grundvandsdirektivet på 0,1 µg/l for enkeltstoffer.

Som udgangspunkt indgår alle godkendte prøver fra GRUMO-indtag og vandforsyning, der er indberettet til Jupiter, i de samlede opgørelser af pesticid-belastningen, herunder også data for pesticider, der ikke har indgået i de obligatoriske analyseprogrammer. Eneste undtagelser er, hvis der tilfældigvis opdages

analyseresultater, som er indlysende fejlbehæftede, 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 på 0,01 µg/l har generelt været den samme for de programlagte pesticider i de sidste 30 år. Nogle stoffer har dog haft forhøjede detektionsgrænser de første år, stofferne har været analyseret. Detektionsgrænser over 0,01 µg/l forekommer hyppigst i data fra vandforsyningsboringer og massescreeninger. Indberettede biocidanalyser kan have andre detektionsgrænser end for de programlagte pesticider, hvorfor den generelle detektionsgrænse på 0,01 µg/l ofte ikke gælder for disse stoffer. Andelen af prøvetagede indtag med overskridelse af kvalitetskravet for summen af pesticidstoffer er beregnet for hvert enkelt prøveresultat, der er indberettet til Jupiter. Hvis en grundvandsprøve er splittet i flere delprøver, og resultatet for hver delprøve er selvstændigt indberettet, opgøres summen for hver delprøve.

Tabel 7. GRUMO & Vandforsyning. Pesticidstoffer, der indgik i grundvandsovervågningens stofliste for pesticider (GRUMO) eller drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 (Boringskontrol) i 2022 sorteret efter stofgruppe. Baggrundsfarven viser hvilke stoffer, der er fra samme stofgruppe eller er nedbrydningsprodukter fra samme stofgruppe. Stoffer markeret med * er nedbrydningsprodukter eller synteseenheder. Stoffer tilføjet grundvandsovervågningens stofliste eller drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 i 2022, er mærket med 'nyt'. Biocidet pentachlorphenol indgår i grundvandsovervågningens analyseprogram for organiske mikroforureninger. Stoffernes stofkode i *stancode* fremgår af bilag 3.4.

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Stofgruppe	GRUMO	Borings- kontrol	Beskrivelse
BAM (2,6-dichlorbenzamid)*		X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbiciderne dichlobenil og chlorthiamid, samt fungicidet fluopicolid, der må forekomme som bejdsemiddel i importeret udsæd.
2,6-Dichlorbenzosyre*		X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbiciderne dichlobenil og chlorthiamid, samt fungicidet fluopicolid, der må forekomme som bejdsemiddel i importeret udsæd.
TFMP* (5-trifluoromethyl-pyridin-2-ol)		X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbiciderne fluazifop/fluazifop-P og fluazifop-butyl/fluazifop-P-butyl anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Metalaxyl/metalaxyl-M	Acylalanin	X	X	Fungicid. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemiddel og bejdsning). Kan forekomme som bejdsemiddel i importeret udsæd.
CGA 62826, <i>N</i> -(2,6-dimethylphenyl)- <i>N</i> -(methoxyacetyl)alanin*	Acylalanin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
CGA 108906, <i>N</i> -(2-carboxy-6-methylphenyl)- <i>N</i> -(methoxyacetyl)alanin*	Acylalanin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra metalaxyl/metalaxyl-M.
Dichlobenil	Benzonitril	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler.
Alachlor ESA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet alachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Dimethachlor ESA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet dimethachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Dimethachlor OA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet dimethachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Stofgruppe	GRUMO	Borings- kontrol	Beskrivelse
(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet dimethachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
[(2,6-dimethylphenyl)(2-sulfoacetyl)amino]eddikesyre*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet dimethachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
t-Sulfinyleddikesyre*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet acetochlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Metazachlor ESA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet metazachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid.
Metazachlor OA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet metazachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid.
Propachlor ESA*	Chloroacetanilid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet propachlor, som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
CTAS (chlorothalonilamid sulfonsyre)*	Chloronitril	X	X	Nedbrydningsprodukt fra fungicidet chlorothalonil der har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler og bejdsning) og som biocid eller konserveringsmiddel i maling.
R471811 (4-bis-Amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) *	Chloronitril		X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra fungicidet chlorothalonil der har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler og bejdsning) og som biocid eller konserveringsmiddel i maling.
2,4-Dichlorphenol*	Chlorphenol	X	X	Nedbrydningsprodukt og urenhed fra herbiciderne 2,4-D og dichlorprop. Urenhed og nedbrydningsprodukt fra biociderne pentachlorophenol og triclosan.
2,6-Dichlorphenol*	Chlorphenol	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicid-urenheden 2,6-DCPP. Urenhed og nedbrydningsprodukt fra biocidet pentachlorophenol.
Imazalil	Diazol/imidazol	X	X	Fungicid. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler og bejdsemidler) og som biocid.
ETU (ethylthiourea)*	Dithiocarbamat	X	X	Nedbrydningsprodukt og syntese-forurening i dithiocarbamat fungicider fx maneb, zineb, metiram og mancozeb. Moderstoffer med biocidanvendelse: zineb, mancozeb, maneb og nabam. ETU bruges også i industrielle processer fx vulkanisering.
Imidacloprid	Neonicotinoid	X		Insekticid, anvendt som plantebeskyttelsesmiddel (sprøjtemidler og bejdsning) og som biocid.
4-Nitrophenol*	Nitrophenol	X	X	Vækstregulerende middel (som <i>p</i> -nitrophenolate) og

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Stofgruppe	GRUMO	Borings- kontrol	Beskrivelse
				nedbrydningsprodukt fra insektici- det methylparathion (sprøjtemid- del). Kan også stamme fra indu- strielle synteseprocesser.
Hexachlorbenzen	Organochlor	X		Fungicid. Anvendt som plantebe- skyttelsesmiddel (bejsemiddel og fumigant) og som biocid. Også synteseurenhed i chlorothalonil og formodentlig i andre pesticider. Kommer også fra forbrændingspro- cesser.
Pentachlorbenzen*	Organochlor	X		Nedbrydningsprodukt fra fungicidet quintozen og hexachlorbenzen. Sandsynligvis også synteseurenhed i quintozen. Kommer også fra for- brændingsprocesser.
Glyphosat	Organofosfo- nat	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
AMPA (aminomethyl- phosphonsyre)*	Organofosfo- nat	X	X	Nedbrydningsprodukt fra glypho- sat.
Dichlorprop/dichlorprop-P	Phenoxysyre	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
Mechlorprop/mechlorprop-P	Phenoxysyre	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
2,4-D	Phenoxysyre	X		Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
MCPA	Phenoxysyre	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
4-CPP (2-(4-chlorphenoxy)- propionsyre)*	Phenoxysyre	X	X	Urenhed i phenoxysyrerne dichlor- prop og mechlorprop, også ned- brydningsprodukt fra dichlorprop.
2-CPP*	Phenoxysyre	X		Urenhed i phenoxysyren dichlor- prop, muligvis også nedbrydnings- produkt fra dichlorprop
2C6MPP	Phenoxysyre	X		Urenhed i phenoxysyren mechlor- prop.
2,6-DCPP (2-(2,6-dichlorp- henoxy)propionsyre))*	Phenoxysyre	X	X	Urenhed i phenoxysyren dichlor- prop.
Diuron	Phenylurea	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid fx i overfladefilmkon- servering og i bygningsmaterialer fx pudset murværk.
Monuron	Phenylurea	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid
DPC (desphenylchloridazon)*	Pyridazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet chloridazon, som har været an- vendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
MDPC (methyl-desphenyl- chloridazon)*	Pyridazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet chloridazon, som har været an- vendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Chlopyralid	Pyridin	X ^{nyt}		Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
DMS (N,N-dimethylsulfamid)*	Sulfamid	X	X	Nedbrydningsprodukt fra fungici- derne dichlofluanid og tolylfluanid, der har været anvendt i plantebe- skyttelsesmidler (sprøjtning og bejdsning) og som biocider og

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Stofgruppe	GRUMO	Borings- kontrol	Beskrivelse
				konserveringsmidler i fx træbe- skyttelse og maling. Også nedbryd- ningsprodukt fra fungicidet cy- azofamid, der har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjt- ning af kartofler).
PPU (IN-70941)*	Sulfonylurea	X		Nedbrydningsprodukt fra herbicidet rimsulfuron som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjt- ning af kartofler).
PPU-desamino (IN-70942)*	Sulfonylurea	X		Nedbrydningsprodukt fra herbicidet rimsulfuron som har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjt- ning af kartofler).
Metaldehyd	Tetroxocan	X	X	Molluskicid, anvendt som plantebe- skyttelsesmiddel (sneglekorn) og som biocid.
Bentazon	Thiadiazin	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
Atrazin	Triazin (chlortriazin)	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler).
Atrazin, hydroxy-*	Triazin (chlortriazin)	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Atrazin, desethyl-*	Triazin (chlortriazin)	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin.
Atrazin, desisopropyl-*	Triazin (chlortriazin)	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin, simazin og cyanazin.
DEIA (desethyl-desisopropylat- razin)*	Triazin (chlortriazin)	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, terbuthylazin, simazin og cyanazin.
Desethyl-hydroxyatrazin*	Triazin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin og prometryn.
Desisopropyl-hydroxyatrazin*	Triazin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin, cyanazin, terbutryn og formentlig også pro- metryn.
Didealkyl-hydroxyatrazin (syn. hydroxy-DEIA)*	Triazin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra atrazin, simazin, terbuthylazin, cyanazin, prometryn og formentlig også ter- butryn og cybutryn
Simazin	Triazin (chlortriazin)	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyt- telsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid.
Simazin, hydroxy-*	Triazin	X	X	Nedbrydningsprodukt fra simazin.
Terbuthylazin-desethyl*	Triazin (chlortriazin)	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet terbuthylazin anvendt i plantebe- skyttelsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid.
LM5 (6-(tert-Butylamino)- 1,3,5-triazin-2,4-diol)*	Triazin		X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet terbuthylazin anvendt i plantebe- skyttelsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid. Sandsynligt nedbryd- ningsprodukt fra herbicidet terbut- ryn anvendt som biocid i maling og byggematerialer
LM6 (4-(tert-Butylamino)-6- hydroxy-1-methyl-1,3,5-tria- zin-2(1H)-on) *	Triazin		X ^{nyt}	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet terbuthylazin anvendt i plantebe- skyttelsesmidler (sprøjtemidler) og som biocid. Sandsynligt nedbryd- ningsprodukt fra herbicidet

Pesticid/ nedbrydningsprodukt*	Stofgruppe	GRUMO	Borings- kontrol	Beskrivelse
				terbutryn anvendt som biocid i maling og byggematerialer
Hexazinon	Triazinon	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtemidler).
Metribuzin	Triazinon	X	X	Herbicid. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler (sprøjtning af kartofler).
Metribuzin-desamino*	Triazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Metribuzin-diketo*	Triazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Metribuzin-desamino-diketo*	Triazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Metamitron-desamino*	Triazinon	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet metamitron. Anvendt i plantebeskyttelsesmidler
1,2,4-triazol*	Triazol	X	X	Nedbrydningsprodukt fra herbicidet amitrol og triazolfungicider fx tebuconazol, metconazol, difenoconazol, epoxiconazol, propiconazol, prothioconazol og mefentrifluconazol. Moderstofferne har været anvendt i plantebeskyttelsesmidler, herunder bejdsemidler (fx tebuconazol og prothioconazol), i vækstregulerende midler (fx metconazol), som biocid og konserveringsmidler i maling og træbeskyttelse (fx propiconazol og tebuconazol) og som lægemidler (fx fluconazol).

5.1 Grundvandsovervågning

Datagrundlag

I dette afsnit anvendes pesticidanalyser fra GRUMO-indtag fra de seneste 10 år, dvs. perioden 2013-2022. Undtaget herfra er tidsserierne for den faste kerne af indtag, som går tilbage til 1998. Periodeopgørelser for den generelle pesticidbelastning indeholder prøver for alle undersøgte pesticidstoffer, hvor prøveresultater er indberettede og godkendte i perioden. Grundvandsovervågningsens stationsnet har over årene gennemgået en række ændringer, dels af tekniske årsager, 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 på grundvandsovervågningsens stofliste for pesticider ved revision i forbindelse med ny programperiode, når der sker ændringer i drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2, eller når Miljøstyrelsen i øvrigt vurderer det relevant at undersøge for nye stoffer. 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 vist i bilag 3. De programlagte stoffer er de senere år suppleret med screeningsundersøgelser af udvalgte indtag. Screeningsresultaterne indgår i de generelle opgørelser.

Stationsnettet dækker hovedsageligt pesticidbelastningen i det åbne land for at beskrive påvirkningen fra plantebeskyttelsesmidler. Det betyder samtidig, at belastningen fra biocidanvendelser i bebyggede områder, fx træbeskyttelsesmidler og biocider i byggematerialer og facademaling, er underrepræsenteret.

Prøvetagningsfrekvensen har varieret meget 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, så indtag med tidligere pesticidfund er

programlagt til prøvetagning oftere end indtag uden forudgående fund. Dette skyldes blandt andet, at overvågningen er tilpasset vandrammedirektivet, se kapitel 2. Prøvetagningen har siden 2017 vekslet mellem kontrolovervågning, hvor alle indtag programlagt til pesticidovervågning prøvetages, og operationel overvågning, hvor der fortrinsvist prøvetages indtag med tidligere pesticidfund. 2022 var et år med operationel overvågning, se også kapitel 2. Datasættene for 2017-2022 afviger derfor markant fra de tidligere år og kan ikke sammenlignes direkte med tidligere år, der ikke var opdelt i kontrolovervågning og operationel overvågning.

Metode

Variationen i prøvetagningsfrekvens betyder, at det er kompliceret at opstille meningsfulde generelle tidsserier baseret på enkeltår. I løbet af en treårs-periode er der imidlertid udtaget mindst én prøve fra stort set alle indtag, som er programlagt til pesticidovervågning. 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 kvalitetskravet, eller hvor summen af påviste pesticider har overskredet kvalitetskravet. Denne metode betegnes 'periodeopgørelsen', idet formålet med opgørelsen er at karakterisere pesticidbelastningen indenfor en given periode. Det helt centrale i opgørelsen er, at hvert indtag kun tæller med én gang i opgørelser over andelen af indtag i de tre koncentrationsintervaller (ikke påvist; påvist $\leq 0,1 \mu\text{g/l}$; $> 0,1 \mu\text{g/l}$), selv om der har været udtaget flere vandprøver eller er flere fund. De metodiske forhold er indgående diskuteret i Appendiks 1. Det optælles ikke, hvor mange stoffer, der har været påvist, eller hvor mange stoffer, der har overskredet kvalitetskravet.

Status, pesticider i grundvandsovervågningen

Tabel 8 viser, at der i 2022 blev fundet pesticidstoffer i 82,9 % af de undersøgte indtag. Kvalitetskravet for enkeltstoffer ($0,1 \mu\text{g/l}$) var overskredet mindst én gang i 41,1 % af indtagene og kvalitetskravet for summen af målte stoffer ($0,5 \mu\text{g/l}$) var overskredet i 17,0 %. Bemærk, at 2022 var et år med operationel overvågning, fundprocenterne er derfor ikke repræsentative for hele stationsnettet.

Tabel 8 viser også en periodeopgørelse for 2020-2022, hvor stort set alle programlagte indtag er prøvetaget mindst én gang. Enkeltstoffer blev i perioden påvist i 67,6 % af indtagene, og kvalitetskravet for enkeltstoffer på $0,1 \mu\text{g/l}$ var overskredet mindst én gang i 33,0 % af indtagene. Summen af målte stoffer overskred kvalitetskravet på $0,5 \mu\text{g/l}$ mindst én gang i 13,0 % af de undersøgte indtag i perioden.

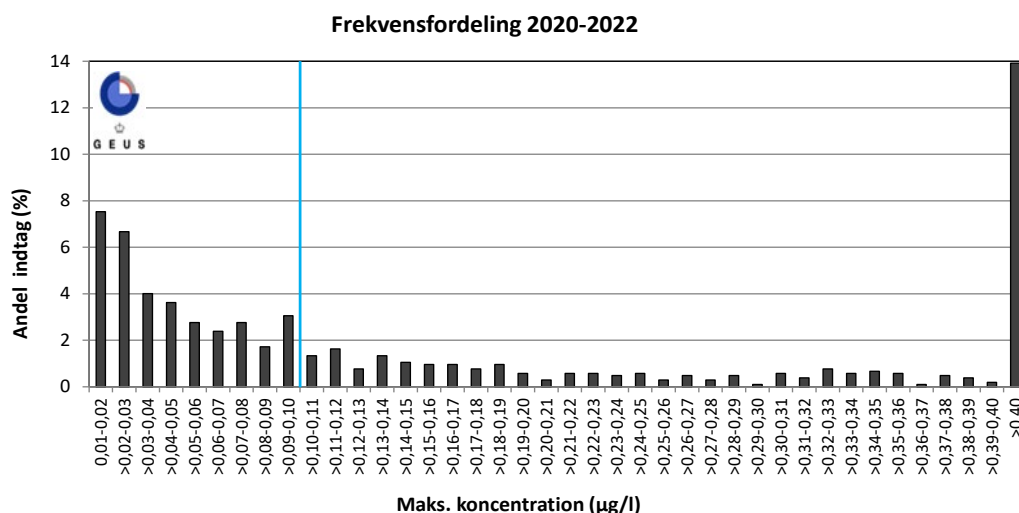
Tabel 8. GRUMO. Pesticidfund i GRUMO-indtag vist som antal og procentvis fordeling af indtag. Indtagene er opdelt i indtag med mindst ét fund og indtag med mindst én overskridelse af kvalitetskravet ($> 0,1 \mu\text{g/l}$ for enkeltstoffer og $> 0,5 \mu\text{g/l}$ for summen) for enkelte år og for perioden 2020-2022, hvor alle indtag er analyseret mindst én gang. ^a: Kontrolovervågning, ^b: Operationel overvågning.

GRUMO	Indtag Antal				Indtag Andel (%)		
	I alt	Med fund	Enkeltstof $> 0,1 \mu\text{g/l}$	Sum $> 0,5 \mu\text{g/l}$	Med fund	Enkeltstof $> 0,1 \mu\text{g/l}$	Sum $> 0,5 \mu\text{g/l}$
2022 ^b	694	575	285	118	82,9	41,1	17,0
2021 ^a	1031	603	272	125	58,5	26,4	12,1
2020 ^b	533	386	208	85	72,4	39,0	15,9
2020-2022	1049	709	346	136	67,6	33,0	13,0

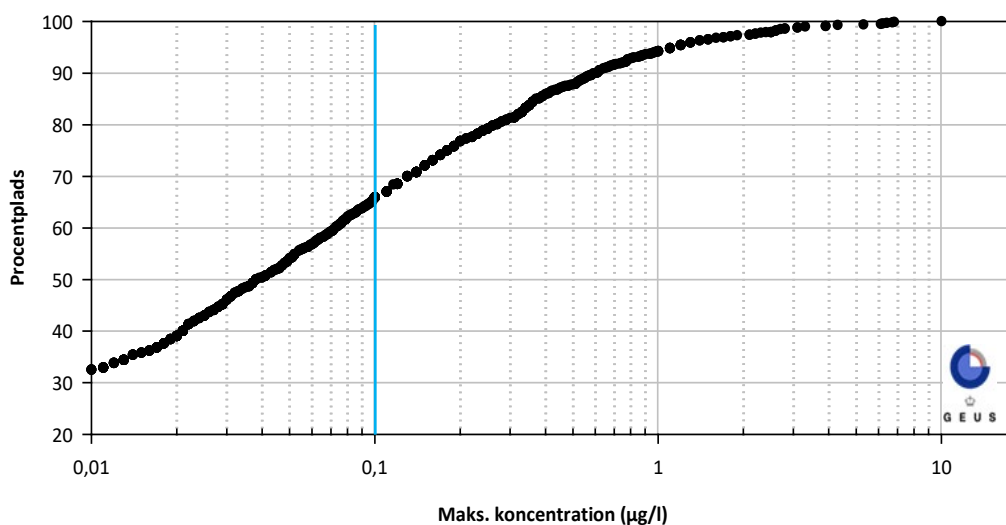
I årene 2020-2022 havde alle prøver med en overskridelse af kvalitetskravet for sum også en overskridelse af kvalitetskravet for mindst et enkeltstof. I hele grundvandsovervågningens datasæt (1990-2022) overskrider kun én prøve sumkriteriet, uden der er en overskridelse af kvalitetskravet for et enkeltstof. I denne prøve var summen af pesticider $0,54 \mu\text{g/l}$ og maksimum-koncentrationen for et enkeltstof præcis $0,10 \mu\text{g/l}$. Opgørelser for de enkelte stoffer i 2022 og for perioden 2013-2022 fremgår af Tabel 11 og Tabel 12 (de 25 hyppigste stoffer) samt bilag 6.1 og 6.2 (alle stoffer).

Koncentrationsfordeling

Figur 49 og Figur 50 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordelte sig i perioden 2020-2022. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i perioden. Fundandelen på Figur 49 angiver, hvor mange procent af indtagene, der indeholdt pesticider for hvert koncentrationsinterval. Fundandelen aftager hurtigt med stigende koncentration, men der er samtidig en meget lang 'hale' af fund over kvalitetskravet, vist samlet for indtag med koncentrationer $>0,4 \mu\text{g/l}$.



Figur 49. GRUMO. Frekvensfordeling med lineære trin for højest målte pesticidkoncentration i GRUMO-indtag prøvetaget i perioden 2020-2022. Kvalitetskravet på $0,1 \mu\text{g/l}$ er markeret med en lodret linje, se i øvrigt Figur 50.

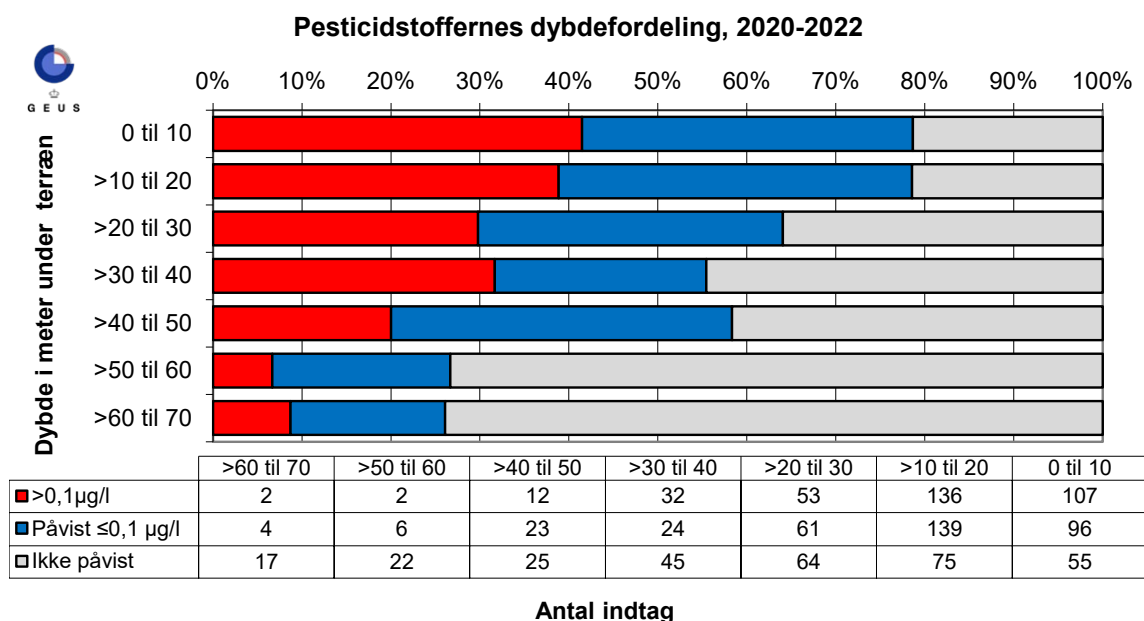


Figur 50. GRUMO. Koncentrationsfordeling for højeste målte pesticidkoncentration i GRUMO-indtag prøvetaget i perioden 2020-2022, vist med logaritmisk x-akse. Det fremgår, at der ikke blev påvist pesticider i 32,4 % af de undersøgte indtag i perioden 2020-2022.

Fordelingen af indtag med høje koncentrationer ses tydeligere, når pesticidkoncentrationerne vises som fordelingsfunktion med en logaritmisk skala som i Figur 50, se evt. Appendiks 1.2. Den kumulerede hyppighed vist på y-aksen viser fx for koncentrationen $0,2 \mu\text{g/l}$ en værdi på 76,8 %, hvilket viser, at den højeste koncentration for et enkeltstof er mindre end $0,2 \mu\text{g/l}$ i 76,8 % af de undersøgte indtag i 2020-2022. Når flere indtag har samme koncentration, er de repræsenteret af ét punkt.

Dybdefordeling

Figur 51 viser pesticidernes forekomst i forskellige dybder for perioden 2020-2022. Der er for få indtag dybere end 70 m u.t. til at give en meningsfuld fordeling på de tre koncentrationsklasser. Fundandelene falder generelt med dybden. I perioden 2020-2022 blev pesticider påvist i seks indtag, der havde top af indtag i mere end 100 m u.t., hvoraf ét indtag overskred kvalitetskravet. Det dybeste pesticidfund var i 158 m u.t. (DGU nr. 46.910, indtag 1; bentazon: 0,071 µg/l; DPC: 0,028 µg/l) i et kalkmagasin lige over en salt diapir (salthorst), hvor bentazon er påvist i alle prøver, dvs. siden 2013. Ved en salt diapir er de geologiske lag kraftigt forstyrrede med skråtstillede lag og sprækker, hvor pesticider kan transporteres til stor dybde. 2022 var et år med operationel overvågning, hvor resultaterne ikke er repræsentative for stationsnettet. Der er derfor ingen figur for dybdefordelingen i 2022.



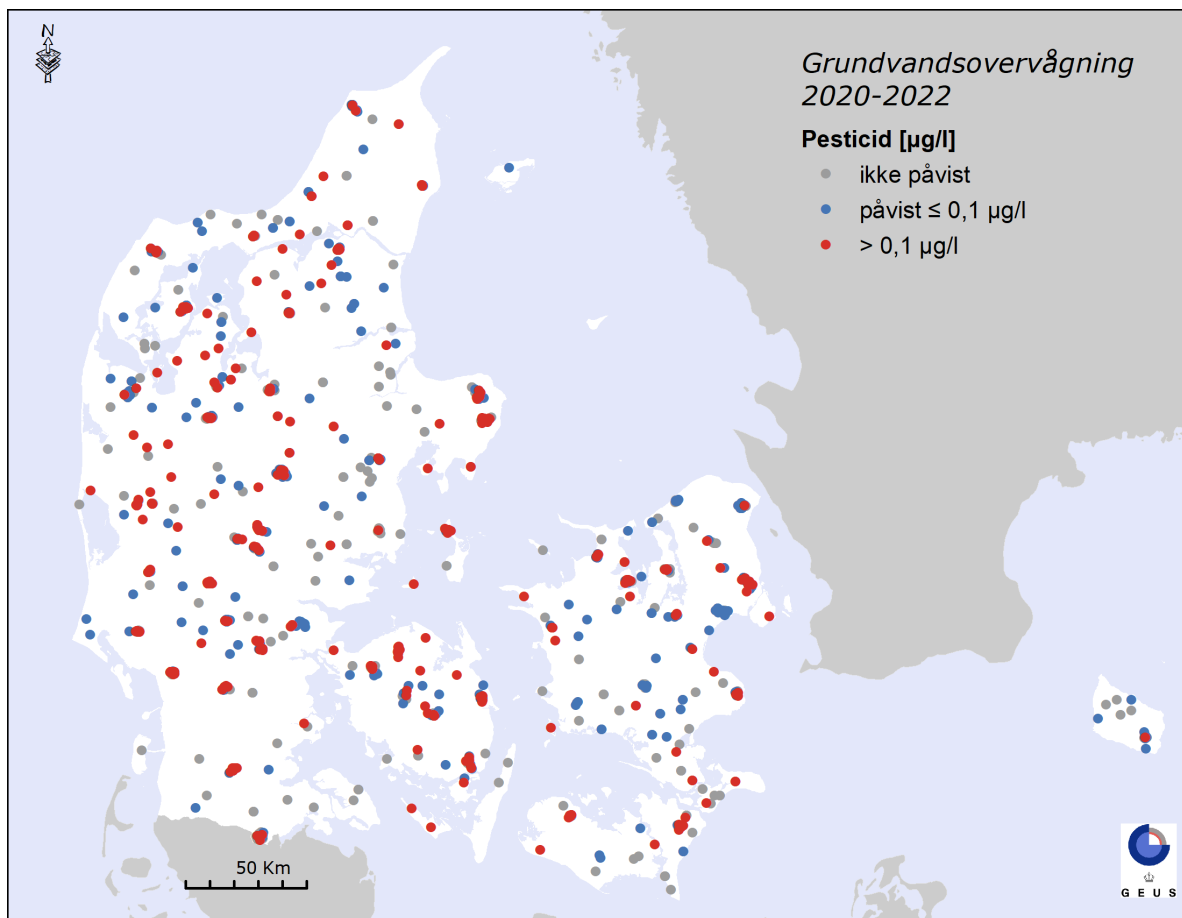
Figur 51. GRUMO. Pesticidstoffers dybdefordeling for GRUMO-indtag prøvetaget i perioden 2020-2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, påvist ≤0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01 µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til indtagets top. Indtag med top dybere end 70 m u.t. er ikke vist.

Geografisk fordeling af pesticider i grundvandsovervågningen

Figur 52 viser den geografiske fordeling af pesticider i grundvandet i GRUMO-indtag i perioden 2020-2022, hvor de fleste programlagte indtag er prøvetaget mindst én gang. I perioden er der påvist pesticidstoffer over- og under kvalitetskravet jævnt fordelt i hele landet.

Nye stoffer i grundvandsovervågnings analyseprogram i 2022

Clopyralid var det eneste 'nye' stof i det generelle analyseprogram for grundvandsovervågningen i 2022. Clopyralid er tidligere påvist én gang i hver af screeningerne i 2019 (DGU nr. 125.2029: 0,019 µg/l) og 2020 (DGU nr. 121.959: 0,17 µg/l), hvor 248-250 indtag blev testet. Der var i 2022 to fund af clopyralid (71.482: 0,066 µg/l; 55.1129: 0,01 µg/l) ud af de 694 undersøgte indtag, hvilket gav en fundandel på 0,3 % uden overskridelse af kvalitetskravet. Derudover blev clopyralid screenet i 67 indtag i perioden 1997-1999 (1997: 9 indtag; 1998: 56 indtag; 1999: 61 indtag) med fund i ét indtag (DGU nr. 136.844: 1998 - 0,12 µg/l; 1999 - 0,11 µg/l). I perioden 1997-1999 var detektionsgrænsen forhøjet fra 0,01 µg/l til 0,03 µg/l. Med det nuværende datagrundlag kan det konkluderes, at clopyralid kun forekommer sporadisk og sandsynligvis ikke udgør et generelt grundvandsproblem i det åbne land. Clopyralid forekommer langt hyppigere i punktkildeundersøgelser med fund i 5,1 % af indtagene og overskridelse af kvalitetskravet i 3,4 % af indtagene i perioden 2013-2022 (Miljøstyrelsen og GEUS, 2023).



Figur 52. GRUMO. Pesticidstoffers geografiske fordeling for GRUMO-indtag i perioden 2020-2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét pesticid er påvist mindst én gang over kvalitetskravet ($>0,1 \mu\text{g/l}$), ét pesticid er påvist mindst én gang under kvalitetskravet (påvist $\leq 0,1 \mu\text{g/l}$), eller pesticider ikke er påvist (under detektionsgrænsen, typisk $<0,01 \mu\text{g/l}$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Screening i 2022

I 2022 blev 249 udvalgte indtag screenet for fire pesticidstoffer, som ikke tidligere har indgået i grundvandsovervågningens generelle analyseprogram (Miljøstyrelsen, 2023). Det var stofferne LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on), IN-E9260 (3-(ethylsulfonyl)-2-pyridinesulfonamide), THPAM (tetrahydrophtalamic syre) og maleinhydrazid (1,2-dihydropyridazine-3,6-dione) som alle blev analyseret med detektionsgrænsen $0,01 \mu\text{g/l}$. LM3 blev påvist i 54 indtag (21,7 %) med overskridelse af kvalitetskravet i fem indtag (2,0 %). Ligesom 6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol (LM5) og 4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one (LM6), som blev påvist i tidligere screeninger, er LM3 et nedbrydningsprodukt fra herbicidet terbuthylazin, der har været solgt som bekæmpelsesmiddel i perioden 1973-2008. LM3 er sandsynligvis også et nedbrydningsprodukt fra biocidet terbutryn, der i struktur er næsten identisk med terbuthylazin. De andre tre screeningsstoffer blev ikke påvist.

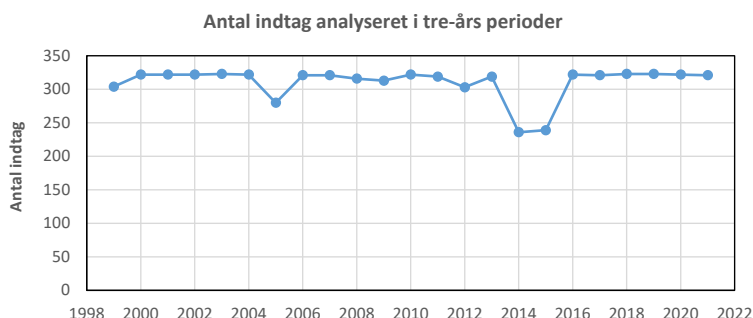
Tidslig udvikling i den faste kerne af indtag

I dette afsnit præsenteres resultater for en fast kerne af indtag, som er prøvetaget jævnlige siden 1998. Da der er tale om udvalgte indtag, er fundandelene ikke nødvendigvis repræsentative for stationsnettet som helhed, men udviklingen over tid er sandsynligvis den samme som i resten af stationsnettet.

Opgørelser af pesticidernes tidslige udvikling kompliceres af, at der over årene har indgået forskellige indtag i måleprogrammet. GEUS har derfor udvalgt en fast kerne på 323 indtag, som er prøvetaget til pesticidanalyse nogenlunde regelmæssigt. 1998 er valgt som første år, idet analyseprogrammet før 1998 var meget anderledes, end det er i dag. Vi har valgt indtag, hvor datahullerne er på højest tre

sammenhængende år, men har accepteret, at der i tidsserierne kan forekomme et enkelt datahul på fire sammenhængende år. Indtagene i den faste kerne er spredt over det meste af landet og udgør en delmængde af det oprindelige GRUMO-stationsnet, der i hvert af 73 GRUMO-områder repræsenterede oplandet til en vandforsyning, se Appendiks 2.

Den tidlige udvikling i den faste kerne bygger på treårige periodeopgørelser. Figur 53 viser, at perioderne 2004-2006, 2013-2015 og 2014-2016 (vist på årene 2005, 2014 og 2015 i Figur 53) havde færre prøvetagede indtag end resten af perioderne. Fundandelene afviger også for disse tre periodeopgørelser, hvorfor de udgår af datasættet.



Figur 53. GRUMO. Tidlig udvikling i prøvetagning af de 323 GRUMO-indtag i den faste kerne af indtag til belysning af pesticidtidsserier. Hvert år repræsenterer opgørelser af antal indtag, som er analyseret mindst én gang indenfor en tre-årsperiode (forudgående, aktuelle og efterfølgende år).

Udviklingen i den generelle pesticidbelastning kan i sagens natur kun beregnes for de stoffer, der indgik i analyseprogrammerne i de enkelte programperioder, DMS, 1,2,4-triazol, R471811 og LM3 har meget høje fundandele, se Tabel 13 og Tabel 14, men har kun været analyseret i få år. Det må formodes, at de har været vidt udbredte i grundvandet i en årrække, men det er ikke muligt at vurdere, hvor stort omfanget har været. Derfor kan man heller ikke beregne retvisende trends for den generelle pesticidbelastning eller den faste kerne. Det er kun muligt at beregne den tidlige udvikling for enkeltstoffer.

Figur 54 og bilag 5 viser udviklingen i fundandele for udvalgte stoffer i den faste kerne af indtag. Stofferne er valgt ud fra, at de skal repræsentere forskellige stofgrupper og så vidt muligt have lange tidsserier. Det skal bemærkes, at fundandelene under 3 % er meget usikre, idet 3 % svarer til 10 indtag og ændringer i enkelte indtag kan derfor påvirke udviklingen betydeligt.

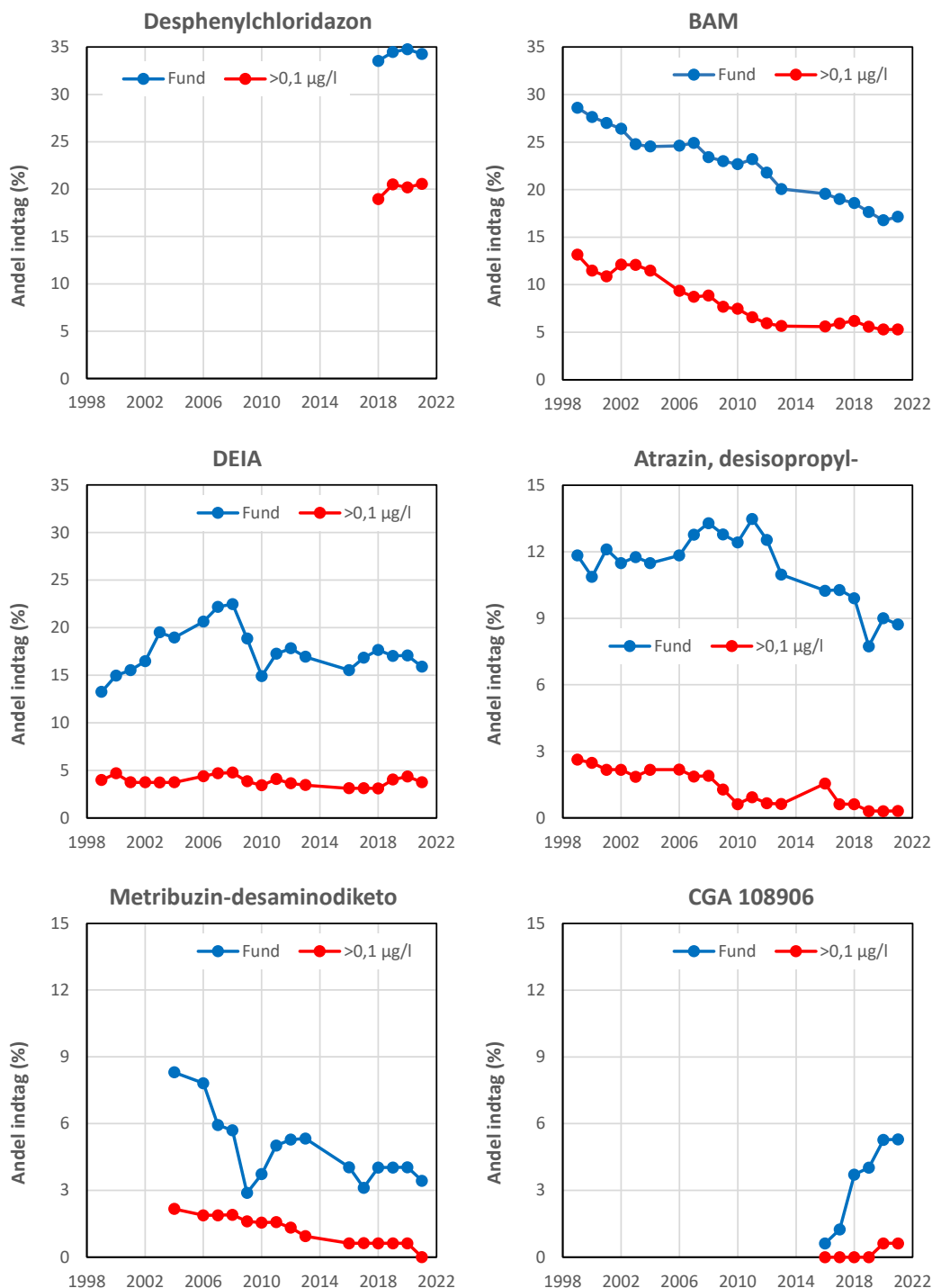
Figur 54 viser, at **DPC** var det hyppigst påviste af de udvalgte stoffer i den faste kerne af indtag. Figuren antyder, at DPC's udbredelse i disse indtag har været nogenlunde konstant i de fire tre-årsperioder, hvorfra der findes data, men en endelig konklusion kræver flere datapunkter.

Det næsthypigste af de udvalgte stoffer er **BAM**. BAM's samlede fundandele har været jævnt faldende i hele perioden. BAM's overskridelser af kvalitetskravet var faldende frem til 2014 og har derefter været konstant omkring 5 %. Salget af BAM's ene moderstof dichlobenil stoppede i 1996, salget af det andet moderstof chlorthiamid stoppede i 1980 (Miljøstyrelsen, 2017a). Udsæd bejdsset med det tredje moderstof fluopicolid kan fortsat importeres fra EU-lande, hvor bejdsningen er tilladt.

DEIA og **desisopropylatrazin** er nedbrydningsprodukter fra en række chlortriazinere, se Tabel 7, hvor anvendelsen af moderstofferne nu er forbudt. DEIA's fundandele toppede omkring 2008, hvorimod andelen af indtag med overskridelse af kvalitetskravet har været stort set konstant siden 1999. Desisopropylatrazins fundandele har været faldende siden 2011, mens andelen af overskridelser af kvalitetskravet har været faldende i hele perioden, så overskridelser nu næsten ikke forekommer i den faste kerne af indtag.

Metribuzin-desaminodiketo viser en faldende tendens, tydeligst for overskridelser af kvalitetskravet. Moderstoffet metribuzin blev forbudt i 2004.

For metalaxyls nedbrydningsprodukt **CGA 108906** er der kun data for en kort årrække og i den har andelen af indtag med fund været kraftigt stigende. CGA 108906 viser nu også overskridelser af kvalitetskravet i den faste kerne af indtag. Tidsserier for bentazon, dichlorprop, mechlorprop, CGA 62826 og hezazinon er vist i bilag 5.



Figur 54. GRUMO. Tidlig udvikling i andelen af fund af udvalgte pesticider og nedbrydningsprodukter i den faste kerne af indtag. Hvert år repræsenterer opgørelser af andelen af indtag, hvor stoffet er påvist mindst én gang indenfor en tre-årsperiode (forudgående, aktuelle og efterfølgende år).

5.2 Vandforsyningsboringer

Datagrundlag

I dette afsnit rapporteres pesticidanalyser fra de almene vandforsynings indtag i perioden 2013-2022. Data fra vandforsyningsboringerne illustrerer forholdene i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand af de almene vandforsyninger. Da vandforsyningerne af mange grunde nedlægger og etablerer borer, afspejler udviklingen i fund pr. år kun i mindre grad effekten af handleplaner rettet mod at forbedre tilstanden i grundvandsmagasinerne, men derimod vandforsyningernes håndtering af problemerne med pesticider i indvindingsboringerne (DANVA, 2018). Det skal bemærkes, at der ikke er krav om, at alle analyseresultater indberettes til Jupiter, det gælder fx driftsprøver.

I hvert års rapportering indgår kun data fra aktive vandforsyningsindtag, se bilag 8. Det betyder, at omfanget og antallet af indtag, og dermed datasættet, varierer fra år til år, fordi data fra ikke-aktive vandforsyningsindtag løbende udgår af datasættet. Indtag, som for en periode har været inaktive, kan senere inddrages igen i vandforsyningen og dermed atter indgå i datasættet. Grundvandet i vandforsyningsindtag skal som minimum analyseres for de pesticidstoffer, der fremgår af drikkevandsbekendtgørelsens pesticidliste (bekendtgørelsens bilag 2), hvor sammensætningen af stoffer varierer over årene. Tabel 7 viser de pesticidstoffer, der var obligatoriske i 2022. Vandforsyningerne har over årene analyseret for flere stoffer end angivet i drikkevandsbekendtgørelsens pesticidliste, 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 drikkevandsforsyningen. Data for pesticider, der ikke er en del af drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2, medtages i de generelle opgørelser af pesticidbelastningen. Bilag 6.3 og 6.4 viser en samlet oversigt over stoffer, som indgår i beregningerne, samt deres forekomst i vandforsyningsboringer. Råvandet fra indvindingsboringer skal mindst analyseres for pesticidstoffer hvert tredje-femte år, afhængig af den producerede eller distribuerede vandmængde, hvorfor der anvendes en fem-årsperiode i mange opgørelser i denne rapport.

Status for pesticider i vandforsyningsboringer

Tabel 9 viser den seneste udvikling i fund af pesticidstoffer i grundvand fra vandforsyningsboringer. Opgørelsen er lavet på indtagsniveau, da nogle borer har flere indtag. Der blev i 2022 fundet mindst ét pesticid i 50,2 % af de undersøgte vandforsyningsindtag, hvor 13,2 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet, og hvor 1,7 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet for pesticidernes sum.

Tabel 9. Vandforsyning. Pesticidfund i vandforsyningsboringerne 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 kvalitetskravet (>0,1 µg/l for enkeltstoffer og 0,5 µg/l for summen) for enkelte år og for perioden 2018-2022. 2019-tal i parentes er opgørelser uden indtag, som kun er analyseret for CTAS og/eller chlorothalonilamidbenzoesyre. Hvert år bygger på data fra årsspecifikke udtræk fra Jupiter.

Vandforsyning	Indtag antal				Indtag andel (%)		
	I alt	Med fund	Enkeltstof >0,1 µg/l	Sum >0,5 µg/l	Med fund	Enkeltstof >0,1 µg/l	Sum >0,5 µg/l
2022	2405	1208	317	41	50,2	13,2	1,7
2021	2393	1198	321	56	50,1	13,4	2,3
2020	2219	1131	323	51	51,0	14,6	2,3
2019	3933 (2494)	1142 (1130)	318 (317)	55 (55)	29,0 (45,3)	8,1 (12,7)	1,4 (2,2)
2018	2556*	1043*	284*	50*	40,8*	11,1*	2,0*
2018-2022	6386	2587	687	127	40,5	10,8	2,0
*Opgjort for borer i stedet for indtag. Fra 2019 er pesticiddata opgjort for de enkelte vandværksindtag i stedet for (som tidligere) på boringsniveau. Databehandlingen bliver dermed identisk med grundvands- overvågningen.							

Fundandelene har været kraftigt stigende fra 2016 (25,2 %) til 2020 (51,0 %), når man for 2019 fraregner indtag, som kun blev analyseret for CTAS/chlorothalonilamidbenzoylsyre. Stigningen skyldes ikke, at grundvandets tilstand er væsentligt ændret i perioden, men nærmere at vores erkendelse af tilstanden er ændret, efterhånden som flere og flere indtag blev testet for DPC, MDPC og DMS.

Tabel 9 viser også, at i perioden 2018-2022 blev pesticider fundet mindst én gang i 40,5 % af de undersøgte indtag, hvor 10,8 % af de undersøgte indtag havde mindst én overskridelse af kvalitetskravet. Kvalitetskravet for summen af pesticider var overskredet mindst én gang i 2,0 % af de undersøgte indtag. Opgørelsen for perioden 2018-2022 viser mindre fundandele end i 2022. Dette skyldes sandsynligvis, at indtag med pesticidfund prøvetages hyppigere end indtag uden pesticider, samt at en mindre andel er analyseret for R471811 i perioden 2013-2022.

I det samlede datasæt for vandforsyningsboringerne er der ingen overskridelse af kvalitetskravet for Sum af påviste pesticider, uden at der også er mindst én overskridelse af kvalitetskravet for et enkeltstof.

Pesticidstoffer med skærpede drikkevandskrav

Tabel 12 viser en oversigt over 6 pesticidstoffer med skærpede drikkevandskrav. Fire ældre organochlorinsekticider, aldrin, dieldrin, heptachlor og heptachlorepoxyd har alle et skærpet kvalitetskrav for drikkevand på 0,03 µg/l. Der er ingen registrerede produkter i Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddeldatabase, men ifølge Miljøstyrelsens salgsstatistikker har dieldrin været solgt i perioden 1956-1988. Derudover er aldrin i 1960 listet af Statens Forsøgsvirksomhed som godkendt sprøjtemiddel og som bejdse til korn og kålroer (Statens Forsøgsvirksomhed, 1960) og i 1962 også godkendt til udstrøning før såning (Statens Forsøgsvirksomhed, 1962). Aldrin er ikke nævnt på listerne for 1954, 1957 og 1958. De fire stoffer binder hårdt til jorden og er ikke påvist i vandforsyningernes boringer i perioden 2018-2022, bortset fra ét indtag med fund af heptachlorepoxyd i koncentrationen 0,01 µg/l.

Pentachlorphenol er et ældre biocidstof brugt til træbeskyttelse og imprægnering. Pentachlorphenol overskred det skærpede kvalitetskrav i seks indtag (0,6 %). For pentachlorphenol er langt de fleste analyseresultater i perioden 2018-2022 indberettet med detektionsgrænsen 0,01 µg/l. Det er dermed ikke muligt at sige noget om forekomsten under kvalitetskravet på 0,01 µg/l.

DMSA er et nedbrydningsprodukt fra cyazofamid. DMSA fik et kvalitetskrav på 0,01 µg/l i 2023 efter fund af stoffet i Varslingssystem for udvaskning af pesticider til Grundvandet (VAP) (Badawi mfl., 2023) og efterfølgende sundhedsvurdering. Der var ingen målinger af stoffet i vandforsyningernes boringskontrol i 2022 eller tidligere.

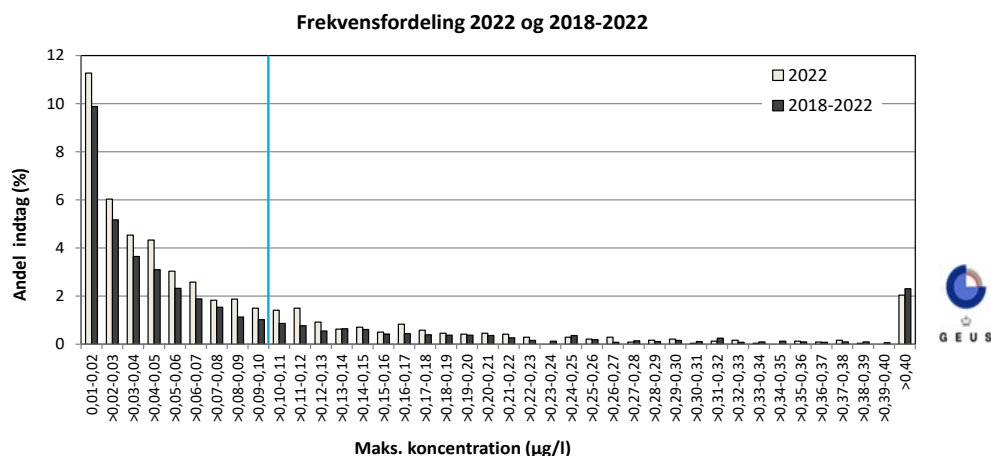
Tabel 10. Vandforsyning. Forekomst af pesticidstoffer med skærpet drikkevandskrav opgjort for indtag prøvetaget i perioden 2018-2022. ^A: Drikkevandsbekendtgørelsen. ^B: EU 2020, drikkevandsdirektivet. ^C: Miljøstyrelsen 2023b, liste over drikkevandskvalitetskriterier.

Vandforsyning	Kravværdi (µg/l)	Indtag, antal			Indtag, andel (%)	
		Antal	Med fund	>Kravværdi	Med fund	>Kravværdi
Aldrin	0,03 ^{A,B}	2177	0	0	0,0	0,0
Dieldrin	0,03 ^{A,B}	2177	0	0	0,0	0,0
Heptachlor	0,03 ^{A,B}	2126	0	0	0,0	0,0
Heptachlorepoxyd	0,03 ^{A,B}	2104	1	0	0,0	0,0
Pentachlorphenol	0,01 ^A	992	6	6	0,6	0,6
DMSA (N,N-dimethylsulfamidsyre)	0,01 ^C	0	0	0	-	-

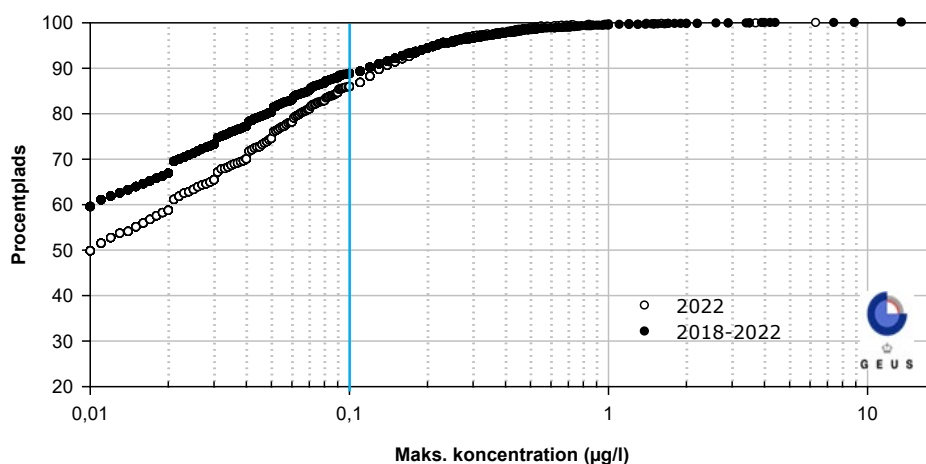
Koncentrationsfordeling i vandforsyningsboringer

Figur 55 viser, hvordan pesticidkoncentrationerne fordelte sig i 2022 og i perioden 2018-2022. Hvert indtag er repræsenteret ved det stof, der er påvist i højest koncentration i 2022 eller 2018-2022. Når man sammenligner frekvensfordelingerne i GRUMO-indtag (Figur 49), med vandforsyningsindtagene (Figur

55), udgør indtag med høje pesticidkoncentrationer en mindre andel af vandforsynings-indtagene. Dette afspejler, at vandforsyningerne gennemsnitligt indvinder fra større dybde end GRUMO-indtag. Samtidig afspejler det vandforsyningernes evne til at etablere nye borer, når pesticidkoncentrationen overskrider kvalitetskravet, se også Appendiks 2. Enkelte borer har meget høje pesticidkoncentrationer, hvilket ses tydeligere, når pesticidkoncentrationerne vises som koncentrationsfordeling med logaritmisk skala, se Figur 56.



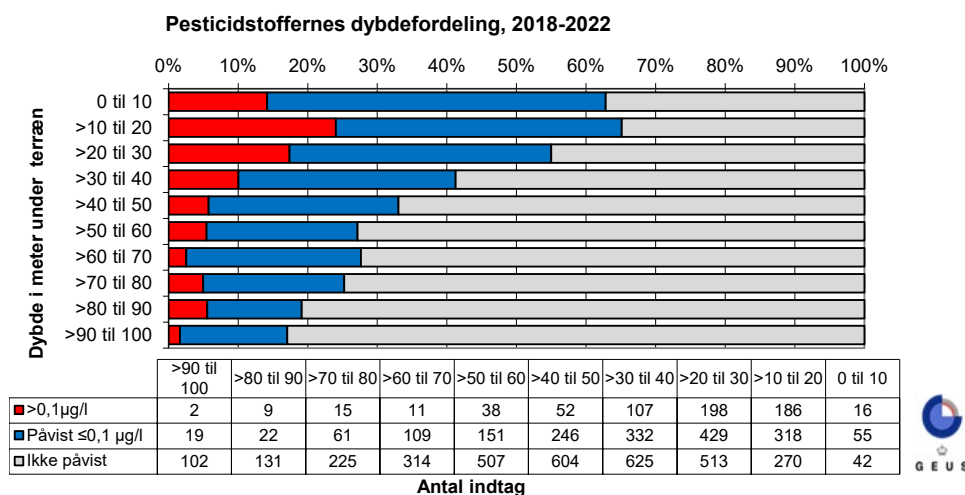
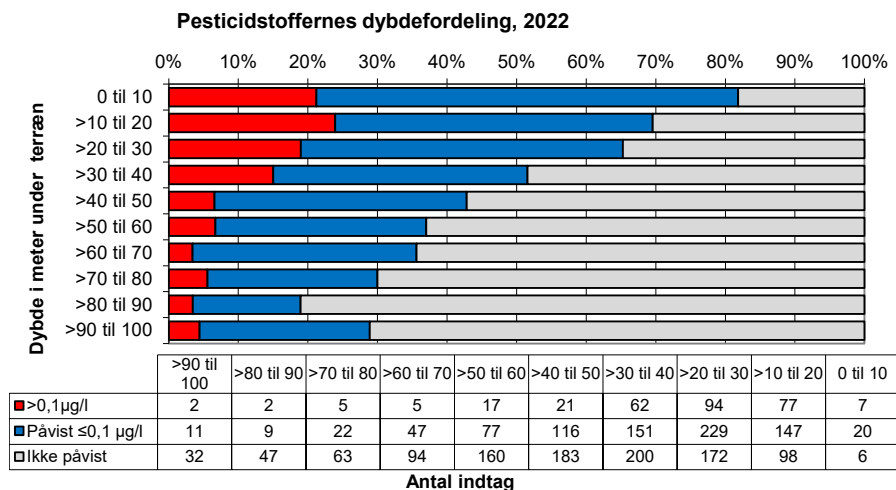
Figur 55. Vandforsyning. Frekvensfordeling med lineære trin for højest målte pesticidkoncentration opgjort for indtag prøvetaget i 2022 og for perioden 2018-2022. Kvalitetskravet på 0,1 µg/l er markeret med en lodret linje, se i øvrigt Figur 56.



Figur 56. Vandforsyning. Koncentrationsfordeling for højest målte pesticidkoncentration opgjort for vandforsyningsindtag prøvetaget i 2022 og for perioden 2018-2022, vist med logaritmisk x-akse. Det fremgår, at der ikke blev påvist pesticidstoffer i 49,8 % af de undersøgte indtag i 2022, og at der ikke blev påvist pesticidstoffer i 59,5 % af de undersøgte indtag i perioden 2018-2022.

Vandforsyningernes indvindingsdybde og fund af pesticider

Figur 57 viser pesticidfundenes dybdefordeling i 2022 og perioden 2018-2022 i vandforsyningernes indtag. Fundandele og overskridelser af kvalitetskravet er størst i det øverste grundvand og aftager generelt med dybden. Fundandele og overskridelser af kvalitetskravet er dog lidt lavere i det helt terrænnære grundvand (0-10 m u.t.), hvilket sandsynligvis skyldes, at en del terrænnære vandforsyningsboringer står i områder med opadrettet grundvandsstrømning i ådale og ved søer, hvor vandet derfor kan have høj alder og dermed have mindre risiko for at indeholde pesticidstoffer. I perioden 2018-2022 blev pesticidstoffer påvist mindst én gang i 31 indtag med filtertop dybere end 100 m u.t., heraf tre indtag over 0,1 µg/l. Dybdefordelingerne er ikke direkte sammenlignelige med de tilsvarende figurer for GRUMO, idet GRUMO-indtag som regel kun er 0,5-2 m lange, hvorimod vandforsyningsindtag oftest er betydeligt længere. Derudover pumpes der aktivt på mange vandforsyningsindtag, hvilket sandsynligvis mindsker vandets opholdstid.



Figur 57. Vandforsyning. Pesticidstoffers dybdefordeling for indtag prøvetaget i 2022 og for perioden 2018-2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: >0,1 µg/l, påvist ≤0,1 µg/l, samt ikke påvist (under detektionsgrænsen, typisk <0,01 µg/l). Dybden angiver afstanden fra terræn til indtags top. Indtag med top dybere end 100 m er ikke vist.

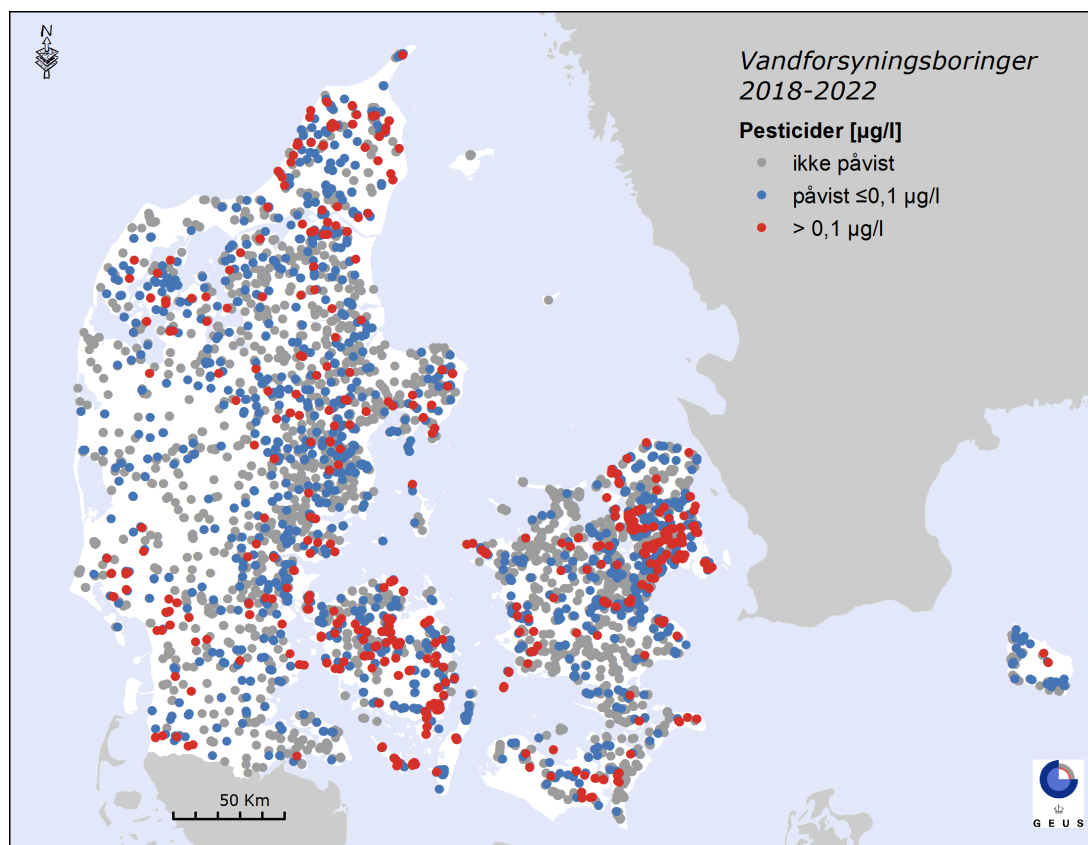
Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 58 viser den geografiske fordeling af grundvandets pesticidindhold i vandforsyningsindtag i perioden 2018-2022. Pesticidfund og overskridelser af kvalitetskravet er udbredte i hele landet, men der er lavere forekomst af overskridelser i Vestjylland. Dette skyldes, at vandforsyningsboringerne i Vestjylland syd- og vest for hovedopholdslinjen generelt er meget dybe, se Appendiks 2 og 3, og at der i øvrigt er få vandforsyningsboringer i dette område.

5.3 Sammenligning af hyppigt fundne pesticidstoffer i grundvandsovervågningen og vandforsyningsindtag

Tabel 11 viser for 2022 de 25 hyppigst fundne pesticidstoffer i GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag.

Tabel 12 viser til sammenligning de 25 stoffer, der hyppigst er fundet over de sidste 10 år i GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag, der var aktive i 2022. Stofferne er listet med faldende relativ hyppighed indenfor hvert program. I tabellerne vises kun stoffer, som er analyseret i mindst 100 indtag. Bilag 6.3 og 6.4 viser alle stoffer indrapporteret for vandforsyningsboringer i 2022 og 2013-2022, herunder stoffer analyseret i prøver fra mindre end 100 indtag. Bilag 6.1 og 6.2 viser tilsvarende opgørelser for alle stoffer i grundvandsovervågningen.



Figur 58. Vandforsyning. Pesticidstoffers geografiske fordeling for vandforsyningernes indtag opgjort for fem-årsperioden 2018-2022. Data vist i tre koncentrationsintervaller, hvor mindst ét pesticid er påvist mindst én gang over kvalitetskravet ($>0,1 \mu\text{g/l}$), ét pesticid er påvist mindst én gang under kvalitetskravet (påvist $\leq 0,1 \mu\text{g/l}$), 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.

1,2,4-triazol. I perioden 2013-2022 blev 1,2,4-triazol fundet i 32,3 % af de undersøgte GRUMO-indtag (8,4 % over kvalitetskravet) og var dermed det hyppigste pesticidstof i grundvandsovervågningen i denne periode. I vandforsyningernes indtag blev 1,2,4-triazol i 2013-2022 påvist i 1,3 % af de undersøgte indtag uden overskridelse af kvalitetskravet. Fund og overskridelser i vandforsyningsindtagene er dermed væsentligt mindre end i GRUMO-indtag. Det skyldes sandsynligvis, at vandforsyningernes indtag ligger dybere end i grundvandsovervågningen, idet 1,2,4-triazol i nogen grad sorberer til jordens uorganiske fraktion og kan nedbrydes i både iltet og reduceret i grundvandssediment (Albers mfl., 2023). 1,2,4-triazol er et nedbrydningsprodukt fra en række triazol-stoffer, der har, eller har haft, anvendelse i jordbruget fx fungiciderne triadimenol, triadimefon, bitertanol, tebuconazol, propiconazol, epoxiconazol, difenoconazol, prothioconazol, mefentrifluconazol samt herbicidet amitrol. Derudover kan 1,2,4-triazol i grundvandet under byområder stamme fra udbredt og fortsat brug af triazolfungicider, ofte propiconazol, i træbeskyttelse og udendørs maling, dog overvejende i koncentrationer under kvalitetskravet (Albers mfl., 2023). Bejdsemidler med triazolfungicider i landbruget kan også bidrage til 1,2,4-triazol i grundvandet (Albers mfl., 2021). Endelig kan der være andre kilder til 1,2,4-triazol, fx anvendes stoffet i udlandet som nitrifikationshæmmer ved udbringning af gødning (fx Triferto Fertilizers, 2021).

N,N-dimethylsulfamid (DMS) var i 2013-2022 det hyppigst påviste pesticidstof i vandforsyningernes indtag med fund i 24,1 % (5,7 % over kvalitetskravet) af de undersøgte indtag. I perioden 2013-2022 blev DMS påvist i 31,8 % af GRUMO-indtagene (5,2 % over kvalitetskravet). DMS er et nedbrydningsprodukt fra fungiciderne tolylfluamid, dichlofluamid og cyazofamid (Badawi mfl., 2023). Tolylfluamid var godkendt til bekæmpelse af svampesygdomme i frugt- og bærproduktion i perioden 1973-2007 (Miljøstyrelsen, 2018b). Tolylfluamid var tidligere godkendt til bejdning af frø til eksport. Dichlofluamid var godkendt til frugt- og bærproduktion i perioden 1966-1974 med stort set samme anvendelsesområde som tolylfluamid, men blev hovedsagelig anvendt i en kortere periode på 3 år (Miljøstyrelsen, 2018c). Tolylfluamid og

dichlofluamid har desuden haft en række biocidanvendelser såsom træbeskyttelse og konservering af overfladefilm i udendørsmaling. Danmarks Farve- og Limindustri har oplyst til Miljøstyrelsen, at tolylfluamid og dichlofluamid blev udfaset i perioden 2008-2015. Cyazofamid har været solgt i perioden 2004-2023 til sprøjtning af kartofler. Miljøstyrelsen har med virkning fra 30. januar 2023 tilbagekaldt godkendelserne af produkter med cyazofamid pga. risiko for uacceptabel udvaskning af DMS og DMSA til grundvand. Nye forsøg (Albers mfl., 2023) viser, at DMS til dels nedbrydes i overjorden, hvorimod det er persistent i dybere lag. Kombinationen af moderstofferne hyppige anvendelse som sprøjtemiddel over en lang periode og udbredte biocidanvendelse i bebyggede områder, ingen tilbageholdelse af DMS i jord, samt høj persistens i underjorden giver samlet set en meget høj risiko for udvaskning af DMS til grundvandet.

Desphenylchloridazon (DPC) og methyldesphenylchloridazon (MDPC). DPC blev i perioden 2013-2022 påvist i 29,7 % af de undersøgte GRUMO-indtag (16,8 % over kvalitetskravet). DPC er det eneste pesticidstof, der oftere påvises over kvalitetskravet end under. MDPC blev påvist i 17,1 % af de undersøgte GRUMO-indtag (5,6 % over kvalitetskravet). I vandforsyningernes indtag blev DPC i 2013-2022 påvist i 16,5 % af de undersøgte indtag (4,7 % over kvalitetskravet). MDPC's fundandele var betydeligt lavere med fund i 4,1 % af de undersøgte indtag og overskridelse af kvalitetskravet i 0,5 %. DPC og MDPC er nedbrydningsprodukter fra herbicidet chloridazon, som blev solgt i Danmark fra 1964 til 1996 (Miljøstyrelsen, 2017a) overvejende til brug i bederoer (sukkerroer og fodersukkerroer).

2,6-dichlorbenzamid (BAM). I 2013-2022 blev BAM påvist i 16,3 % af de undersøgte GRUMO-indtag (5,3 % over kvalitetskravet). I vandforsyningernes indtag blev BAM i 2013-2022 påvist i 13,3 % af de undersøgte indtag (1,5 % over kvalitetskravet). BAM har historisk været et af de hyppigst påviste nedbrydningsprodukter i GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag. Der er i grundvandsovervågningen en lang tidsserie med BAM, som viser, at belastningen er aftagende, se Figur 54. BAM er et nedbrydningsprodukt fra herbiciderne dichlobenil (salg 1969-1996) og chlorthiamid (salg 1965-1980). Disse moderstoffer blev hovedsageligt brugt på gårdspladser, indkørsler og andre befæstede arealer, samt i frugt- og bærproduktion. BAM er også et nedbrydningsprodukt fra fungicidet fluopicolid, der bruges til bejdsning af udsæd. Fluopicolid må ikke anvendes til bejdsning i Danmark, men man kan lovligt importere fluopicolid-bejdsset udsæd fra et andet EU-land, hvor anvendelsen er godkendt. Der findes ikke data for mængder af importeret udsæd bejdsset med fluopicolid. Da fluopicolid er et fungicid, kunne stoffet i teorien også have haft biocidanvendelser i stil med DMS' moderstoffer, men Miljøstyrelsen oplyser, at fluopicolid ikke er opført på listen over eksisterende biocidaktivstoffer, og der er ikke registreret produkter i Bekæmpelsesmiddel-databasen, hvor det indgår som aktivstof.

Chlorothalonils nedbrydningsprodukter. Chlorothalonils nedbrydningsprodukt R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) kom på drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 den 1. juli 2022. R471811 er testet i 890 vandforsyningsindtag med fund i 18,7 % (2,5 % over kvalitetskravet), hvilket gør R471811 til det næsthøypigste pesticidstof i vandforsyningernes indtag i perioden 2013-2022. R471811 blev screenet i grundvandsovervågningen i 2021 med fund i 11,6 % af de undersøgte indtag (3,6 % over kvalitetskravet). Den lavere forekomst i GRUMO-indtagene kan skyldes, at detektionsgrænsen i screeningen var forhøjet til 0,02 µg/l. R471811 indgik ikke i grundvandsovervågningen i 2022, men er programsat fra 2023. Nedbrydningsproduktet CTAS (chlorothalonilamidsulfonsyre) er langt mindre udbredt end R471811 med fund i 0,8 % (0,1% over kvalitetskravet) i vandforsyningernes indtag og 7,2 % (1,6 % over kvalitetskravet) i GRUMO-indtagene i perioden 2013-2022. Chlorothalonil er et fungicid, som ifølge Miljøstyrelsens bekæmpelsesmiddelstatistikker har været solgt i perioden 1982-2000 (Miljøstyrelsen, 2017a). Ligesom DMS' moderstoffer har chlorothalonil været brugt både som sprøjtemiddel og som biocid fx i facademaling (Lassen mfl., 2001), men der er begrænset viden om stoffets eventuelle forekomst i grundvandet under bebyggede områder. Anvendelsen i maling indgår ikke i Miljøstyrelsens salgsstatistik. Ifølge den fællesnordiske Spin-database (spin2000.net) har chlorothalonil haft biocidanvendelse i Danmark frem til 2003.

Triazinerne. Triazinerne og de tilhørende nedbrydningsprodukter er blandt de hyppigt fundne stoffer i GRUMO-indtag, men er noget sjældnere i vandforsyningernes indtag. LM3 blev i 2022 screenet i GRUMO og var det hyppigst fundne triazin (21,7% af screenede indtag, 2,0% over kvalitetskravet). LM3 er et nedbrydningsprodukt fra terbuthylazin, sandsynligvis også fra terbutryn og muligvis fra cybutryn. To beslægtede nedbrydningsprodukter med samme oprindelse, LM5 og LM6, var hyppige i indtag screenet i 2021 (LM6 påvist i 7,2 %, 4,4 % over kvalitetskravet; LM5 påvist i 6,4 %, 2,8 % over kvalitetskravet),

men blev ikke analyseret i 2022. LM5 og LM6 var de hyppigst påviste triaziner i vandforsyningsindtag. Der var ikke data for LM3 i vandforsyningerne i 2022, idet LM3 kom på drikkevandsbekendtgørelsens bilag 2 den 22. maj, 2023. Udover terbuthylazins nedbrydningsprodukter var DEIA (desethyl-Desisopropyl-atrazin) det hyppigste triazin med fund i 14,6 % af GRUMO-indtagene (2,1 % over kvalitetskravet) i 2013-2022. DEIA kan stamme fra mindst fire forskellige chlortriaziner (atrazin, terbuthylazin, simazin og cyanazin), idet deres molekyllære struktur kun er forskellig for enkelte sidegrupper. Når sidegrupperne fraspaltes, har nedbrydningsprodukterne, fx DEIA, identisk struktur. Triazinerne er en stor stofgruppe, der tidligere var bredt anvendt ikke mindst i landbruget, hvor de i dag er forbudte bortset fra Sulfonylurea-herbicer, der indeholder en triazin-ring (fx tribenuron-methyl, metsulfuron-methyl og triflursulfuron-methyl), men inkluderes oftest ikke i gruppen af triaziner. En række forskellige triaziner har været anvendt som biocider, fx terbutryn og cybutryn, hvor terbutryn fortsat er tilladt. Over årene er triazinoner også hyppigt påvist i grundvandsovervågningen. I perioden 2013-2022 var metribuzin-desamino-diketo det hyppigste triazinon og påvist i 4,7 % af GRUMO-indtagene (0,9 % over kvalitetskravet). Metribuzin-desamino-diketo er et nedbrydningsprodukt fra triazinon-herbicidet metribuzin, som tidligere var aktivstof i herbicer til kartofler.

Metalaxyl/metalaxyl-M's nedbrydningsprodukter. CGA 108906 er det hyppigst påviste metalaxyl-nedbrydningsprodukt i grundvandsovervågningen og blev i perioden 2013-2022 påvist i 4,4 % af indtagene (0,5 % over kvalitetskravet) og i 1,0 % af de undersøgte vandforsyningsindtag (0,1 % over kvalitetskravet). Forekomsten er stigende i den faste kerne af GRUMO-indtag (Figur 54). Moderstoffet metalaxyl/metalaxyl-M har tidligere været anvendt som fungicid til sprøjtning af kartofler. Metalaxyl-/metalaxyl-M har også været brugt til bejdsning af udsæd fx vinterraps og majs, og man kan stadigvæk lovligt importere udsæd bejdsset med metalaxyl fra EU-lande, hvor denne anvendelse er godkendt. Det meste konventionelle majsudsæd er importeret og formodentlig ofte bejdsset med Redigo M (se fx Effektivt Landbrug, 2020 og Linds, 2023), der indeholder aktivstofferne prothioconazol og metalaxyl. Metalaxyl/metalaxyl-M er et fungicid og kunne derfor i princippet også have haft biocidanvendelser i stil med DMS' moderstoffer, men Miljøstyrelsen oplyser, at metalaxyl/metalaxyl-M ikke er opført på listen over eksisterende biocidaktivstoffer.

Chloroacetanilidernes nedbrydningsprodukter. I perioden 2013-2022 var dimethachlors nedbrydningsprodukt (2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre (syreformen af CGA 369873) det hyppigst forekommende chloroacetanilid i både vandforsyningernes indtag (fund i 3,8 % af de undersøgte indtag, 0,2 % over kvalitetskravet) og grundvandsovervågningen (fund i 2,1 % af de undersøgte indtag, 0,4 % over kvalitetskravet). En række andre chloroacetanilid nedbrydningsprodukter (dimethachlor ESA, alachlor ESA, dimethachlor OA, [(2,6-dimethylphenyl)(2-sulfoacetyl)amino]jeddikesyre, metazachlor ESA mfl.) er fundet i op til et par procent af de undersøgte vandforsyningsindtag og i mindre grad i grundvandsovervågningens indtag. Chloroacetaniliderne er en gruppe herbicer, hvor grundstrukturen er dialkylanilin med forskellige sidegrupper. Chloroacetaniliderne blev anvendt i landbrug og frilandsgartnerier til ukrudtsbekæmpelse og nedvisning. Dimethachlor blev solgt i perioden 1981-1990 med et samlet salg på 161 ton, alachlor blev solgt i perioden 1970-1986 med et samlet salg på 116 ton og propachlor blev solgt i perioden 1968-1997 med et samlet salg på 134 ton (Miljøstyrelsen, 2017a). Metazachlor har aldrig været tilladt som sprøjtemiddel i Danmark. To typer nedbrydningsprodukter OA (-oxoacetic acid) og ESA (-oxoethanesulfonic acid) går igen for alle stofferne, når sidegruppen med chloratomet omdannes, men derudover dannes en række andre nedbrydningsprodukter. Der foreligger analyseresultater i varierende grad fra 2019 og fremefter.

DEET (diethyltoluamid) er et biocid-aktivstof, der bruges mod insektbid (afskrækningsmiddel). Mest kendt er anvendelsen mod myg, men ifølge Pesticides Properties Database (PPDB) kan stoffet anvendes mod en række invertebrater fx lopper, sandfluer, flåter og igler. DEET har meget høj fundprocent i vandforsyningsindtag (14,5%), men opgørelsen er baseret på kun 228 prøvetagede indtag. De fleste undersøgte indtag ligger i Hovedstadsområdet og vest for Køge. I GRUMO er 248 indtag screenet for DEET uden fund. Det er for tidligt at konkludere noget om DEET's udbredelse i grundvandet, dels pga. det lave antal indtag og dels pga. en mistanke om forurening af nogle prøvetagernes brug af myggemidler.

Tabel 11. GRUMO & vandforsyning. De 25 hyppigst fundne pesticidstoffer i 2022 i GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag i 2022. Tabellen viser andel indtag opdelt efter mindst ét fund eller mindst én overskridelse af kvalitetskravet (>0,1 µg/l). I tabellen indgår kun stoffer analyseret i mere end 100 indtag. Bemærk, at 2022 var et år med operationel overvågning i grundvandsovervågningen, fundprocenterne er derfor ikke repræsentative for hele stationsnettet. Se også bilag 6.1 og 6.3, der viser alle analyserede stoffer.

GRUMO-indtag 2022			Vandforsyningsindtag 2022		
Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)	Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)
DPC (desphenylchloridazon)	37,5	21,3	DMS (N,N)-dimethylsulfamid	33,2	7,5
1,2,4-Triazol	36,0	10,8	DPC (desphenylchloridazon)	18,9	5,7
DMS (N,N-Dimethylsulfamid)	34,0	4,6	R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzenesulfonat)	18,7	2,5
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	22,3	6,3	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	15,6	1,3
LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]-triazin-4(6H)-on) ^a	21,7	2,0	DEET ^a	10,5	0,0
BAM (2,6-dichlorbenzamid)	14,6	3,2	MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	4,6	0,5
DEIA	8,7	0,3	(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	3,3	0,2
CTAS (chlorothalonilamid sulfonsyre, R417888)	5,9	1,7	Bentazon	3,0	0,1
Atrazin, desisopropyl-	5,5	0,1	Dimethachlor ESA	2,6	0,6
Bentazon	3,3	0,7	LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) ^b	2,5	0,3
Atrazin, desethyl-	3,2	0,1	Alachlor ESA	2,4	0,2
Atrazin	2,9	0,1	LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) ^b	2,2	0,1
CGA 108906	2,7	0,3	Pentachlorphenol ^a	2,2	0,0
Metribuzin-desamino-diketo	2,5	0,3	2,4+2,5-Dichlorphenol ^a	1,8	1,8
CGA 62826 (N-(2,6-dimethylphenyl)-N-(methoxyacetyl)alanin)	2,3	0,1	4-CPP	1,8	0,1
Pentachlorbenzen	2,2	0,7	1,2,4-Triazol	1,4	0,1
(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	2,0	0,1	Metazachlor ESA	1,2	0,4
Dimethachlor ESA	1,9	0,6	DEIA	1,1	0,1
4-Nitrophenol	1,6	0,0	Metribuzin-desamino-diketo	1,0	0,0
Metribuzin-diketo	1,6	0,0	Mechlorprop	0,9	0,1
PPU (IN70941)	1,4	0,0	Hexazinon	0,9	0,1
Dichlorprop	1,3	0,6	CGA 108906	0,8	0,0
Simazin	1,3	0,0	Metazachlor OA	0,8	0,0
Hexazinon	1,2	0,1	Dichlorprop	0,7	0,0
Mechlorprop	1,2	0,4	2C6MPP ^a	0,7	0,0

a) Kun analyseret i 111-249 indtag.

b) Kun analyseret i 788 indtag

Tabel 12. GRUMO & vandforsyning. De 25 hyppigst fundne pesticidstoffer i GRUMO-indtag (2013-2022) og vandforsyningsindtag (2013-2022) i 2022. Tabellen viser andel indtag opdelt efter mindst ét fund eller mindst én overskridelse af kvalitetskravet (>0,1 µg/l). I tabellen indgår kun stoffer analyseret i mere end 100 indtag. Se også bilag 6.2 og 6.4, der viser alle analyserede stoffer.

GRUMO-indtag 2013-2022			Vandforsyningsindtag 2013-2022		
Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)	Stofnavn	Med fund (%)	>0,1 µg/l (%)
1,2,4-Triazol	32,3	8,4	DMS (<i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	24,1	5,7
DMS (<i>N,N</i> -dimethylsulfamid)	31,8	5,2	R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) ^b	18,7	2,5
DPC (desphenylchloridazon)	29,7	16,8	DPC (desphenylchloridazon)	16,5	4,7
LM3 (2,6-dihydroxy-7,7-dimethyl-6,8-dihydroimidazo[1,2a][1,3,5]triazin-4(6H)-on) ^a	21,7	2,0	DEET ^a	14,5	2,2
MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	17,1	5,6	BAM (2,6-dichlorbenzamid)	13,3	1,5
BAM (2,6-dichlorbenzamid)	16,3	5,3	MDPC (methyl-desphenyl-chloridazon)	4,1	0,5
DEIA	14,6	2,1	(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	3,8	0,2
R471811 (4-bis-amido-3,5,6-trichlorobenzensulfonat) ^a	11,6	3,6	LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) ^b	2,5	0,3
Atrazin, desisopropyl-	9,7	0,7	Bentazon	2,4	0,1
CTAS (chlorothalonilamid sulfonsyre, R417888)	7,2	1,6	LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) ^b	2,2	0,1
LM6 (4-(tert-butylamino)-6-hydroxy-1-methyl-1,3,5-triazin-2(1H)-one) ^a	7,2	4,4	Dimethachlor ESA	2,1	0,5
LM5 (6-(tert-butylamino)-1,3,5-triazine-2,4-diol) ^a	6,4	2,8	Alachlor ESA	1,7	0,2
Metribuzin-desamino-diketo	4,7	0,9	4-Nitrophenol	1,5	0,1
Metribuzin-diketo	4,4	0,8	DEIA	1,4	0,1
Bentazon	4,4	1,4	4-CPP	1,3	0,2
CGA 108906	4,4	0,5	1,2,4-Triazol	1,3	0,0
Atrazin, desethyl-	4,3	0,6	Mechlorprop	1,1	0,1
Didealkyl-hydroxyatrazin	4,0	0,6	CGA 108906	1,0	0,1
CGA 62826 (N-(2,6-dimethyl phenyl)-N-(methoxyacetyl)alanin)	3,3	0,6	Alachlor OA ^a	1,0	0,0
Atrazin	2,8	0,3	2,6-Dichlorbenzoesyre	1,0	0,0
2,6-Dichlorbenzoesyre	2,7	0,3	Metribuzin-desamino-diketo	0,9	0,0
(2,6-dimethyl-phenylcarbamoyl)-methansulfonsyre	2,1	0,4	Amitrol ^c	0,9	0,0
Dimethachlor ESA	1,7	0,6	Hexazinon	0,9	0,1
AMPA	1,7	0,3	Dichlorprop	0,9	0,1
Glyphosat	1,7	0,2	Chlorothalonilamid sulfonsyre (R417888)	0,8	0,1

a) Kun analyseret i 228-305 indtag.

b) Kun analyseret i 788-890 indtag.

c) Kun analyseret i 112 indtag.

Referencer: Pesticider

Miljøministeriet/styrelsen

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

Miljøstyrelsen, 2018c: Notat. Screening for N,N-dimethylsulfamid (CAS nr. 3984143) - nedbrydningsprodukt fra tolylfluanid (CAS nr. 731271) og dichlofluanid (CAS nr. 1085-98-9) i grundvandsovervågningen. Notat af 9. juni, 2018. Revideret 14. august 2018.

Miljøstyrelsen, 2021: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2016-2019 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). March 2021.

Miljøstyrelsen, 2021a: Notat af 23. februar, 2021: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2020.

Miljøstyrelsen, 2021b: Nyt stof fundet i grundvandet. Downloaded 15/10-2021. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2021/jan/nyt-stof-fundet-i-grundvandet/>

Miljøstyrelsen, 2021c: Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord, opdateret juli 2021.

https://edit.mst.dk/media/twgdldftx/liste-over-jordkvalitetskriterier-juli-2021_final-rev.pdf Miljøstyrelsen, 2023b: Liste over drikkevandskvalitetskriterier: <https://edit.mst.dk/media/dqsdvvr/liste-over-drikkevandskvalitetskriterier-april-2023-final.pdf>

Miljøstyrelsen, 2023. Notat af 2. marts 2023: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2022.

Miljøstyrelsen og GEUS. 2023. Anbefaling for specifikke pesticidstoffer til boringskontrollens obligatoriske pesticidliste og GRUMO stofliste – 2023. Arbejdsdokument til Vandpanelet.

Links og andre referencer

Albers, C.N., Bollmann, U.E., Badawi, N., Johnsen, A.R., 2021: Leaching of 1,2,4-triazole from commercial barley seeds coated with tebuconazole and prothioconazole. Chemosphere 286: 131819. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131819> (10-2-24)

Albers CN, Johnsen AR, Bollmann UE. Urban areas as sources of the groundwater contaminants N,N-dimethylsulfamide (N,N-DMS) and 1,2,4-triazole. 2023. Sci Tot Environ. 881:163377.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723019964?via%3Dihub> (10-2-24)

Bekæmpelsesmiddeldatabasen (bmd) <https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/database-for-bekaempelsesmidler/bmd> (10-2-24)

Badawi N, Karan S, Haarder EB, Bollmann UE, Albers CN, Kørup K, 2023. Ekstraordinær afrapportering af cyazofamid-test på VAP-marken i Jyndevad inklusiv understøttende laboratorieforsøg. Varslingssystem for udvaskning af pesticider til Grundvand. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.

DANVA, 2018: Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.

Effektivt landbrug 2020. Udbudte bejdsemidler i majs til sæson 2021. <https://effektivtlandbrug.landbrugnet.dk/artikler/planter/udbudte-bejdsemidler-i-majs-til-saeson-2021.aspx> (10-2-24)

Lassen C, Skårup S, Mikkelsen SH, Kjølholt J, Nielsen PJ, Samsøe-Petersen L, 2001. Inventory of Biocides used in Denmark. Environmental Project No. 585. Miljøstyrelsen.

Linds, 2023. Bejdsning af majsfrø. <https://www.linds.dk/majs-bejdsning/> (10-2-24)

Pesticides Properties DataBase, <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm> (10-2-24)

Spin databasen: spin2000.net. (10-2-24)

Statens Forsøgsvirksomhed, 1960. Specialpræparater anerkendte af Statens Forsøgsvirksomhed i plantekultur til bekæmpelse af plantesygdomme og skadedyr. Gyldig for året 1960

Statens Forsøgsvirksomhed, 1962. Specialpræparater anerkendte af Statens Forsøgsvirksomhed i plantekultur til bekæmpelse af plantesygdomme og skadedyr. Gyldig for året 1962

Triferto Fertilizers, Piadin IBC 1.000 liter. Nitrification inhibitor: Active ingredient 1H- 1,2,4 Triazole with 3-methylpyrazole. Downloadet 22/11-2021 fra: <https://www.triferto.eu/en/commodities/123/piadin-ibc-1-000-liter>

6 Organiske mikroforureninger, PFAS

Indledning

Kapitlet om organiske mikroforureninger er opdelt i to hovedafsnit. Første hovedafsnit omhandler resultater fra grundvandsovervågningen (GRUMO). Andet hovedafsnit omhandler resultater fra de almene vandforsynings lovpligtige overvågning af vandforsyningsboringer (boringskontrollen). Overvågningen af organiske mikroforureninger i grundvand omfatter et antal miljøfremmede organiske stoffer, der anvendes eller tidligere har været bredt anvendt i Danmark, og det er ikke nødvendigvis de samme stoffer, som er undersøgt i GRUMO og boringskontrollen. I år afrapporteres kun for stoffer tilhørende gruppen af PFAS.

PFAS (Per- og polyfluoralkylstoffer)

Per- og polyfluorerede-alkylstoffer (PFAS) er en stofgruppe, der indeholder tusindvis af stoffer. 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 fluorerede alkylkæde er ofte tilføjet en carboxyl-, sulfon- eller phosphonsyre, hvilket giver såvel hydrofile som hydrofobe egenskaber (olie- og vandafvisende) i samme molekyle kombineret med en høj kemisk og termisk stabilitet. Stofgruppen anvendes derfor som bl.a. overfladeaktive stoffer, hjælpestoffer i brandslukningsmidler, imprægneringsmidler i beklædning, antistatiske midler, flammehæmmere og indgår desuden i syntesen af polymerer såsom teflon, malingsadditiver og diverse smøremidler. I dag produceres en lang række forskellige kemiske strukturer med perfluorerede elementer. Perfluorerede alkylkæder er meget svært nedbrydelige, både kemisk og biologisk, og stofferne findes derfor i dag vidt udbredt i miljøet.

De seneste definitioner af PFAS-forbindelser er, at de blot skal indeholde ét fuldt fluoreret methyl- eller methylen-kulstofatom (altså enten en $-CF_3$ eller en $-CF_2-$ gruppe) (OECD, 2021). Dermed skal antallet af PFAS-forbindelser tælles i titusinder (Barnabas mfl., 2022), hvilket er væsentligt højere end tidligere estimater af antallet af kommercielle PFAS-forbindelser (ca. 3000, Wang mfl., 2017). Det er i den forbindelse vigtigt at bemærke, at der analyseres for et meget begrænset antal PFAS-forbindelser i det danske grundvand (typisk op til 22 inden for den 'klassiske' gruppe af PFAS-forbindelser), og at der dermed er en risiko for, at man ikke analyserer for de PFAS-forbindelser, som forekommer hyppigst eller i højest koncentration i grundvandet.

En af de simpleste PFAS-forbindelser er trifluoreddikesyre (TFA). TFA kan være et nedbrydningsprodukt fra pesticider og indgik derfor i en screening for pesticidstoffer i 2020. TFA blev fundet vidt udbredt i det danske grundvand (89 % af 247 analyserede indtag lå over detektionsgrænsen på $0,05 \mu\text{g/l}$, Thorling mfl., 2021), således som det også kendes fra udlandet, fx Tyskland. Kilden til TFA i dansk grundvand blev af Miljøstyrelsen vurderet til primært at være industrikemikalier (hvor TFA fx kan dannes ved atmosfærisk nedbrydning af kølemedier eller afbrænding af teflon), hvorfor TFA ikke reguleres som et pesticidstof.

6.1 PFAS, grundvandsovervågning

Datagrundlag og metode

Tabel 13 viser hvilke PFAS-forbindelser, der er analyseret for i grundvandsovervågningen med tilhørende kravværdier jf. drikkevandsbekendtgørelsen. En analyse for PFAS har de sidste mange år typisk bestået af en analyse af de 12 stoffer, som siden 2015 har indgået i drikkevandsbekendtgørelsen. Der har samtidigt været et grundvandskvalitetskriterie, udarbejdet til brug for krav til grundvandet under forurenede grunde, for yderligere 10 stoffer, som i maj 2023 blev inkluderet i drikkevandsbekendtgørelsen. Fra september 2021 og frem er prøver til PFAS-analyse i grundvandsovervågningen derfor blevet analyseret for 22 stoffer. I 2022 blev også en del vandværksboringer analyseret for disse 22 PFAS-forbindelser. Detektionsgrænsen for PFAS-forbindelser har været faldende over de senere år, og særligt faldt den i løbet af 2021 for de fire PFAS-forbindelser, der var omfattet, da kravværdien for Sum af 4 PFAS blev sænket fra $0,1 \mu\text{g/l}$ til $0,002 \mu\text{g/l}$ i juni 2021 (Miljøstyrelsen, 2021b). Da detektionsgrænser er meget afgørende for antallet af PFAS-fund i grundvandet og dermed for sammenligneligheden af data, indeholder årets

rapport udelukkende PFAS-data fra 2021 og 2022 i grundvandsovervågningen og udelukkende data fra 2022 for de almene vandværkers boringskontrol. Langt de fleste prøver, som indgår i årets afrapportering, er således analyseret med de nye lavere detektionsgrænser. I 2022 blev kun 61 GRUMO-indtag analyseret for PFAS, og disse opgøres derfor ikke selvstændigt, i stedet præsenteres resultaterne for perioden 2021-2022 samlet.

Tabel 13. PFAS-forbindelser omfattet af denne rapportering. Kravværdi for drikkevand ifølge drikkevandsbekendtgørelsen.

Stofgruppe/sum-værdi	Stofnavn	Krav-værdi (KV, µg/l)
PFAS (4 styk)	PFHxS (perfluorhexansulfonsyre) PFOS (perfluorooctansulfonsyre) PFOA (perfluorooctansyre) PFNA (perfluornonansyre)	0,002
PFAS (12 styk)	Ovenstående fire +: PFBA (perfluorbutansyre) PFPeA (perfluorpentansyre) PFHxA (perfluorhexansyre) PFHpA (perfluorheptansyre) PFDA (perfluordecansyre) PFBS (perfluorbutansulfonsyre) PFOSA (perfluorooctansulfonamid 6:2 FTS (6:2 fluorotelomersulfonsyre)	0,1
PFAS (22 styk)	Ovenstående 12 +: PFUnDA (Perfluorundecansyre) PFDoDA (Perfluordodecansyre) PFTTrDA (Perfluortridecansyre) PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre) PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre) PFNS (Perfluornonansulfonsyre) PFDS (Perfluordecansulfonsyre) PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre) PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre) PFTTrDS (Perfluortridecansulfonsyre)	0,1
-	TFA (trifluoreddikesyre)	9

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, 2023). For PFAS-forbindelser kan det være svært at udelukke afsmitning fra fx installationer i boringen eller på anden vis, ikke mindst på grund af den ekstremt lave detektionsgrænse (typisk 0,0001-0,002 µg/l, se Tabel 14 og Tabel 15) kombineret med deres udbredte anvendelse i samfundet. I forbindelse med etableringen og instrumenteringen af borerne, er der fx nogle steder anvendt teflonholdige materialer, som teflontape, til tætning af rør og teflonkugler i montejus-pumper, der giver en potentiel risiko for afsmitning. Brugen af teflonholdige materialer anbefales i ældre versioner af Teknisk anvisning for grundvandsovervågningen (GEUS, 2003 og Thorling, 2012), før der kom fokus på PFAS i grundvand, mens dette frarådes i den seneste version (Thorling, 2023). Risiko for kontaminering med PFAS fra teflonholdige materialer er beskrevet i metodedatabladet fra referencelaboratorierne (REFLAB, 2015), men der er pt. ikke nogen evaluering af betydningen af denne kontamineringsrisiko.

Status PFAS

Tabel 14 viser enkeltstof- og sumværdier for de 22 PFAS-forbindelser, som blev analyseret i 2021-2022 og som pt. indgår i drikkevandsbekendtgørelsens kravværdi for 'Sum af PFAS'. Der var fund af 14 af de 22 PFAS-forbindelser, med PFOS som det hyppigst fundne PFAS-forbindelser, efterfulgt af PFOA, PFHxS og PFBS med næsten lige så mange fund. Samlet set var der fund af én eller flere PFAS-forbindelser i 89 ud af 380 undersøgte indtag, svarende til 23 %. Denne fundandel er noget højere end ved tidligere

afrapporteringer, hvilket især skyldes, de lavere detektionsgrænser. Der blev fundet mere end én PFAS-forbindelse i 86 af de 89 indtag med fund.

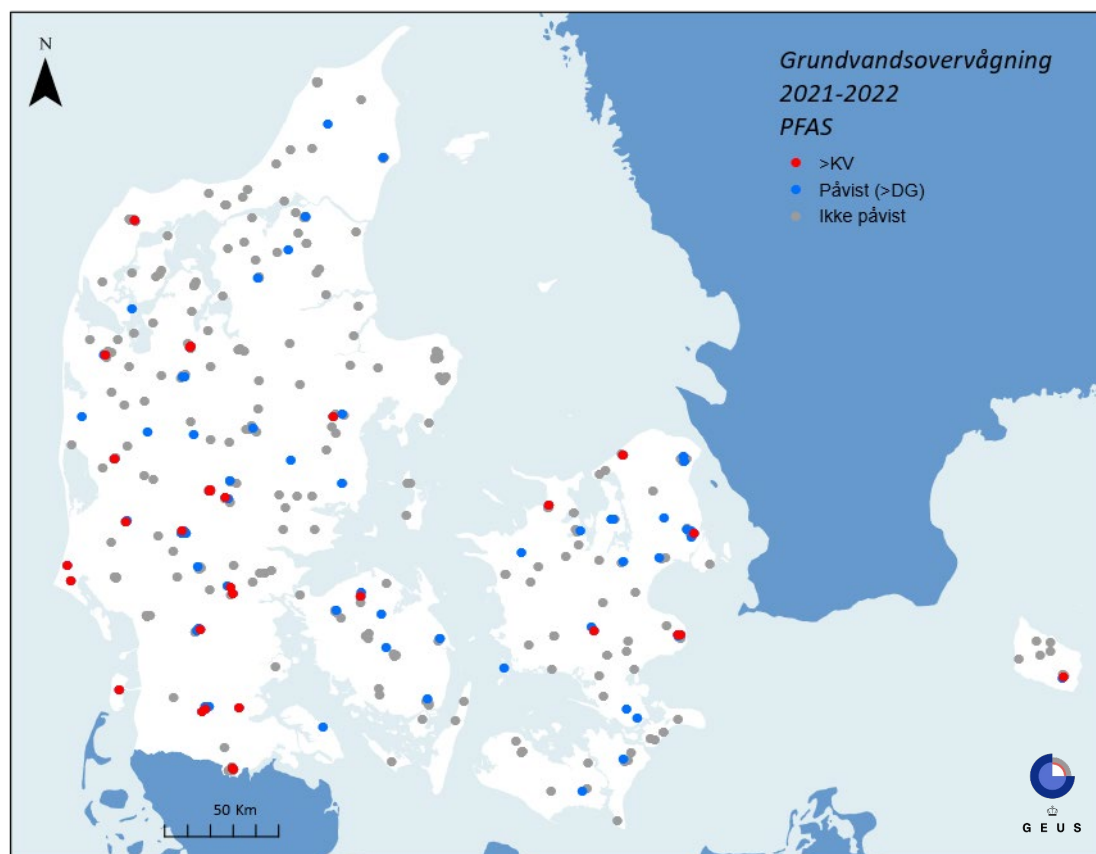
Koncentrationen var under kravværdien på 0,1 µg/l for Sum af 12 og Sum af 22 PFAS i alle undersøgte indtag. Højeste målte sum-koncentration var for begge parametre på 0,060 µg/l, altså på 60 % af kravværdien. Til gengæld blev der målt koncentrationer for Sum af 4 PFAS over kravværdien for drikkevand i 32 ud af 380 undersøgte indtag, svarende til 8 %. Højest målte koncentration var 0,043 µg/l, altså ca. 21 gange over kravværdien. Koncentrationer af Sum af 4 PFAS over kravværdien skyldes indholdet af både PFOS, PFOA og PFHxS, mens PFNA ikke bidrager væsentligt til hverken fund eller sumkoncentrationer over kravværdien. PFNA er den af de fire PFAS-forbindelser, som sorberer mest til både jord og til den umættede zones luft/vand-overflader, hvorfor der må forventes en væsentlig større tilbageholdelse af dette stof i de øvre jordlag. Selv hvis kilderne til de fire stoffer var lige store, ville de øvrige tre stoffer således i højere grad forventes at blive fundet i grundvandet. Kildestyrken til miljøet af individuelle PFAS-forbindelser er dog dårligt belyst i Danmark.

Tabel 14. GRUMO. PFAS, 2021-2022. Tabellen viser typiske detektionsgrænser (DG) i perioden og kravværdi (KV) for sumparametre jf. Tabel 13. Med gråtoner er vist hvilke stoffer, der er knyttet til hvilke kravværdier, således at stoffer, der er lysere end baggrundsfarven, ikke er omfattet af kravværdien dækket af en given gråtone, se også Tabel 13. Antal og procentvis fordeling for fund og overskridelser af kravværdien (KV) er opgjort på indtagsniveau.

Stofnavn	DG	KV	Indtag antal			Indtag andel (%)	
	µg/l	µg/l	I alt	≥DG	>KV	≥DG	>KV
Sum 22 PFAS		0,1	300	79	0	26,3	0,0
Sum 12 PFAS		0,1	380	89	0	23,4	0,0
Sum 4 PFAS		0,002	380	78	32	20,5	8,4
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	0,0003-0,001		380	50	13	13,2	3,4
PFOA (Perfluoroktansyre)	0,0003-0,001		380	44	15	11,6	3,9
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,0003-0,001		380	38	8	10,0	2,1
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,0003-0,001		380	37	0	9,7	0,0
PFHpA (Perfluorheptansyre)	0,0003-0,001		380	18	0	4,7	0,0
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,0003-0,005		380	17	0	4,5	0,0
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,001-0,01		380	11	0	2,9	0,0
PFPeA (Perfluorpentansyre)	0,0003-0,009		380	9	0	2,4	0,0
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	0,0003		308	7	0	2,3	0,0
PFNA (Perfluornonansyre)	0,0003-0,001		380	3	0	0,8	0,0
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	0,0003		308	2	0	0,6	0,0
6:2 FTS (1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsyre)	0,0003-0,001		380	2	0	0,5	0,0
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	0,0003-0,001		380	1	0	0,3	0,0
PFDA (Perfluordecansyre)	0,0003-0,001		380	1	0	0,3	0,0
PFDS (Perfluordecansulfonsyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFUnDA (Perfluorundecansyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFDoDA (Perfluordodecansyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFTTrDA (Perfluortridecansyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	0,001-0,05		300	0	0	0	0,0
PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)	0,0003		308	0	0	0	0,0
PFTTrDS (Perfluortridecansulfonsyre)	0,001-0,05		300	0	0	0	0,0

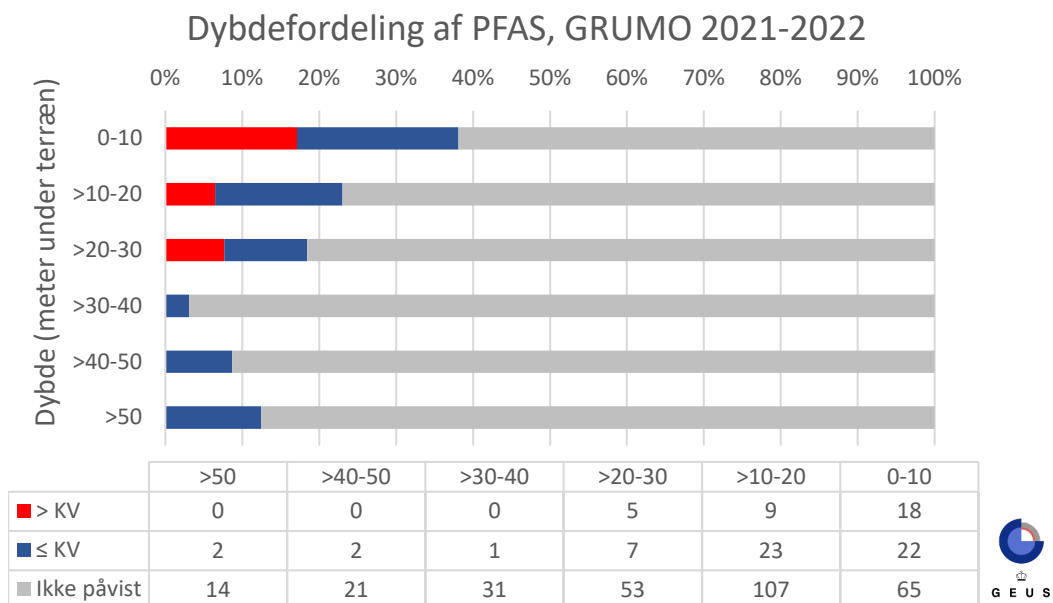
Af de 10 'nye' PFAS-forbindelser, som først fra 2021 er begyndt at blive undersøgt i grundvandet, er det kun PFPeS og PFHpS, som påvises i hhv. 7 og 2 ud af 308 indtag. Dette er forventeligt, da de øvrige otte forbindelser alle er langkædede og har meget høj tendens til at sorbere til både jord og til luft/vand-grænseflader i umættet zone.

Figur 59 viser den geografiske fordeling af PFAS-fund i 380 undersøgte GRUMO-indtag. De prøvetagne indtag er spredt rundt i hele Danmark og det samme ser ud til at gælde for både fund og overskridelser af kravværdien. Ud fra dette ser det altså ikke ud til, at PFAS er knyttet til grundvand i særlige områder af landet, men 380 undersøgte indtag er i underkanten til at konkludere på den geografiske fordeling.



Figur 59. GRUMO. Forekomst af PFAS i grundvand i GRUMO 2021-2022. Rød markerer fund over kravværdien (i dette tilfælde udelukkende $>0,002 \mu\text{g/l}$ for Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA, se Tabel 13). Blå markerer fund under kravværdien. Grå markerer ingen påviste PFAS ($<DG$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 60 viser dybdefordelingen for fund af PFAS. Det forholdsvis lille antal indtag, som er undersøgt for PFAS i 2021-2022 øger usikkerheden på en sådan analyse. Især er der meget få undersøgte indtag dybere end 30 m, hvilket skyldes fokus på at undersøge PFAS-forekomst i formodet ungt grundvand. Både fundandele og andelen af indtag med koncentrationer over kravværdien ser dog ud til at være faldende med dybden. De PFAS-forbindelser, som udgør hovedandelen af fundene og overskridelserne (se Tabel 14), forventes ikke at nedbrydes, når de først har nået grundvandet (Newell mfl., 2021). Det observerede dybdemønster kunne derfor meget vel indikere, at PFAS-koncentrationer over den nuværende kravværdi blive et mere udbredt problem i de kommende år.



Figur 60. GRUMO. Dybdefordeling af 380 GRUMO-indtag, der er analyseret for PFAS i perioden 2021-2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller. Rød (> KV) markerer fund over en fastsat kravværdi (i dette tilfælde udelukkende >0,002 µg/l for 'Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA', se Tabel 13). Blå (≤ KV) markerer fund under kravværdien. Grå (ikke påvist) markerer ingen påviste PFAS-forbindelser. Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Tabellen under figuren angiver antal undersøgte indtag i de forskellige dybder opdelt efter koncentrationsintervaller. Bemærk, at der er meget få undersøgte indtag dybere end 30 meters dybde med deraf følgende øget usikkerhed på fundandelen.

Der har i tidligere Grundvandsrapporter (fx Thorling mfl., 2021) været diskuteret en sandsynlig forekomst af falske positive i GRUMO-boringer på baggrund af uventede dybdefordelinger og forskelle på, hvilke PFAS-forbindelser, som detekteredes i GRUMO-indtag og i vandforsyningsboringerne. Det kunne være falske positive, hvor prøverne var blevet forurenede enten i boringen eller i forbindelse med prøvetagning og analyse. De sidste par års prøvetagninger ser dog ud til at have rykket væsentligt ved dette billede, og det er således sandsynligt, at antallet af falske positive er minimeret, på trods af mindskede detektionsgrænser. Der er således ikke længere mønstre, som ser mærkværdige ud i 2021/2022-datasettet, og det er de samme stoffer, som dominerer i GRUMO-indtag og i vandforsyningsboringerne.

Samlet set må det konkluderes, at PFAS-forbindelser detekteres i en betydelig andel af de undersøgte GRUMO-indtag. Koncentrationen af PFAS er i alle tilfælde betydeligt under kravværdien for Sum af 12 og 22 PFAS (0,1 µg/l), men i en del tilfælde ligger koncentrationen over kravværdien for Sum af de fire stoffer PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA (0,002 µg/l). 2022-data har understøttet den foreløbige konklusion for 2021-data, at inkludering af yderligere 10 PFAS-forbindelser ikke bidrager væsentligt til fund af PFAS.

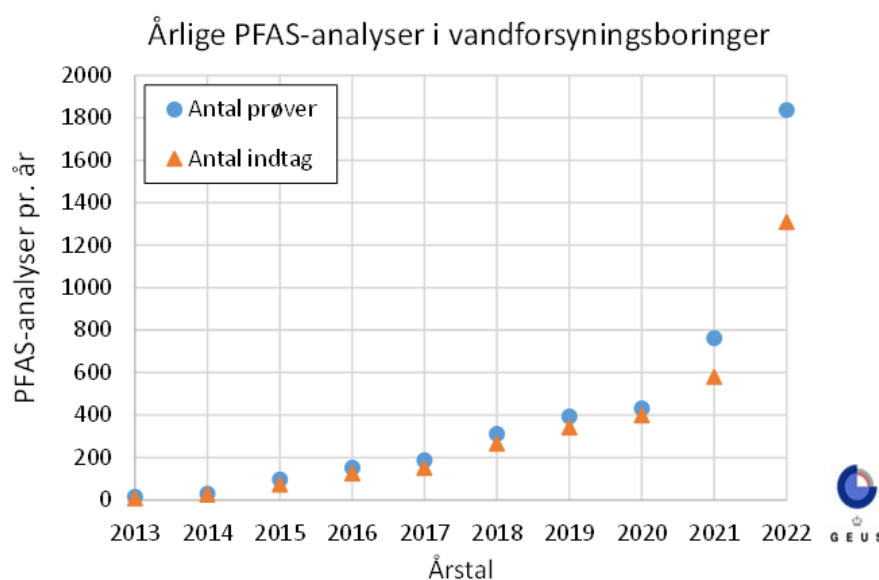
TFA

Trifluoreddikesyre (TFA) er et af de simpleste PFAS-forbindelser. I 2020 blev der i forbindelse med en screening fundet TFA over detektionsgrænsen på 0,05 µg/l i 219 af 247 GRUMO-indtag. Siden da er der ikke analyseret TFA i grundvandsovervågningen, hvorfor dette stofs forekomst i GRUMO-boringer ikke behandles yderligere i årets rapport. For en grundig databehandling af de 247 GRUMO-indtag henvises til Thorling mfl. 2023.

6.2 PFAS, Vandforsyningsboringer

Datagrundlag og metode

Organiske mikroforureninger i vandforsyningsboringer overvåges gennem vandforsyningernes boringskontrol, der er fastlagt i drikkevandsbekendtgørelsen. Valget af analyseparametre afhænger af, hvilke formodede eller kendte risici for forurening af grundvandet, der optræder inden for de enkelte vandforsyningers indvindingsoplande. Dette 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 forurenede med organiske mikroforureninger, skal der kontrolleres for disse stoffer, medmindre stofferne vurderes ikke at udgøre en trussel for grundvandet'. Dette gælder også for PFAS-forbindelser, hvorfor ikke alle vandforsyningsboringer kan forventes at blive analyseret for disse. Figur 61 viser, at det store fokus på PFAS-forbindelser har ført til en stor stigning i antallet af PFAS-analyser i vandforsyningsboringer i 2022. Som nævnt i afsnit 6.1 er detektionsgrænser afgørende for antallet af PFAS-fund. For at de inkluderede data er sammenlignelige, behandles derfor udelukkende 2022-data for boringskontrollen i denne rapport. PFAS-data fra foregående år er behandlet i Thorling mfl. 2023.



Figur 61. Vandforsyning. Udvikling i antallet af analyser for PFAS siden de første analyser i 2013.

Status PFAS

Tabel 15 viser antal undersøgte boringer og fundandele for de enkelte PFAS-forbindelser samt for de tre sumværdier, der indgår i drikkevandsbekendtgørelsen (se Tabel 13). PFAS er i 2022 analyseret i prøver fra 1.309 indtag og mindst én PFAS-forbindelse blev fundet i 238 af disse, svarende til 18 % af de undersøgte indtag. I godt halvdelen (135) af indtagene med fund blev der påvist mere end én PFAS-forbindelse. De summerede koncentrationer for Sum af 12 og 22 PFAS lå i alle tilfælde under kravværdien på 0,1 µg/l, hvorimod Sum af 4 PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA) lå over den i 2021 indførte kravværdi på 0,002 µg/l i 73 indtag, svarende til 5,6 %. Både fundandel og antal fund over kravværdien var højere i 2022 end i tidligere opgørelser, hvilket især skyldes den lavere detektionsgrænse for disse fire stoffer, som blev indført på analyselaboratorierne i løbet af 2021. Den højest målte værdi for Sum af 4 PFAS var 0,024 µg/l, altså 12 gange kravværdien for drikkevand. I hhv. 8 og 24 indtag blev målt mere end hhv. 5 og 3 gange kravværdien.

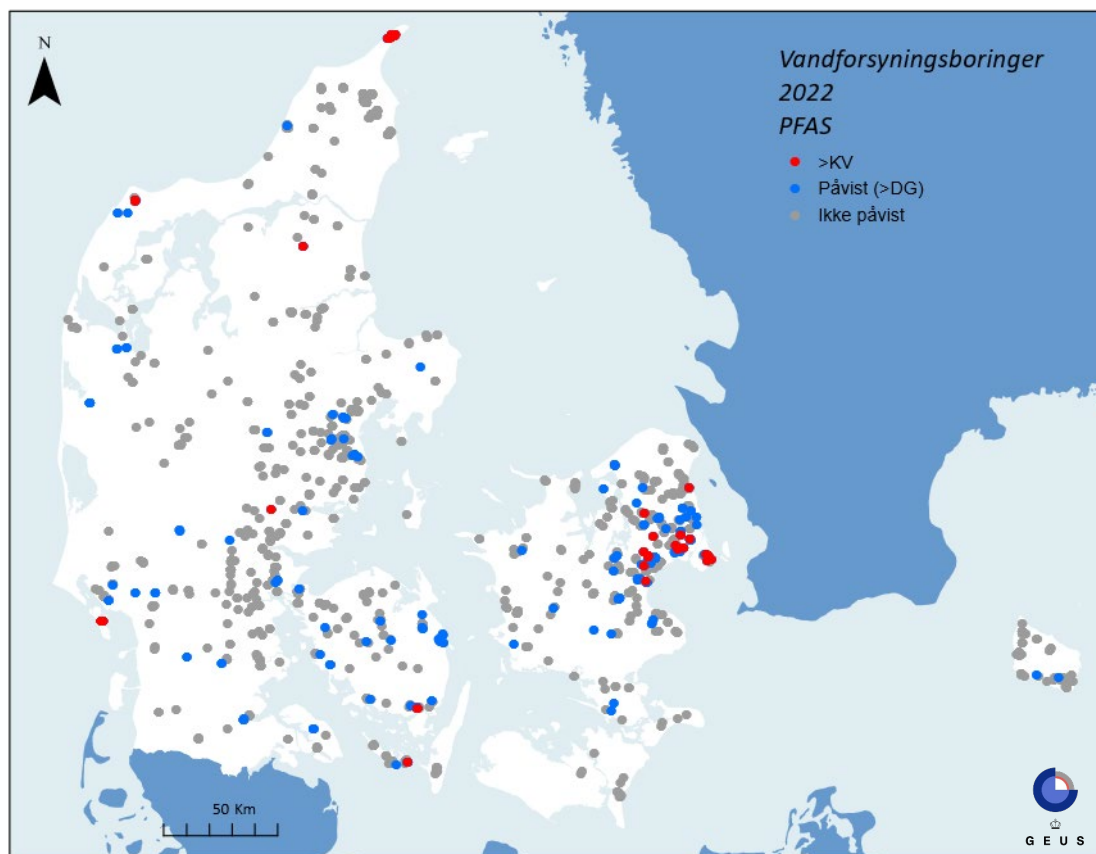
PFOA var den hyppigst fundne PFAS-forbindelse i boringskontrollen og dét stof, som i sig selv hyppigst påvises over kravværdien på 0,002 µg/l. I GRUMO var PFOS den hyppigst fundne PFAS-forbindelse med PFOA som den næsthyppigste. Der er dog generelt god overensstemmelse mellem hvilke PFAS-forbindelser, der findes hyppigst for GRUMO og boringskontrollen, bortset fra PFBS, som har en noget højere fundandel i GRUMO-datasættet.

Tabel 15. Vandforsyning. PFAS 2022. PFAS, 2021-2022. Tabellen viser typiske detektionsgrænser (DG) i perioden og kravværdi (KV) for sumparametre jf. Tabel 13. Med gråtoner er vist hvilke stoffer, der er knyttet til hvilke kravværdier, således at stoffer, der er lysere end baggrundsfarven, ikke er omfattet af kravværdien dækket af en given gråtone, se også Tabel 13. Antal og procentvis fordeling for fund og overskridelser af kravværdien (KV) er opgjort på indtagniveau.

Stofnavn	DG (µg/l)	KV (µg/l)	Indtag antal			Indtag andel (%)	
			I alt	≥DG	>KV	≥DG	>KV
Sum 22 PFAS		0,1	315	79	0	25,1	0,0
Sum 12 PFAS		0,1	1268	228	0	18,0	0,0
Sum 4 PFAS		0,002	1305	225	73	17,2	5,6
PFOA (Perfluoroktansyre)	0,0001-0,0003		1305	187	52	14,3	4,0
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,0001-0,0003		1305	127	8	9,7	0,6
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	0,0001-0,0003		1307	112	10	8,6	0,8
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,0006-0,002		1268	54	0	4,3	0,0
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,0003-0,001		1267	42	0	3,3	0,0
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,0003-0,001		1268	39	0	3,1	0,0
PFHpA (Perfluorheptansyre)	0,0003-0,001		1267	38	0	3,0	0,0
PFPeA (Perfluorpentansyre)	0,001		1268	37	0	2,9	0,0
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	0,001		311	4	0	1,3	0,0
PFNA (Perfluornonansyre)	0,0001-0,0003		1306	14	0	1,1	0,0
6:2 FTS (1H,1H,2H,2H-Perfluorooctansulfonsyre)	0,0003-0,001		1267	5	0	0,4	0,0
PFDS (Perfluordecansulfonsyre)	0,001		311	0	0	0	0
PFOSA (Perfluoroktansulfonamid)	0,0003-0,001		1267	0	0	0	0
PFDA (Perfluordecansyre)	0,0003-0,001		1267	0	0	0	0
PFUnDA (Perfluorundecansyre)	0,0003-0,001		311	0	0	0	0
PFDoDA (Perfluordodecansyre)	0,0003-0,001		311	0	0	0	0
PFTTrDA (Perfluortridecansyre)	0,0003-0,001		311	0	0	0	0
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	0,001		311	0	0	0	0
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	0,001		315	0	0	0	0
PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)	0,001		311	0	0	0	0
PFDoDS (Perfluordodecansulfonsyre)	0,001		311	0	0	0	0
PFTTrDS (Perfluortridecansulfonsyre)	0,001		311	0	0	0	0

Figur 62 viser den geografiske fordeling af PFAS i de vandforsyningsboringer, der er analyseret for PFAS i 2022. PFAS-forbindelser kan findes over hele landet, men fund af PFAS og i særdeleshed koncentrationer over kravværdien for Sum af 4 PFAS er koncentreret omkring København, omend der også ses koncentrationer over kravværdien i andre områder. Særligt er der også høje PFAS-koncentrationer i terrænnære indvindingsboringer nær Vesterhavet (Fanø, Hanstholm, Skagen). PFAS-forurening af grundvandet er kendt for at være knyttet til særlige aktiviteter, såsom øvelsespladser for brandslukning, lossepladser samt kemi- metal- og malings-industri og produktion af tæpper og møbler (Miljøstyrelsen, 2014; 2016; 2022).

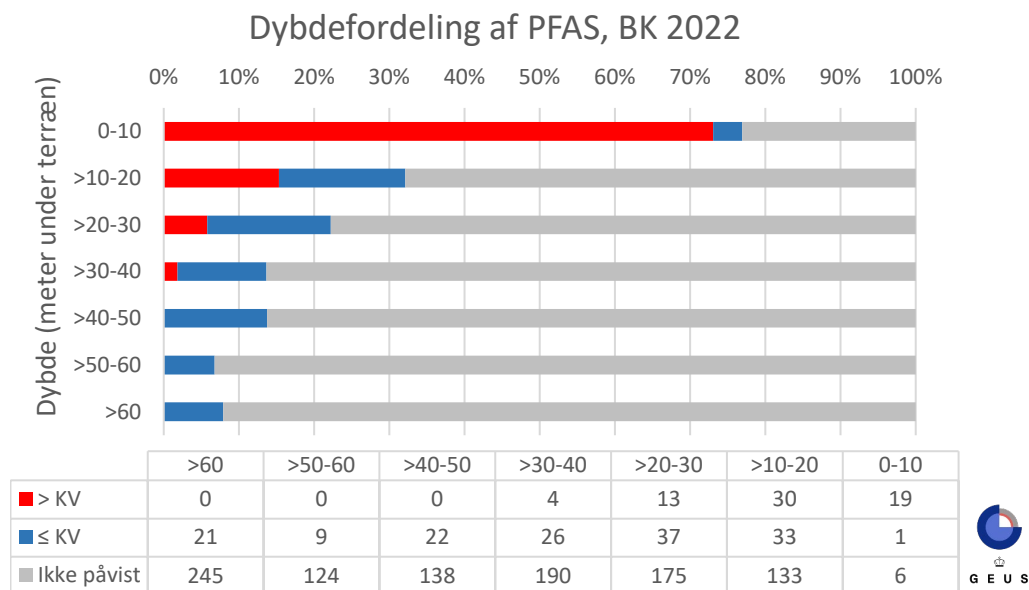
Fundene i hovedstadsområdet afspejler derfor sandsynligvis disse aktiviteter, mens de høje koncentrationer af PFAS nær Vesterhavet kunne skyldes andre kilder, fx deposition fra Nordsøen via havskums-aerosoler, som er vist at kunne indeholde en betydelig koncentration af PFAS (Johansson mfl., 2019). En nylig undersøgelse på Fanø har netop sandsynliggjort havet som kilde til PFAS i dét grundvand, som indvindes til drikkevand på øen (NIRAS, 2023).



Figur 62. Vandforsyning. PFAS 2022. Rød markerer fund over en fastsat kravværdi (i dette tilfælde udelukkende $>0,002 \mu\text{g/l}$ for 'Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA', se Tabel 13). Blå markerer fund under kravværdien. Grå markerer ingen påviste PFAS-forbindelser ($<DG$). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Figur 63 viser dybdefordelingen af PFAS-fund. Der ses en mere tydelig dybdefordeling i vandforsyningsboringerne end i grundvandsovervågningen, se Figur 60, med en tydeligt aftagende andel af både fund og overskridelser af kravværdien med dybden. Den mere tydelige dybdefordeling skyldes sandsynligvis det større datasæt for vandforsyningsboringer. Den høje forekomst af koncentrationer over kravværdien fra 0-10 m skal dog tolkes varsomt, da der er meget få vandforsyningsboringer med indtag så tæt på terræn, og ca. 2/3 af overskridelserne i denne dybde skyldes indtag knyttet til et enkelt vandværk (Skagen Vandværk).

Dybdefordelingen tyder på, at PFAS-forbindelser i øjeblikket hovedsageligt befinder sig i det mest terrænnære grundvand, hvilket stemmer godt overens med, at den største anvendelse af PFAS-forbindelser er foregået inden for de sidste 40 år. Da det vurderes, at de fleste af de analyserede PFAS-forbindelser ikke nedbrydes i jordmiljøet, og der samtidig er kommet øget fokus på mindsket udledning af PFAS til både jord- og vandmiljø via fx brandskum, må dybdefordelingen forventes at ændres i fremtiden. Det tydelige mønster i dybdefordeling indikerer desuden, at der ikke er tale om udbredt kontaminering af vandet i forbindelse med prøvetagning eller analyse, men at der er tale om reel forekomst af PFAS-forbindelser i grundvandet. Omvendt kan det ikke udelukkes at den 'stabile' andel af PFAS-fund på 7-8 % i indtag placeret dybere end 50 meter helt eller delvist kunne skyldes kontaminering i forbindelse med prøvetagning eller analyse.



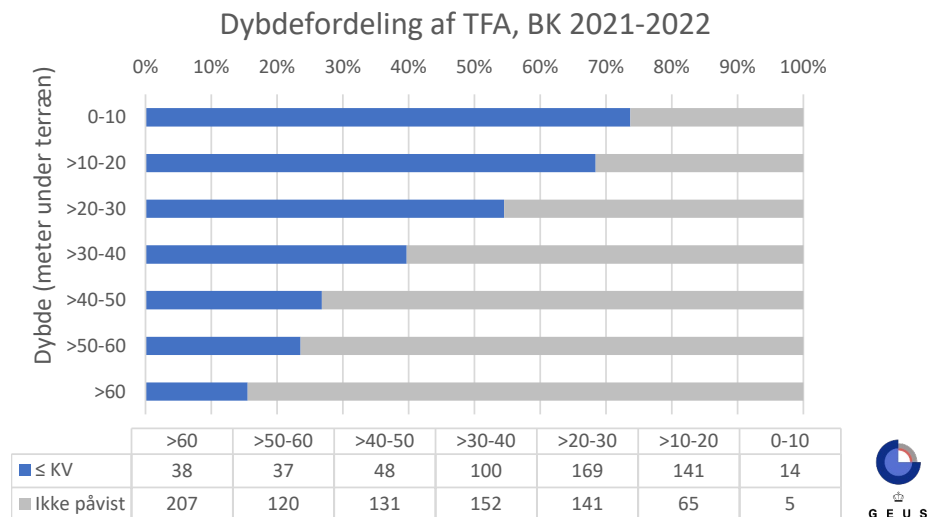
Figur 63. Vandforsyning. Dybdefordeling for PFAS i 2022. Indtagene er opdelt i tre koncentrationsintervaller: Rød (> KV) markerer fund over en fastsat kravværdi (i dette tilfælde udelukkende >0,002 µg/l for 'Sum af PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA', se Tabel 13). Blå (≤ KV) markerer fund under kravværdien. Grå (ikke påvist) markerer indtag med ingen påviste PFAS-forbindelser. Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Tabellen under figuren viser antal undersøgte indtag i de forskellige dybder opdelt efter koncentrationsintervaller. Bemærk, at der er meget få indtag fra 0-10 meters dybde med deraf følgende øget usikkerhed på fundandelen.

TFA

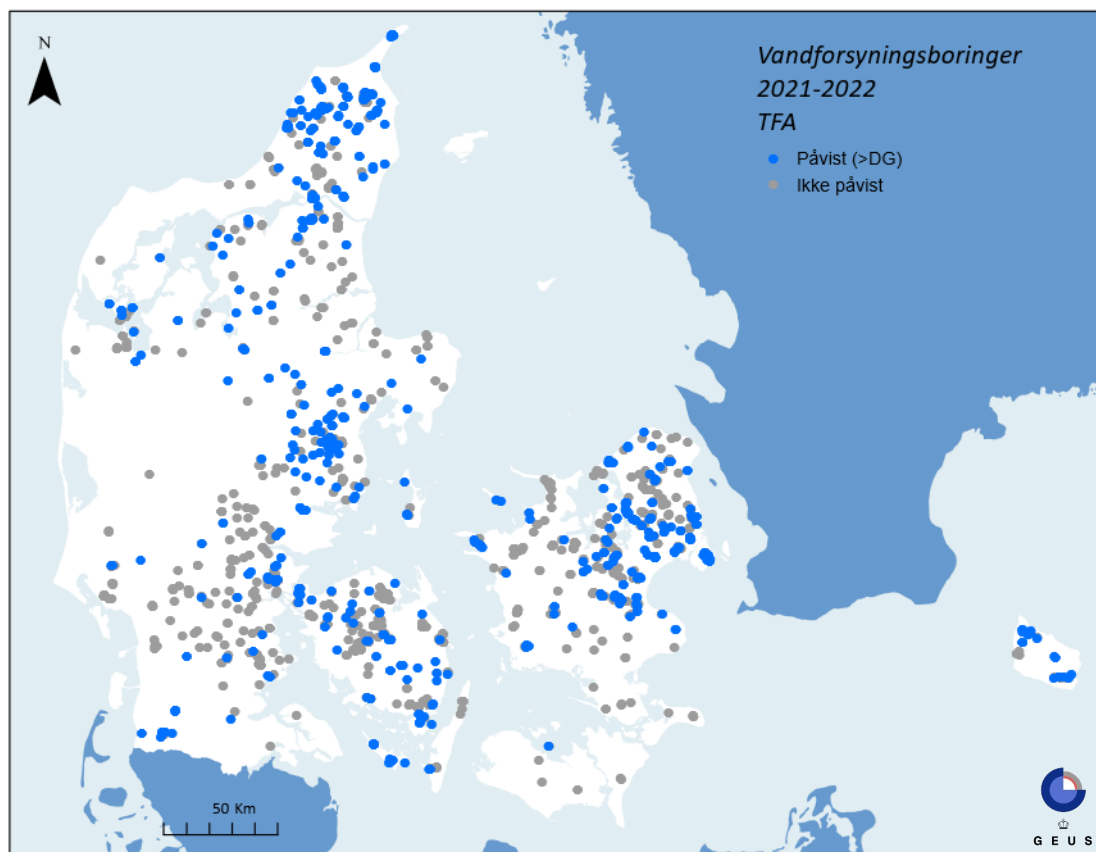
Mange vandforsyninger begyndte at analysere for TFA efter de mange fund i GRUMO-boringer i 2020. I forlængelse heraf blev TFA optaget i drikkevandsbekendtgørelsen med en kravværdi på 9 µg/l. I alt er 1.456 drikkevandsindtag blevet undersøgt, og TFA-koncentrationen lå over detektionsgrænsen (på typisk 0,05 µg/l) i de 591, svarende til 41 %. Den højeste målte koncentration var 4,0 µg/l, og i kun fire indtag blev der fundet mere end 1 µg/l. Der var således ingen fund over den nuværende kravværdi.

Figur 64 viser dybdefordelingen af TFA i vandforsyningsboringer. Fundandelen aftager tydeligt med dybden. Da TFA, med den nuværende viden, ikke forventes at nedbrydes i jordmiljøet, må såvel koncentrationer som antallet af fund af TFA forventes at stige fremover.

Figur 65 viser den geografiske fordeling af analyser og fund for TFA i boringskontrollen i 2021-2022. Der er en del områder, særligt i Vestjylland og på Lolland-Falster, hvor antallet af boringer analyseret for TFA er meget lavt, mens fundene generelt ligger spredt ud over alle de områder, hvor der er blevet analyseret for TFA.



Figur 64. Vandforsyning. Dybdefordeling for TFA i perioden 2021-2022. Indtagene er opdelt i to koncentrationsintervaller: ≤ KV på 9 µg/l, eller ikke påvist (under detektionsgrænsen). Dybden angiver afstanden fra terræn til overkanten af indtaget. Tabellen under figuren angiver antal undersøgte indtag i de forskellige indtagsdybder opdelt efter koncentrationsintervaller.



Figur 65. Vandforsyning. TFA 2021-2022. Blå markerer fund under kravværdien. Grå markerer intet påvist TFA (<DG). De højeste koncentrationer er afbildet øverst.

Referencer, organiske mikroforureninger

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøstyrelsen, 2021d. Skærpede krav til PFAS-stoffer i drikkevand. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2021/jun/skaerpede-krav-til-pfas-stoffer-i-drikkevand/>

Miljøstyrelsen, 2022: Vejledning om Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Drikkevandsvejledning. Vejledning nr. 55 februar 2022. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/02/978-87-7038-389-9.pdf> (11-2-24)

Andre referencer

Barnabas S, Böhme T, Boyer S, Irmer M, Ruttkies C, Wetherbee I, mfl., 2022: Extracting and Comparing PFAS from Literature and Patent Documents using Open Access Chemistry Toolkits. ChemRxiv. Cambridge: Cambridge Open Engage.

GEUS, 2003: Udkast til teknisk anvisning for grundvandsovervågningen, version 3 af 2. dec. 2003.

Johansson, J. H., Salter, M. E., Acosta Navarro, J. C., Leck, C., Nilsson, E. D., Cousins, I. T., 2019: Global transport of perfluoroalkyl acids via sea spray aerosol, Environ. Sci.: Processes Impacts, 21:635-649.

Miljøstyrelsen, 2014: Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder, Miljøprojekt nr. 1600. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/10/978-87-93178-96-0.pdf> (11-2-24)

Miljøstyrelsen, 2016: Kortlægning af brancher der anvender PFAS, Miljøprojekt nr. 1905. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf> (11-2-24)

Newell, C.J., Adamson, D.T., Kulkarni, P.R., Nzeribe, B.N., Connor, J.A., Popovic, J., Stroo, H.F., 2021; Monitored natural attenuation to manage PFAS impacts to groundwater: Scientific basis, Groundwater Monitoring & Remediation, 41: 76–89.

NIRAS, 2023: Undersøgelser af kystnær PFAS – forurening af jord- og grundvand, Den syddanske Udviklingspulje, Journalnr. 22/52316

OECD, 2021: Reconciling Terminology of the Universe of Per Recommendations and Practical Guidance, Series on Risk Management No.61, Organisation for Economic Co-operation and Development, ENV/CBC/MONO(2021)25.

REFLAB, 2015: M068. Metodedatablad for Perfluorerede alkylsyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1124/m068_pfas_01b.pdf. (11-2-24)

Thorling, L., 2012: Prøvetagning af grundvand. Teknisk anvisning. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland. GEUS.

Thorling, L., 2023: Prøvetagning af grundvand, version 2.1. Teknisk anvisning. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland. GEUS. <https://data.geus.dk/pure-pdf/Pr%C3%B8vetagning%20af%20grundvand.pdf>

Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, C. Hansen, B., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989–2020. Teknisk rapport, GEUS 2021. https://www.geus.dk/Media/637753300019725848/Grundvand%201989-2020_a.pdf

Thorling, L., Albers, C.N., Hansen, B., Johnsen, A.R., Kazmierczak, J., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2023: Grundvand. Status og udvikling 1989–2021. Teknisk rapport, GEUS 2023. https://www.geus.dk/Media/638175711147491678/Grundvand1989-2021_rev.pdf

Wang, Z., DeWitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T., 2017; A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? Environmental Science and Technology, 51:2508–2518.

7. Referencer

Danske vejledninger mm. fra Miljøministeriet og Miljøstyrelsen

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2023: Dataansvarsaftalen, <https://miljoeportal.dk/media/1816/dataansvarsaftalens-bilag-3-grundvand.pdf> (11-2-2024)

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

Miljøstyrelsen, 2014: Screeningsundersøgelse af udvalgte PFAS-forbindelser som jord- og grundvandsforurening i forbindelse med punktkilder, Miljøprojekt nr. 1600. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2014/10/978-87-93178-96-0.pdf> (11-2-24)

Miljøstyrelsen, 2016: Kortlægning af brancher der anvender PFAS, Miljøprojekt nr. 1905. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf> (11-2-24)

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

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

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

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

Miljøstyrelsen, 2020. Notat af 17. februar, 2020: Fagligt notat om resultater af massescreening 2019.

Miljøstyrelsen, 2021: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2016-2019 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). March 2021.

Miljøstyrelsen, 2021a: Notat af 23. februar, 2021: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2020.

Miljøstyrelsen, 2021b: Nyt stof fundet i grundvandet. Downloadet 15/10-2021. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2021/jan/nyt-stof-fundet-i-grundvandet/>

Miljøstyrelsen, 2021c: Liste over kvalitetskriterier i relation til forurennet jord, opdateret juli 2021. https://edit.mst.dk/media/twgd1ftx/liste-over-jordkvalitetskriterier-juli-2021_final-rev.pdf Miljøstyrelsen, 2023b: Liste over drikkevandskvalitetskriterier: <https://edit.mst.dk/media/dqsdvvr/liste-over-drikkevandskvalitetskriterier-april-2023-final.pdf>

Miljøstyrelsen, 2021d. Skærpede krav til PFAS-stoffer i drikkevand. <https://mst.dk/service/nyheder/nyhedsarkiv/2021/jun/skaerpede-krav-til-pfas-stoffer-i-drikkevand/> Downloadet 15/10-2021.

Miljøstyrelsen, 2021d. Notat af 23. februar 2021: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2020.

Miljøstyrelsen, 2022: Vejledning om Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Drikkevandsvejledning. Vejledning nr. 55 februar 2022. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/02/978-87-7038-389-9.pdf> (11-2-24)

Miljøstyrelsen, 2022a. Notat af 17. marts 2022: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2021.

Miljøstyrelsen, 2023. Notat af 2. marts 2023: Fagligt notat om resultater af massescreening for pesticidstoffer i grundvand 2022.

Miljøstyrelsen og GEUS. 2023. Anbefaling for specifikke pesticidstoffer til boringskontrollens obligatoriske pesticidliste og GRUMO stoffliste – 2023. Arbejdsdokument til Vandpanelet.

REFLAB, 2015: M068. Metodedatablad for Perfluorerede alkylysyreforbindelser (PFAS-forbindelser) i grundvand og drikkevand, https://cdnmedia.eurofins.com/Microsites/media/1124/m068_pfas_01b.pdf. (11-2-24)

EU-direktiver mm.

EU, 1991: Nitratdirektivet.

EU, 2000: Vandrammedirektivet.

EU, 2006: Grundvandsdirektivet. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006L0118&from=DA>

EU, 2009: Analysekvalitetsdirektivet.

EU, 2020: Drikkevandsdirektivet <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DA/TXT/HTML/?uri=CELEX:32020L2184&from=DA>.

EU, 2020: WFD CIS Voluntary Groundwater Watch List Process Study on Per- and Polyfluoroalkyl substances (PFAS) – Monitoring Data Collection and Initial Analysis – (Draft V.2.5 / 31st March 2020) <https://circabc.europa.eu/ui/group/9ab5926d-bed4-4322-9aa7-9964bbe8312d/library/a547839e-c8ef-4a0d-b4f5-0cb877cdd17e/details> (12-2-2024)

NOVANA: Nationale programbeskrivelser, tekniske anvisninger mm.

DMU, 2004: NOVANA, Det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse. Faglig rapport fra DMU nr. 495. NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (9-2-2024) og NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (9-2-2024)

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.

Hansen, B. og Thorling, L., 2007: Interkalibrering af grundvandsprøvetagning 2007. https://www.geus.dk/media/6795/interkalibrering_af_grundvandsprøvetagningen_2007_novana_final.pdf

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2020: Dataansvarsaftalen, https://miljoeportal.dk/media/1395/dataansvarsaftalens-bilag-3-om-grundvand-revideret-maj-2020_ver20200616.pdf (9-2-2024)

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 <http://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2000/87-7909-884-3/html/default.htm> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/novana.pdf> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2021: NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2022: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/05/978-87-7038-419-3.pdf> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, 2021a: Status and trends of the aquatic environment and agricultural practice in Denmark. Report to the European Commission of the period 2016-2019 in accordance with article 10 of the Nitrates Directive (1991/676/EEC). March 2021.

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana.pdf> og <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana2.pdf> (9-2-2024)

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/novana.pdf> (9-2-2024)

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

Miljøstyrelsen, 2020a: Delprogram for grundvand – opdaterede bilag.

Thorling, L., 2012: Prøvetagning af grundvand. Teknisk anvisning. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmarks og Grønland. GEUS.

Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. https://www.geus.dk/media/6777/q03_pejlinger.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 19.dec 2018. https://www.geus.dk/Media/E/A/dg01-pejl_20140615_20181219.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., Ernstsén, V., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for kemidata- grundvand. Teknisk rapport GEUS. Senest opdateret 20.dec 2018 <https://www.geus.dk/media/6782/kemidata-grundvand.pdf> (9-2-2024)

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

Troldborg, L., 2020: Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpegning af drikkevandsforekomster. GEUS-rapport 2020/1 https://www.geus.dk/Media/2/5/GEUSrapport_2020_1_GVF_afgrænsning_web.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., Mortensen, M., Sivertsen, J., Iversen, L., Wandall, T., 2022: Etablering og vedligehold af overvågningsboringer. Teknisk anvisning. GEUS, 2022. https://data.geus.dk/pure-pdf/GEUS_Teknisk_Anvisning_2022_Etablering%20og%20vedligehold%20af%20overv%C3%A5gningsboringer%20i%20grundvandsoverv%C3%A5gningen_web.pdf (9-2-2024)

Thorling, L., 2023: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2023. <https://data.geus.dk/pure-pdf/Pr%C3%B8vetagning%20af%20grundvand.pdf> (9-2-2024)

NOVANA: rapporter

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M. Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Larsen, S.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2024. Landovervågningsoplande 2022. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport nr. xxx.

Stockmarr, J. (red) 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. <https://www.geus.dk/Media/7/6/g-o-2001.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L. 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. <https://www.geus.dk/Media/9/9/g-o-2007.pdf>

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. <https://www.geus.dk/Media/B/4/g-o-2008.pdf>

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L. 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. <https://www.geus.dk/Media/3/F/g-o-2009.pdf>

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. <https://www.geus.dk/Media/9/C/g-o-2010.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsck, W., Møller, R.R. og Mielby, S. 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. <https://www.geus.dk/media/8079/g-o-2011.pdf>

Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L. 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. <https://www.geus.dk/Media/F/8/g-o-2012.pdf>

Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L. 2015a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. <https://www.geus.dk/Media/0/A/g-o-2013.pdf>

Thorling, L., Ernstsén, V., Hansen, B., Larsen, F., B., Mielby, S., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2015b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. Teknisk rapport, GEUS 2015. <https://www.geus.dk/Media/A/7/g-o-2014.pdf>

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. <https://www.geus.dk/Media/8/B/g-o-2015.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsén, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2018: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016. Teknisk rapport, GEUS 2018. <https://www.geus.dk/media/7921/grundvand1989-2016-endelig-momslog.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C. N., Ditlefsen, C., Ernstsén, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2019: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2017. Teknisk rapport, GEUS 2019. https://www.geus.dk/media/8097/grundvand_1989-2017.pdf

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsén, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2020: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2018. Teknisk rapport, <https://www.geus.dk/media/8321/grundvand1989-2018-rettet.pdf> GEUS 2020. (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C. N., Ditlefsen, C., Ernstsén, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., og Trolborg, L. 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2019. Teknisk rapport, <https://www.geus.dk/Media/2/1/Grundvandsoverv%C3%A5gning%201989-2019.pdf> GEUS 2021. (9-2-2024)

Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, C. Hansen, B., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H. & Trolborg, L. 2021b: Grundvand. Status og udvikling 1989–2020. Teknisk rapport, GEUS 2021. https://www.geus.dk/Media/637753300019725848/Grundvand%201989-2020_a.pdf

Thorling, L., Albers, C. N., Ditlefsen, C., Hansen, B., Johnsen, A.R., Kazmierczak, J. og Trolborg, L. 2023: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2021. Teknisk rapport, GEUS 2023. https://www.geus.dk/Media/638175711147491678/Grundvand1989-2021_rev.pdf (9-2-2024)

Andre referencer

Albers, C.N. 2019: Dateringer i GRUMO 2018. GEUS-notat 05-VA-19-04.

Albers, C.N., 2021: Dateringer i GRUMO 2020. GEUS-notat 42-VA-21-02

Albers, C.N., 2023: Dateringer i GRUMO 2021. GEUS-notat 42-VA-23-02

Albers, C.N., Bollmann, U.E., Badawi, N., Johnsen, A.R., 2021: Leaching of 1,2,4-triazole from commercial barley seeds coated with tebuconazole and prothioconazole. Chemosphere 286: 131819. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131819> (10-2-24)

Albers CN, Johnsen AR, Bollmann UE. Urban areas as sources of the groundwater contaminants N,N-dimethylsulfamide (N,N-DMS) and 1,2,4-triazole. 2023. Sci Tot Environ. 881:163377. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969723019964?via%3Dihub> (10-2-24)

- Appello, C.A.J. & Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. CRC Press, 672 pp
- Badawi N, Karan S, Haarder EB, Bollmann UE, Albers CN, Kørup K, 2023. Ekstraordinær afrapportering af cyazofamid-test på VAP-marken i Jyndevad inklusiv understøttende laboratorieforsøg. Varslingssystem for udvaskning af pesticider til Grundvand. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland.
- Barnabas S, Böhme T, Boyer S, Irmer M, Ruttkies C, Wetherbee I, mfl., 2022: Extracting and Comparing PFAS from Literature and Patent Documents using Open Access Chemistry Toolkits. ChemRxiv. Cambridge: Cambridge Open Engage.
- Cook, P. G., D. K. Solomon, L. N. Plummer, E. Busenberg, and S. L. Schiff, 1995; Chlorofluorocarbons as tracers of groundwater transport processes in a shallow, silty sand aquifer, Water Resour. Res., 31: 425– 434.
- Cook, P. G., Solomon, D. K., 1997; Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons, $^3\text{H}^3\text{He}$ and ^{85}Kr , Journal of Hydrology 191: 245-265
- Danske regioner, 2023: Bevar jordforbindelsen - Regionernes arbejde med jordforurening. 44 s. ISBN elektronisk: 978-87-92686-45-9. <https://www.jordforening.dk/wp-content/uploads/2023/05/32201-Bevar-jordforbindelsen-Regionernes-arbejde-med-jordforurening-2022.pdf> (9-2-2024)
- DANVA, 2018. Personlig kommunikation, Seniorkonsulent Claus Vangsgård.
- DMI, 2023: <https://www.dmi.dk/vejarkiv/normaler-danmark/> (9-2-2024)
- Ditlefsen C. og Sivertsen, J. (2022): Datakvalitet og stationsfordeling i Det nationale Pejlenet. Intern rapport GEUS.
- Effektivt landbrug 2020. Udbudte bejdsemidler i majs til sæson 2021. <https://effektivtlandbrug.landbrugnet.dk/artikler/planter/udbudte-bejdsemidler-i-majs-til-saeson-2021.aspx> (10-2-24)
- 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. Særudgivelse fra GEUS. https://www.geus.dk/geo/veiledning/6_03102018.pdf (12-2-2024)
- 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 www.geus.dk/media/7937/geus-rapport-om-implementering-af-modeller-til-brug-for-vandforvaltning2014_74.pdf (9-2-2024)
- Henriksen, H., Stisen, S, Trolborg, L, He, X & Jørgensen, LF. 2015: Analyse af øget vandindvinding til markvanding. GEUS rapport 2015/29. https://www.geus.dk/media/7936/geus-rapport-om-øget-vandindvinding-til-markvanding29_2015.pdf (9-2-2024)
- Hinsby, K., Højberg, A. L., Engesgaard, P., Jensen, K. H., Larsen, F., Plummer, L. N., and Busenberg, E., 2007; Transport and degradation of chlorofluorocarbons (CFCs) in the pyritic Rabis Creek aquifer, Denmark, Water Resour. Res., 43, W10423, doi:10.1029/2006WR005854.
- Hjelmer O, Hougard T, Hansen J B, Hyks J, Trap N. 2020. Identifikation af problematiske stoffer i overfladebehandlet tegl og beton, fiberarmeret cement og beton samt klinker og sanitet. Miljøprojekt nr. 2127, Miljøstyrelsen.
- Horneman, A., M. Stute, P. Schlosser, W. Smethie, N. Santella, D.T. Ho, B. Mailloux, E. Gorman, Y. Zheng, A. van Geen, 2008; Degradation rates of CFC-11, CFC-12 and CFC-113 in anoxic shallow aquifers of Araihaazar, Bangladesh, Journal of Contaminant Hydrology, 97: 27-41,
- Hvid, S. Kolind, 2011: Videncenter for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (9-2-2024)
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvarter Varv-kort.
- Jakobsen, R., Hinsby, K., Aamand, J., van der Keur, P., Kidmose, J., Purtschert, R., Jurgens, B.C., Sultenfuss, J., Albers, C.N., 2020; History and Sources of Co-Occurring Pesticides in an Abstraction Well Unraveled by Age Distributions of Depth-Specific Groundwater Samples, Environmental Science and Technology, 54: 158-165, DOI: 10.1021/acs.est.9b03996
- Johansson, J. H., Salter, M. E., Acosta Navarro, J. C., Leck, C., Nilsson, E. D., Cousins, I. T., 2019: Global transport of perfluoroalkyl acids via sea spray aerosol, Environ. Sci.: Processes Impacts, 21:635-649.
- Lai, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Lai, 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

Lassen C, Skårup S, Mikkelsen SH, Kjølholt J, Nielsen PJ, Samsøe-Petersen L, 2001. Inventory of Biocides used in Denmark. Environmental Project No. 585. Miljøstyrelsen.

Linds, 2023. Bejdsning af majsfrø. <https://www.linds.dk/majs-bejdsning/> (10-2-24)

Mernild, S. H., Christensen J.H., Cappelen, J. (2019): Nedbørsekstremer og regnfattige somre. *Aktuel Naturvidenskab* Nr. 2 2019, 8-12.

Newell, C.J., Adamson, D.T., Kulkarni, P.R., Nzeribe, B.N., Connor, J.A., Popovic, J., Stroo, H.F., 2021; Monitored natural attenuation to manage PFAS impacts to groundwater: Scientific basis, *Groundwater Monitoring & Remediation*, 41: 76–89.

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

NIRAS, 2023: Undersøgelser af kystnær PFAS – forurening af jord- og grundvand, Den syddanske Udviklingspulje, Journalnr. 22/52316

Nygaard, E.(red) 2004: Koncept for Udpejning af Pesticidfølsomme Arealer, KUPA. Særligt pesticidfølsomme sandområder: Forudsætninger og metoder for zoner. GEUS. http://kupa.dk/xpdf/KUPA_sand_slutrapport.pdf (12-2-2024)

OECD, 2021: Reconciling Terminology of the Universe of Per Recommendations and Practical Guidance, Series on Risk Management No.61, Organisation for Economic Co-operation and Development, ENV/CBC/MONO(2021)25

Olesen, J.E., 2019: Klimaændringernes betydning for europæisk landbrug. *Vand og jord*, 26. Årg.. 2. maj 2019, side 50-55.

Phillips, E., Gilevska, T., Horst, A., Manna, J., Seger, E., Lutz, E.J., Norcross, S., Morgan, S.A., West, K.A., Mack, E.E., Dworatzek, S., Webb, J., Lollar, B.S., 2019. Transformation of Chlorofluorocarbons Investigated via Stable Carbon Compound-Specific Isotope Analysis. *Environ. Sci. Technol.* 54, 870–878. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B05746>

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.

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

Sebol, L.A., W.D. Robertson, E. Busenberg, L.N. Plummer, M.C. Ryan, S.L. Schiff, 2007; Evidence of CFC degradation in groundwater under pyrite-oxidizing conditions, *Journal of Hydrology*, 347: 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.08.009>.

Stisen, S., Ondracek, M., Trolborg, L., Schneider, R.J.M., van Til, M.J., 2019: National Vandressource Model – Modelopstilling og kalibrering af DK-model2019. GEUS-rapport 2019/31. GEUS 2019 https://data.geus.dk/pure-pdf/32631_GEUS_R_2019_31_opt.pdf (9-2-2024)

Statens Forsøgsvirksomhed, 1960. Specialpræparater anerkendte af Statens Forsøgsvirksomhed i plantekultur til bekæmpelse af plantesygdomme og skadedyr. Gyldig for året 1960

Statens Forsøgsvirksomhed, 1962. Specialpræparater anerkendte af Statens Forsøgsvirksomhed i plantekultur til bekæmpelse af plantesygdomme og skadedyr. Gyldig for året 1962

Tesoriero A.J., Puckett, L.J., 2011; O2 reduction and denitrification rates in shallow aquifers, *WATER RESOURCES RESEARCH*, 47: W12522,

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

Thorling, L., Nilsson, B., Møller, I., Bollmann, U.E., Johnsen, A.R. & Trolborg, L., 2021: Udvikling af metode og gennemførelse af vurderinger for de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for pesticider. GEUS rapport 2021/15. Dokumentationsrapport.. <https://www.geus.dk/Media/637607182688977856/Udvikling%20af%20metode%20og%20gennemf%c3%b8relse%20af%20vurderinger%20for%20de%20danske%20grundvandsforekomsters%20kemiske%20tilstand%20for%20pesticider.pdf> (11-2-2024)

Triferto Fertilizers, Piadin IBC 1.000 liter. Nitrification inhibitor: Active ingredient 1H- 1,2,4 Triazole with 3-methylpyrazole. Downloadet 22/11-2021 fra: <https://www.triferto.eu/en/commodities/123/piadin-ibc-1-000-liter>

Trolborg, L., 2020: Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. Ny afgrænsning og delkarakterisering samt fagligt grundlag for udpejning af drikkevandsforekomster. GEUS-rapport 2020/1

Wang, Z., DeWitt, J.C., Higgins, C.P., Cousins, I.T., 2017; A Never-Ending Story of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs)? *Environmental Science and Technology*, 51:2508–2518.

Links og hjemmesider:

Bekæmpelsesmiddeldatabasen (bmd) <https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/database-for-bekaempelsesmidler/bmd> (10-2-24)

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (9-2-2024)

DMI's hjemmeside: www.dmi.dk (9-2-2024)

EEA-hjemmesiden: <http://www.eea.europa.eu/> (9-2-2024)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grund-vand/grundvandskortlaegning/> (9-2-2024)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncenter for Miljø og ressourcer: <https://www.miljoeogressourcer.dk/> (9-2-2024)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

Parameterlisten: <https://parameterlisten.miljoeportal.dk/parameters>

[Spin databasen: spin2000.net](http://spin2000.net). (10-2-24)

STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (9-2-2024)

Vandområdeplanernes hjemmeside: <https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner> (9-2-2024)

Varslingssystemet for pesticider, hjemmeside: www.pesticidvarsling.dk (9-2-2024)

<https://www.webmatematik.dk/lektioner/matematik-b/statistik/fordelingsfunktion-og-frekvensfunktion> (13-2-24)

Appendiks

Appendiks 1 Datagrundlag og metoder

Appendiks 1.1 Analyseindsats og dataindsamling

Datakilder

De data, der udgør grundlaget for grundvandsrapporten er først og fremmest indsamlet i det nationale overvågningsprogrammes særlige overvågningsboringer (GRUMO- og LOOP-indtag) og i vandforsyningernes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (Thorling og Kjølner, 2017). De forskellige datakilder anvendt til overvågning af grundvandets kvalitet er beskrevet kort i Boks 1 nedenfor, mens en mere uddybende beskrivelse af stationsnettet er givet i Appendiks 2.

Boks 1. Datakilder i grundvandsovervågningsrapporten, overvågning af vandkvalitet.

Datakilde	Beskrivelse
GRUMO-boringer	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, hvor påvirkningen fra diffuse miljøpåvirkninger er størst, idet punktkilder undgås, således at effektiviteten af generelle reguleringer bedst kan vurderes. Stationsnettet blev i perioden 2007-2019 tilpasset vandrammedirektivet, se Figur 74. Prøvetagningshyppigheden i de enkelte GRUMO-indtag varierer afhængigt af den påvirkning, som afspejles af vandanalyserne, se kapitel 2. Alle programlagte indtag prøvetages mindst én gang i løbet af en seksårig programperiode for alle analysepakker, jf. vandrammedirektivet. En delmængde af indtagene sidder i de såkaldte redoxboringer, der bl.a. har til formål at overvåge redoxzonernes stabilitet. I hver af disse boringer er der 15-23 ganske korte indtag (10 cm), se også Appendiks 2.2 Alle data fra GRUMO-boringer er tilgængelige i Jupiter.
LOOP-boringer	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 især kvælstof og fosfor 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. Siden overvågningens start i 1989 har der været tale om et fast stationsnet af ca. 100 LOOP-indtag - med kun ganske få ændringer. Indtagene prøvetages op til seks gange årligt. Der kan kun udtages prøver, når grundvandsspejlet ligger så højt, at grundvandet kan pumpes op fra indtagene. 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. Alle data fra LOOP-boringer er tilgængelige i Jupiter.
Vandforsyningsboringer	I drikkevandsbekendtgørelsen er der krav om, at vandforsyningerne (indtil okt. 2022 blot de almene vandforsyninger) jævnligt kontrollerer kvaliteten af det grundvand (råvand), der indvindes fra deres indvindingsboringer, den såkaldte boringskontrol. Boringskontrollen gennemføres på det grundvand (råvand), der indvindes fra den enkelte indvindingsboring, før vandet ledes ind på selve vandværket til behandling og derefter ledes videre ud i forsyningsnettet til forbrugere. En almen vandforsyning leverer til mindst 10 ejendomme. Hyppigheden af boringskontrollen afhænger af den distribuerede eller producerede vandmængde, og giver en prøvetagningshyppighed mellem hvert 3. år og

	hvert 5. år. Drikkevandsbekendtgørelsens bilag indeholder en liste over en række parametre, der som minimum skal analyseres for i en boringskontrol. Derudover stiller drikkevandsbekendtgørelsen krav til, at tilsynsmyndigheden skal udvide listen over kontrolparametre for boringskontrollen, når de lokale forhold for vandforsyningsanlægget tilsiger det, se kapitel 2. Alle resultater fra boringskontrollen skal indberettes til Jupiter.
--	--

Analyseindsats vedr. grundvandskvalitet

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

- *Kemiske hovedbestanddele*
- *Uorganiske sporstoffer*
- *Pesticider*
- *Organiske mikroforureninger*

De organiske mikroforureninger har gennem tid været underopdelt i en række kemiske undergrupper, der dels tager udgangspunkt i kemiske egenskaber og dels i anvendelsen. Sådanne undergrupper rapporteres typisk sammen.

Analyseprogrammerne for miljøfremmede stoffer, herunder pesticider, har udviklet sig gennem årene i takt med, at udviklingen af analysemetoderne har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser i forhold til kvalitetskrav og tærskelværdier for de relevante miljøfremmede stoffer og sporstoffer. Undervejs er stoffer, der kun sjældent eller aldrig findes i analyserne, udgået af programmerne. Nye stoffer er løbende inddraget, efter at screeninger eller andre undersøgelser har vist, at national overvågning er relevant. De aktuelle analyseprogrammer for den seneste programperiode fremgår af de kapitler, hvor stofferne præsenteres. Bilag 4 viser en oversigt over den periode, hvor forskellige stoffer har indgået i det programlagte analyseprogram for grundvandsovervågningen.

Det samlede analyseprogram for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne (se litteraturlisten og NOVANA-hjemmesiden). Analyseprogrammerne gennem tid for boringskontrollen fremgår af de forskellige udgaver af drikkevandsbekendtgørelsen. Vandforsyningerne har i vid udstrækning suppleret dette analyseprogram med flere stoffer, specielt miljøfremmede stoffer som pesticider, PFAS mm.

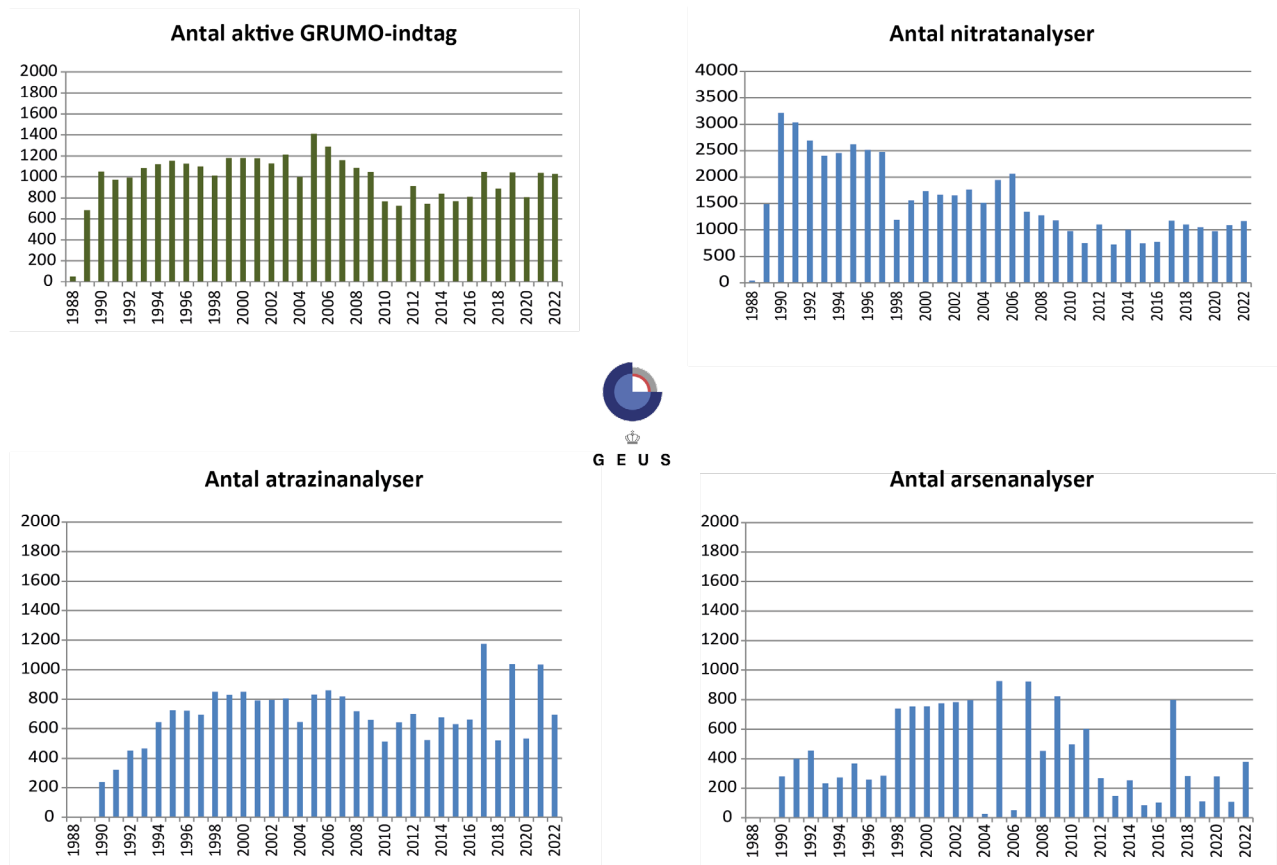
Specielt for pesticider gælder, at resultaterne fra Varslingssystemet for pesticider (VAP) anvendes til justering af analyseprogrammet for både grundvandsovervågningen og boringskontrollen, og ikke mindst som beslutningsgrundlag for screeninger i grundvandsovervågningen (se hjemmesiden for VAP). Resultaterne herfra indgår i beslutningsgrundlaget for justering af programperiodernes analyseprogrammer for grundvandsovervågningen og for drikkevandsbekendtgørelsens boringskontrol. Omvendt vil resultater fra vandforsyningernes egne udvidede pesticidanalyser bidrage til udvælgelse af stoffer til screening i udvalgte indtag i grundvandsovervågningen. I bilag 6 præsenteres resultater fra samtlige pesticidanalyser, opdelt på grundvandsovervågning og vandforsyningsboringer, i det omfang de foreligger i Jupiter. Stofgruppen af pesticider er diskuteret i et selvstændigt afsnit herunder. Der pågår en løbende afklaring af grupperingen af de miljøfremmede organiske stoffer i henholdsvis organiske mikroforureninger og pesticider, se kapitel 2, idet gruppen af pesticider er en delmængde af de organiske mikroforureninger, afgrænset på baggrund af deres anvendelse og ikke deres kemiske egenskaber og strukturer.

Figur 66 viser hvor stort et datamateriale, der er til rådighed for rapporteringen med udgangspunkt i antallet af registrerede, prøvetagede GRUMO-indtag, samt antal godkendte 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 borer, herunder omlægningen fra 2007 ff. for at tilpasse stationsnettet til vandrammedirektivet, er diskuteret i Appendiks 2.

I grundvandsovervågningen, programperiode 2017-2022, udtages højst én prøve/år/indtag, bortset fra i redoxboringerne, der kun indgår hvert andet år (2018, 2020 og 2022), men da med en til tre prøver/år/indtag. Nyetablerede indtag prøvetages dog 2 gange det første år.



Figur 66. GRUMO. Illustration af analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2022. 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.

Det fremgår af Figur 66, at der de første 20 år frem til ca. 2007 var et fald i antallet af årlige analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele. For pesticider (vist som Atrazin) har omfanget af analyser ligget mere konstant frem til 2007, hvorefter der tydeligt ses forskelligt analyseomfang i år med hhv. operationel- og kontrol-overvågning, idet der udtages væsentligt færre prøver i år med operationel overvågning. Stort set alle programlagte indtag er analyseret for pesticider i år med kontrolovervågning (2017, 2019 og 2021).

Hvad angår sporstofferne (arsen) har prøvetagningshyppighederne og omfanget af analyser og antal parametre 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. I de efterfølgende programperioder, fra 2010 og frem, fokuseres der mht. sporstoffer på overvågning af færre stoffer. I programperioden 2023-2027 er der medtaget et større antal sporstoffer for at etablere naturlige baggrundsværdier i det justerede stationsnet, se Appendiks 2.

Stofgruppen pesticider

Pesticidbegrebet er fra rapporteringen 2020 udvidet til også at gælde stoffer med biocidanvendelse, som beskrevet i kapitel 2.

GEUS har derfor valgt i pesticidkapitlet at medtage udvalgte biocidstoffer, som har tydeligt miljøfremmede egenskaber. Det drejer sig fx om organiske tinforbindelser (antibegroningsmidler), isothiazolinoner (konserveringsmidler), biocidstoffer der kemisk er tæt beslægtede med pesticider (fx triaziner), og phenoler i bred forstand. Phenolerne dækker chlorphenoler, methylphenoler (cresoler) bortset fra 3-methylphenol, hvor Miljøstyrelsen i tolkningen af data fra massescreeningen har vurderet at fund i grundvandet ikke skyldes biocidanvendelse), chlormethylphenoler (chlorcresoler) og dimethylphenoler (xylenoler). Teknisk pentachlorphenol (PCP) har fx været anvendt som træbeskyttelsemiddel og indeholdt en forholdsvis stor andel lette chlorphenoler (Miljøstyrelsen, 2009). I grundvandet nedbrydes pentachlorphenol desuden til chlorphenoler med færre chloratomer. 2-methylphenol og 4-methylphenol har fx været anvendt som biocid i overfladebehandling af beton og fibercement (Hjelmar mfl., 2020) og som antiseptiske midler. Nogle chlorphenoler (fx 2,4-dichlorophenol og 2,4,5-trichlorophenol) og chlormethylphenoler (fx 2-methyl-4-chlorophenol) er nedbrydningsprodukter fra phenoxysyreherbicider eller nedbrydningsprodukter fra synteseurenheder i phenoxysyreherbicider (fx 2,6-dichlorophenol og 2-methyl-6-chlorophenol). Chlorphenolerne og chlormethylphenoler bruges også til fremstilling af phenoxysyreherbicider og kan derfor i sig selv forekomme som synteseurenheder. Derudover har en bred gruppe phenoler været brugt som desinfektionsmidler.

Ovennævnte biocidstoffer har indgået som pesticider i Miljøstyrelsens massescreening i 2019 og/eller på Miljøstyrelsens pesticidliste til vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand i 2020, Thorling mfl. 2021. Sumgrupper såsom 'sum herbicider', 'sum pesticider', 'xylenoler' og 'cresoler' er ikke med i opgørelserne, dels fordi de ikke har en detektionsgrænse, dels fordi enkeltstofferne i grupperne oftest også er indberettet enkeltvis. I grundvandet stammer en del stoffer fra olieforureninger eller tjæreforureninger, men nogle af disse stoffer har samtidig haft en begrænset pesticid/biocidanvendelse. Det er fx naphthalen og anthraquinon, som formodentlig oftest stammer fra olie/tjære, når de findes i grundvandet. Disse stoffer forbliver foreløbig i stofgruppen organiske mikroforureninger. I stofgruppen pesticider indgår desuden enkelte kendte urenheder (fx 2,6-DCPP) og vækstregulerende midler.

Indvundne vandmængder

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. I henhold til vandforsyningsloven skal alle almene vandforsyninger årligt indberette årets indvundne vandmængde til kommunerne. Almene vandforsyninger er defineret som vandforsyninger, der leverer drikkevand til mindst 10 ejendomme. De øvrige vandforsyninger skal indberette de indvundne vandmængder, når kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne kvalitetssikrer og indberetter herefter vandmængderne til Jupiter.

Også markvandere og alle andre, der har en tilladelse til vandindvinding, skal årligt indberette oppumpede vandmængder. Specielt for markvanding gælder, at indberetning af markvanding indgår som en del af den såkaldte krydsoverensstemmelse, hvor landbrugsstyrelsen vurderer om et landbrug har ret til EU tilskud. Dette understøtter mulighederne for, at der er tilstrækkelige pålidelige indberetninger af omfanget af markvanding til de årlige opgørelser over de samlede indvindingsmængder.

Andre data om grundvandet

Visse kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges og kortlægges af Regionerne i medfør af jordforureningsloven. Derudover foretages der overvågning af grundvandet i forbindelse med forurenende virksomheder, som fx. lossepladser mv. i medfør af miljøbeskyttelsesloven. I dag rapporteres denne overvågning af Danske regioner (Danske regioner, 2023). Mere information kan fås på Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer (hjemmesiden for jordforurening, se litteraturlisten).

Data, der indsamles som led i regionernes 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,

herunder også indberettede vandprøver fra vandforsyningsboringer, der i dag alene anvendes til overvågning af punktkilder, se bilag 8. Det skal bemærkes, at regionerne jf. jordforureningsloven forestår opsporing af forureningskilder i samarbejde med kommunalbestyrelsen, når der er konstateret en forurening af grundvandet, og ligeledes skal regionerne underrette de berørte vandforsyninger, når en forurening er konstateret. På baggrund af dette skal tilsynsmyndighed (kommune) og almen vandforsyning jf. drikkevandsbekendtgørelsen, sørge for at inddrage et relevant stof i boringskontrollen, såfremt et stof vurderes at udgøre en risiko for den enkelte indvindingsboring. I regi af Miljøportalen arbejdes der i disse år på, at ældre grundvandsdata fra regionernes forureningsundersøgelser lægges i Jupiter, og at der fremover sker en løbende indberetning af nye data. Mængden af data fra regionernes overvågning og undersøgelser af punktkilder indberettet til Jupiter er i årene 2020-2022 mangedoblet, og er efterhånden ved at være dækkende for hele landet.

Indberetning af data til Jupiter

Indberetningen af vandanalyser til Jupiter fra grundvandsovervågningen, vandforsyningernes boringskontrol og øvrige undersøgelser foretages af analyselaboratorierne. Efterfølgende godkender tilsynsmyndigheden eller dataejerer data, jf. Dataansvarsaftalen (Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2023) og drikkevandsbekendtgørelsen, hvorefter de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen.

Vandforsyningernes aktive indvindingsboringer identificeres til rapporteringen på grundlag af bl.a. en kode for prøveformål, som laboratorierne angiver for hver af de analyserede vandprøver. For at en vandforsyningsboring kategoriseres som aktiv, skal der være taget en prøve indenfor de sidste 5 år, med prøveformålet 'boringskontrol', se bilag 8.

Kommunerne vedligeholder de administrative oplysninger om vandforsyningerne i Jupiter. En almen vandforsyning skal i henhold til vandforsyningsloven årligt indberette status for det almene vandforsynings indvindingsboringer. Kommunen skal årligt frigive indberetningerne i Jupiter, hvorefter de er offentligt tilgængelige. Når der i denne rapport gives status for grundvandskvaliteten i vandforsyningsboringerne på aktive vandforsyninger, forventes det, at datamaterialet kun i begrænset omfang inddrager analyser fra vandforsyninger, der ikke længere er aktive. Af samme årsag forventes datamaterialet kun i begrænset omfang at medtage vandforsyningsboringer, hvorfra der ikke indvindes grundvand til drikkevandsproduktion. Det kan fx være vandforsynings overvågningsboringer eller pejleboringer, hvor der har været et behov for at kende vandkvaliteten, og hvor data er indberettet med vandprøveformål 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. Udtrækskriterierne for grundvandskemi er moderniseret i 2019-2021 og fremgår af bilag 8. Især har der været fokus på en klarere definition af stofgrupperne og andre datastrukturelle emner.

Til denne rapport er der lavet et udtræk af de kemiske data fra Jupiter d. 26. april 2023, mens der 22. september 2023 er foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtræk af pejledata fandt sted 27. juni 2023.

Appendiks 1.2 Metoder til databehandling

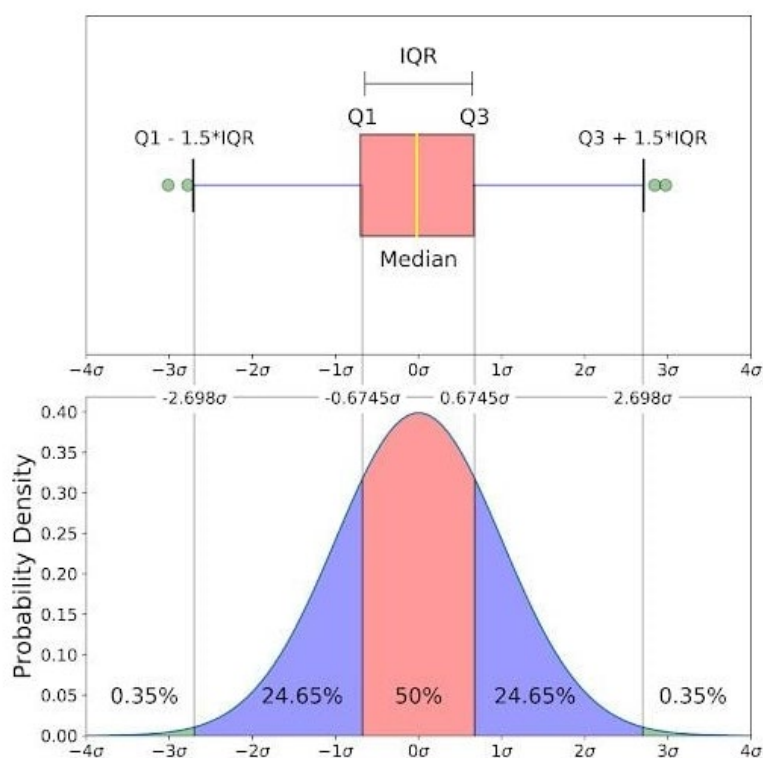
I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt for databehandlingen bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagniveau.

Statistiske metoder, frekvens og fordeling

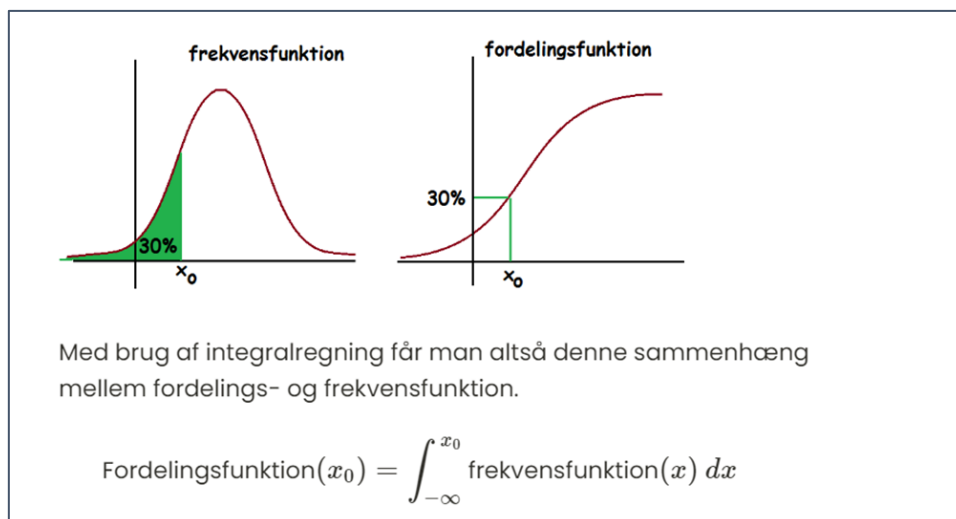
Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på deskriptiv statistik, dvs. hvorledes koncentrationerne fordeler sig i tid og rum. Der er fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskravet og detektionsgrænsen. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit for data fra flere forskellige indtag, men det kan fx være relevant i en udvalgt delmængde af data med fælles egenskaber.

Når der arbejdes med sumværdier, beregnes summerne først for hvert enkelt prøveresultat. Hvis en grundvandsprøve er splittet i flere delprøver, og resultatet for hver delprøve er selvstændigt indberettet, opgøres summen for hver delprøve, idet det er vanskeligt maskinelt med sikkerhed at afgøre, hvilke prøver, der hænger sammen, når fx prøver er sendt til forskellige laboratorier og indberettet separat.

Almindeligvis vil data præsenteres med udgangspunkt i årlige aritmetiske gennemsnit på indtagniveau. I det omfang, der beregnes gennemsnitsværdier, præsenteres medianer også. Status mht. de enkelte stoffer/stofgrupper illustreres typisk gennem boxplot med beregning af medianer og 25 og 75 % fraktiler mv., der samtidig illustrerer spredningen, se fx Figur 67.



Figur 67. Principskitse for boxplot, der viser hvordan den er knyttet til den underliggende fordeling af data. (<https://builtin.com/data-science/boxplot>)



Figur 68. Frekvens og fordelingsfunktioner anvendes til at vise fordelingen af koncentrationer for fx nitrat og pesticider (webmatematik.dk).

Figur 68 viser hvordan koncentrationsfordelinger kan præsenteres som en kurver for frekvensfunktion eller fordelingsfunktionen. I praksis præsenteres frekvensfunktionen andelen af data i et givet koncentrationsinterval, typisk et lineært interval, mens der vises den kumulerede andel af indtag for en given koncentration med fordelingsfunktionen. Fordelingsfunktionen anvendes mange steder i rapporten idet den viser såvel typiske værdier som hyppigheden af meget høje eller lave værdier.

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 (alder) mv, specielt i de år, hvor der er særlig fokus på et enkelt emne. For miljøfremmede stoffer med lave fundandele er fundandelen i sig selv en vigtig parameter. Fundandele angives i % fund af undersøgte indtag.

Koncentrationsklasser

Der anvendes en ensartet afgrænsning af koncentrationsintervaller med hensyn til anvendelsen af < eller ≤ 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 kvalitetskravet.

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 kvalitetskravet, KV. Dvs. $DG \leq x \leq KV$
- Over kvalitetskravet. 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. med den hyppigste DG, og

undtagelserne bemærkes. Dette kan især være relevant for visse pesticider og organiske mikroforurenninger, 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 er mindre end 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 kvalitetskravet, og substitutions-metoden for data under detektionsgrænsen er i praksis uden betydning for vurderingen.

Ved beregning af sum-værdien for pesticider i en prøve beregnes kun summen af stoffer, der er påvist. Øvrige stoffer substitueres med værdien nul. Der substitueres ikke med DG for ikke-påviste stoffer, idet summen så ville være bestemt af antal analyserede pesticidstoffer per prøve, som varierer fra 1 til >400. Dette er i overensstemmelse med analysekvalitetsbekendtgørelsen.

Det standardiserede udtræk viser alle resultater, der er mindre end detektionsgrænsen, med en negativ værdi svarende til detektionsgrænsen. Denne negative værdi anvendes i nogle figurer til at vise data under detektionsgrænsen, og samtidig vise detektionsgrænsen for de analyser, hvor stoffet ikke blev påvist.

Periodeopgørelser

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. Perioden vil for vandforsyningsboringer typisk være 5 år, fordi boringskontrollen for vandforsyningsboringer gennemføres i en tur-nus på op til fem år. For GRUMO-indtag kan en periode være samme 5 års periode som for vandforsyningsboringer, eller i andre tilfælde en programperiode. 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 kvalitetskravet, se boks 2. Det optælles ikke, hvor mange stoffer, der har været påvist, eller hvor mange stoffer, der har overskredet kvalitetskravet. Et indtag, hvor flere stoffer er fundet over kvalitetskravet, 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 kvalitetskrav (fx pesticider), optælles i hvor mange indtag, der mindst én gang i en periode er påvist et eller flere stoffer over detektionsgrænsen eller kvalitetskravet.

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 detektionsgrænsen eller kvalitetskravet. 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

Dybdefordelinger laves som en illustration af fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet og illustreres fx som Figur 4 i afsnit 1.2. 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 kvalitetskravet*
- *Over kvalitetskravet*

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 vandforsyningsboringer 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 vandforsyningsboringer, hvor vand med meget forskellig alder blandes sammen i de længere indtag.

En del indvindingsboringer, især i kalkboringer, har ikke angivet et 'indtagstop' i Jupiter. Der arbejdes på at lave skøn for disse, så disse data også kan indgå i figurene.

Tidsserier

De fleste indikatorer viser tidsserier med udgangspunkt i prøvetagningsåret, se boksdiagrammet i Figur 32 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.

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 fra tidspunktet hvor prøven blev udtaget til tidspunktet, hvor vandet har nået grundvandsspejlet, udtrykt ved grundvandets alder eller opholdstid, se appendiks 3.2 Dette muliggør en stærkere effektmåling af samspillet mellem indsatsplaner og miljøtiltag og de målte koncentrationer i grundvandet, fx for nitrat, se Figur 35.

Pejledata og indvundne vandmængder

Pejledata og indvundne 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.

Indvundne vandmængder præsenteres som tidsserier opdelt på indvindingskategorier. Data præsenteres for alle indvindinger og for grundvandsindvindinger alene. Derudover vurderes indvindingen af grundvand med og uden markvanding.

Appendiks 1.3 Repræsentativitet og bias

Som nævnt ovenfor er længderne af indtagene i vandforsyningsboringer og GRUMO-boringer meget forskellige. Alene af denne grund er der forskel på, hvad de forskellige datasæt, der rapporteres i grundvandsovervågningen, repræsenterer. De enkelte datasæt er forbundet med en såkaldt bias i forhold til repræsentativiteten af grundvandet som sådan. Som eksempel på en sådan bias tilrettelægges vandforsyningerne deres indvinding på en måde, så kvalitetskrav til drikkevandet så vidt muligt overholdes i det oppumpede grundvand, hvorfor overskridelser af kvalitetskravet generelt må forventes at forekomme

sjældnere i data fra vandforsyningsboringer 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 Kjøller, 2017).

Vurderingen af de forskellige datasæts repræsentativitet og bias er baseret på en faglig systemforståelse af et komplekst system (dvs. viden om den danske geologi, hydrogeologi og geokemi) samt på konceptuelle modeller. Da konceptuelle modeller i sig selv 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 fordelingen af opløste stoffer heri, 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 kilometer 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 overflade-forureninger 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 er det vurderingen:

- *At data er repræsentative i forhold til at afspejle grundvandets kvalitet korrekt i målepunkterne. Data er typisk punktmålinger, der 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.*
- *At data er repræsentative i forhold til at afspejle belastningen af grundvandet fra diffus overflade-forurening 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. Stationsnettet er designet til at beskrive grundvandets tilstand i det åbne land. Stationsnettet er ikke designet til at beskrive tilstanden under bebyggede områder, hvor grundvandet kan være påvirket af diffuse overfladekilder, fx indholdsstoffer i maling.*
- *At 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.*
- *At 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 pesticider 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 organisk 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.*

Vandforsyningernes boringskontrol:

Vandforsyningernes borer 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 borer, hvor kvaliteten af råvandet ikke overholdt kvalitetskravet for et givent stof. Nogle stoffer, som fx arsen, kan dog ofte fjernes i tilstrækkelig grad på selve vandværket uden avanceret vandbehandling, hvorfor en overskridelse af kvalitetskravet i råvandet ikke nødvendigvis betyder, at boringen lukkes eller sløjfes. Om data fra vandforsyningernes boringskontrol vurderes det, at:

- *Data fra vandforsyningsboringerne illustrerer alene tilstanden i den del af grundvandet, der anvendes til produktion af drikkevand på vandforsyningerne – dvs. inden vandet er blevet til drikkevand. Boringskontroller udføres over tid for en skiftende population af vandforsyningsboringer, idet nye borer 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.*
- *Vandforsyningsboringerne, der indgår i denne rapportering, er repræsentative for vandforsyningernes indvindingsboringer på landsplan, idet de udgør tæt ved 100 % af alle aktive almene vandforsyningsboringer.*
- *Vandforsyningsboringernes indtag er gennemsnitligt placeret dybere end GRUMO-indtagene, hvorfor de i mindre grad kan anvendes til at beskrive påvirkninger fra diffus overfladeforurening.*
- *Vandforsyningsboringerne 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

Referencer

Danske regioner, 2023: Bevar jordforbindelsen - Regionernes arbejde med jordforurening. 44 s. ISBN elektronisk: 978-87-92686-45-9. <https://www.jordforureninger.dk/wp-content/uploads/2023/05/32201-Bevar-jordforbindelsen-Regionernes-arbejde-med-jordforurening-2022.pdf> (9-2-2024)

Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2023: Dataansvarsaftalen, <https://miljoeportal.dk/media/1816/dataansvarsaftalens-bilag-3-grundvand.pdf> (11-2-2024)

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

Miljøstyrelsen, 2020. Notat af 17. februar, 2020: Fagligt notat om resultater af massescreening 2019.

Hjelmer O, Hougaard T, Hansen J B, Hyks J, Trap N. 2020. Identifikation af problematiske stoffer i overfladebehandlet tegl og beton, fiberarmeret cement og beton samt klinker og sanitet. Miljøprojekt nr. 2127, Miljøstyrelsen.

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

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

Thorling, L., Nilsson, B., Møller, I., Bollmann, U.E., Johnsen, A.R. & Troldborg, L., 2021: Udvikling af metode og gennemførelse af vurderinger for de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for pesticider. GEUS rapport 2021/15. Dokumentationsrapport.. <https://www.geus.dk/Media/637607182688977856/Udvikling%20af%20metode%20og%20gennemf%c3%b8relse%20af%20vurderinger%20for%20de%20danske%20grundvandsforekomsters%20kemiske%20tilstand%20for%20pesticider.pdf> (11-2-2024)

Relevante hjemmesider og links

<https://builtin.com/data-science/boxplot>

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (9-2-2024)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer: <https://www.miljoeogressourcer.dk/> (9-2-2024)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

Parameterlisten: <https://parameterlisten.miljoeportal.dk/parameters>

STANCODE hjemmesiden, DCE: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (9-2-2024)

Vandområdeplanernes hjemmeside: [https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner\(9-2-2024\)](https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner(9-2-2024))
<https://www.webmatematik.dk/lektioner/matematik-b/statistik/fordelingsfunktion-og-frekvensfunktion> (13-2-24)

Appendiks 2 Overvågningsdesign og stationsnet for grundvandsovervågningen

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

Tabel 16 giver et overblik over de forskellige sammenhænge, hvori grundvandet overvåges i Danmark. De forskellige aspekter af tabellen diskuteres i dette kapitel. Henvisninger til de programbeskrivelser, der sætter rammen for grundvandsovervågningen i Danmark, ses i litteraturlisten sidst i dette appendiks, se også kapitel 2.

Tabel 16. Oversigt over bidrag til og aspekter af overvågningen af grundvand i Danmark, herunder omfang af datagrundlaget for forskellige typer af rapportering. Bemærk: Jordforurening indgår ikke i nærværende rapportering. *: Antal grunde kortlagt på vidensniveau 2 (Danske regioner, 2023).

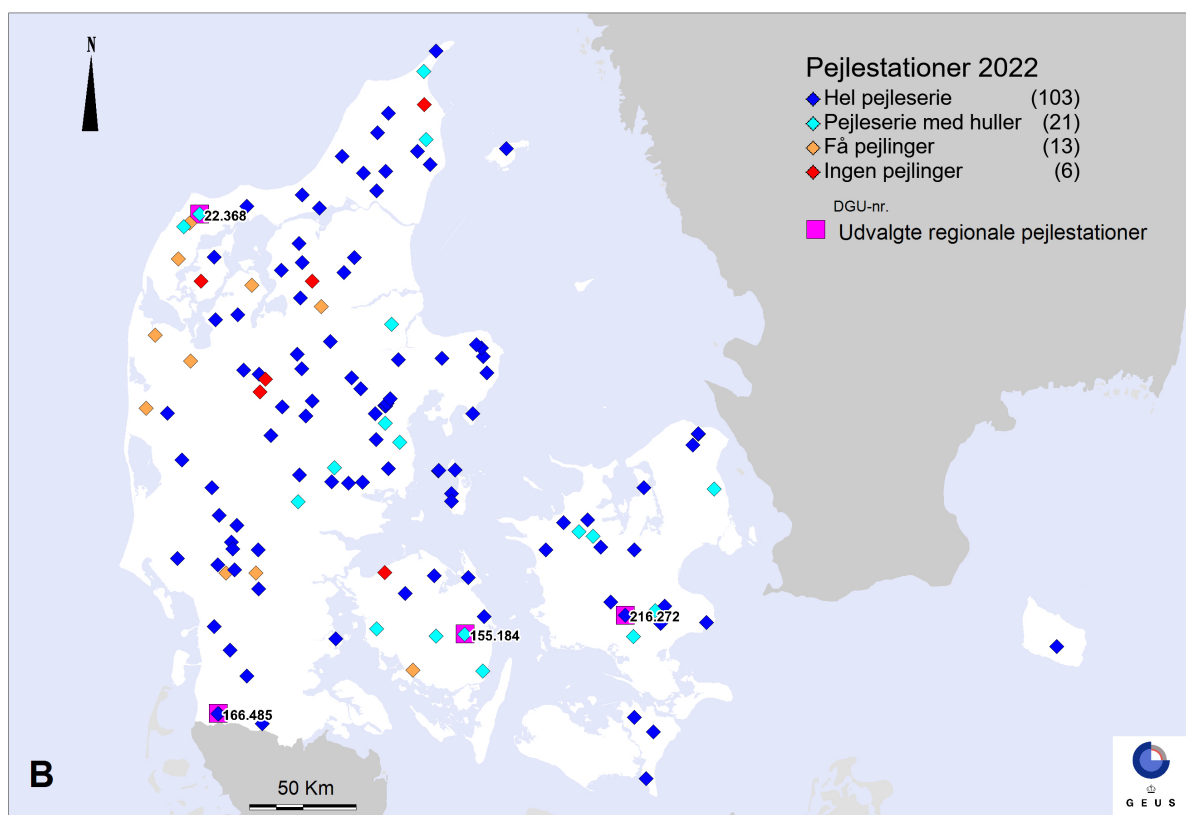
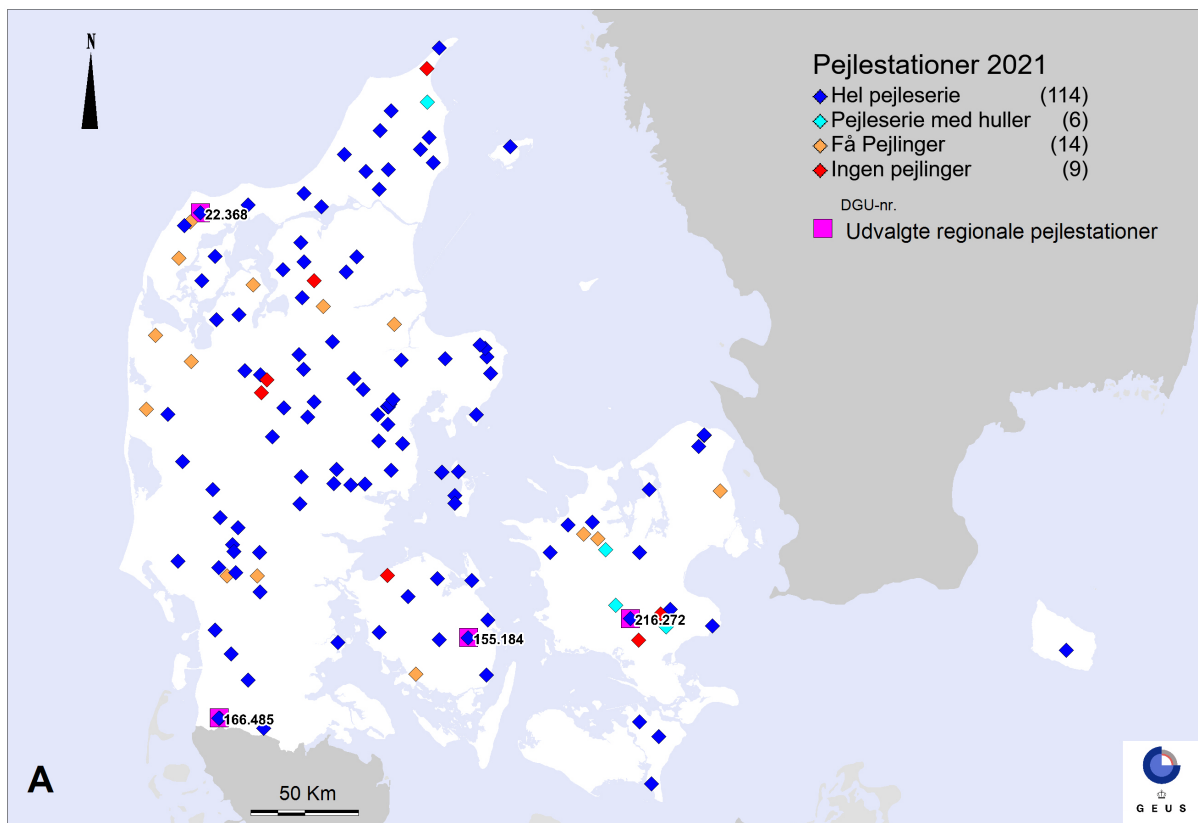
Hvad	GRUMO	LOOP	Det Nationale Pejlenet	Vandforsyninger	Jordforurening
Hvor	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Overvågningsindtag	Indvindings-Boringer	Undersøgelsesboringer mm.
Hvorfor	NOVANA	NOVANA	NOVANA	Drikkevands-Bekendtgørelsen	Jordforurenings- og miljøbeskyttelsesloven
Hvem	MST/GEUS	MST/DCE/GEUS	MST/GEUS	Vandforsyninger/kommuner	Regioner
Antal indtag	I alt 2.396 2022: 1.027	I alt 391 2021: 88	I alt 143 2022: 124	I alt 5.921 prøve- taget 2018-2022 2022: 2.136	I alt > 38.000 i Jupiter 20.531 grunde*)
Rapport	GEUS	GEUS/DCE	GEUS	GEUS	Region /rådgivere

Appendiks 2.1 Det Nationale Pejleprogram

Det nationale pejleprogram er etableret for at kunne overvåge og vurdere udviklingen af vandstanden i grundvandsforekomsterne. Pejledata kan anvendes som en indikator for udviklingen i grundvandsressourcens størrelse. Ændringer i ressourcens størrelse har betydning for den mængde grundvand, der kan indvindes og for den økologiske tilstand i overfladevande. Derudover anvendes pejledata i forbindelse med risikovurderinger og planlægning for fx oversvømmelsesrisiko i bebyggede områder m.m.

I Det Nationale Pejleprogram 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 indværende programperiode (2017-2022) under tilpasning til vandrammedirektivet.

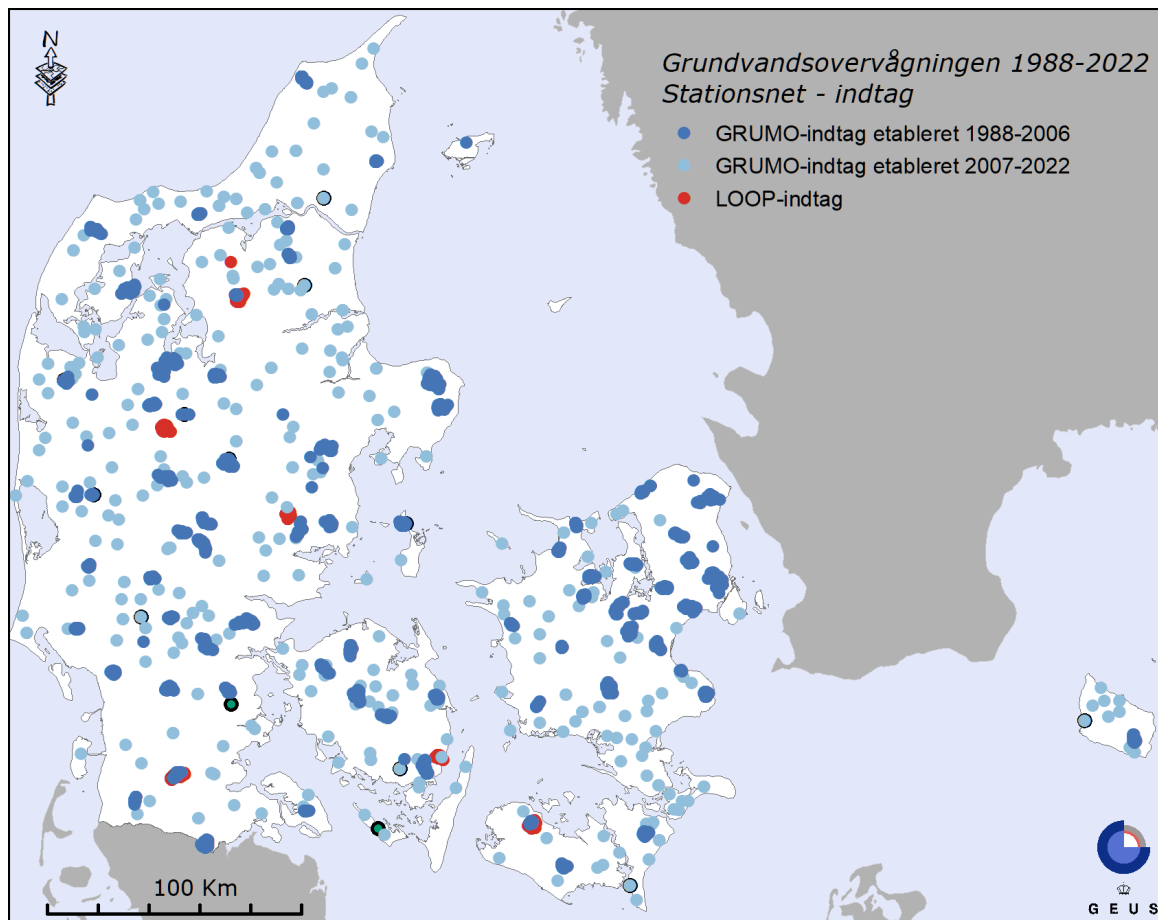
Der blev ikke indsamlet de programlagte data fra pejleloggerne i 2021. Der er derfor et datatab på denne overvågningsaktivitet i perioden 2021-2022. Figur 69A viser derfor den geografiske fordeling af pejlestationsnettet i 2021, mens den geografiske fordeling af pejlestationsnettet i 2022 ses i Figur 69B.



Figur 69 A og B. GRUMO. Beliggenhed af 143 indtag i pejlestationsnettet, fordelt på 134 borer i Det nationale Pejlenet i 2022, herunder de 4 udvalgte regionale pejlestationer med lange tidsserier.

Appendiks 2.2 Grundvandsovervågning - vandkvalitet

Figur 70 viser den geografiske fordeling af det samlede stationsnet af 2.396 indtag anvendt til overvågningen af grundvandets kvalitet i perioden 1988-2022. 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 2007-2022 af hensyn til vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet) og boringer i seks landovervågningsområder (LOOP-områder), der i dag overvåges af hensyn til den danske undtagelse fra nitratdirektivet. LOOP-området ved Herning blev lukket allerede i 1998. 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. (2024).



Figur 70. GRUMO. Det samlede stationsnet anvendt til grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1988-2022. Kortet viser indtag i de oprindelige 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO-indtag 1988-2006) og indtag i det distribuerede stationsnet (GRUMO-indtag 2007-2022). LOOP-indtagene er markeret med rødt i de seks landovervågningsoplande, hvoraf det ene i Midtjylland ved Herning er lukket.

Tabel 17 viser et samlet overblik over de ca. 2.396 indtag som har været anvendt til overvågning af grundvandets kvalitet i GRUMO i perioden 1988-2022. Der er 20 indtag, hvor der ikke er registreret et etableringsår i Jupiter.

Stationsnettet for grundvandsovervågningen, GRUMO, blev i løbet af overvågningsens første år udbygget i 73 grundvandsovervågningsområder, der i perioden frem til 2007 samlet set omfattede ca. 1.973 indtag. Heri indgik 84 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 indgår der også fem multifilterboringer, de såkaldte 'redoxboringer', med 15-23 korte (10 cm) indtag i hver boring, der blev etableret i slutningen af 1990'erne.

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 (seneste version, Thorling, 2023).

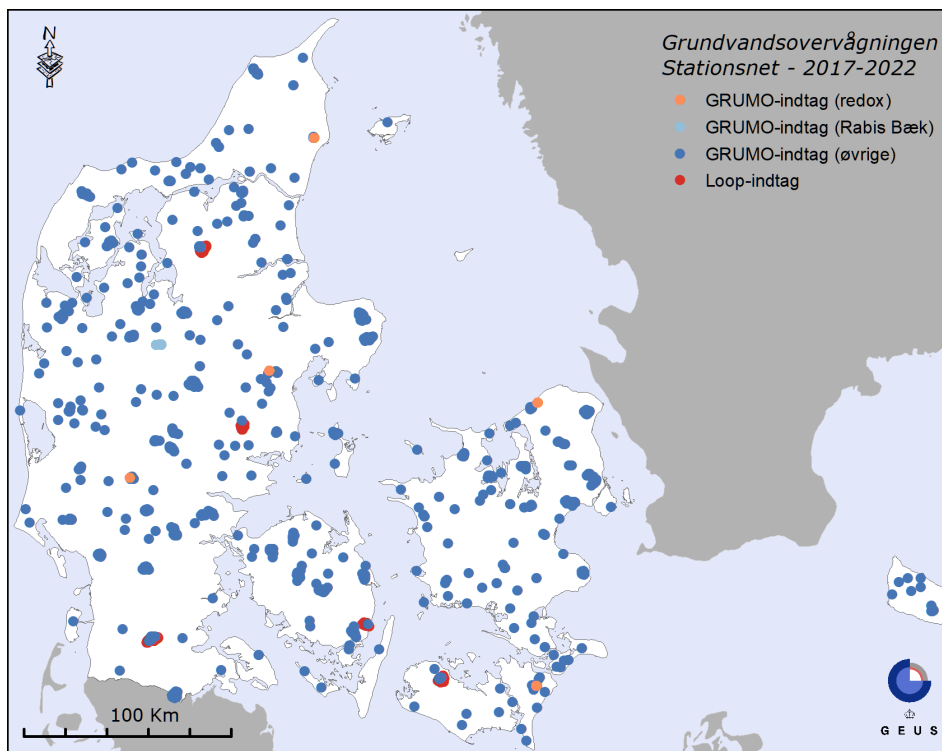
Informationer om hvilke indtag, der er tilgængelige for grundvandsovervågning, opdateres løbende, ligesom fejl og mangler rettes i de relevante databaser. Opgørelserne over tilgængelige indtag vil derfor variere en smule fra år til år. Af de tilgængelige indtag, indgår en stor delmængde i den programlagte overvågning i de forskellige programperioder. Ikke programlagte indtag er tilgængelige, hvis der opstår ændrede overvågningsbehov, eller at programlagte indtag må udgå, fx af tekniske årsager.

Miljøstyrelsen har i 2022 opgjort antallet af programlagte overvågningsindtag for perioden 2017-2022 til 1.060 indtag fordelt på 748 borer. Langt de fleste indtag i GRUMO-stationsnettet for programperioden 2017-2022 findes i borer med blot ét indtag (83 %), 12 % af indtagene er etableret i borer med 2 indtag, 3 % af indtagene er etableret i borer med 3 indtag og de resterende 2 % af indtagene findes i borer med 4-23 indtag.

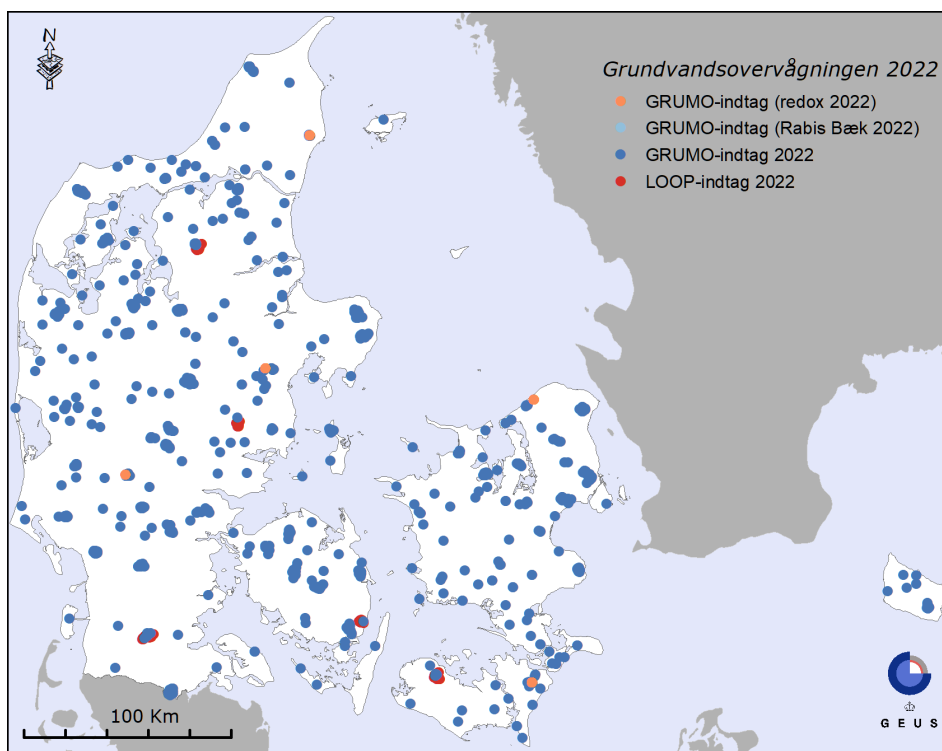
Tabel 17. GRUMO. Udviklingen i grundvandsovervågningsens stationsnet (GRUMO-indtagene) til og med 2022. Tabellen viser antallet af indtag, der er etableret, og hvor mange indtag fra hver programperiode, der stadig er tilgængelige, se også Figur 75. Desuden ses antallet af indtag, der blev lukket i løbet 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.

Program periode	Etablerede i perioden	Tilgængelige i GRUMO (2022)	Udgået i perioden	Bemærkning
	Antal indtag	Antal indtag	Antal indtag	
Ukendt	20	7	0	Ukendt etableringsår
Før 1988	165	122	1	NPo forskningsprogrammet og Amternes egen overvågning
1988-1992	1.065	423	129	Etablering af GRUMO-områder
1993-1997	143	60	120	Teknisk kvalitetssikring og forbedringer af indtag
1998-2003	224	158	141	5 redoxboringer etableret
2004-2009	415	301	470	380 terrænnære borer. Fra 2007 det distribuerede stationsnet
2010-2016	235	186	139	Det distribuerede stationsnet
2017-2022	129	123	16	
I alt	2.396	1.380	1.016	

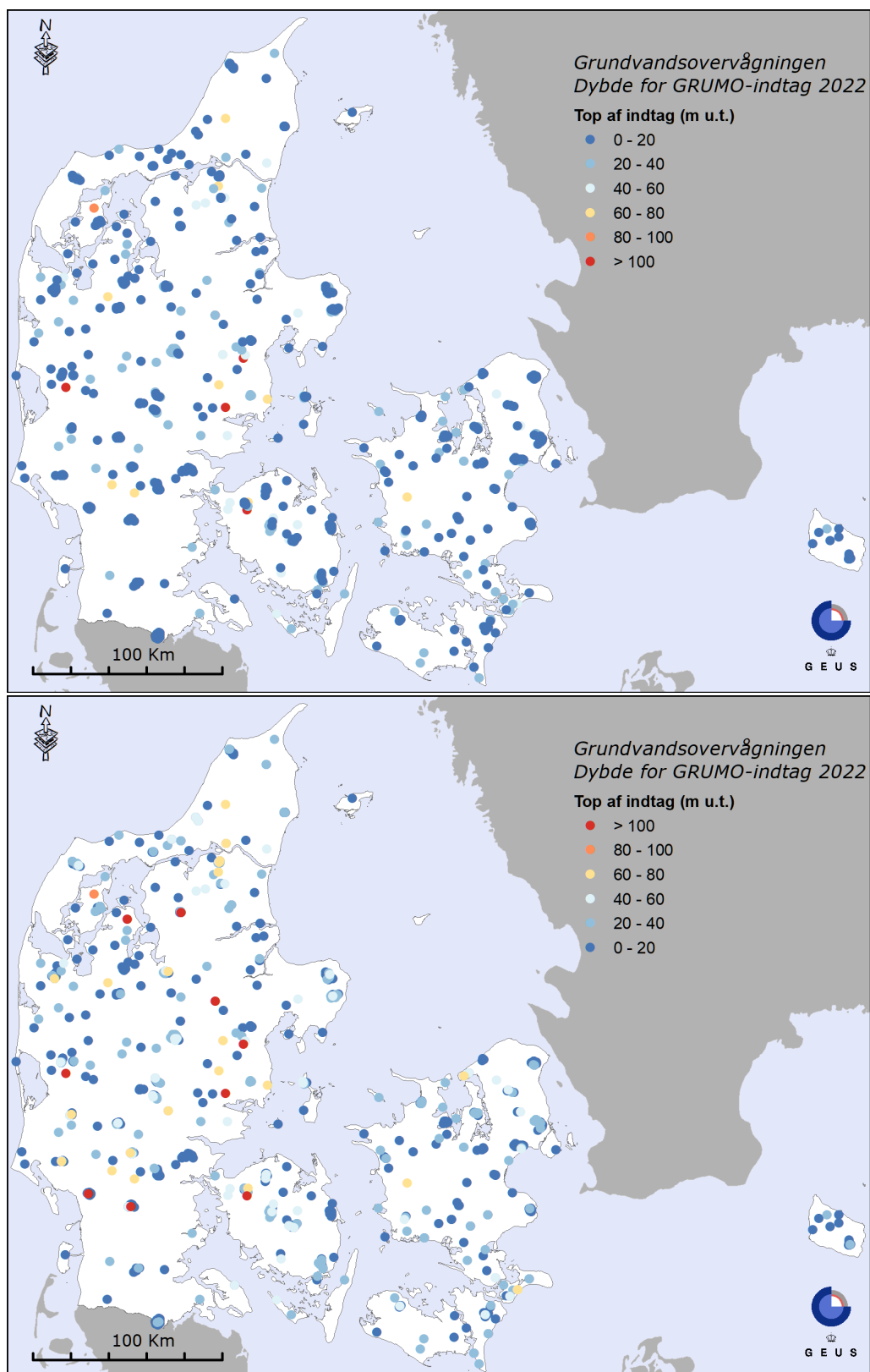
Figur 71 viser den geografiske fordeling af de 1.060 programlagte (2017-2022) GRUMO-indtag ved udgangen af 2022, mens Figur 72 viser de indtag, der blev prøvetaget i 2022.



Figur 71. GRUMO. 1.060 programlagte (2017-2022) indtag. Mørkeblå signatur viser de ordinære GRUMO-indtag. Redoxboringer i Rabis Bæk-boringer (84 indtag) er angivet med lyseblå mens de øvrige redoxboringer (86 indtag) er angivet med orange. De 5 landovervågningsoplande (LOOP) er markeret med rødt.



Figur 72. GRUMO. Indtag anvendt i grundvandsovervågningen i 2022 fordelt på grundvandsovervågning (1.027 GRUMO-indtag) og landovervågning (88 LOOP-indtag). Mørkeblå signatur viser de ordinære GRUMO-indtag. Redoxboringer i Rabis Bæk-boringer (84 indtag) er angivet med lyseblå mens de øvrige redoxboringer (86 indtag) er angivet med orange. De 5 landovervågningsoplande (LOOP) er markeret med rødt.



Figur 73. GRUMO. Dybde til toppen (m u.t.) af 1.060 programlagte indtag med kendt dybde i stationsnettet i grundvandsovervågningen i Danmark i 2017-2022. Data i den øverste figur er sorteret efter stigende dybde, således de mest terrænnære indtag er afbildet øverst. Data i den nederste figur er sorteret efter aftagende dybde, således de dybeste indtag er øverst på denne figur.

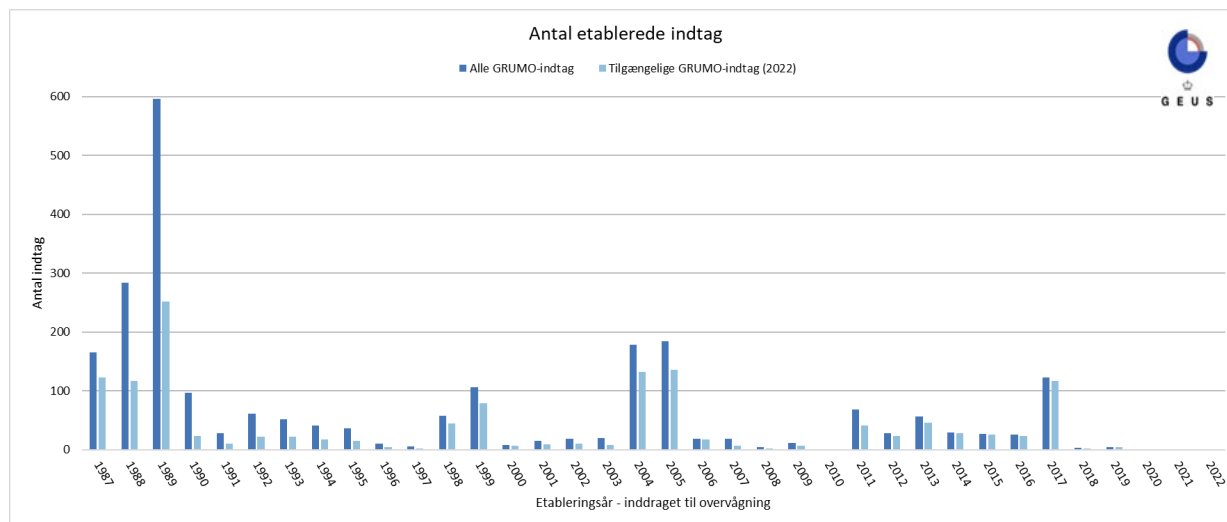
Figur 73 viser den geografiske fordeling af dybden til toppen af GRUMO-indtag, der indgår i programperioden 2017-2022. Data er for overblikkets skyld afbildet med henholdsvis stigende og aftagende dybde til indtagstop. Indtag etableret ned til ca. 40 meter findes nogenlunde jævnt fordelt over Danmark, mens de dybere indtag udviser betydelige regionale forskelle. På Bornholm findes langt de fleste indtag således indenfor de øverste 20 meter, mens langt de fleste dybe borer (80-158 m u.t.) findes i Jylland.

Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2022

Som led i en løbende og fortsat tilpasning af grundvandsovervågningen til at understøtte forpligtelserne til overvågning og tilstandsvurderinger i vandrammedirektivet og grundvandsdirektivet er stationsnettet udbygget i perioden 2011-2019. Der er i forlængelse heraf en igangværende teknisk gennemgang af det samlede stationsnet for at kvalitetssikre stationsnettet og den dertil knyttede overvågning. Det kan derfor 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).

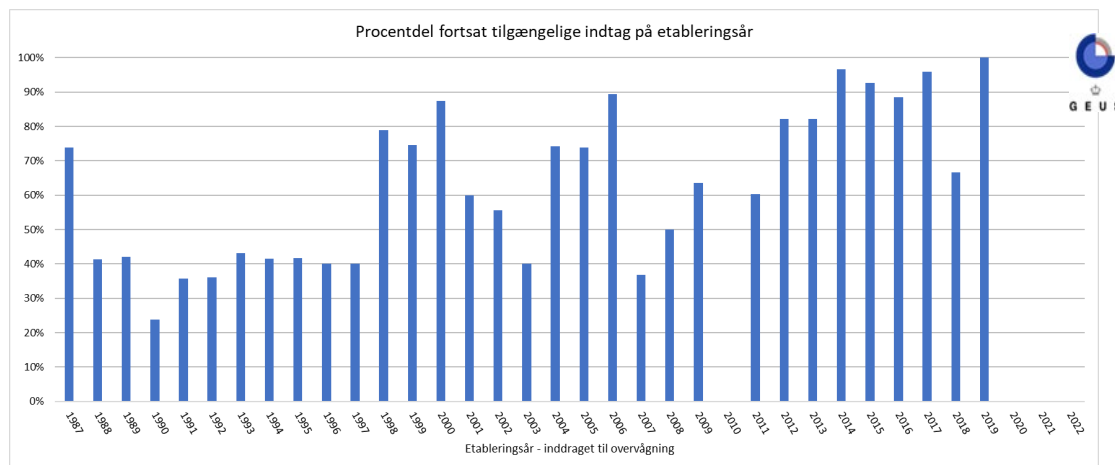
I samtlige indtag, der har været i betragtning som kandidater til det distribuerede stationsnet, er der blevet udtaget prøver til analyse for samtlige programlagte kemiske parametre. Formålet hermed er at kunne fastsætte den fremtidige overvågningsfrekvens og vurdere boringens egnethed til overvågningsformål.

Figur 74 viser det årlige antal indtag, der er inddraget i perioden 1987-2022. Et meget stort antal særlige overvågningsboringer blev etableret i perioden 1987-1989, hvor de oprindelige GRUMO-områder blev etableret. Større borekampanjer ses også i perioderne 1998-1999, 2004-2005 og 2011-2013 samt i 2017. I 2018 og 2019 blev der etableret henholdsvis 3 og 4 nye indtag. Der er ikke etableret nye indtag i 2020-2022.



Figur 74. GRUMO. Det årlige antal GRUMO-indtag inddraget i perioden 1987-2022. 'Alle' angiver antallet af GRUMO-indtag, der er inddraget det pågældende år og 'tilgængelige' angiver antallet af indtag, der stadig indgår i overvågningen i 2022, jf. Tabel 17. Et tilgængeligt indtag prøvetages ikke nødvendigvis inden for en given programperiode, men indikerer, at indtaget kan benyttes og er egnet til grundvandsovervågningen. Bemærk: Tallet for 1987 inkluderer 25 indtag, der blev etableret i perioden 1963-1986.

Figur 75 viser den %-vise andel af indtagene, der indgår i stationsnettet i 2022 jf. Tabel 17, 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 1998-2022 indgår der fortsat mellem 50 og 100 % i overvågningen, bortset fra årene 2003, 2007 og 2008, hvor der kun blev etableret ganske få indtag.

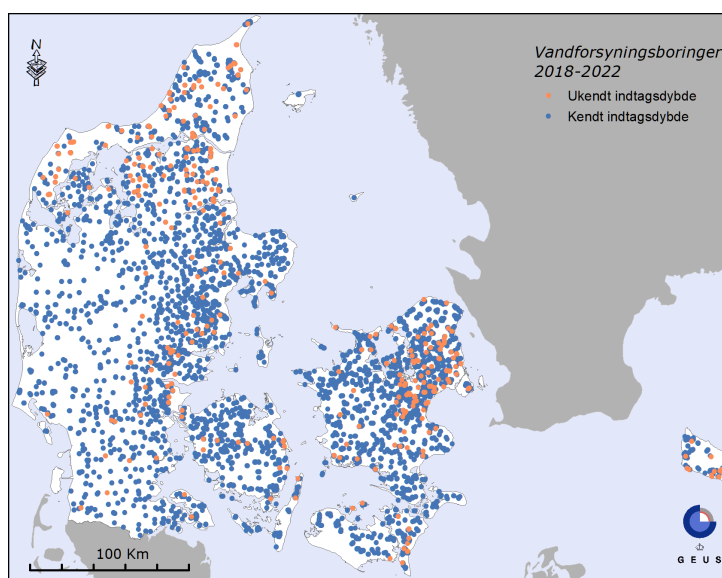


Figur 75. GRUMO. Andelen (%) af GRUMO-indtag, der fortsat indgår i overvågningen i 2022 jf. Tabel 17, som funktion af året, hvor de blev inddraget. Det ene indtag, der blev etableret i 2010, er ikke længere aktivt. Der er ikke etableret indtag i 2020-2022.

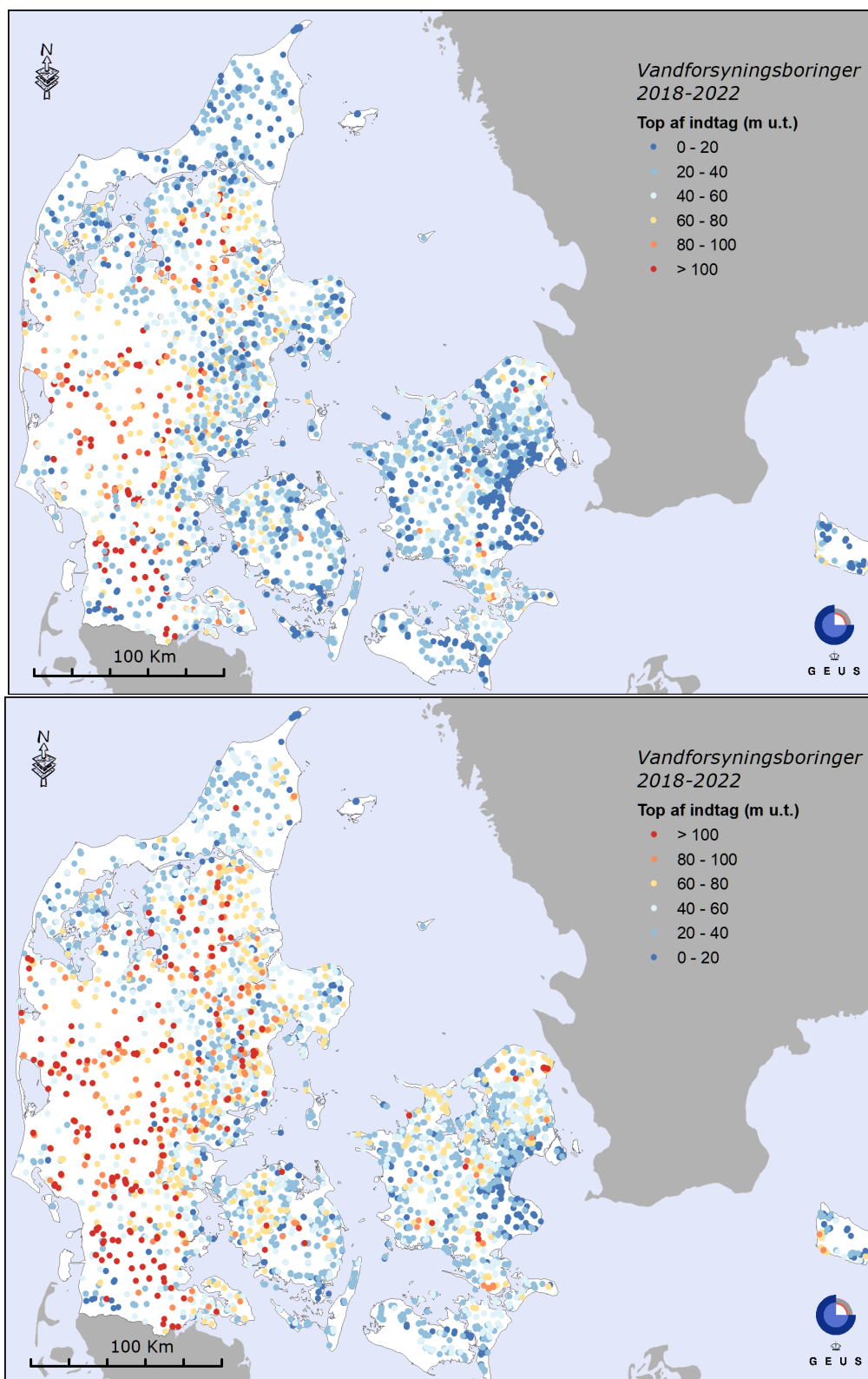
Appendiks 2.3 Vandforsyningsboringer

I drikkevandsbekendtgørelsen har der siden 1989 været stillet krav om overvågning af kvaliteten af det grundvand, som vandforsyningerne indvinder (boringskontrollen). Boringskontrollen gennemføres af vandforsyningerne. Hyppigheden af boringskontrolanalyser i aktive vandforsyningsboringer afhænger af distribuerede eller producerede vandmængder med en prøvetagningshyppighed fra hvert 3. år til hvert 5. år. Derfor benyttes den 5-årige kontrolperiode 2018-2022 til at identificere hvilke vandforsyningsboringer, der er aktive, ud fra et kriterie om at der er indberettet en vandprøve til Jupiter.

Figur 76 viser for perioden 2018-2022 den geografiske fordeling i Danmark af vandforsyningsboringer, hvor der er udtaget en vandprøve. De viste indtag er delt op efter indtag med kendt dybde til top af indtaget og ukendt dybde til top af indtaget. Tætheden af boringerne varierer meget og afspejler primært befolkningstætheden og til en vis grad de geologiske betingelser for vandindvinding. Sidstnævnte ses bl.a. ved, at der ikke findes boringer på den sydlige del af Lolland og dele af Bornholm.



Figur 76. Vandforsyning. Den geografiske fordeling af 5.921 aktive indtag fra vandforsyningsboringer med kendt dybde til top af indtag, samt de 384 indtag med ukendt dybde til top af indtag, i perioden 2018-2022. Indtag med ukendt dybde er udtegnet øverst. Bemærk, at ca. halvdelen af indtag med ukendt top er knyttet til kalkmagasiner.



Figur 77. Vandforsyning. Dybde til toppen (m u.t.) af indtag for vandforsyningsboringer i perioden 2018-2022 (5.921 indtag) med kendt dybde til indtag. Data i den øverste figur er sorteret efter stigende dybde, så de korte boringer er afbildet øverst. Data i den nederste figur er sorteret efter aftagende dybde, så de dybeste boringer er afbildet øverst.

Der er prøvetaget ca. 6.305 indtag i 6.263 borer i perioden 2018-2022, hvoraf 5.921 indtag er med kendt dybde til indtaget. For de resterende 384 indtag er dybden til indtaget ukendt. Ca. 55 % af indtag med ukendt dybde er åbentstående huller i kalk eller hårde bjergarter, hvor dybden kan skønnes ud fra dybden til overkanten af formationen. De resterende indtag er enten registreret som filtersat i sand, eller med ukendt lithologi. 4% er i Jupiter angivet til at være filtersat i ler.

Boringskontrollen udføres over tid for en skiftende mængde borer, idet nye vandforsyningsboringer 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. Den 24. august 2023 var der i Jupiter registreret 2.360 aktive, almene vandforsyningsanlæg tilknyttet aktive vandforsyningsboringer. De almene vandforsyninger er defineret ved, at de forsyner mindst 10 husstande. Forsyningerne indvinder fra ca. 5.380 indvindingsboringer, men har derudover samlet set flere tusinde borer til pejling, overvågning og reserve. De seneste årtier har der været en udvikling mod færre og større vandforsyninger i Danmark.

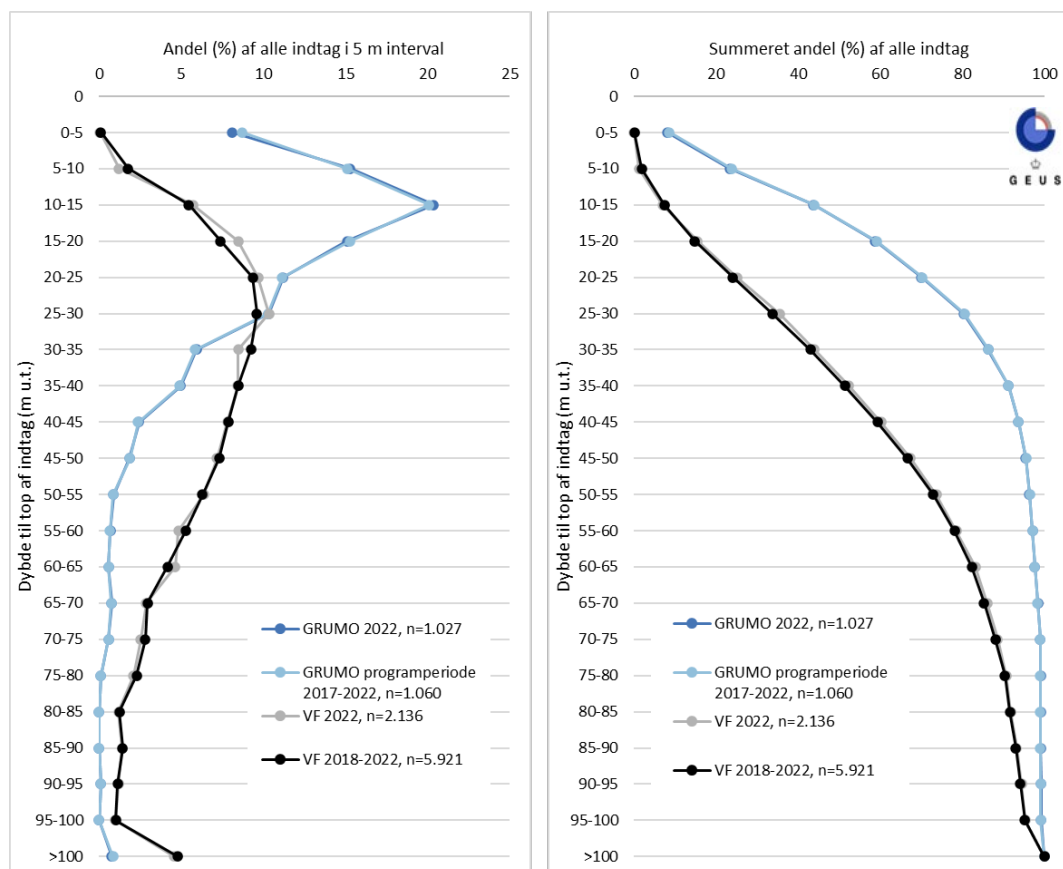
Figur 77 viser den geografiske fordeling af dybden til overkant af indtag for vandforsyningsboringer. De overfladenære indtag med indtagstop ned til 20 meter findes ud over hele landet, men med den største forekomst syd for København, langs Køge Bugt og på Stevns samt langs et øst-vest-gående bånd på 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.

Dybdefordeling af GRUMO-indtag og vandforsyningsboringer

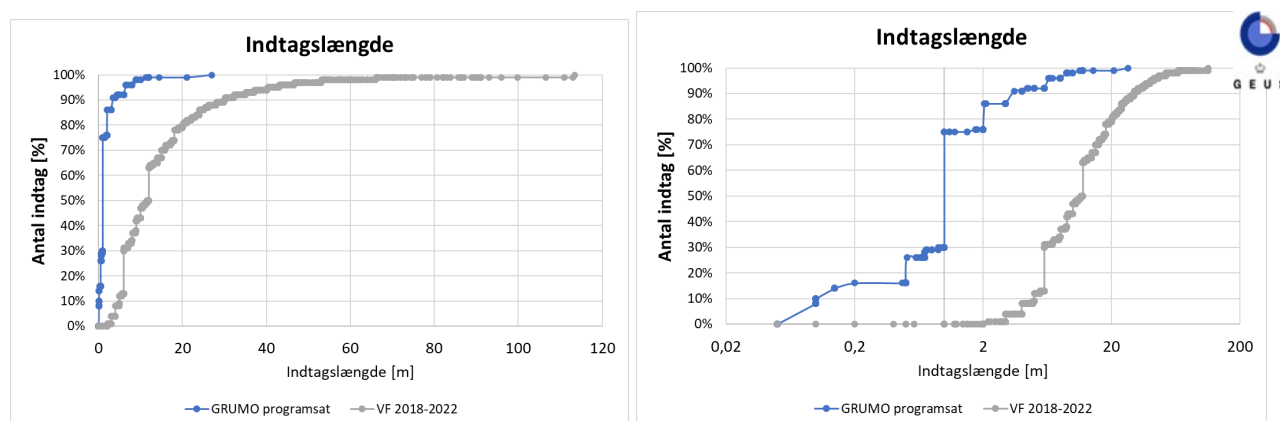
Figur 78 viser dybdefordelingen vist som både frekvens- og fordelingsfunktion for samtlige GRUMO-indtag, herunder indtagene i redoxboringer for hhv. 2022 og for programperioden 2017-2022, og for vandforsyningsboringer for hhv. 2022 og perioden 2018-2022. Det ses, at dybdefordelingen af vandforsyningsboringerne er stort set den samme i 2022 som for hele perioden, dog med en lidt større andel af prøvetagede indtag i intervallet 10-30 m. For GRUMO-indtagene ses tæt på en identisk dybdefordeling mellem indtag prøvetaget i 2022 og programperioden, hvilket skyldes, at næsten samtlige indtag i programperioden er prøvetaget i 2022.

Figur 78 viser også, at 50-60 % af GRUMO-indtagene er etableret indenfor de øverste 20 m u.t. mens blot 10 % er etableret dybere end 40 m u.t. I vandforsyningsboringerne er indtagene placeret noget dybere. Her har ca. 50 % af vandforsyningsboringerne toppen af indtaget beliggende i større dybde end 40 m u.t. og 10 % i større dybde end 80 m u.t.

Boringens indtagsslængde har indflydelse på, hvor i et grundvandsmagasin en grundvandsprøve udtages fra. Med et kort indtag er det muligt at udtage en meget specifik grundvandsprøve, hvor grundvandets alder dækker en kort tidsperiode, mens et langt indtag dækker et større grundvandsvolumen med større aldersspredning. Indtagsslængde for GRUMO-indtag og vandforsyningsindtag er vist i Figur 79. I forbindelse med grundvandsovervågningen (GRUMO) benyttes derfor så vidt muligt korte indtag, helst mindre end 2 m, for at kunne spore hurtige og præcise ændringer i et grundvandsmagasin. I faste bjergarter som kalk eller på Bornholm kan det dog være nødvendigt med længere indtag, da vandet strømmer ind fra sprækker. Vandforsyningsboringer har generelt længere indtag for at maksimere grundvandsindvindingen og analyser benyttes til vurdering af den generelle tilstand af hele magasinet i stedet for i mindre intervaller af magasinet.



Figur 78. GRUMO & Vandforsyning (VF). Dybdefordeling af indtag. Figuren til venstre viser frekvensfunktionen for 5 m intervaller (indtag i %) for dybde til overkant af indtag (m u.t.) for aktive vandforsyningsboringer (VF) og GRUMO-indtag, der indgår i programperioden, og hvor der foreligger oplysninger om dybden til overkant af indtag. Fordelingen er for GRUMO-indtag vist i programperioden 2017-2022 og for 2022. Fordelingen er for vandforsyningsboringer vist i perioden 2018-2022 og for 2022. Figuren til højre viser den dybdefordelingen for de samme data, som vist i figuren til venstre.



Figur 79: GRUMO og vandforsyning. Fordelingsfunktioner for indtagsslængden af programlagte GRUMO-indtag (2017-2022) og for vandforsyningsindtag prøvetaget i perioden 2018-2022. I GRUMO indgår 1.060 indtag med kendt indtagsslængde. For vandforsyningsindtag er der i perioden 2018-2022 prøvetaget 5.898 indtag med kendt indtagsslængde. 80% af GRUMO-indtagene har en indtagsslængde på mindre end 2 m, mens 99% af vandforsyningsindtag har en længde på mere end 2 m. Figuren viser indtagsslængderne på x-aksen med hhv. en lineær skala til venstre og en logaritmisk skala til højre.

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. NOVANA 2004-2010 del 1: http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR495.PDF (9-2-2024) og NOVANA 2004-2010 del 2: <http://www.dmu.dk/Pub/FR615.pdf> (9-2-2024)

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

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

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

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

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

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

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

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

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2017: NOVANA. Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-21. Programbeskrivelse. September 2017. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2017/novana.pdf> (9-2-2024)

Miljøstyrelsen, DCE og GEUS, 2021: NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2022: <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/05/978-87-7038-419-3.pdf> (9-2-2024)

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana.pdf> og <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2011/novana2.pdf> (9-2-2024)

Naturstyrelsen og DCE, 2016: NOVANA 2016, Programbeskrivelse. <https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/novana.pdf> (9-2-2024)

Andre henvisninger

Blicher-Mathiesen, G., Thorsen, M. Petersen, R.J., Rolighed, J., Andersen, H.E., Larsen, S.E., Jensen, P.G., Wienke, J., Hansen, B. & Thorling, L. 2024. Landovervågningsoplande 2022. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt center for Miljø og Energi, xxx s. - Videnskabelig rapport nr. xxx.

Danske regioner, 2023: Bevar jordforbindelsen - Regionernes arbejde med jordforurening. 44 s. ISBN elektronisk: 978-87-92686-45-9. <https://www.jordforureninger.dk/wp-content/uploads/2023/05/32201-Bevar-jordforbindelsen-Regionernes-arbejde-med-jordforurening-2022.pdf> (9-2-2024)

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. <https://www.geus.dk/Media/7/6/g-o-2001.pdf> (9-2-2024)

Thorling, L., 2023: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2023. <https://data.geus.dk/pure-pdf/Pr%C3%B8vetagning%20af%20grundvand.pdf> (9-2-2024)

Relevante hjemmesider og links

Grundvandsovervågningsens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (9-2-2024)

Jordforurening, hjemmeside for regionernes videncentre for Miljø og ressourcer: <https://www.miljoeogressourcer.dk/> (9-2-2024)

Jupiter hjemmesiden: <http://www.geus.dk/produkter-ydelser-og-faciliteter/data-og-kort/national-boringsdatabase-jupiter> (9-2-2024)

NOVANA hjemmeside: <http://mst.dk/natur-vand/overvaagning-af-vand-og-natur> (9-2-2024)

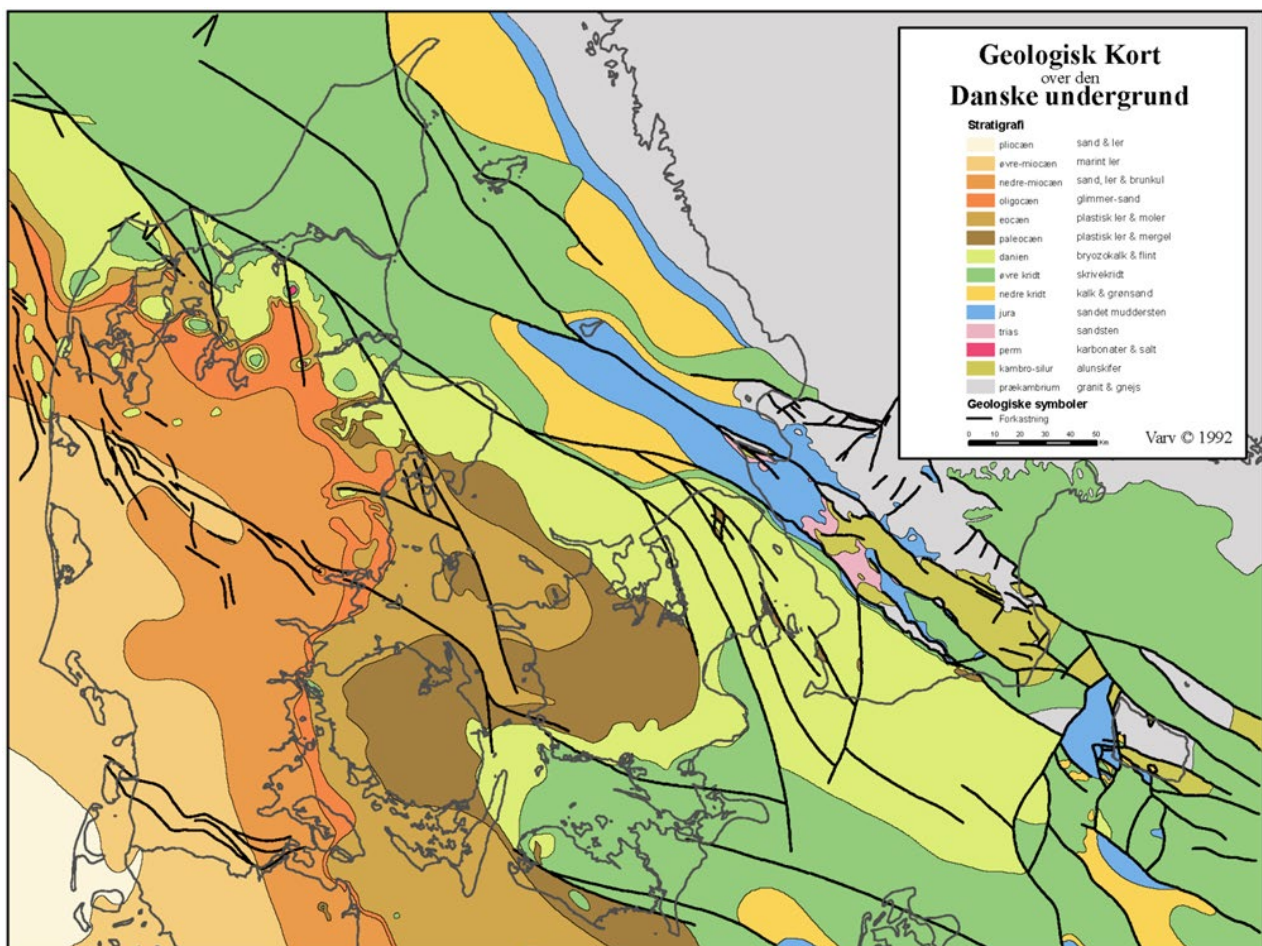
Appendiks 3 Faglig baggrundsviden om grundvand

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 underliggende kalk og sandlag, der stammer fra før istiderne, de såkaldte prækvartære aflejringer. Indvindingsforholdene på den nordlige del af Bornholm er særlige, idet undergrunden dér består af grundfjeld.

Figur 80 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. Oven på kalken findes der også grundvandsmagasiner i glaciële sandlag mange steder i disse områder.



Figur 80. 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)

I Østjylland, i området omkring Himmerland, i Thy, på Fyn og Vestsjælland består de prækvartære lag af fedt tertiært 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 istids-

aflejringer. 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.

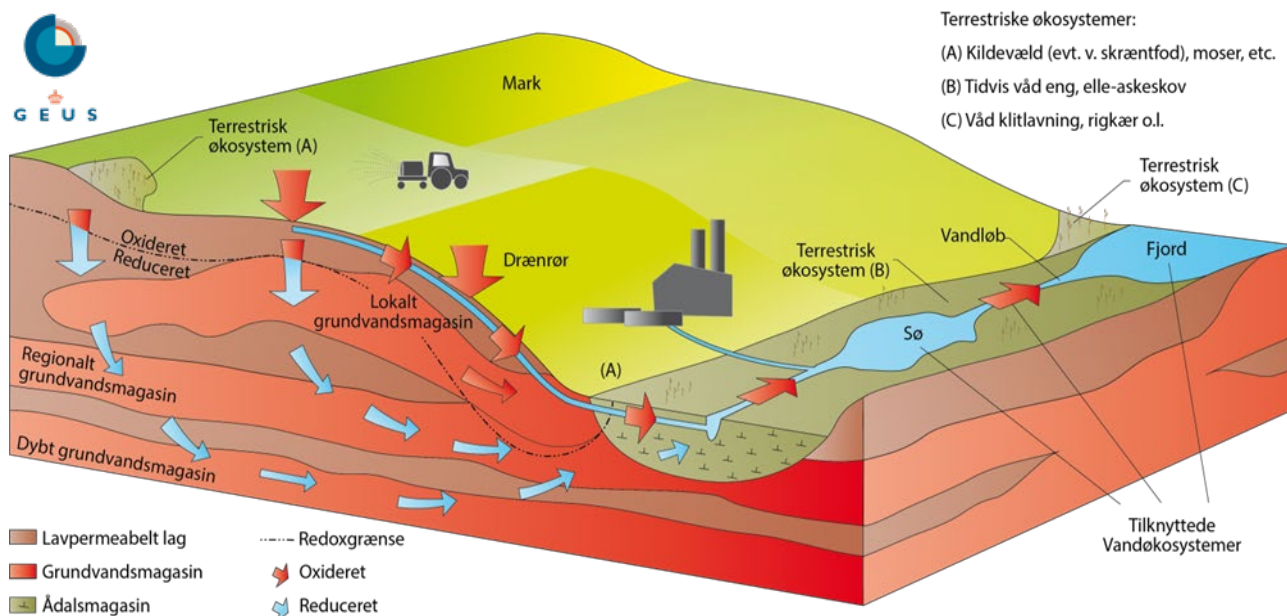
Over de prækvartære grundvandsmagasiner findes i det meste af landet glaciære grus- og sandmagasiner, der også udnyttes til vandindvinding. I det nordligste Jylland ligger kalkforekomsterne så dybt, at de indeholder saltvand, og derfor ikke er anvendelige til vandforsyningsformål. I dette område anvendes glaciære grus- og sandlag samt post-glaciære lag (dannet efter istiden) 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'. Dette er i praksis fastlagt til 10 m³/dag.

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

Figur 81 viser en principskitse for grundvandsdannelse og -strømning samt forskellige magasintyper.



Figur 81. Konceptuel figur over grundvandets strømningsmønster. Frie grundvandsmagasiner med dominerende lokal grundvandsstrømning og spændte grundvandsmagasiner med regionale grundvandsstrømninger.

Grundvandsmagasiner kan opdeles i frie, spændte eller artesiske. Frie grundvandsmagasiner er karakteriseret ved, at der over grundvandsspejlet findes en umættet zone, hvor luften i den umættede zone normalt er i direkte kontakt med atmosfæren. Frie grundvandsmagasiner findes i sandlag i store dele af Jylland, og i kalkmagasiner fx 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 især nitrat, 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 81. Når grundvandsmagasiner er spændte, vil grundvandsstanden i borerer 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. 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 vandforsyningsboringer er derfor placeret i ådale.

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 og omkring Storebælt. Den del af nedbøren, der ikke fordampes, men kan bidrage til grundvandsdannelsen og afstrømning i vandløb, kaldes nettonedbøren, eller mere populært nedbørsoverskuddet. Figur 82 viser den geografiske fordeling af nettonedbøren i Danmark, der udviser meget store forskelle mellem landsdelene. Da fordampningen som regel er af nogenlunde samme størrelsesorden i hele landet, mens nedbøren varierer betragteligt, er der nogle steder i landet en endog meget lav nettonedbør, der er 5-8 gange mindre end i de områder, hvor der falder mest nedbør.

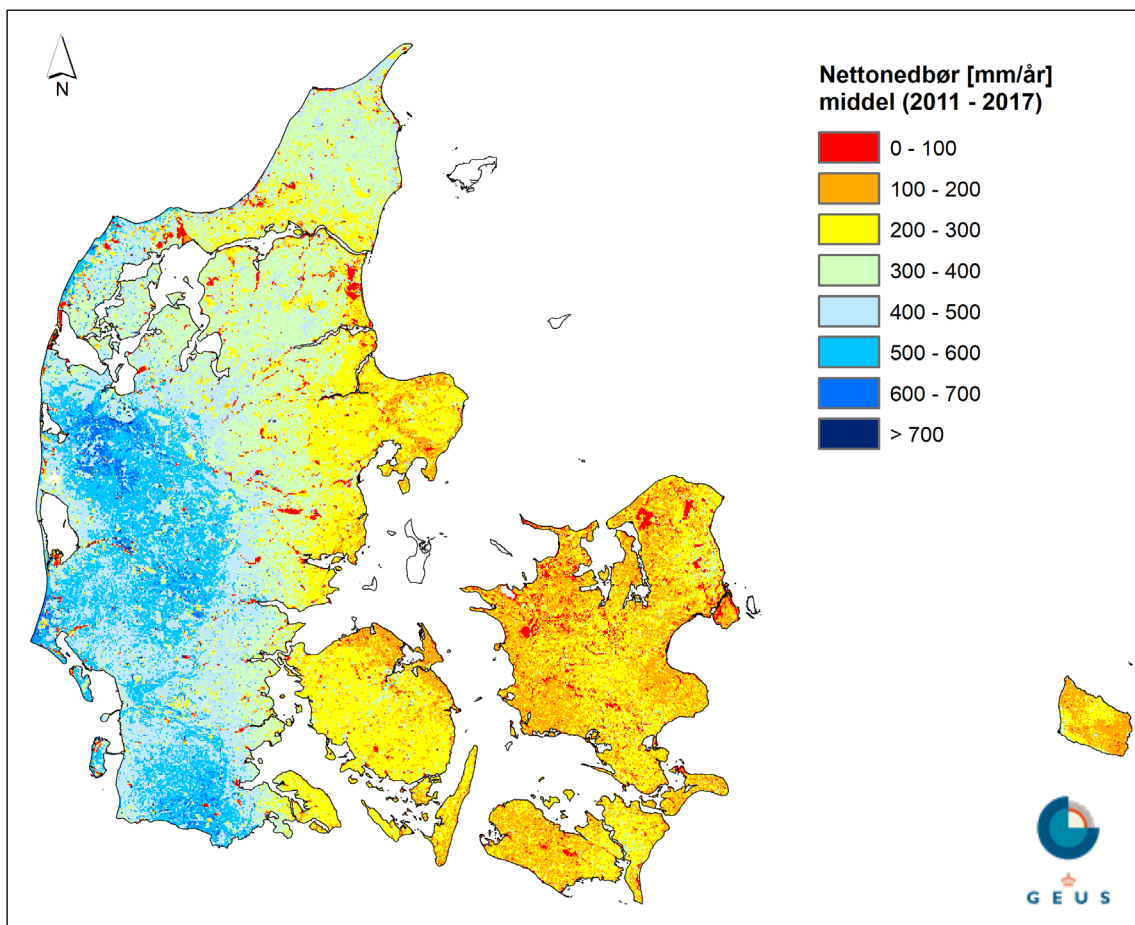
Den del af nettonedbøren, der ikke strømmes (via dræn) til vandløbene, siver ned i undergrunden, hvor det udgør den egentlige grundvandsdannelse, se kapitel 3 og bilag 1. Grundvandsdannelsen er således en delmængde af nettonedbøren. I de øvre jordlag er der som regel også luft i hulrummene mellem sedimentkornene, den såkaldte umættede zone, hvor nedsivningen 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-hjemmesiden) se Figur 16. I sommerhalvåret er fordampningen større og samtidig vil en større andel af nedbøren føres bort med dræn og vandløb. Særligt 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 optræder, hvis 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 efteråret og vinteren (se bilag 1). Sådanne årstidsvariationer ses tydeligt i mange pejleserier.

Grundvandsdannelsen i 2022 er diskuteret i kapitel 3.1, derudover er der i bilag 1 en diskussion af grundvandsdannelsen de sidste 30 år.

Oplysninger om grundvandsstanden i Danmark kan findes på GEUS' hjemmeside: Grundvandsstanden.dk. Formålet med siden er at formidle viden om, hvordan grundvandsstanden ændrer sig i takt med klimaforandringerne. Dette giver borgere og myndigheder mulighed for at følge, hvordan grundvandsstanden udvikler sig, baseret på realtime data fra en række overvågningsboringer. På den måde kan

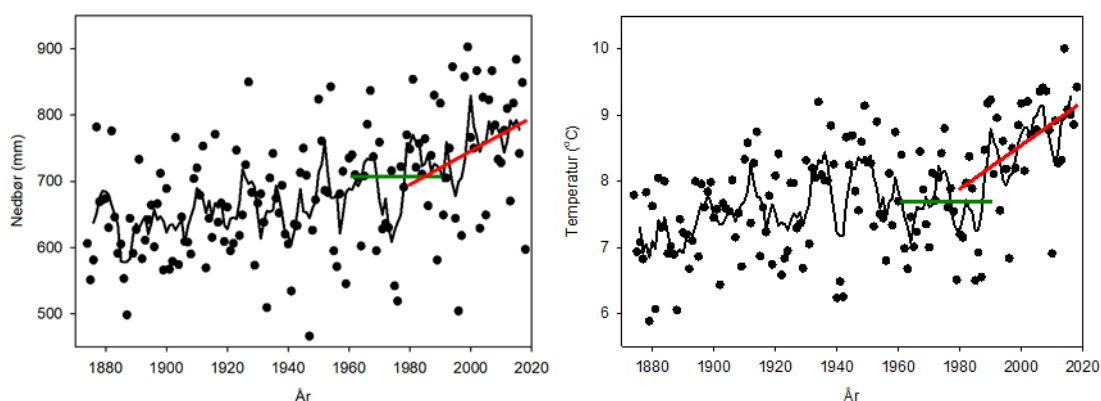
samfundet indrettes efter de udsving mod oversvømmelser og tørke, som klimaforandringerne ifølge prognoserne ser ud til at medføre.



Figur 82. Nettonedbør i Danmark. Middelværdi for perioden 2011-2017. Data fra Dk-modellen.

For Danmarks vedkommende er årsnedbøren steget med ca. 100 mm over de seneste 50 år, se Figur 83 til venstre. Ændringen er næsten udelukkende sket i vinterhalvåret, hvor fordampningen er mindst og grundvandsdannelsen størst. (Olesen, J.E., 2019). Dette bliver i et vist omfang 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 (DMI, 2020). Denne udvikling er sket parallelt med at den årlige middeltemperatur i Danmark er steget 1,5 °C, se Figur 83 til højre.

100 mm ekstra årsnettonedbør (ikke årsnedbør) vil skønsmæssigt 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 udstrømningsområderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der omvendt lokalt forekommer dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandsstanden i det eksisterende niveau.



Figur 83. Danmarks årsnedbør og den årlige middeltemperatur for perioden 1874-2018. Den optrukne linje viser 5-års glidende gennemsnit. Den grønne linje viser gennemsnit for normalperioden 1961-1990, og den røde linje viser stigningen siden 1971, på hhv. 25 mm/årti og 0,3 °C /årti. (Olesen, J.E., 2019).

Grundvandets strømning, DK-modellen

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. Dette betyder, at den primære bevægelse er vandret og ikke nedad, og at grundvandet i en boring ikke er faldet som nedbør lige omkring boringen.

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

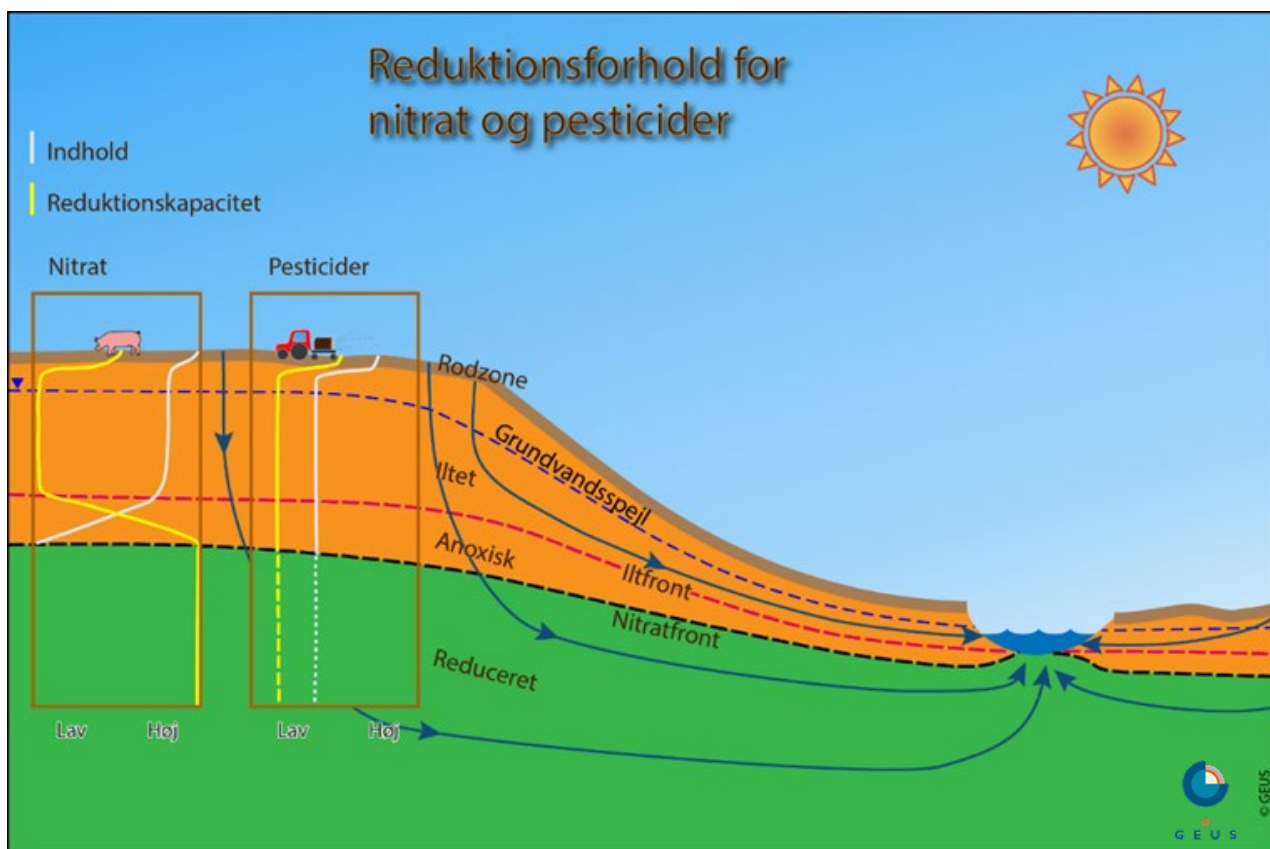
Grundvandsstrømningen i Danmarks undergrund er overordnet beskrevet i DK-modellen, hvor undergrunden er inddelt i 11 beregningslag (DK-modellens hjemmeside). DK-modellen er en national hydrologisk model udviklet i samspil med NOVANA-aktiviteterne og anvendes i dag til en lang række forvaltningsmæssige opgaver ikke mindst i forbindelse med vandplaner og vurdering af oversvømmelsesrisiko.

Grundvandets kvalitet

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

Grundvandets kvalitet kan for det første opdeles i hhv. kalkmættet neutralt og surt grundvand. I jordlag, hvor der optræder kalk, neutraliserer kalken syrer fra atmosfæren og fra nedbrydning af organisk stof i jordbunden, og opretholder et pH omkring 7,5. Den vigtigste syre er almindeligvis kulsyre/kuldioxid. Hvis jordlagene er kalkfrie, vil grundvandet være surt og indeholde aggressivt kuldioxid, og pH vil ofte 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 sammensætning, ikke mindst i forhold til forekomst af nitrat og fosfor og mange sporstoffer. Undergrundens reducerede sedimentter reagerer med oxiderede stoffer i grundvandet, så det strømmende grundvand bevæger sig ind i stadig mere reducerede miljøer, hvor reaktioner med grundvandets opløste, mere iltede bestanddele resulterer i en ændret kemisk sammensætning; grundvandet bliver mere reduceret. Samtidig udvikles en stadig mere iltet tilstand i sedimentet.



Figur 84. Principskitse over nitratfrontens beliggenhed omkring et vandløb, og udbredelse og reduktionsforhold af nitrat og pesticider i undergrunden. De lysegrå 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.

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

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

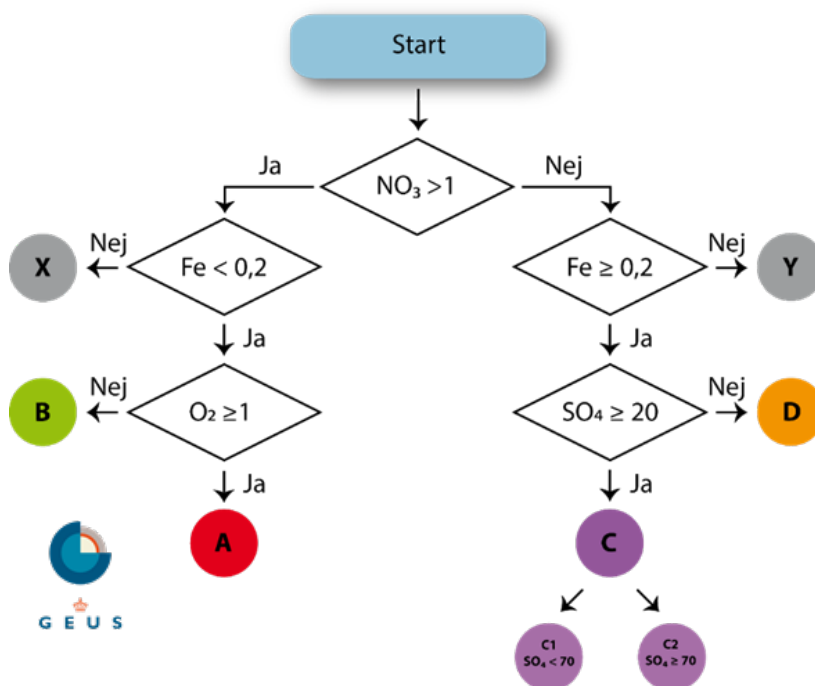
I de tilfælde, hvor der er kemisk ligevægt, vil nitratfronten og redoxfronten være sammenfaldende. Kemisk uligevægt kan dog forekomme, og her vil nitratfronten og redoxfronten ikke være sammenfaldende. Denne situation kan forekomme, når grundvandets strømningshastighed er større end reaktionshastigheden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

Figur 84 viser en principskitse over nitratfrontens beliggenhed omkring et vandløb. I de to bokse i figuren vises med lysegrå 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.

Omsætning af pesticider er ikke på samme måde afhængig af nitratreduktionskapaciteten, men foregår hovedsageligt i de øvre organiskrige jordlag, hvor der er den største reduktionskapacitet over for

pesticider (Nygaard, 2004). Da pesticider kemisk set er meget forskellige, er pesticidernes nedbrydelighed meget varierende og i forskellig grad følsom over for redoxforhold og pH.

Figur 85 viser et eksempel på en algoritme til at fastlægge grundvandets redoxforhold, gennem en opdeling i fire vandtyper (A, B, C og D) ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt og sulfat (Hansen og Thorling, 2018). I kapitel 4 er denne algoritme anvendt til en generel fastlæggelse af grundvandets redoxforhold i redoxboringerne. Andre algoritmer anvendes, hvis der fx er prøvetagningstekniske problemer (ilt i LOOP-boringer) eller færre tilgængelige parametre.

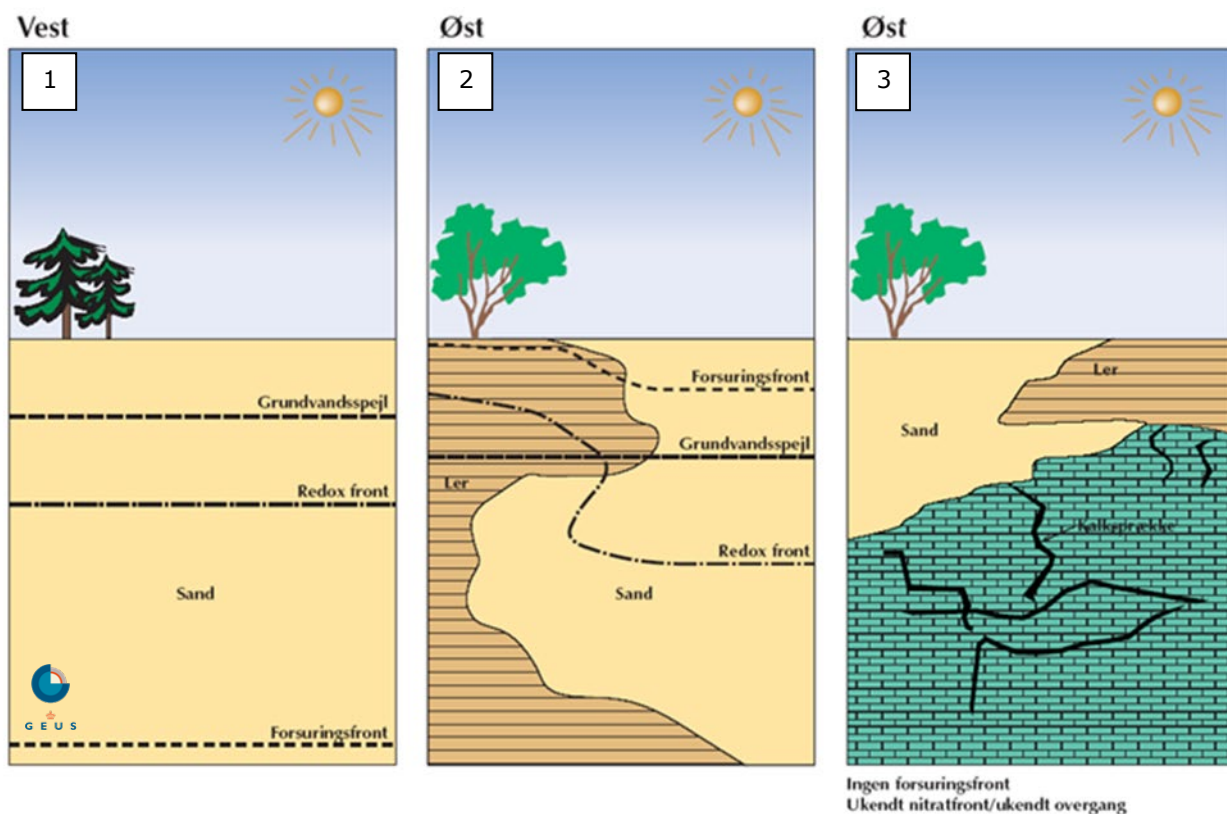


Figur 85. Algoritme til fastlæggelse af vandtyperne A, B, C og D, ud fra en vandprøves indhold af nitrat, jern, ilt og sulfat målt i mg/l. X og Y angiver, at algoritmen ikke giver noget entydigt svar, og der fx er behov for flere støtteparametre eller, at der er tale om en prøve med blandingsvand (Hansen og Thorling, 2018).

Typiske konceptuelle modeller for geologi og geokemi

Figur 86 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 grundvandsspejlet. I midten (2) ses en situation med heterogen geologi, som er typisk i Østjylland og nogle steder på Fyn og Sjælland. På grund af det høje kalkindhold i jorden ligger forsuringsfronten normalt over grundvandsspejlet. Redoxfronten ligger højt i lerede aflejringer og dybere i sandet.

I områder, hvor der er kalk i undergrunden (3), kan der være så meget kalk i de øverste jordlag, at der slet ikke optræder sure forhold. Redoxfronten kan ligge over kalken, svarende til den mellemste figur, eller nå helt ned til kalken. Hvis redoxfronten når helt ned til kalken, således som det ofte ses på Djursland og omkring Aalborg, 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 86. Principskitse over beliggenheden af forsøringsfronten 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 80), hvor sprækkedannelser gør fastlæggelse af nitratfronten i selve kalklagene svær at forudsige. Bemærk, at forsøringsfronten kan ligge både over og under redoxfronten.

Appendiks 3.2 Grundvandets opholdstid

Relevans af grundvandsdatering i GRUMO

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

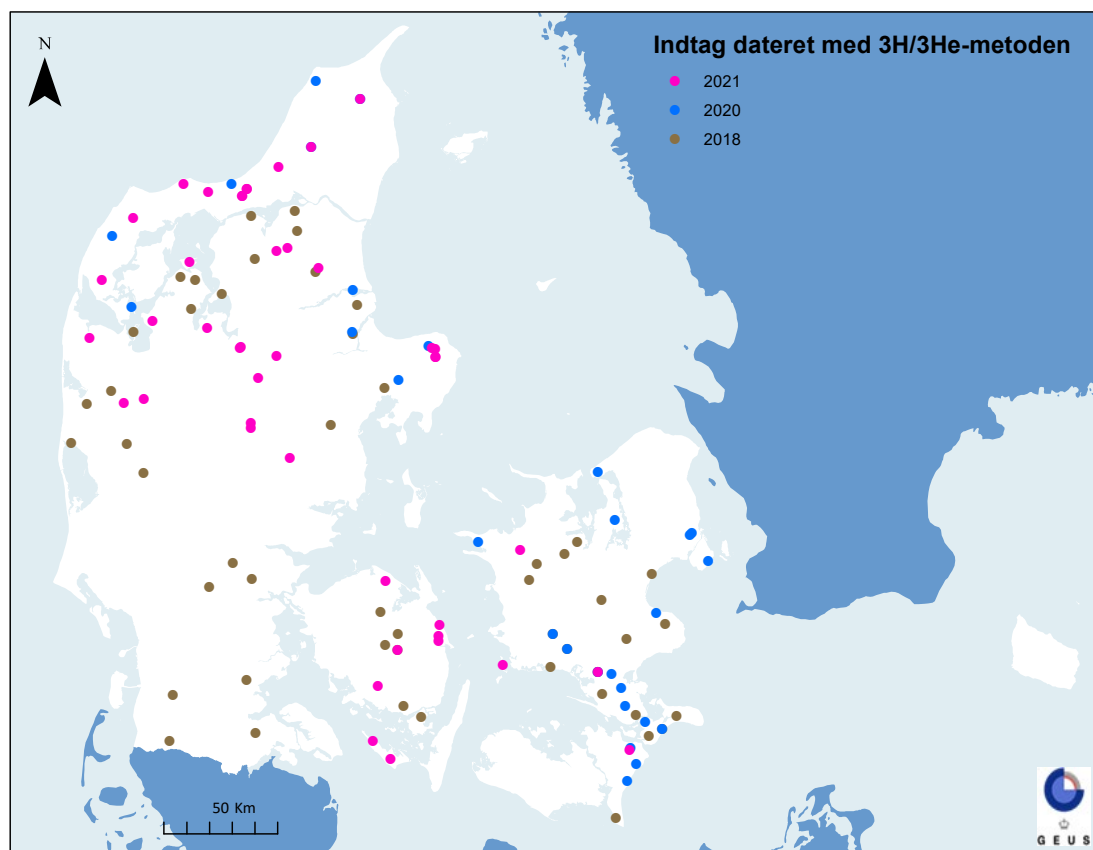
Opholdstiden dækker over det forhold, at alderen af det vand, der er i et indtag, har en given aldersfordeling, idet vandet i et indtag på fx 1 m's længde repræsenterer flere års nedbør. Jo kortere indtag og jo mere homogen geologi, jo smallere vil aldersfordelingen almindeligvis være. Samtidig kan de forskellige dateringsmetoder i forskellig grad anvendes til at dække forskellige perioder, hvilket er mere indgående beskrevet i rapporteringen for 2013-data (Thorling mfl. 2015).

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

hvilket dog er mere komplekst, idet disse organiske molekyler vekselvirker med sedimenterne gennem nedbrydning og sorption i et mere komplekst mønster end nitrat gør det.

Datagrundlag

Den første metode for datering af grundvand, som blev anvendt i større omfang for GRUMO-indtag, er måling af tritium, som giver et meget groft estimat for vandets alder. Denne metode blev især anvendt fra 1989-1996. Efterfølgende blev de fleste GRUMO-indtag dateret med CFC-metoden i perioden 1997-2006. I 2012-2014 blev en række indtag forsøgsvist dateret med tritium-helium- ($^3\text{H}/^3\text{He}$ -) metoden. Efter nogle indledende forsøg med forskellige analysemetoder blev det konkluderet, at $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden er velegnet til datering af GRUMO-boringer (Laier, 2014a; Laier, 2014b).



Figur 87. Geografisk fordeling af GRUMO-indtag prøvetaget til datering med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden i 2018, 2020 og 2021 (121 indtag). Et punkt kan indeholde flere indtag fra forskellige dybder.

I forbindelse med udbygning af stationsnettet efter 2006, se kapitel 2 og appendiks 2, var ambitionen at datere de nye indtag, hvilket nu er udført for knap halvdelen (149 af 321 programlagte indtag etableret efter 2006). Det skal dog nævnes, at det ikke nødvendigvis er meningsfuldt at datere alle resterende indtag med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden, fx hvis de forventes hovedsageligt at indeholde vand, som er mere end 50 år gammelt. Fokus har således hidtil været på de mere terrænnære indtag, hvor metoden er mest velegnet (middeldybde til top af indtag for daterede nye programlagte indtag er 23 m og for ikke-daterede nye programlagte indtag, 44 meter). De nye dateringer er foretaget med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden, fordi den tidligere anvendte CFC-metode ikke er anvendelig til datering af grundvand dannet efter ca. år 2000, og der desuden er udfordringer med CFC-datering i iltfrit grundvand (se diskussion i det følgende afsnit). I hvert af årene 2018, 2020 og 2021 blev der gennemført en dateringsrunde, hvorfra de seneste resultater forelå i januar 2023. I alt 121 indtag fra hele landet blev dateret med metoden i løbet af de tre dateringsrunder, se Figur 87 (Albers, 2019; Albers, 2021; Albers, 2023).

Prøvetagningsteknisk vurderes det, at 119 af 121 prøver er vellykkede i de tre prøvetagningsrunder, og for 115 indtag kunne der indrapporteres en alder i Jupiterdatabasen, dog i en del tilfælde i form af enten

en maksimum-alder (<5 år) eller en mindste alder (>60 år), idet prøven lå uden for metodens detektionsgrænser.

I denne rapport præsenteres resultater fra dateringer med CFC-metoden og $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden, se fx Figur 88. De metodiske forudsætninger for grundvandets datering med disse metoder kan findes i (Laier, 2014a, 2014b, Thorling mfl. 2015 og Albers, 2019). Detektionsgrænsen for alderen er nedadtil ca. 5 år og opadtil ca. 60 år (afhænger dog lidt af metode og dateringstidspunkt - $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden kan datere vand fra ca. 1960 til fem år før udtagningsstidspunkt og CFC-metoden fra ca. 1950 til ca. 2000). Alderen er vist på figurerne med den værdi, som detektionsgrænsen angiver, dvs. i praksis er der en del indtag med væsentligt ældre vand, end figurerne viser.

Derudover vil der i alle indtag, uanset filterlængde og dybde, prøvetages vand med en spredning på alderen, der spænder over mere end et år. Opholdstiden i form af et enkelt årstal angiver derfor en form for midling af alderen for det pågældende indtag, uden at der dog er tale om en egentlig statistisk beregning, da der ikke kan foretages en sådan på baggrund af datering med en enkelt daterings-tracer. Hvorvidt den angivne alder rent faktisk er tæt på gennemsnitsalderen af vandet, vil først og fremmest afhænge af, hvordan spredningen af alderen er i det pågældende indtag, men vil derudover også afhænge af, hvor gammelt vandet er, idet både CFC-gasser og tritium har haft ikke-lineære udviklinger i deres atmosfæriske koncentration gennem tiden. Endelig er det vigtigt at holde sig for øje, at $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen ikke er alderen fra vandet faldt som regn, men fra det gik fra umættet til mættet zone, idet isotoperne i vandet er i ligevægt med atmosfæren indtil denne overgang. Det samme gælder for datering med CFC, bortset fra i tilfælde af dyb umættet zone, hvor CFC-alderen vil ligge et sted imellem alderen fra vandet faldt som regn til det gik fra umættet til mættet zone.

Det antages som udgangspunkt, at opholdstiden/alderen for grundvandet i et punkt, som ikke påvirkes af vandindvinding, er nogenlunde konstant over tid, skønt den uundgåeligt i et vist omfang vil variere med variationer i nettonedbøren fra år til år. Gentagne dateringer ved hjælp af CFC-datering i samme indtag i overvågningsprogrammet har vist, at hovedparten af de testede indtag kan karakteriseres med en opholdstid med en præcision på få år (Laier & Thorling, 2005, Thorling mfl., 2015). Dette siger dog ikke noget om, hvor nøjagtig denne bestemmelse er, da grundvandet i et indtag, som diskuteret ovenfor, i langt de fleste indtag vil være en blanding af vand fra en periode på adskillige år, eller ligefrem vand fra adskilte tidsperioder, som er opblandet (Jakobsen mfl. 2020).

Med den nyere $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metode er det til dels muligt at registrere tilstedeværelsen af vand fra forskellige tidsperioder. Hvis det på den baggrund vurderes, at aldersfordelingen spænder over flere adskilte tidsperioder eller over en meget lang tidsperiode og at dét, at tale om en opholdstid for den samlede vandprøve, således ikke giver mening, indlæses alderen ikke i Jupiter-databasen (Albers, 2019; Albers, 2021). Hvorvidt vandet stammer fra et enkelt år eller er en blanding af vand fra fx 15 sammenhængende år, er det til gengæld ikke muligt at vide ud fra en dateringsanalyse med hverken CFC- eller $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden. Dette skal holdes for øje, når man sammenligner dateringsdata med kemiske data, hvor man forventer et skift på baggrund af fx ændret regulering, arealanvendelse eller vandindvinding.

Udfordringer med CFC-datering i iltfrit grundvand

Datering med CFC-metoden er den hidtil mest anvendte i GRUMO-indtag. CFC-metoden bygger på, at CFC-gasserne CFC11, CFC12 og CFC113 opfører sig konservativt i grundvandet. Dette ser ud til at holde under oxiderede forhold, men siden midten af 90'erne har det været kendt, at CFC-stoffer kan nedbrydes under redoxfronten (Cook mfl. 1995). Der er fortsat meget lidt viden om de kemiske reaktioner, som leder til nedbrydningen af CFC-gasser i grundvandssedimenter (Phillips mfl., 2019), men med baggrund i generel viden om nedbrydning af halogenerede forbindelser under iltfrie forhold kan nedbrydningen sandsynligvis ske både biologisk (fx halorespiration) og som abiotisk eller kombineret abiotisk/biotisk nedbrydning i forbindelse med forekomst af grøn rust eller andre reaktive jernforbindelser. Uanset mekanismen vil en sådan nedbrydning resultere i estimering af for høj alder (jo længere man går tilbage i tiden, desto mindre var koncentrationen af CFC-gasser i atmosfæren). I 1990'erne var antagelsen, at kun CFC11 blev nedbrudt, mens CFC12 var stabil (Cook mfl. 1995) og/eller at nedbrydningen kun foregik under kraftigt reducerede forhold (hvor halorespiration typisk er mest udpræget). Flere studier, herunder et GEUS-studie i de nuværende GRUMO-boringer i Rabis Bæk, har dog siden vist, at også CFC12 kan

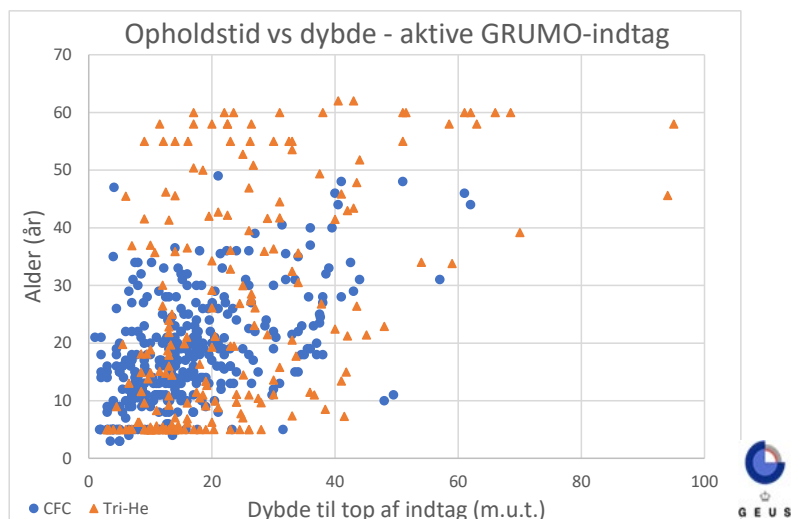
nedbrydes, og at nedbrydningen kan ske under nitratreducerende forhold i forbindelse med pyritoxidation (fx Sebol mfl. 2007; Hinsby mfl. 2007). Der er stor forskel på nedbrydningsraterne i de forskellige studier. For CFC11 varierer halveringstiden under anoxiske forhold fra 0.3-7 år og for CFC12 fra 1,2-35 år (og til ingen detekterbar nedbrydning i et enkelt studie). For CFC113 er der færre studier, men hastigheden ser ud til at minde mest om CFC11's. Nedbrydningen for alle CFC-gasserne ser ud til at accelereres desto mere reduceret sedimentet er (Horneman mfl., 2008),

Det er tidligere foreslået, at man ikke bør anvende grundvandsaldrer baseret alene på CFC-datering, når der ikke kan måles opløst ilt i vandet ved prøvetagning (Sebol mfl., 2007). Det er dog kendt, at denitrifikation kan forekomme allerede ved iltkoncentrationer under ca. 2 mg/l (Tesoriero og Puckett 2011). Hvorvidt CFC-gasser kan nedbrydes under lige præcis sådanne forhold, er til gengæld ukendt, så det er svært at vide præcis under hvilke redoxforhold, der er risiko for CFC-nedbrydning. Med den nuværende viden, må det dog antages, at i det omfang at dateringerne er foretaget på iltholdigt vand ($\geq 0,5$ mg/l ilt), kan man således sandsynligvis anvende CFC-dateringen, som den er. I de øvrige indtag, hvor dateringerne er foretaget på iltfrit vand, vandtype B, C og D, må man antage, at CFC-dateringen i mange tilfælde ikke er retvisende, og giver for høje aldre, afhængig af omfanget af CFC-nedbrydning. En yderligere uddybning af dette kan ses i Thorling mfl., 2021.

I alt er 1.261 GRUMO-indtag dateret med CFC-metoden. Af disse har ca. 500 et typisk indhold af ilt på $>0,5$ mg/l og bør altså kunne anvendes uden at bekymre sig om nedbrydning af CFC-gasser. Ses der udelukkende på de programlagte indtag (her defineret ved, at der har været en måling af hovedbestanddele i perioden 2017-2022) er 355 indtag dateret med CFC-metoden og har samtidig et iltindhold $>0,5$ mg/l. Dertil kommer 207 programlagte indtag, hvorfra der foreligger datering med tritium-helium og hvor iltindholdet er uden betydning. Af de 207 tritium-helium-daterede indtag er ca. 100 iltfrie. Ud af i alt 562 daterede programlagte indtag er det altså ca. 100 eller mindre end 20%, som er iltfrie. Usikkerheden ved anvendelse af CFC-datering på iltfrit grundvand medfører således, at der blandt indtag med anvendelig datering er en voldsom underrepræsentation af iltfrit grundvand i forhold til hele GRUMO-datasættet.

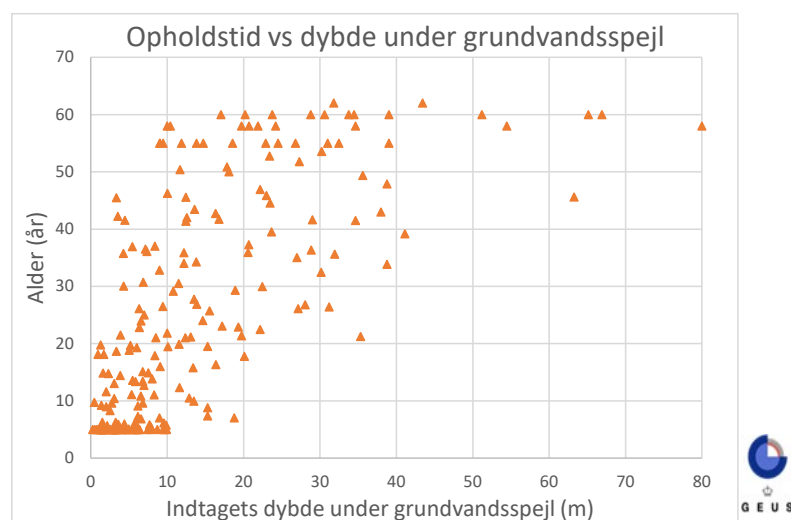
Opholdstiden for det overvågede grundvand.

Figur 88 viser grundvandets opholdstid som funktion af dybden for 562 daterede indtag ud af ca. 1.250 indtag i GRUMO-programmet, svarende til ca. 45 %. Der indgår data fra dateringer foretaget med såvel CFC som $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden. Det fremgår af figuren, at der i de øverste 30 m optræder grundvand med alle målbare aldre (fra <5 til >60 år). Både gennemsnitsalder og medianalderen stiger dog generelt med stigende dybde, og dybere end 50 m's dybde dateres alt vand til mindst 30 år. Der er mange årsager til den forholdsvis svage sammenhæng mellem alder og dybde, herunder forskelle i grundvandsdannelse, hydrauliske barrierer og andre variationer i de hydrogeologiske strømningsforhold, forskelle i dybde af umættet zone og eksistensen af udstrømningsområder med opadrettet gradient, hvor der forventeligt vil kunne træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terræn.



Figur 88. GRUMO. Dybdefordeling af opholdstiden for 562 daterede GRUMO-indtag hvor der er målt hovedbestanddele mindst 1 gang i perioden 2017-2022. I alt var der ca. 1250 programlagte indtag i perioden. Dateringsmetoderne har øvre detektionsgrænse på ca. 60 år, og vandet i indtag med alder på ca. 55 år og op efter kan derfor i virkeligheden være langt ældre.

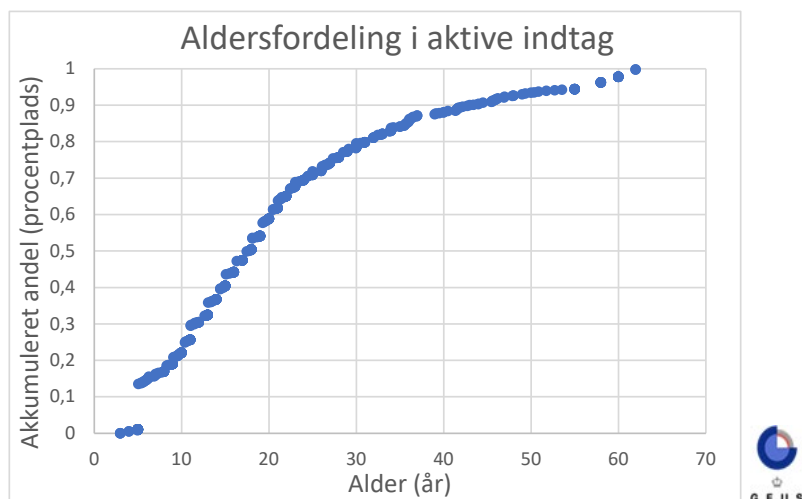
I Figur 88 tages der udgangspunkt i dybden fra jordoverflade til top af indtag. Dybden til grundvandsspejlet har dog også stor betydning, idet $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder som nævnt ikke er alderen fra vandet faldt som regn, men fra det gik fra umættet til mættet zone på grund af ^3He 's hurtige diffusion gennem den umættede zone (Cook og Solomon, 1997). Det samme er til dels gældende for CFC-datering, men ikke ved en tyk umættet zone, da diffusionen af CFC-gasser er noget langsommere end for helium (Cook og Solomon, 1997). Da dybden til grundvandsspejlet i Danmark kan variere fra 0 til mere end 20 m er alderen set i forhold til dybden under grundvandsspejlet i nogle sammenhænge mere relevant, særligt hvis der ses på den øverste del af grundvandet. Et eksempel på dette er vist i Figur 89, hvor alderen for prøver dateret med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden er afbilledet mod dybden under grundvandsspejlet målt på prøvetagningsdagen. Der ses umiddelbart en noget bedre sammenhæng mellem alder og dybde end i Figur 88.



Figur 89. GRUMO. Dybdefordeling af opholdstiden for 217 GRUMO-indtag dateret med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden, hvor dybden er angivet som dybden fra grundvandsspejlet til overkanten af indtaget. Hvis grundvandsspejlet ligger over terræn (artesiske forhold), anvendes terræn som grundvandsspejl. Hvis grundvandsspejlet ligger i filteret er dybden sat til 0 m. Bemærk, at dybden til grundvandsspejlet ved boringen ikke nødvendigvis afspejler dybden til grundvandsspejlet, dér hvor grundvandet er dannet, hvis boringen står i et bakket landskab.

Figur 90 viser aldersfordelingen for de 562 programlagte indtag dateret med enten CFC- eller $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden. Der er som nævnt en kraftig underrepræsentation af iltfrie indtag og dermed nok også en

underrepræsentation af ældre indtag. Hvis der interpoleres til alle GRUMO-boringer, må det altså antages, at figuren indikerer den maksimale andel af indtag, som indeholder x år gammelt vand. Fx kan det nok med rimelighed konkluderes, at maksimalt 20 % af GRUMO-indtagene indeholder vand, som er yngre end 10 år, hvilket understreger, at den status, der gives for grundvandets kemiske sammensætning i denne rapport, kun i begrænset omfang afspejler de seneste 10 års politiske reguleringer. Dateringerne giver samtidigt muligheden for at fokusere en dataanalyse på netop vand, som er maksimalt 10 år gammelt, hvis dette skulle være i fokus.



Figur 90. Fordelingen af opholdstiden (alderen dateret ved $^3\text{H}/^3\text{He}$ - eller CFC-metoden) for grundvandet i de 562 daterede overvågningsindtag, som var programlagte i perioden 2017-2022. I alt var der ca. 1250 programlagte indtag i perioden. Springet ved 5 år skyldes, at de fleste analyser har haft nedre detektionsgrænse på 5 år, men i nogle få tilfælde er der indrapporteret aldre på 3 og 4 år. Dateringsmetoderne har øvre detektionsgrænse på ca. 60 år, og vandet i indtag, hvor alderen er angivet til ca. 55 år og opefter (ca. 6% af indtagene) kan derfor i virkeligheden være langt ældre.

Referencer: Faglig baggrundsviden

Diverse referencer

Albers, C.N., 2019: Dateringer i GRUMO 2018. GEUS-notat 05-VA-19-04.

Albers, C.N., 2021: Dateringer i GRUMO 2020. GEUS-notat 42-VA-21-02

Albers, C.N., 2023: Dateringer i GRUMO 2021. GEUS-notat 42-VA-23-02

Cook, P. G., D. K. Solomon, L. N. Plummer, E. Busenberg, and S. L. Schiff, 1995; Chlorofluorocarbons as tracers of groundwater transport processes in a shallow, silty sand aquifer, *Water Resour. Res.*, 31: 425– 434. <https://doi.org/10.1029/94WR02528>

Cook, P. G., Solomon, D. K., 1997; Recent advances in dating young groundwater: chlorofluorocarbons, $^3\text{H}/^3\text{He}$ and ^{85}Kr , *Journal of Hydrology* 191: 245-265

DMI, 2020. Opslag på hjemmesiden.

Hansen, B. & Thorling, L., 2018. Kemisk grundvandskortlægning. GEO-VEJLEDNING 2018/2. Særudgivelse fra GEUS. https://www.geovejledning.dk/xpdf/FINAL_geovejledning_6_03102018.pdf (12-2-2024)

Hinsby, K., Højberg, A. L., Engesgaard, P., Jensen, K. H., Larsen, F., Plummer, L. N., and Busenberg, E., 2007; Transport and degradation of chlorofluorocarbons (CFCs) in the pyritic Rabis Creek aquifer, Denmark, *Water Resour. Res.*, 43, W10423, doi:10.1029/2006WR005854.

Horneman, A., M. Stute, P. Schlosser, W. Smethie, N. Santella, D.T. Ho, B. Mailloux, E. Gorman, Y. Zheng, A. van Geen, 2008; Degradation rates of CFC-11, CFC-12 and CFC-113 in anoxic shallow aquifers of Araihaazar, Bangladesh, *Journal of Contaminant Hydrology*, 97: 27-41,

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

Jakobsen, R., Hinsby, K., Aamand, J., van der Keur, P., Kidmose, J., Purtschert, R., Jurgens, B.C., Sultenfuss, J., Albers, C.N., 2020; History and Sources of Co-Occurring Pesticides in an Abstraction Well Unraveled by Age Distributions of Depth-Specific Groundwater Samples, *Environmental Science and Technology*, 54: 158-165, DOI: 10.1021/acs.est.9b03996

Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.

Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01

Laier, T., 2014b: 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.

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 (12-2-2024)

Olesen, J.E., 2019: Klimaændringernes betydning for europæisk landbrug. Vand og jord, 26. årg. 2. maj 2019, side 50-55.

Phillips, E., Gilevska, T., Horst, A., Manna, J., Seger, E., Lutz, E.J., Norcross, S., Morgan, S.A., West, K.A., Mack, E.E., Dworatzek, S., Webb, J., Lollar, B.S., 2019. Transformation of Chlorofluorocarbons Investigated via Stable Carbon Compound-Specific Isotope Analysis. Environ. Sci. Technol. 54, 870–878. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.9B05746>

Sebol, L.A., W.D. Robertson, E. Busenberg, L.N. Plummer, M.C. Ryan, S.L. Schiff, 2007; Evidence of CFC degradation in groundwater under pyrite-oxidizing conditions, Journal of Hydrology, 347: 1-12, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.08.009>.

Tesoriero A.J., Puckett, L.J., 2011; O₂ reduction and denitrification rates in shallow aquifers, WATER RESOURCES RESEARCH, 47: W12522,

Thorling, L., Brusch, W., Hansen, B., Larsen, F., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015. <https://www.geus.dk/Media/0/A/g-o-2013.pdf> (21.01.2021)

Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, C. Hansen, B., Johnsen, A.R., Mortensen, M.H. & Trolborg, L., 2021: Grundvand. Status og udvikling 1989–2020. Teknisk rapport, GEUS 2021.

Relevante hjemmesider og links

DK modellens hjemmeside: <http://www.vandmodel.dk> (21.01.2021)

DMI's hjemmeside: www.dmi.dk (21.01.2021)

Grundvandsstanden.dk.

GEUS, 2018: Viden om grundvand. Vandets kredsløb. <https://www.geus.dk/udforsk-geologien/viden-om/viden-om-grundvand> (21.01.2021)

Grundvandskortlægningens hjemmeside hos Styrelsen for Vand og Naturforvaltning: <http://mst.dk/natur-vand/vand-i-hverdagen/grundvand/grundvandskortlaegning/> (21.01.2021)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: <http://www.geus.dk/vandressourcer/overvaagningsprogrammer/grundvandsovervaagning> (21.01.2021)

Den Amerikanske Geologiske Undersøgelses hjemmeside om datering af grundvand: [Groundwater Age \(usgs.gov\)](http://www.usgs.gov/groundwater-age/)