

Dokumentationsrapport

Udvikling af metode til vurdering af grundvandsforekomsters kemiske tilstand for udvalgte uorganiske sporstoffer og salte

Mette Hilleke Mortensen, Vibeke Ernstsen, Denitza Voutchkova
& Lærke Thorling

Dokumentationsrapport

Udvikling af metode til vurdering af grundvandsforekomsters
kemiske tilstand for udvalgte uorganiske sporstoffer og salte

Udarbejdet af GEUS for Miljøstyrelsen

Mette Hilleke Mortensen, Vibeke Ernstsén, Denitza Voutchkova
& Lærke Thorling

Indholdsfortegnelse

1.	Resume	4
2.	Baggrund	5
3.	Introduktion	6
3.1	Sporstoffer og salte i den indledende tilstandsvurdering.....	6
3.2	Tilstandsvurderingens enkelte trin	9
4.	Formål og leverancer	11
5.	Tværgående dokumentation	14
6.	Datagrundlag	16
7.	Den konceptuelle forståelsesmodel	18
7.1	Baggrund for den konceptuelle forståelsesmodel.....	18
7.2	Naturlige baggrundsværdier for sporstoffer	19
7.3	Forekomstspecifikke tærskelværdier	24
8.	Principper for tilstandsvurderingen for sporstoffer og salte.	28
8.1	Maskinel tilstandsvurdering ved et beslutningstræ	28
8.2	Eksempler på maskinel tilstandsvurdering, sporstoffer	32
8.3	Håndtering af forskellige datakilder for sporstoffer og salte	37
8.4	Repræsentativitet af data og sikkerhed af vurderingerne.....	38
9.	Tilstandsvurderinger for sporstoffer og salte, samlet resultat	39
9.1	Sporstoffer	39
9.2	Salte	45
9.3	Oversigtskort over sporstoffer og salte på landsplan	46
10.	Ekspertvurdering af indtag med overskridelser af tærskelværdier for sporstoffer	55
11.	Sammenfatning og kommentarer	64
11.1	Sammenfatning	64
11.2	Kvalitetssikring.....	64
11.3	Kommentarer.....	65
12.	Litteratur	66
Bilag.		70
	Oversigt over bilag.....	70

1. Resume

Til brug for vandområdeplanerne for tredje planperiode 2021-27 er der udviklet og fastlagt en ny metode til en indledende vurdering af de danske grundvandsforekomsters generelle kemiske tilstand for sporstoffer og salte. Den indledende vurdering er foretaget for de 2.050 grundvandsforekomster med den afgrænsning af grundvandsforekomsterne, der forelå ved basisanalysen for de danske vandområdedistrikter i 2019. Metoden er udviklet og anvendt i perioden december 2019 til december 2020 med inddragelse af ny viden, der er tilvejebragt efter offentliggørelsen af vandområdeplanerne for 2015-21, og i overensstemmelse med vandrammedirektivet (EU, 2000), grundvandsdirektivet (EU, 2006) og EU-CIS Guidance document no. 18 'Guidance on groundwater status and trend assessment' (EU, 2009).

Nærværende slutrapportering udgør en dokumentation for den udviklede metode og efterfølgende anvendelse heraf i de gennemførte indledende tilstandsvurderinger. Dokumentationsrapporten præsenterer blandt andet de principper og metoder, der er anvendt i tilstandsvurderingen, og giver eksempler på, hvordan metoden konkret er gennemført for henholdsvis en grundvandsforekomst, der vurderes at være i 'God' tilstand og en grundvandsforekomst, der vurderes at være i 'Potentielt Ringe' tilstand.

For sporstoffer er der lavet en samlet maskinel tilstandsvurdering af 2.050 grundvandsforekomster. Heraf blev 336 grundvandsforekomster klassificeret i kategorien 'God' tilstand, mens 223 grundvandsforekomster blev klassificeret i kategorien 'Potentielt Ringe' tilstand. For 1.491 grundvandsforekomster forelå der ikke data for nogen af de udvalgte sporstoffer til at vurdere den kemiske tilstand, og disse grundvandsforekomster er tildelt kategorien 'Ukendt' tilstand.

For salte blev der udført en indledende vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for stofferne ammonium og klorid. Det viste sig efter projektets afslutning, at der var sket en fejl i indberetningen af ammoniumdata til Jupiter, den fællesoffentlige database for grundvand og boringer, idet der var indberettet for lave værdier (en faktor ca. 1,3). Tilstandsvurderingen for ammonium præsenteres derfor ikke yderligere i denne rapport, men kan dog ses i bilag 2. For klorid er 566 grundvandsforekomster maskinelt vurderet som værende i 'God' kemisk tilstand, mens 43 grundvandsforekomster vurderes at være i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Der var 1.441 grundvandsforekomster, hvor der ikke forelå data i Jupiterdatabasen til at udføre en maskinel tilstandsvurdering for klorid.

Alle grundvandsforekomster med klassificering 'Potentielt Ringe' tilstand efter den indledende maskinelle tilstandsvurdering kan efter en statistisk undersøgelse tildeles en endelig tilstand. Dette arbejde er udført af Miljøstyrelsen, se bilag 16, "Metode for beregning af kemisk tilstand for de danske grundvandsforekomster fsva sporstoffer og salt til VP3".

2. Baggrund

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med projektet "Metode for vurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for sporstoffer og nye vurderinger af forekomsternes tilstand for sporstoffer" og "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters tilstand for saltene: Ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP3 2021-2027". Derudover indgår leverancen 'Ekspertvurdering af overskridelser af uorganiske sporstoffer med henblik på at identificere tilfælde, der skyldes naturlige forhold' fra "Bidrag til udvikling af metode for vurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for organiske miljøfarlige forurenende stoffer uden primær anvendelse som pesticid".

De nævnte projekter er gennemført af GEUS for Miljøstyrelsen i perioden dec. 2019 – dec. 2020, mens selve slutrapporteringen er udarbejdet i foråret 2021.

Nærværende dokumentationsrapport er slutrapporteringen, der har følgende formål jf. projektbeskrivelsen:

- At opsummere projektets forudsætninger og hovedresultater.
- At give en beskrivelse af de anvendte metoder i tilstandsvurderingen.
- Give eksempler på tilstandsvurderinger for udvalgte forekomster.
- Præsentere alle resultater som bilag. Bilagene omfatter alle udarbejdede noter i seneste version.

Projektet er gennemført på basis af GEUS' ekspertiser inden for et bredt udvalg af fagdisciplinerne:

- Geologisk modellering
- Hydrogeologi og hydrologisk modellering
- Anvendelse af sårbarhedskoncepter fra den nationale grundvandskortlægning, herunder ikke mindst den grundvandskemiske kortlægning
- NOVANA-programmets grundvandsovervågning
- Forekomst af sporstoffer og salte i jord og grundvand
- Tidligere gennemførte tilstandsvurderinger
- Evaluering af geologisk heterogenitet i forhold til geologiske modelkoncepter

3. Introduktion

I dette kapitel introduceres de stoffer, som indgår i den indledende tilstandsvurdering for sporstoffer og salte. I de efterfølgende kapitler beskrives metode, beslutningsgrundlag og resultater i detaljer.

Tilstandsvurderingerne udføres på grundvandsforekomstniveau. Som led i basisanalyserne for de danske vandområdedistrikter 2019, er der afgrænset grundvandsforekomster på basis af DK-modellen, og efterfølgende er der koblet indtag fra borer i Jupiter til disse grundvandsforekomster (Trolborg, 2020a,b & GEUS-notat 06-VA-20-01 (bilag 6)).

3.1 Sporstoffer og salte i den indledende tilstandsvurdering

3.1.1 Sporstoffer

I den indledende tilstandsvurdering for sporstoffer indgår 9 sporstoffer. De enkelte stoffer er kort beskrevet herunder, mens en mere uddybende beskrivelse findes i bilag 1.

Aluminium.

Aluminium er et letmetal, der findes vidt udbredt i undergrunden i aluminiumsilikater eller sekundære forvittringsprodukter som for eksempel lerminerale. Koncentrationen i grundvand er stærkt afhængig af pH, idet opløseligheden er størst ved høj eller lav pH, og mindst ved neutral pH.

Arsen.

Arsen er et ikke-metal og findes blandt andet i sulfidholdige mineraler. Arsen binder sig stærkt til lerminerale, jernoxid/hydroxider samt organisk stof. Koncentrationen i grundvand er især styret af redoxforholdene, da opløseligheden for As(III) er større end for As(V). Reduceret grundvand indeholder derfor typisk mere arsen end oxideret grundvand.

Bly.

Bly er et tungmetal og forekommer naturligt i sulfider, sulfater og karbonater. Desuden kan det indgå i feldspat og glimmerminerale. Bly binder sig til lerminerale, organisk stof og jern- og mangan oxid/hydroxider og har almindeligvis en lav opløselighed i grundvand.

Cadmium.

Cadmium er et relativt sjældent tungmetal, men optræder som bikomponent i for eksempel sulfidholdige mineraler. Koncentrationen i grundvand er typisk meget lav. Cadmium er relativt mobilt i grundvand under oxiderede forhold, hvis pH er under 8. Cadmium binder sig til organisk stof, lerminerale og udfælder med jern- og mangan-hydroxider.

Kobber.

Kobber er et tungmetal, som er indbygget i for eksempel pyroxener, amfiboler og biotit. Mobiliteten i grundvand afhænger af pH og redox-forhold og er størst under sure og oxiderede forhold. Kobber fælder ud med jern- og manganforbindelser.

Krom.

Krom er et overgangsmetal og findes naturligt enten som Cr^{3+} eller Cr^{6+} . Mobiliteten afhænger af pH og redox-forhold. Cr^{3+} opfører sig i grundvand som Fe^{3+} og Al^{3+} og udfælder med oxid/hydroxider og ler og anses for relativt harmløst. Cr^{6+} er væsentligt mere mobilt, stærkt oxiderende og meget toksisk. Cr^{6+} reduceres hurtigt i jordlagene ved tilstedeværelsen af organisk stof.

Kviksølv.

Kviksølv er et sjældent tungmetal, men optræder som bikomponent i for eksempel sulfidholdige mineraler. Koncentrationen i grundvand er typisk meget lavt. Mobiliteten i grundvand afhænger i høj grad af, hvordan kviksølv er bundet, hvor det ikke mindst bindes stærkt til organisk stof.

Nikkel.

Nikkel er et tungmetal, og findes blandt andet i sulfidholdige mineraler. Mobiliteten i grundvand afhænger af pH og redox-forhold, og ved neutrale pH forhold kan mobiliteten nedsættes ved sorption.

Zink.

Zink er et tungmetal, der findes i en række almindelige mineraler som pyroxener, amfiboler og glimmermineraler. Det binder sig til jern- og manganforbindelser, lermineraler og organisk stof. Mobiliteten i grundvand er størst under sure forhold.

3.1.2 Salte

I den indledende tilstandsvurdering for salte indgår 6 ioner. En kort beskrivelse af de enkelte stoffer gives herunder, og derudover er stofferne nærmere beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-06, GEUS-notat 07-VA-2020-14 og GEUS-notat 07-VA-2020-18, se bilag 2, 3 og 4, for henholdsvis ammonium, klorid og øvrige stoffer.

For stofferne ammonium og klorid er der udført en indledende vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand, mens der for de øvrige stoffer er udarbejdet en redegørelse for stoffernes naturlige tilstand i grundvandsmagasinerne.

Klorid.

Klorid (Cl) forekommer naturligt i alt grundvand. Nedbørens indhold af klorid afhænger i Danmark især af påvirkningen af aerosoler fra havet, der sammen med tørdeposition spiller en stor rolle for det naturlige baggrundsniveau. Menneskelige aktiviteter kan resultere i et forhøjet indhold, fx vejsaltning eller indvindingsbetinget saltvandsindtrængning. Et højt indhold kan også skyldes naturlige forhold som tilstedeværelsen af marint residualvand, eller havvand nær kysten.

Ammonium

Ammonium (NH_4) dannes naturligt under anaerobe forhold ved mikrobiel omsætning af kvælstofholdigt organisk stof, og er derfor en karakteristisk bestanddel i reduceret grundvand. Nogle grundvandsmagasiner kan have et naturligt særligt højt indhold af ammonium, hvilket er væsentligt at tage i betragtning, når der skal skelnes mellem naturligt høje ammoniumværdier og en eventuel forurening i grundvandsforekomsterne. Forurening med ammonium ses især i forbindelse med punktkilder som lossepladser, møddinger og utætte kloakker.

Efter udarbejdelsen af tilstandsvurderingen for ammonium er GEUS og Miljøstyrelsen blevet gjort opmærksom på, at indberettede data til Jupiter for perioden 2016-2020 er fejlbehæftede, idet de indberettede værdier fra et laboratorium i perioden systematisk er underestimerede med en faktor 14/18. Resultaterne af tilstandsvurderingen for ammonium er derfor fejlbehæftede og diskuteres ikke yderligere i denne rapport, men kan dog ses i bilag 2.

Sulfat

Den atmosfæriske deposition fra nedbør og partikler er sammen med svovlholdige gødninger de væsentligste kilder til udvaskning af sulfat fra de øvre jordlag. Sulfatindholdet stiger almindeligvis markant omkring redoxfronten, hvor de geokemiske forhold i jorden skifter fra oxideret til reduceret (Postma & Boesen, 1991). Dette skyldes, at udvaskning af nitrat fra landbrugsarealer sammen med opløst ilt oxiderer indlejret pyrit (FeS_2), hvilket forøger grundvandets sulfatindhold. Sulfatbidrag til grundvandet kan også stamme fra underliggende salt residualvand eller fra indtrængen af havvand, enten i form af naturlig diffusion eller som resultat af indvinding eller anden ændring af grundvandsstanden. Endelig kan et højt sulfatindhold være indikation på lokal forurening fra visse typer punktkilder.

Fosfor

Fosfor er naturligt forekommende i grundvand. Fosfor optræder især som fosfat, men kan også indgå i organiske forbindelser i grundvandet. Fosforindholdet afhænger i høj grad af den geologiske sammensætning af undergrunden, og lokale geologiske og geokemiske forhold resulterer i betydelige variationer selv inden for korte afstande. Generelt ses en lav koncentration i områder med kalkaflejringer, mens miocæne aflejringer typisk har en højere koncentration (Thorling mfl., 2019).

Det geologiske bidrag til det totale fosforindhold er størst i reduceret, nitratfrit grundvand. I oxideret grundvand binder fosfor sig til jernoxider på sedimenterne, hvilket resulterer i et markant lavere indhold af opløst fosfor (Thorling mfl., 2018).

Nitrit

Nitrit forekommer naturligt i grundvandsmagasinerne i nitratreducerende lag omkring redoxfronten. Nitrit er et ustabil mellemprodukt under omsætning af kvælstof i forbindelse med såvel nitrifikation, som denitrifikation (især i grundvand), og kan derfor bruges som indikator på disse processer. Nitritkoncentrationerne ligger typisk omkring 0,1 $\mu\text{g/l}$ under nitratreducerende forhold (vandtype B). Høje værdier af nitrit ses i forbindelse med forurening fra punktkilder, for eksempel fra spildevand, hvor tilførsel af kvælstof og organisk materiale kan give en ufuldstændig omsætning af ammonium med dannelse af nitrit som resultat (Thorling & Pedersen, 1992).

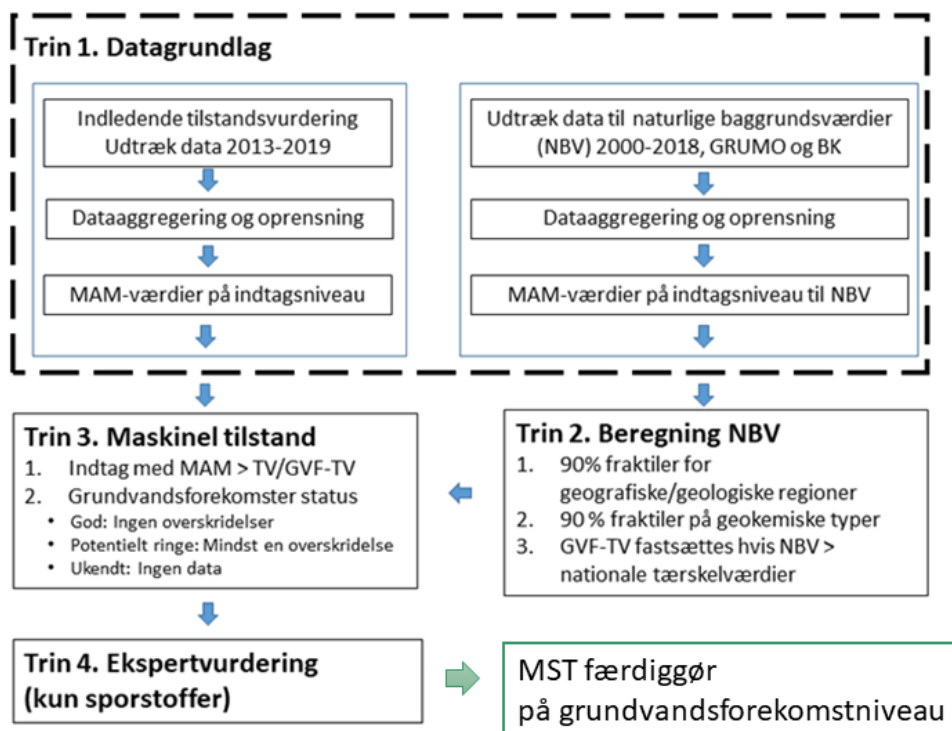
Ledningsevne

Ledningsevnen er et mål for vands elektriske ledningsevne, og er direkte proportional med koncentrationen af opløste ioner i vandet. En høj ledningsevne kan være tegn på infiltration af saltvand eller være en indikator på forurening, og har tidligere været benyttet som parameter til overvågning af disse.

3.2 Tilstandsvurderingens enkelte trin

For at udføre den maskinelle tilstandsvurdering er der udarbejdet en systematisk databehandling på de to datasæt, der skal bruges til henholdsvis beregning af den naturlige baggrundsværdi til brug for fastsættelse af forekomsts specifikke tærskelværdier og den indledende tilstandsvurdering. Der udarbejdes et udkast til forekomsts specifikke tærskelværdier som bidrag til Miljøstyrelsens beslutningsgrundlag.

De enkelte trin i den maskinelle tilstandsvurdering ses i Figur 3.1.



Figur 3.1 Procedure og metode for tilstandsvurdering af sporstoffer og salte, der alle er karakteriseret ved, at de dels er naturligt forekommende stoffer i grundvandet, dels har mulige bidrag fra humane påvirkninger.

Et overblik over de enkelte trin gennemgås nedenfor, mens en grundigere redegørelse ses i de efterfølgende kapitler.

I kapitel 6 gives indledningsvis et overblik over datagrundlaget benyttet i tilstandsvurderingerne, se også Figur 3.1, trin 1. Her redegøres for den tidsperiode, som de forskellige datasæt dækker, og for de nationalt gældende tærskelværdier for de enkelte sporstoffer og salte,

som Miljøstyrelsen har fastsat i denne vandplanperiode. Begrebet aggregerede data og MAM-værdier forklares.

I kapitel 7 beskrives den konceptuelle forståelsesmodel, der ligger til grund for arbejdet med de naturlige baggrundsværdier. Her præsenteres de faglige vurderinger, og de metoder, der er benyttet til beregningerne samt de resulterende forekomsts-specifikke tærskelværdier, Figur 3.1, trin 2.

I kapitel 8 beskrives den indledende maskinelle tilstandsvurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for sporstoffer og salte, se Figur 3.1, trin 3. Her gennemgås resultaterne fra to grundvandsforekomster.

I kapitel 9 præsenteres de samlede resultater af den indledende maskinelle tilstandsvurdering.

I kapitel 10 præsenteres ekspertvurderingen af udvalgte indtag, der er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand på baggrund af den maskinelle tilstandsvurdering, se Figur 3.1, trin 4.

4. Formål og leverancer

Til brug for vandområdeplanerne for tredje planperiode 2021-27 er der udviklet og fastlagt en ny metode for indledende vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for sporstoffer og salte, der alle forekommer naturligt i grundvandet. Denne metode er udviklet i 2019/20 med inddragelse af ny viden, der er tilvejebragt efter offentliggørelsen af vandområdeplanerne for 2015-21 og efter regler og retningslinjer i Vandrammedirektivet, Grundvandsdirektivet og EU-CIS Guidance document no. 18 "Guidance on groundwater status and trend assessment" (EU, 2009). Ved metodeudviklingen er der taget højde for, at forurening fra sporstoffer i høj grad er forårsaget af punktkilder eller ikke bæredygtig indvinding fra geologisk sårbare magasiner. Derfor er der fokus på at identificere de naturlige baggrundsværdier for at muliggøre adskillelse af naturlige og antropogene kilder.

Formålet med projektet fsva sporstoffer fremgår af projektbeskrivelsen:

Projektets primære formål er dels at udvikle og fastlægge en ny metode for vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand fsva sporstoffer dels at gennemføre indledende vurderingerne af den kemiske tilstand fsva sporstoffer til brug for vandplanlægningen og til vandområde-planerne for tredje planperiode 2021-27. Derudover har projektet til formål at tilvejebringe grundlaget for at fastsætte naturlige baggrundsværdier for relevante sporstoffer i de grundvandsforekomster, hvor de naturlige baggrundsværdier ligger over de nationalt fastsatte tærskelværdier.

Det er et selvstændigt formål med projektet, at grundlag for og metoder til vurderingerne og dermed vurderingernes validitet og begrænsninger er velbeskrevne (herunder i tilgængelig form) og gennemsigtige for interessenterne

For de uorganiske sporstoffer er der efterfølgende gennemført en ekspertvurdering af sporstofindholdet på indtagsniveau for indtag med overskridelser af de nationale tærskelværdier. Dette er sket i forbindelse med projektet for tilstandsvurdering for miljøfarlige forurenende stoffer.

Formålet med projektet fsva salte fremgår af projektbeskrivelsen:

Projektets formål er at udvikle og fastlægge en ny metode for vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for ammonium, nitrit, sulfat fosfor og klorid.

Projektet har til formål at tilvejebringe naturlige baggrundsværdier og sammenholde disse med tærskelværdier eller kvalitetskrav. Resultater af denne analyse skal anvendes til justering af tærskelværdier, hvis de nationale tærskelværdier er lavere end de naturlige baggrundsværdier.

Det er samtidigt et selvstændigt formål for projektet at benytte den fastlagte metode samt viden om naturlige baggrundsværdier og tærskelværdier til vurdering af forekomsternes kemiske tilstand.

Miljøstyrelsen fastlagde, at der skulle udarbejdes en indledende kemisk tilstandsvurdering for stofferne klorid og ammonium, mens der alene skulle udarbejdes en redegørelse for stofferne sulfat, nitrit, fosfor, og ledningsevne.

Oversigt over leverancer knyttet til de enkelte projekter:

Projekterne har resulteret i en lang række leverancer, som forekommer i elektronisk form (regneark med data og filer med den benyttede kode) og en række skriftlige notater. Notater mm. udarbejdet i tilknytning til leverancerne kan alle findes i bilagene.

Sporstoffer

Leverance 1. Det såkaldte datakildenotat, redegør for opdelingen i datatyper og de forskellige datatypers repræsentativitet og karakteristika. Leverancen består af GEUS-notat 07-VA-2020-02, bilag 5.

Leverance 2. Indstilling til fastsættelse af nationalt gældende tærskelværdier for sporstoffer. Udarbejdet af Miljøstyrelsen og er angivet i projektets projektinitialiseringsdokument og Tabel 6.1 i denne rapport.

Leverance 3. Der er fastlagt naturlige baggrundsværdier, der repræsenterer den koncentration, hvorunder sporstofferne i grundvandet kun i et ubetydeligt omfang er påvirket af menneskelige aktiviteter. Leverancen er beskrevet i datakildenotatet, bilag 1.

Leverance 4A. Notat om kobling af indtag til grundvandsforekomsterne og anvendelsen af data fra regionerne. Notatet indgår også i vandplanprojekterne "Udvikling af metode til vurdering og gennemførelse af vurderinger af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand fsva pesticider – del 2" og "Metode til vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand fsva. MFS". Leverancen består af GEUS-notat 06-VA-20-01, bilag 6.

Leverance 4B. Samlet datagrundlag for den kemiske tilstandsvurdering af grundvandsforekomsterne. Miljøstyrelsen har udarbejdet et notat som et samlet notat for projekterne omhandlende MFS, pesticider og sporstoffer, bilag 7.

Leverance 5A. Dataudtræk af sporstoffer og metadata fra Jupiter. Etablering af rådatasæt og en række oversigter over antal indtag og grundvandsforekomster med sporstofanalyser for perioden 2013-2019. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-16, bilag 8.

Leverance 5B. Aggregering af data og oversigter over indtag med overskridelser af de nationalt gældende tærskelværdier, for de beregnede middelværdier af årlige middelværdier (MAM) på indtagsniveau. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-15, se bilag 9.

Leverance 5C. Rubricering af grundvandsforekomster i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier. Grundvandsforekomsterne rubriceres i grupperne: "Ukendt kemisk tilstand fsva sporstoffer", "god kemisk tilstand fsva sporstoffer" og "potentielt ringe tilstand fsva sporstoffer". Leverancen indgår i GEUS-notat 07-VA-2020-15, se bilag 9.

Leverance 6. Den maskinelle opdeling af grundvandsforekomster efter beslutningstræet (se kapitel 8.1), hvor de forekomstspecifikke tærskelværdier inddrages i rubricering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand fsva sporstoffer på indtagsniveau. Leverancen er beskrevet i bilag 10.

Leverance 7. Projektet afsluttes med nærværende rapport, der opsummerer projektets forudsætninger og hovedresultater.

Ekspertvurdering. I forbindelse med projektet "bidrag til tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for miljøfarlige forurenende stoffer uden primær anvendelse som pesticid samt for sporstoffer" er der udarbejdet en ekspertvurdering af indtag, hvor der er konstateret overskridelser af tærskelværdierne for en række konkrete sporstoffer, se kapitel 10 og bilag 11.

Salte

Leverance 1. Fordeling mellem metodisk tilstandsvurdering og redegørelse fsva ammonium, nitrit, fosfor, sulfat og klorid. Udarbejdet af Miljøstyrelsen og fremgår af projektinitieringsdokumentet.

Leverance 2. Udtræk af salte og støtteparametre fra Jupiter for perioden 2013-2019. Udtrækket er udført med samme procedurer som udtrækket i sporstofprojektet.

Leverance 3. Fastsættelse af grundvandsforekomst-specifikke tærskelværdier (naturlige baggrundsværdier) for klorid og ammonium. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-11, bilag 12.

Leverance 4. Dataaggregering og kvalitetssikring for klorid og ammonium, herunder beregninger af ionbytning og beskrivelse af metadata. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-12, bilag 13.

Leverance 5. Etablering af metode til maskinel konkret tilstandsvurdering på indtagsniveau, for ammonium og klorid, herunder anvendelse af forekomstspecifikke tærskelværdier. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-13, bilag 14.

Leverance 6. Rubricering af grundvandsforekomster i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier for klorid og ammonium. Grundvandsforekomsterne rubriceres i grupperne 'Ukendt' kemisk tilstand, 'God' kemisk tilstand og 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Leverancen er beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-13, bilag 14.

5. Tværgående dokumentation

Til brug i forbindelse med de forskellige projekter til vandplan 3, er der udarbejdet en række tværgående dokumenter, der beskriver procedurer og beslutningsgrundlag, der er gældende for leverancerne på tværs af projekterne.

I forbindelse med projektet omhandlende sporstoffer og salte, er der benyttet følgende tværgående notater:

- GEUS-notat 07-VA-2020-02: Datakilder i form af vandanalyser, der anvendes ved vurdering af grundvandets tilstand i forbindelse med vandområdeplanerne 2021-2027, bilag 5.
- GEUS-notat 06-VA-20-01: Revision af indtagkobling til grundvandsforekomster, bilag 6.
- Leverance 3, MST. Samlet datagrundlag for den kemiske tilstandsvurdering, bilag 7.

GEUS-notat 07-VA-2020-02, datakildenotatet, beskriver anvendeligheden af de vandkemiske data, som er tilgængelige i Jupiter til brug for vandområdeplanerne. Kilder og repræsentativitet for forskellige datatyper for de enkelte stoffer gennemgås ligesom afgrænsningen af udtrækket præsenteres. Udfordringerne ved tildelingen af én datatype for de enkelte indtag diskuteres, da et indtag kan have været anvendt til adskillige formål i løbet af den periode der udtrækkes data fra. Der er opstillet en anbefalet koblingsliste med et nærmere beskrevet hierarki. Afslutningsvis beskrives fravalg af data og analyseresultater, som ellers ville give anledning til fejl i data i de efterfølgende geokemiske vurderinger.

GEUS-notat 06-VA-20-01 beskriver revisionen af boringers indtagkobling i forhold til grundvandsforekomsterne, der er udført i forbindelse med den 3. vandplansperiode. Som forberedelse af tilstandsvurderingerne i denne vandplansperiode er der indlæst data fra regionerne fra perioden 2013-2019, der bidrager med viden om punktkildeforurening. Kun indtag der er filtersat i vandførende lag, er medtaget i revisionen. Da alle indtag skal kobles til et lag i DK-modellen, er der taget højde for modellens forsimplede repræsentation af virkeligheden, når det vurderes om indtag er placeret i et vandførende lag. Desuden er der taget højde for, at indberettede data kan være mangelfulde eller upræcise. Notatet beskriver en række valg, der er foretaget for at håndtere disse problemstillinger.

Miljøstyrelsens notat om datagrundlaget for VP3, "Kvalitetssikring af datagrundlag og aggregering af data ved vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for pesticider, sporstoffer, chlorid og øvrige miljøfarlige forurenende stoffer" ses i udkast fra 20. maj 2021 i bilag 7. Notatet indeholder en beskrivelse af det regelgrundlag, der fastlægger, hvorledes vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand skal gennemføres, og hvilken betydning disse regler har for afgrænsning og kvalitetssikring af datagrundlaget for vurdering og betydningen for den efterfølgende aggregering af analysedata i datagrundlaget. Notatet refererer i vidt omfang til andre dele af afrapporteringerne (herunder bilag) af vurderingerne af

grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for pesticider, sporstoffer og øvrige miljøfarlige forurenende stoffer (MFS).

6. Datagrundlag

For sporstoffer og salte er tilstandsvurderingen baseret på et dataudtræk fra Jupiter for 7 års perioden 1. jan. 2013 - 31. dec. 2019. De nærmere kriterier for dataudtrækket og aggregeringen af data fremgår af bilag 8 og 9. De naturlige baggrundsværdier blev fastlagt på baggrund af data fra perioden 2000-2018, med udgangspunkt i datatyperne GRUMO (grundvandsovervågning) og VF (vandforsyningsindtag, vandværkernes boringskontrol, BK) på baggrund af de standardiserede GRUMO-udtræk fra 2019 (Thorling mfl. 2019). Der forventes en lav påvirkningsgrad i disse to datatyper, se bilag 5, og den naturlige baggrundsværdi vil i højere grad være upåvirket af menneskelige aktiviteter end ved inddragelse af de øvrige datatyper.

Udvælgelse af stoffer til tilstandsvurdering

Miljøstyrelsen har ønsket, at følgende ni sporstoffer indgår i arbejdet med vandplanlægningen for planperioden 2021-2027

- Aluminium
- Arsen
- Bly
- Cadmium
- Krom
- Kobber
- Kviksølv
- Nikkel
- Zink

Af disse stoffer er arsen, bly, cadmium og kviksølv omfattet af grundvandsdirektivets bilag II (EU, 2006), der angiver hvilke stoffer, der skal vurderes i forbindelse med vandområdeplanerne.

Miljøstyrelsen har vurderet, at den nationalt gældende tærskelværdi for klorid vil blive fastholdt i den kommende vandplanlægning for planperiode 3 (2021-2027). For de øvrige salte i projektet, sulfat, nitrit, fosfor, og for ledningsevne, er der ønsket en redegørelse for stoffernes udbredelse og betydning i grundvandsforekomsterne. Behandlingen af ammonium er beskrevet i bilag 2.

Tabel 6.1 viser de udvalgte sporstoffer og salte med den tilknyttede nationalt gældende tærskelværdi.

Tabel 6.1 Nationalt gældende tærskelværdier for sporstoffer og salte, der indgår i tilstandsvurderingen til vandplan 3, som defineret i projektinitialiseringsdokumentet for sporstoffer og i bilag 3 for klorid. Stoffer omtalt i grundvandsdirektivet er vist med fed.

Tærskelværdier sporstoffer [$\mu\text{g/l}$]				
Aluminium	Arsen	Bly	Cadmium	Krom
100	5	1	0,5	25
Kobber	Kviksølv	Nikkel	Zink	
100	0,1	10	100	
Tærskelværdier salt [mg/l]				
Klorid				
250				

Aggregerede data, begrebet MAM

Data for sporstoffer fra perioden 2013-2019 er udtrukket af Jupiter d. 6. november 2020, og er efterfølgende klargjort og aggregeret, som detaljeret beskrevet i GEUS-notatet 07-VA-2020-15, se bilag 9.

Klargøring af data omfatter blandt andet, at data med uønsket høje detektionsgrænser fjernes, og at der ikke er anvendt ulovlige attributkoder. For sporstoffer er der derudover også behov for at sikre, at der er oplysninger om filtrering på stofniveau for alle prøver, specielt for GRUMO- og DEPOT-data (punktkildeforureninger), hvor prøvetagningen sker i borer, der henstår i lang tid mellem prøvetagningerne, da dette giver risiko for suspenderet stof i prøverne. Ved analyse for metaller tilsættes prøverne syre, der vil opløse metaller i det suspenderede stof. Dette vil medføre risiko for højere værdier i analyserne, end der reelt var opløst i grundvandet ud for indtaget (Thorling, 2017). Prøverne fra GRUMO var generelt filtreret efter de tekniske anvisninger gældende for grundvandsovervågningen, mens 10 % af data fra DEPOT-undersøgelser måtte frasorteres på grund af manglende filtrering (svarende til i alt 14.065 prøver).

For hvert indtag, der er tilknyttet en grundvandsforekomst, er der for hvert stof beregnet en stofs specifik MAM-værdi på baggrund af de kvalitetssikrede rådata. MAM er en betegnelse for middelværdien af de årlige middelværdier for et bestemt stof i et bestemt indtag. Det er denne MAM-værdi, der anvendes til den maskinelle beregning af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand. Hvis ét indtag i en grundvandsforekomst har en MAM-værdi, der overskrider den nationalt gældende tærskelværdi eller en for forekomsten gældende forekomstspecifik tærskelværdi, vurderes grundvandsforekomsten som værende i 'Potentielt Ringe' tilstand.

Der er efterfølgende lavet en ekspertvurdering af de indtag, hvor MAM-værdien for sporstoffer resulterer i vurderingen 'Potentielt Ringe' tilstand. Ekspertvurderingen omfatter en manuel vurdering af udvalgte enkelte indtag, se kapitel 10.

Data for salte fra perioden 2013-2019 er udtrukket af Jupiter d. 20. oktober 2020, og er efterfølgende klargjort og aggregeret, som detaljeret beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-12, se bilag 13.

7. Den konceptuelle forståelsesmodel

I dette kapitel beskrives den konceptuelle forståelsesmodel for forekomst af sporstoffer og salte i grundvand. Vi bruger betegnelsen "konceptuel forståelsesmodel" om en opsummering der inddrager den eksisterende viden om stofgrupperne og de fysiske-kemiske karakteristika af undergrunden. Viden om de væsentligste forureningskilder kan ligeledes inddrages. Den konceptuelle forståelsesmodel inkluderer viden om de enkelte stoffers forventede naturlige forekomst i grundvandsforekomsterne samt de væsentligste parametre, der har indvirkning på stoffernes koncentration og opløselighed i grundvand. Den konceptuelle forståelsesmodel ligger til grund for den maskinelle vurdering af grundvandsforekomstens tilstand, hvad angår sporstoffer og salte, samt den udførte ekspertvurdering, se EU-CIS Guidance document no. 18 (EU, 2009). Det nævnes derudover i EU-CIS Guidance document no. 26 (EU, 2010), at opstilling af en konceptuel forståelsesmodel ikke er en statisk proces. Der kan således være brug for iterative forløb, hvor for eksempel tilføjelse af nye data eller test af den konceptuelle forståelse ved datasammenstillingen har krævet en revurdering.

7.1 Baggrund for den konceptuelle forståelsesmodel

I medfør af grundvandsdirektivets artikel 4, stk. 2 litra b, vurderes en grundvandsforekomst for at være i 'God' kemisk tilstand, hvis der ikke er overskridelser af tærskelværdier eller grundvandskvalitetskrav i noget overvågningspunkt i forekomsten. Relevante tærskelværdier for sporstoffer og salte ses i Tabel 6.1.

I medfør af grundvandsdirektivets artikel 4, stk. 2, litra c, vurderes en grundvandsforekomst endvidere at være i god generel kemisk tilstand, uagtet at der er overskridelser af grundvandskvalitetskrav eller tærskelværdier i et eller flere overvågningspunkter, hvis det i en konkret undersøgelse af selve grundvandsforekomsten *"fastslås, at koncentrationerne af forurenende stoffer, der overskrider grundvandskvalitetskravene eller tærskelværdierne, ikke anses for at udgøre en væsentlig miljørisiko, idet der i relevant omfang tages hensyn til omfanget af den grundvandsforekomst, der berøres"* (EU, 2006). I medfør af direktivets artikel 4, stk. 2, litra c, jf. Bilag III *"foretager medlemsstaterne, hvor det er relevant og muligt, og på grundlag af passende aggregering af overvågningsresultaterne, eventuelt med udgangspunkt i skønnede koncentrationer baseret på en konceptuel model af grundvandsforekomsten eller gruppen af grundvandsforekomster, en vurdering af omfanget af den grundvandsforekomst, der har en årlig aritmetisk gennemsnitskoncentration af et forurenende stof, som ligger over grundvandskvalitetskravet eller en tærskelværdi"*.

Den endelige tilstandsvurdering af den kemiske tilstand for sporstoffer i forekomster i 'Potentielt Ringe' generel kemisk tilstand er gennemført af Miljøstyrelsen som en statistisk vurdering af summen af indtag med MAM-værdier over de fastlagte tærskelværdier versus det totale antal indtag i forekomsten, se bilag 16. Som forberedelse hertil er der udført en ekspertvurdering for udvalgte indtag og sporstoffer med overskridelse af tærskelværdierne, se kapitel 10 og bilag 11.

7.2 Naturlige baggrundsværdier for sporstoffer

Alle sporstoffer og salte, der indgår i denne rapport, forekommer naturligt i grundvandet, i koncentrationer, der stedvist overskrider niveauet for de nationalt gældende tærskelværdier, der forventes fastsat for vandplanlægningen for 3. planperiode (2021-2027). Da vurderingen af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand skal udtrykke konsekvenserne af eventuelle antropogene påvirkninger, er der behov for at skelne mellem naturlige koncentrationer og egentlige forureninger.

Til brug for den indledende maskinelle vurdering af grundvandsforekomsters kemiske tilstand for sporstoffer og salte skal der derfor fastlægges en naturlig baggrundsværdi for de enkelte stoffer. I de tilfælde, hvor den naturlige baggrundsværdi er højere end den nationalt gældende tærskelværdi for det specifikke stof, anvendes den beregnede naturlige baggrundsværdi som grundlag for at fastsætte forekomstsærlige tærskelværdier. På grund af den store variation i grundvandets kemiske sammensætning som følge af variationer i redoxforhold, pH og geologi fastsættes de naturlige baggrundsværdier med udgangspunkt i data om disse forhold, se afsnit 7.2.1.

Den naturlige baggrundsværdi beregnes på basis af data fra indtag fra grundvandsovervågningen (GRUMO) og vandforsyningsboringer (VF) for perioden 2000-2018, idet der forventes en lav påvirkningsgrad fra forurening med de relevante stoffer for disse to datatyper, se bilag 5. Hermed fravælges samtidig datatyper med kendt risiko for forurening, og resultatet vil derfor i højere grad afspejle en naturlig baggrundsværdi, der er upåvirket af forurening.

Den naturlige baggrundsværdi er i arbejdet med projekterne i Vandplan 3 den beregnede MAM-værdi i 90 % fraktilen af indtagene, på baggrund af anbefaling fra EU-CIS Guidance document no. 18 (EU, 2009). Forekomstsærlige tærskelværdier fastsættes i dette projekt kun på baggrund af naturlige baggrundsværdier, der er baseret på data fra mere end 20 indtag.

Når 90% fraktilen benyttes til fastlæggelsen af den naturlige baggrundsværdi betyder det, at op til 10% af de uforurenede indtag har koncentrationer, der ligger over den naturlige baggrundsværdi, skønt de kan forventes at repræsentere en naturlig koncentration, der er knyttet til særlige lokale forhold. Derfor er det nødvendigt med en konkret vurdering af indtag, hvor MAM-værdierne er højere end den naturlige baggrundsværdi, for at vurdere den faktiske tilstand af grundvandsforekomsten og eventuel forurening.

Det er muligt at beregne de naturlige baggrundsværdier på flere måder og en sammenligning af 3 metoder findes i (Voutchkova mfl., 2021). For datasæt med mere end 60 datapunkter i en grundvandsforekomst og med data i god kvalitet foreslås det at benytte 97% fraktilen til beregning af den naturlige baggrundsværdi (Hinsby mfl., 2008).

Nationalt gældende tærskelværdier og forekomstsærlige tærskelværdier

Som konsekvens af stoffernes naturlige variationer i grundvandet anvendes der to typer tærskelværdier til den indledende vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand.

Der er anvendt de nationalt gældende tærskelværdier samt de forekomstspezifiske tærskelværdier, der forventes fastsat for vandplanlægningen for 3. planperiode (2021-2027). Disse fremgår i nærværende rapport af Tabel 6.1.

Forekomstspezifiske tærskelværdier er kun angivet, hvis de beregnede naturlige baggrundsværdier er baseret på data fra mindst 20 indtag. Forekomstspezifiske tærskelværdier anvendes i de relevante forekomster, hvor der optræder indtag, der falder i de geokemiske klasser som tærskelværdierne gælder for.

Oprunding af naturlige baggrundsværdier

For at tage højde for den usikkerhed, der knytter sig til såvel selve analyseresultaterne som til beregningen af den naturlige baggrundsværdi, oprundes de beregnede værdier for den naturlige baggrundsværdi.

GEUS vurderer, at usikkerheden på de beregnede naturlige baggrundsværdier er på 20-30 %. Dette er vurderet på baggrund af, at der forventes en måleusikkerhed på 20 % på alle sporstoffer (Analyse kvalitetsbekendtgørelsen, 2020). Samtidig er der en usikkerhed på fastsættelsen af den naturlige baggrundsværdi, som skyldes den store naturlige spredning for koncentrationerne i grundvandsforekomsterne, se for eksempel Figur 7.2.

På baggrund af denne usikkerhed blev det besluttet af Miljøstyrelsen og GEUS i fællesskab at benytte den oprunding af værdierne, som fremgår af Tabel 7.1 ved fastsættelse af de forekomstspezifiske tærskelværdier.

Tabel 7.1 Oprunding af naturlige baggrundsværdier i vandplan 3-projekterne omhandlende sporstoffer og salte. Oprundingsmetoden er besluttet i fællesskab mellem GEUS og Miljøstyrelsen.

Interval	Oprunding til
0,75-1	1
1-1,5	1,5
1,5-2	2
2-2,5	2,5
2,5-3	3
3-4	4
4-5	5
5-7,5	7,5
8-10	10

Geologiske og geografiske parametre

Den geologiske sammensætning af grundvandsforekomsterne har betydning for det naturlige indhold af uorganiske sporstoffer, idet koncentrationerne i grundvandet afspejler et samspil mellem kildebjergarterne og de processer, der bestemmer opløseligheden af sporstofferne. Den store variation i naturlige koncentrationsniveauer, der optræder i de danske grundvandsforekomster, hænger således sammen med de store variationer i geologi og geokemiske forhold som pH og redoxforhold.

Variationer i den naturlige baggrundsværdi er beskrevet med udgangspunkt i DK-modellens geologiske lag, der til vandplanerne er grupperet i fire hovedgrupper, kvartære- og prækvartære sandlag, kalk og lag på Bornholm. Det blev derudover besluttet at opdele Danmark i fire geografiske hovedområder, Jylland, Fyn, Sjælland og Bornholm for i tilstrækkelig grad at tilgodese lokale forhold.

Geokemiske parametre, konceptuel forståelse

Ud over kildebjergarten spiller en række kemiske parametre, herunder reaktive overflader i fx lerminerale og jernoxider en vigtig rolle for opløseligheden og transport af sporstoffer i grundvandet. De mineralogiske og kemiske egenskaber betydning for de uorganiske sporstoffers koncentrationsniveauer er sammenstillet i Tabel 7.2.

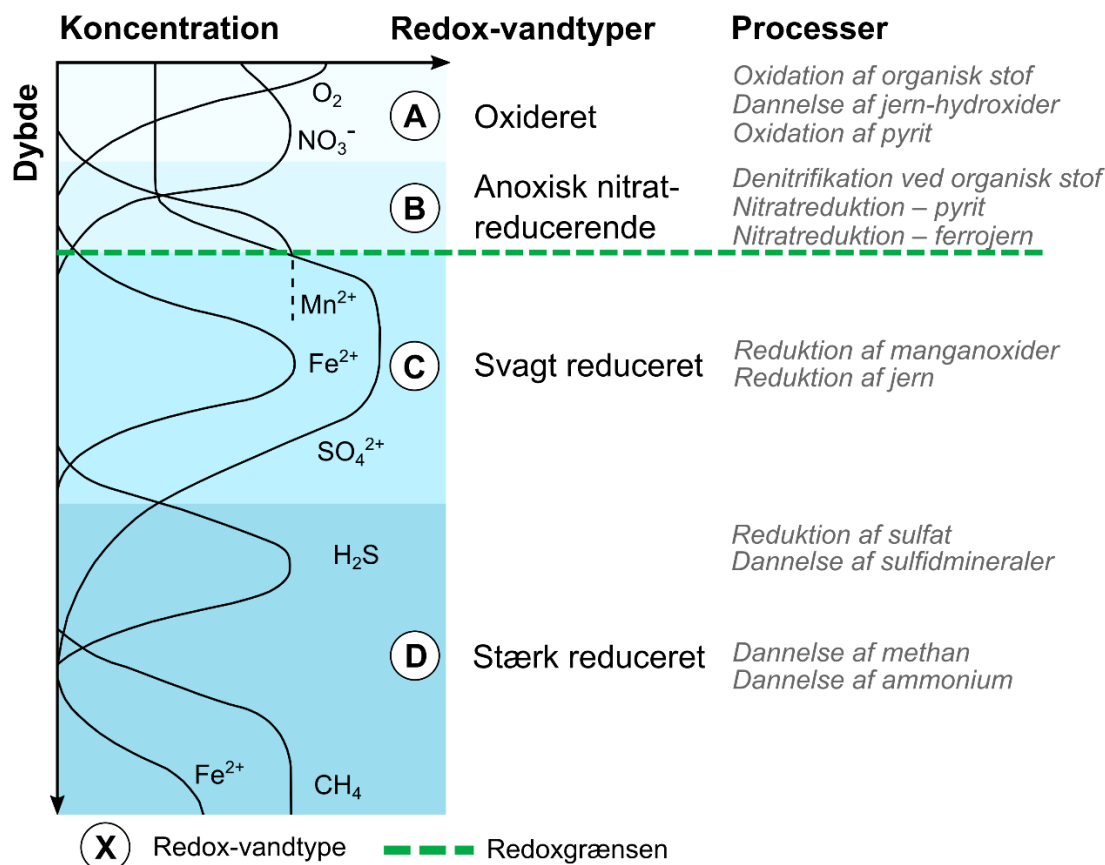
En uddybende redegørelse for de væsentligste geologiske og geokemiske parametre, der er bestemmende for sporstoffernes udbredelse i grundvandsforekomsterne og dermed for den naturlige baggrundsværdi, fremgår af bilag 1.

Tabel 7.2 De mineralogiske og geokemiske parametre, som har størst betydning for indholdet af sporstoffer i grundvandsforekomsterne, se også bilag 1.

Sporstof	Lerminerale	Organisk stof	Fe- og Mn - oxid/hydroxid	pH	Redox
Aluminium (Al)				X	
Arsen (As)	X	X	X		X
Bly (Pb)	X	X	X		
Cadmium (Cd)	X	X		X	
Kobber (Cu)		X	X	X	X
Krom (Cr)	X		X		X
Kviksølv (Hg)		X			
Nikkel (Ni)	X	X	X	X	X
Zink (Zn)	X	X	X	X	

Figur 7.1, viser, hvordan redox-forholdene kan karakteriseres ud fra en række opløste stoffer, der indgår i grundvandskemiske analyser for de fleste indtag, såsom nitrat, jern og sulfat. Det er derfor muligt på indtagniveau at karakterisere redoxforholdene.

For både pH og redoxforhold gælder, at der inden for samme grundvandsforekomst vil være indtag med meget forskellige kemiske forhold, idet afgrænsningen af grundvandsforekomsterne ikke tager hensyn til forureningsfronter og redoxfronter. På samme måde vil også indholdet af opløst organisk stof kunne variere betydeligt inden for samme grundvandsforekomst.



Figur 7.1 Principskitse med redox-tilstand, redox-følsomme opløste stoffer i grundvandet samt tilhørende processer. (Modifieret fra Voutchkova mfl., 2021; Hansen, mfl., 2018; Appelo & Postma, 2005).

Fastlæggelse af geokemiske og geologiske/geografiske klassificeringer

Der blev lavet en indledende analyse af, hvordan man mest hensigtsmæssigt kunne opdele grundvandsforekomsterne i forhold til at fastlægge de naturlige baggrundsværdier. Her blev alle parametre, som kan have indflydelse, afprøvet i forhold til at give en operationel klassificering.

Analysen blev præsenteret for Miljøstyrelsen på en workshop afholdt d. 5. maj 2020, hvorefter de endelige kriterier for udarbejdelse af baggrundsværdierne blev fastlagt. Det blev besluttet at benytte nitrat som proxy for redoxforholdene, så der kunne opdeles i oxideret og reduceret tilstand for de enkelte indtag. Nitrat giver en bedre geografisk dækning end ilt, og samtidig er nitratmålinger mere robuste over for prøvetagningsfejl. Endelig er jernoxiderne i højere grad afhængige af om nitrat er reduceret, og optræder derfor også i de iltfrie nitratholdige lag.

Resultaterne af de første beregninger på stofniveau blev også gennemgået på mødet 5. maj 2020, og herefter blev det endelige arbejde med de naturlige baggrundsværdier fokuseret yderligere ved at designe individuelle geokemipakker for de enkelte sporstoffer. Ved at fokusere på de enkelte sporstoffers afhængighed af specifikke parametre, og udelade de parametre, som ikke har stor betydning for stoffets mobilitet i grundvandsmagasinerne, var det

muligt at optimere antallet af indtag i de forskellige geokemiske klasser og på den måde skabe et bedre datagrundlag for den videre vurdering.

De udvalgte parametre i forhold til geografisk og geokemisk vurdering af grundvandsforekomsterne samt de benyttede afskæringsværdier ses i Tabel 7.3.

Tabel 7.3 Udvalgte geografiske og geokemiske parametre benyttet til fastlæggelse af de naturlige baggrundsværdier med tilhørende afskæringsværdier.

Parameter	Klassificeringer
Geografi	Jylland, Fyn, Sjælland, Bornholm, mindre øer i samme pulje
Geologi i grundvandsmagasin	prækvartær sand (ps), kvartær sand (ks), kalkbjergarter (kalk), blandede bjergarter på Bornholm (uu)
NVOC	≤ 3 mg/l & > 3mg/l
pH	≤ 6 & > 6
Nitrat (redox)	≤ 2 mg/l & > 2mg/l

Udvælgelsen af specifikke geokemiske parametre til brug for beregning af naturlige baggrundsværdier for de enkelte sporstoffer ses i Tabel 7.4.

Tabel 7.4 Endelig sammensætning af specifikke geokemiske parametre for de enkelte sporstoffer til fastlæggelse af de naturlige baggrundsværdier.

Sporstof	NOVC	pH	Redox (NO3)
Aluminium (Al)		X	
Arsen (As)		X	X
Bly (Pb)			X
Cadmium (Cd)		X	X
Kobber (Cu)		X	X
Krom (total) (Cr)			X
Kviksølv (Hg)	X		
Nikkel (Ni)		X	X
Zink (Zn)		X	X

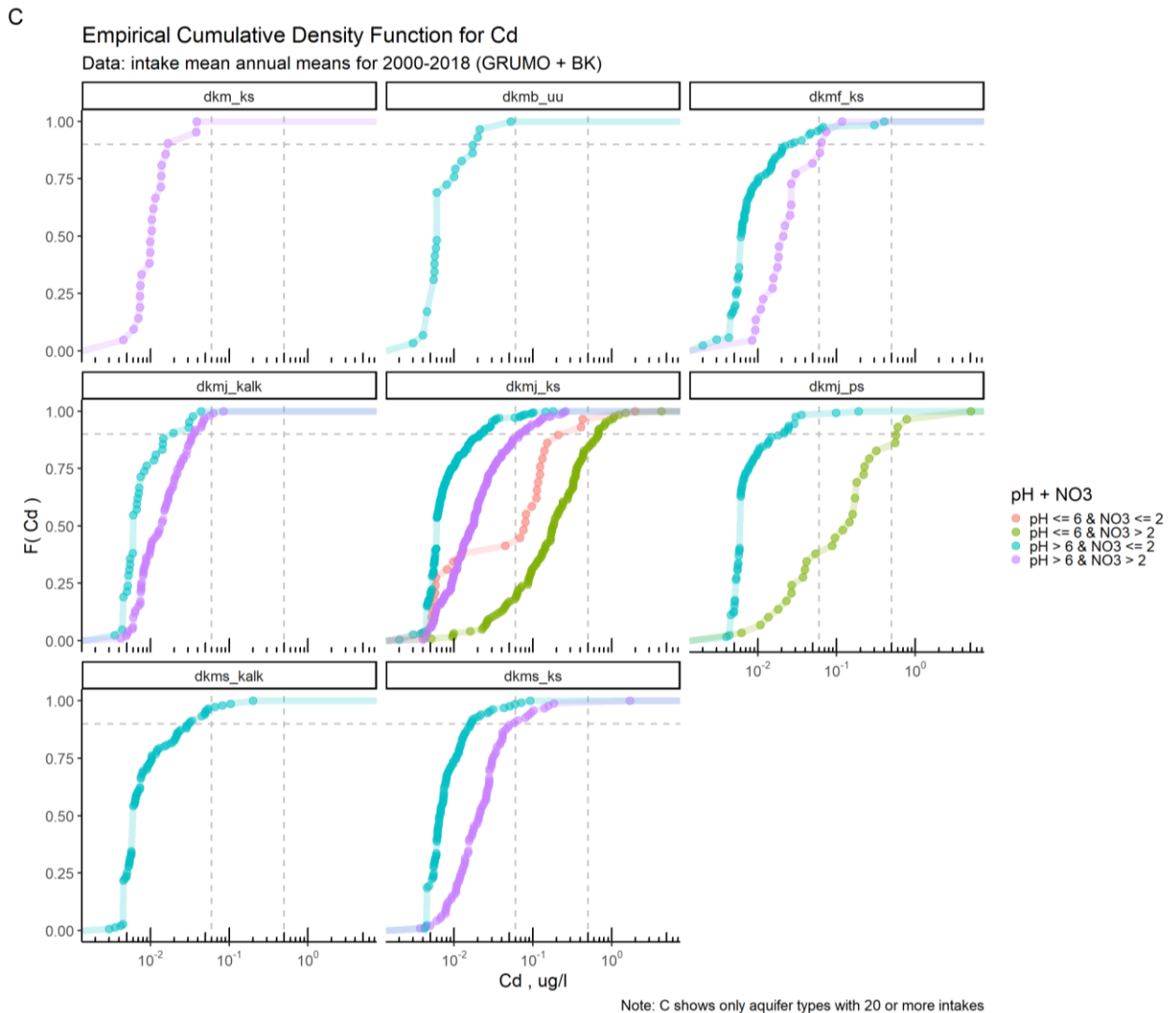
Fordelingskurver

Figur 7.2 viser fordelingskurver for det overvejende naturlige indhold i grundvandet for cadmium på baggrund af MAM-værdier for datatyperne GRUMO og VF. Fordelingskurverne er beregnet for de geokemiske grundvandsforekomstklasser underopdelt på geografi og lagtyper.

Fordelingskurverne anvendes til at fastlægge den naturlige baggrundsværdi for hver af de geokemiske klasser for de enkelte sporstoffer. Figur 7.2 viser også, hvordan koncentrationerne fordeler sig for de 10 % af indtagene, der overskrider den fastlagte naturlige baggrundsværdi (90% fraktilen). Kurveforløbet giver et indblik i repræsentativiteten og variationen af den naturlige baggrundsværdi, for hver type og på tværs af disse. Bemærk, hvor mange dekader koncentrationerne typisk fordeler sig over.

Fordelingskurver for de øvrige sporstoffer ses i bilag 1.

Efter samme principper som anvendt til Figur 7.2, er der lavet fordelingskurver, som viser variationerne i den naturlige baggrundsværdi, hvor der alene tages højde for de geografiske og geologiske klasser, se bilag 1.



Figur 7.2 Fordelingskurver for koncentrationen for cadmium på baggrund af MAM-værdier for datatyperne GRUMO (grundvandsovervågning) og VF (vandforsyningsboringer, benævnt BK i figuren for vandværkernes boringskontrol) for perioden (2000-2018). Fordelingskurverne er beregnet for de enkelte geokemiske grundvandsforekomstklasser opdelt efter geologi og geografi, se Tabel 7.3. Den naturlige baggrundsværdi er fastsat som 90 % fraktile, angivet med en stiple vandret streg. Fordelingskurver for de øvrige sporstoffer ses i bilag 1.

7.3 Forekomstspecifikke tærskelværdier

De naturlige baggrundsværdier for såvel de geografiske/geologiske grundvandsforekomstklasser som de geokemiske underklasser, blev efterfølgende anvendt til at fastlægge forekomstspecifikke tærskelværdier, som et supplement til de nationalt gældende tærskelværdier, se Tabel 7.5. Kun i de tilfælde, hvor de naturlige baggrundsværdier for et givet stof er

højere end de nationalt gældende tærskelværdier, anvendes de naturlige baggrundsværdier til at fastlægge en forekomstspecifik tærskelværdi.

Bemærk, at der inden for samme grundvandsforekomst kan optræde indtag med eksempelvis både høje og lave pH. Dette betyder eksempelvis for aluminium, at der inden for samme grundvandsforekomst gælder en forekomstspecifik tærskelværdi baseret på den naturlige baggrundsværdi på 1000 µg/l for indtag med lav pH (dkmj_ks & pH < 6), mens den nationalt gældende tærskelværdi på 100 µg/l gælder for indtag med høj pH. Hvis der for et indtag ikke er oplysninger om redoxforhold eller pH anvendes de geologiske/geografiske tærskelværdier¹.

¹ Der viste sig i analysen at være et fåtal af indtag i grundvandsforekomster, der blev vurderet efter de geologiske/geografiske tærskelværdier, og Miljøstyrelsen valgte efterfølgende ikke at tage dem i anvendelse, men alene benytte nationalt gældende tærskelværdier samt forekomstspecifikke tærskelværdier baseret på geografi, geologi & geokemi, se nærmere i bilag 16.

Tabel 7.5 Nationalt gældende tærskelværdier og udkast til forekomstspecifikke tærskelværdier for sporstoffer. De forekomstspecifikke tærskelværdier er opdelt i henholdsvis geografi-geologi og geografi-geologi-geokemi. Bemærk, der er kun fastlagt forekomstspecifikke tærskelværdier, hvis disse kan baseres på data fra mindst 20 indtag.

Uorganisk sporstof	Nationalt gældende tærskelværdi (µg/L)	Udkast til forekomstspecifik tærskelværdi (µg/L)	
		Geografi & geologi ¹	Geografi, geologi & geokemi
Aluminium (Al)	100		
dkmj_ks		150	
dkmj_ks & pH ≤ 6			1000
Arsen (As)	5		
dkmf_kalk		7,5	
dkmf_ks		15	
dkmj_ks			
dkms_ks		10	
dkmf_kalk pH > 6 & NO ₃ ≤ 2			7,5
dkmf_ks pH > 6 & NO ₃ ≤ 2			15
dkmj_ks pH > 6 & NO ₃ ≤ 2			7,5
dkms_ks pH > 6 & NO ₃ ≤ 2			15
Bly (Pb)	1		
Cadmium (Cd)	0,5		
dkmj_ks pH ≤ 6 & NO ₃ >2			0,75
Krom	25		
Kobber	100		
Kviksølv (Hg)	0,1		
Nikkel (Ni)	10		
dkmj_ks pH ≤ 6 & NO ₃ >2			30
Zink (Zn)	100		

Det viste sig i den konkrete tilstandsvurdering, at det langt overvejende er de nationalt gældende tærskelværdier og de geokemisk baserede forekomstspecifikke tærskelværdier der kom i anvendelse. Dette kan forklares ved:

- At hovedparten af de indtag, der overskred de nationalt gældende tærskelværdier lå i grundvandsforekomster, hvor der kunne knyttes en geokemisk forekomstspecifik tærskelværdi og, at disse indtag samtidig havde tilstrækkeligt med kemiske data, til at de geokemiske forekomstspecifikke tærskelværdier

kunne tages i brug. Dette betød omvendt, at der i mange tilfælde ikke var behov for de geografiske/geologiske baserede tærskelværdier.

- At en del indtag med overskridelser af de nationalt gældende tærskelværdier, lå i grundvandsforekomster, hvor de relevante beregnede naturlige baggrundsværdier var baseret på så få indtag, at der ikke kunne fastlægges en forekomstspecifik tærskelværdi.

For de grundvandsforekomstklasser, hvor der er fastlagt forekomstspecifikke tærskelværdier, er der udarbejdet oversigtskort, der viser den geografiske fordeling af de indtag, med angivelse af MAM-værdier, der danner grundlag for fastlæggelsen af de naturlige baggrundsværdier, se bilag 15.

Klorid

For klorid er der ikke fundet naturlige baggrundsværdier i nogen af grundvandsforekomstklasserne, der er højere end den nationale tærskelværdi på 250 mg/l, hvorfor den nationale tærskelværdi fastholdes for alle grundvandsforekomster.

Den naturlige tilstedeværelse af klorid i grundvandsforekomsterne er nærmere diskuteret i GEUS-notat 07-VA-2020-14, bilag 3. Nedenfor er givet et mindre uddrag af notatet.

"...Klorid forekommer naturligt i de danske grundvandsmagasiner. Naturlige koncentrationer over 250 mg/l stammer typisk fra marint infiltrationsvand eller marint residualvand. Marint infiltrationsvand findes udelukkende få hundrede meter fra kysten, hvor havvand kan strømme ind i magasinerne. Marint residualvand findes i store dele af landet, hvor tidligere marine sedimenter ses i undergrunden. Saltvand fra porerne i disse sedimenter kan diffundere til ferske magasiner med en overgangs-zone på flere hundrede meter. Indvinding fra lag som påvirker trykniveauet i magasiner med salt residualvand vil kunne påvirke strømmingen af saltvand mod indvindingsboringen (Kristiansen mfl., 2009).

I forhold til at vurdere den kemiske tilstand for klorid i GVF er det derfor nødvendigt at tage højde for placeringen af GVF i forhold til lag med marint residualvand, specielt i de dybere lag. Det samme gør sig gældende for de kystnære områder, hvor der kan være indtrængning af marint infiltrationsvand i varierende dybde. Ligeledes bør det undersøges, om der finder indvinding sted, som kan influere på saltvandsgrænsen i en GVF..."

Specielt for nikkel

Indvinding af vand og sænkning af vandspejlet kan medføre ændringer i redox-forholdene i grundvandsmagasinerne. Dette kan resultere i mobilisering af nikkel (Henriksen mfl., 2021), og der kan derfor ses et forhøjet indhold af nikkel i områder med stor vandindvinding som resultat af iltning af tidligere vandmættede reducerede lag ved vandspejlssænkning.

Nikkelanalyser fra GRUMO og vandforsyningsboringer fra områder med væsentlig grundvandssænkning er derfor uegnede til at fastsætte en naturlig baggrundsværdi. Dette er særligt en problemstilling i kalkforekomsterne Hovedstadsområdet, hvor grundvandssænkningen medfører forhøjede nikkelværdier i datatyperne GRUMO og VF. Derfor benyttes kalken i Nordjylland som model for upåvirkede kalkforekomster i hovedstadsområdet. Det resulterer i, at den naturligt forekommende koncentration af nikkel ligger under den nationalt gældende tærskelværdi og der er derfor ikke behov for at udpege en forekomstspecifik tærskelværdi. Mobilisering af nikkel i kalkmagasiner er beskrevet i Kjølner mfl., (2006).

8. Principper for tilstandsvurderingen for sporstoffer og salte.

Dette kapitel redegør for de grundlæggende metodiske principper for tilstandsvurdering. Dvs. hvordan den generelle konceptuelle forståelse, beskrevet i kapitel 7, udmøntes i tilstandsvurderingerne.

8.1 Maskinel tilstandsvurdering ved et beslutningstræ

Baseret på beslutningstræet vist i Figur 8.1 (sporstoffer) og Figur 8.2 (salte), blev alle 2.050 grundvandsforekomster maskinelt sorteret og tildelt de indledende maskinelle tilstandsvurderinger. Som nærmere beskrevet i GEUS-notat 07-VA-2020-15, bilag 9, og GEUS-notat 07-VA-2020-13, bilag 14, resulterede den indledende maskinelle tilstandsvurdering i hhv. 'Ukendt' kemisk tilstand, 'God' kemisk tilstand eller 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

Principperne for den indledende maskinelle vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand samt beslutningstræets anvendelse gennemgås herunder.

Datagrundlaget for tilstandsvurderingerne er beskrevet i kapitel 6, sammen med dataforberedelsen og dataaggregeringen, herunder ikke mindst etableringen af MAM-værdier (middel af årlige middelværdier) for alle relevante stoffer på indtagsniveau. Data dækker perioden 2013-2019, se bilag 9 og 13. Det aggregerede datasæt er benyttet i den efterfølgende data-behandling.

8.1.1 Sporstoffer

For de enkelte sporstoffer er der fastsat nationalt gældende tærskelværdier og forekomstspecifikke tærskelværdier som vist i Tabel 7.5. En grundvandsforekomst klassificeres som værende i 'God' kemisk tilstand når MAM-værdierne i alle indtag i grundvandsforekomsten ikke overskrider den nationalt gældende tærskelværdi eller en relevant forekomstspecifik tærskelværdi.

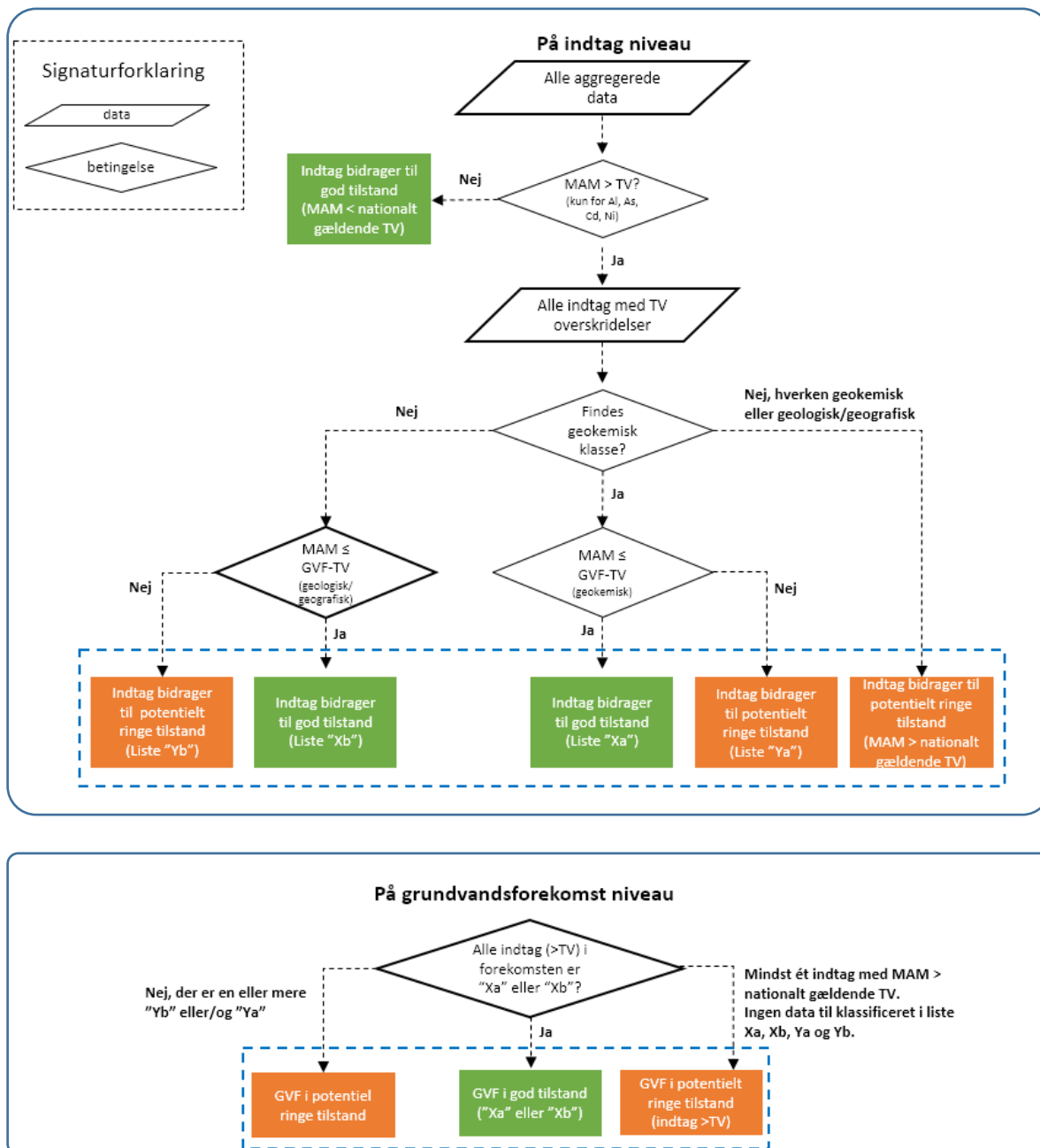
Beslutningstræets opbygning betyder, at den maskinelle vurdering af grundvandsforekomster har et forløb som en tragtanalyse.

Alle indtag vurderes indledningsvist, og indtag med MAM-værdier under nationalt gældende tærskelværdi tilskrives 'God' kemisk tilstand.

For de indtag, der overskrider den nationalt gældende tærskelværdi undersøges efterfølgende om der findes udpegede forekomstspecifikke tærskelværdier gældende for de enkelte indtag. Hvis de udpegede forekomstspecifikke tærskelværdier tages i anvendelse tilskrives indtaget 'God' kemisk tilstand, når MAM-værdien er under den forekomstspecifikke tærskelværdi og 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, når MAM-værdien er over den forekomstspecifikke tærskelværdi.

Indtag med MAM-værdier der overskrider en nationalt gældende tærskelværdi bidrager til klassifikationen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

Processen er illustreret på Figur 8.1 øverst. Efterfølgende tilstandsvurderes på forekomst niveau, som illustreret på Figur 8.1 nederst.



Figur 8.1 Beslutningstræ til brug ved den maskinelle tildeling af kemiske tilstand for sporstoffer. Øverst vises proceduren for vurdering af de indtag, som overskrider de nationalt gældende tærskelværdier (TV) eller de forekomstspecifikke tærskelværdier (GVF-TV). Nederst tildeling af maskinel tilstand på grundvandsforekomstniveau, se også bilag 9 og 10. Bemærk, et indtag kan ikke som sådan være i god eller ringe tilstand, den øverste del af figuren viser blot, hvilken tilstand det enkelte indtag bidrager til. Proceduren er udarbejdet i fællesskab mellem GEUS og Miljøstyrelsen.

Procedure ved overskridelse af nationalt gældende tærskelværdi

Indtag med en MAM-værdi, der overskrider den nationalt gældende tærskelværdi, bidrager til 'God' tilstand, hvis MAM-værdien samtidig ikke overskrider de forekomstspecifikke tærskelværdier. Derfor blev det i et næste trin undersøgt om, der eksisterer sådanne i den tilknyttede grundvandsforekomst, se Tabel 7.5 og Figur 8.1. Der var tre muligheder.

1. Det blev først undersøgt om der forelå analyser for de relevante kemiske parametre til en vurdering i forhold til forekomstspecifikke tærskelværdier baseret på de geokemiske klasser. I givet fald blev indtagene vurderet som bidragende til klassifikation af grundvandsforekomsterne som enten værende i 'God' kemisk tilstand, liste X_a, eller i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, liste Y_a.

For de indtag, hvor der ikke var analyser af de relevante kemiske parametre til vurdering i forhold til de geokemiske klasser, blev det i stedet undersøgt, om indtaget tilhørte en geografisk/geologisk klasse, hvor der var foreslået en forekomstspecifik tærskelværdi.

2. I de tilfælde hvor MAM-værdien ikke overskred den forekomstspecifikke tærskelværdi for de geografiske/geologiske klasser, blev indtaget klassificeret som bidragende til grundvandsforekomster i 'God' kemisk tilstand, liste X_b. Hvis MAM-værdien for indtaget overskred den forekomstspecifikke tærskelværdi for de geografiske/geologiske klasser, bidrager indtaget til klassifikation af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, liste Y_b.
3. Indtag som ikke opfyldte kriterierne for vurdering efter de forekomstspecifikke tærskelværdier (de geokemiske klasser eller de geografiske/geologiske klasser) bidrager til klassifikation af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, se Figur 8.1.

Det resulterende antal af indtag i de forskellige lister ses i Tabel 8.1.

Tabel 8.1 Antal indtag klassificeret efter nationalt gældende tærskelværdier (TV). Indtag, hvor MAM-værdien overskrider TV vurderes efterfølgende i forhold til forekomsts specifikke tærskelværdier (GVF-TV) i hht. geokemiske og geografiske klasser for aluminium, arsen, cadmium og nikkel. Liste X_a: 'God' kemisk tilstand; Liste X_b: 'God' kemisk tilstand; Liste Y_a: 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand; Liste Y_b: 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

Antal indtag	Aluminium	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Nationalt gældende TV									
Antal indtag under nationalt gældende TV	2.041	7.773	1.882	1.797	2.240	842	186	8.681	2.350
Antal indtag over den nationalt gældende TV	128	960	82	30	6	6	6	480	108
Forekomsts specifikke TV									
Antal indtag under GVF-TV (liste X _a , geokemisk)	65	455		9				52	
Antal indtag under GVF-TV (liste X _b , geografisk)	1	1		0				0	
Antal indtag over GVF-TV (liste Y _a , geokemisk)	12	243		7				16	
Antal indtag over GVF-TV (liste Y _b , geografisk)	0	1		0				0	
Antal indtag over nationalt gældende TV uden data til vurdering i forhold til GVF-TV	50	260		14				412	
Samlede antal indtag under TV og/eller GVF-TV									
Samlede antal indtag under TV og/eller GVF-TV	2.107	8.229	1.882	1.806	2.240	842	186	8.733	2.350
Samlede antal indtag over TV og/eller GVF-TV	62	504	82	21	6	6	6	428	108

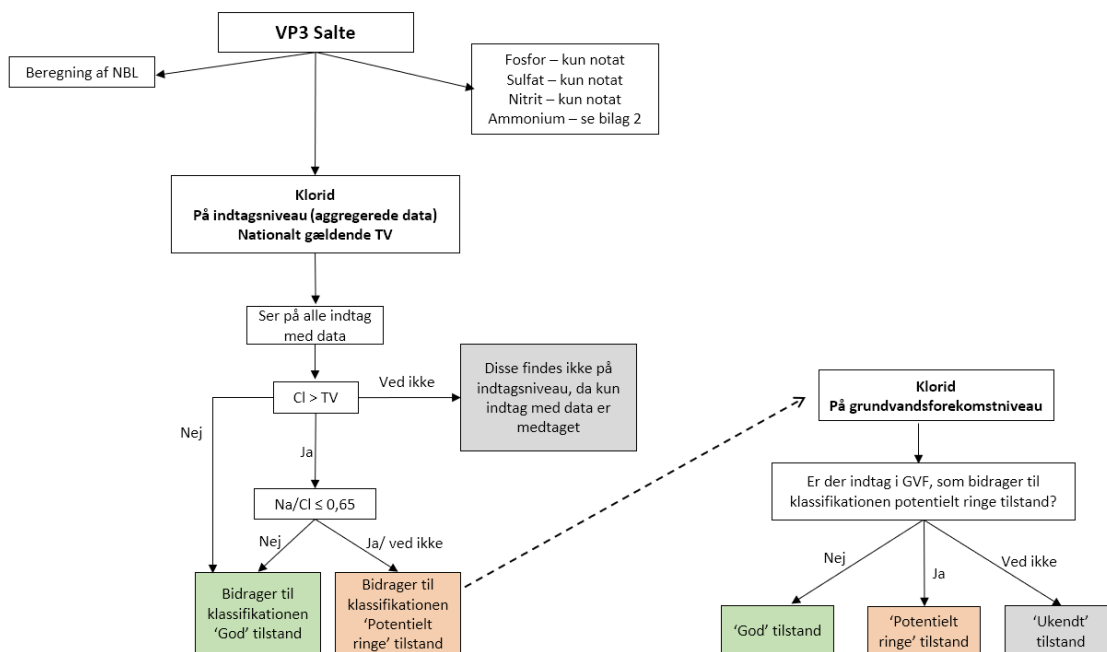
Forekomsts specifikke tærskelværdier for sporstoffer for de geokemiske klasser og geografiske klasser ses i Tabel 7.5, kapitel 7.2.

På baggrund af ovenstående analyse blev grundvandsforekomsterne, hvor MAM-værdien overskred den nationalt gældende tærskelværdi, herefter tildelt klassificeringen 'God' kemisk tilstand, hvis alle indtag i grundvandsforekomsten var klassificeret enten i liste X_a eller X_b. Hvis ét eller flere indtag i en grundvandsforekomst var klassificeret som enten liste Y_a, Y_b eller indgik i listen med de resterende indtag (> national TV), blev grundvandsforekomsten klassificeret som 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Klassifikationen af grundvandsforekomsterne er gennemgået i kapitel 8.2.

Indtag, hvor MAM-værdien overskred tærskelværdierne blev efterfølgende underkastet en ekspertvurdering i forhold til at vurdere, om overskridelsen af tærskelværdierne kunne skyldes naturlige forhold og ikke forurening, se kapitel 10.

8.1.2 Salte

Figur 8.2 viser beslutningstræet for tilstandsvurderingen i salte-projektet. Det er udarbejdet efter samme principper som beslutningstræet for sporstoffer, hvor MAM-værdier for de enkelte indtag evalueres i forhold til de nationale og forekomsts specifikke tærskelværdier. Beslutningstræet er anvendt for klorid-indtag, og der foretages en indledende maskinel tilstandsvurdering på baggrund af overskridelser i forhold til den nationalt gældende tærskelværdi før der tildes klassifikationen 'God' kemisk tilstand eller 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Alle naturlige baggrundsværdier for klorid var mindre end den nationalt gældende tærskelværdi, og derfor er der ingen forekomsts specifikke tærskelværdier for klorid, se kapitel 7.3.



Figur 8.2 Beslutningstræ udarbejdet i fællesskab mellem GEUS og Miljøstyrelsen til brug ved den maskinelle tildeling af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for salte.

8.2 Eksempler på maskinel tilstandsvurdering, sporstoffer

Til gennemgang af metoden bag den maskinelle tilstandsvurdering gives her 2 eksempler på tilstandsvurderingen for sporstoffer.

Grundvandsforekomst i god kemisk tilstand

Som eksempel på en grundvandsforekomst i god tilstand præsenteres dkmf_1304_ks. Grundvandsforekomsten er et kvartært magasin beliggende på Fyn, og har et volumen på

ca. 3 km³. Der er data for sporstofferne aluminium (7 indtag), arsen (13 indtag), bly (2 indtag), nikkel (24 indtag) og zink (2 indtag).

Data er først aggregeret og sorteret efter metoden beskrevet i bilag 9, og MAM-værdien for de enkelte stoffer er beregnet. Herefter er indtagene vurderet i forhold til den nationalt gældende tærskelværdi, se Tabel 7.5.

Resultatet af den maskinelle tildeling af tilstandsvurdering på indtagsniveau ses i Tabel 8.2.

Tabel 8.2 Eksempel på den maskinelle tilstandsvurdering på indtagsniveau for grundvandsforekomst dkmf_1304_ks. MAM-værdi vurderes i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier (TV) og de forekomsts specifikke tærskelværdier (GVF-TV). Grøn: Indtagene bidrager til klassifikationen 'God' kemisk tilstand, Orange: Indtagene bidrager til klassifikationen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

dkmf_1304_ks	Aluminium	Arsen	Bly	Nikkel	Zink
Antal indtag i alt	7	24	2	24	2
Nationalt gældende TV					
Antal indtag under nationalt gældende TV	7	11	2	24	2
Antal indtag over den nationalt gældende TV	0	13	0	0	0
Forekomsts specifikke TV					
Antal indtag under GVF-TV (X _a og X _b)		13			
Antal indtag over GVF-TV (Y _a & Y _b)		0			
Resultat af indledende maskinelle status/antal indtag over relevant TV.					
	0	0	0	0	0
Samlet stofs specifik status for GVF					
	God	God	God	God	God

Da grundvandsforekomsten har 13 indtag, hvor MAM-værdien overskrider den nationalt gældende tærskelværdi for arsen på 5 µg/l, undersøges i næste trin om indtagene opfylder kriterierne for de forekomsts specifikke tærskelværdier for arsen.

Den forekomsts specifikke tærskelværdi for arsen i grundvandsforekomster af typen tilhørende dkmf_ks (kvartært sandmagasin på Fyn som i dette eksempel) er udpeget for den geokemiske klasse hvor pH > 6 og NO₃ ≤ 2 (reduceret neutralt vand).

Da alle MAM-værdier fra de 13 indtag har en koncentration, der er lavere end den forekomstspecifikke tærskelværdi for arsen på 15 µg/l, er den resulterende tilstand i grundvandsforekomsten 'God' kemisk tilstand.

Grundvandsforekomst i potentielt ringe kemisk tilstand

Som eksempel på en grundvandsforekomst i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand bruges grundvandsforekomsten dkmj_1105_ks. Grundvandsforekomsten er et kvartært sandmagasin beliggende i Jylland med et volumen på ca. 18,5 km³. Der er data for sporstofferne aluminium (24 indtag), arsen (42 indtag), bly (25 indtag), cadmium (25 indtag), kobber (28 indtag), krom (17 indtag), kviksølv (6 indtag), nikkel (48 indtag) og zink (34 indtag).

Data fra perioden 2013-2019 er først aggregeret og sorteret efter metoden beskrevet i bilag 9, og MAM-værdien for de enkelte stoffer er beregnet på indtagsniveau. Herefter er indtagene vurderet i forhold til den nationalt gældende tærskelværdi, som ses i Tabel 7.5.

Resultatet af den maskinelle tildeling af tilstandsvurdering på indtagsniveau ses i Tabel 8.3 øverst. Ud af de 9 sporstoffer med data i grundvandsforekomsten er der 8, som har mindst ét indtag, hvor MAM-værdien overskrider de nationalt gældende tærskelværdier. Derfor undersøges det i næste trin om de forekomstspecifikke tærskelværdier finder anvendelse.

Der er fastlagt forekomstspecifikke tærskelværdier for aluminium, arsen, cadmium og nikkel på baggrund af geokemiske kriterier, gældende for grundvandsforekomster i Jylland i kvartært sand (alle forekomster med 'dkmj_ks' i deres navn), se kapitel 7.2 og Tabel 7.5.

Tabel 8.3 midt viser vurderingen for de fire sporstoffer hvor det er muligt at anvende forekomstspecifikke tærskelværdier, og resultaterne for de enkelte stoffer er beskrevet hver for sig i det følgende.

Tabel 8.3 Eksempel på den maskinelle tilstandsvurdering på indtagsniveau og for enkeltstoffer for grundvandsforekomst dkmj_1105_ks. MAM-værdi vurderes i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier (TV) og de forekomstspecifikke tærskelværdier (GVF-TV). Grøn: Indtag bidrager til 'God' kemisk tilstand, Orange: Indtag bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand; Datatype for indtag med overskridelser i den resulterende tilstandsvurdering: *DEPOT, **GRUMO. N/A: Sporstof ikke vurderet på dette niveau.

dkmj_1105_ks	Aluminium	Arsen	Bly	Cadmium	Kobber	Krom	Kviksølv	Nikkel	Zink
Antal indtag i alt	24	42	25	25	28	17	6	48	34
Nationalt gældende TV									
Antal indtag under nationalt gældende TV	16	36	21	21	27	16	6	32	28
Antal indtag over den nationalt gældende TV	8	6	4	4	1	1	0	16	6
Forekomstspecifikke TV									
Antal indtag under GVF-TV (X _a og X _b)	8	0	N/A	1	N/A	N/A	N/A	7	N/A
Antal indtag over GVF-TV (Y _a & Y _b)	0	0	N/A	3	N/A	N/A	N/A	9	N/A
Resultat af indledende maskinelle status/antal indtag over relevant TV.									
Ekspertvurdering (indtag over relevant TV)	0	6*	3*	1**	N/A	N/A	N/A	7*	2*
Samlet stofs specifik status for GVF	God	Pot. ringe	Pot. ringe	Pot. ringe	Pot. ringe	Pot. ringe	God	Pot. ringe	Pot. ringe

I dkmj_1105_ks er der 8 indtag, hvor aluminium blev vurderet i forhold til den forekomstspecifikke tærskelværdi for pH ≤ 6 (surt vand) i grundvandsforekomster i Jylland i kvartært sand (dkmj_ks). Når denne forekomstspecifikke tærskelværdi benyttes til vurdering af MAM-værdierne i de 8 indtag, vurderes grundvandsforekomsten i 'God' kemisk tilstand for aluminium.

Arsen overskrider de nationalt gældende tærskelværdier i 6 indtag, men da der ikke er data for indtagets generelle kemiske sammensætning tilknyttet disse indtag, der kunne muliggøre anvendelsen af den forekomstspecifikke tærskelværdi, vurderes grundvandsforekomsten samlet set i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for arsen.

Cadmium har 4 indtag med MAM-værdier der overskrider den nationalt gældende tærskelværdi, og det vurderes derfor for disse indtag, om den forekomstspecifikke tærskelværdi kan

finde anvendelse. Den forekomsts-specifikke tærskelværdi for cadmium i grundvandsforekomster af typen dkmj_ks (kvartært sandmagasin i Jylland) er udpeget for den geokemiske klasse, hvor $\text{pH} \leq 6$ (surt vand) & $\text{NO}_3 > 2$ (oxideret vand). Der er 3 indtag, som har MAM-værdier, der overskrider denne forekomsts-specifikke tærskelværdi. Grundvandsforekomsten er derfor samlet set vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for cadmium.

Nikkel har 16 indtag med en MAM-værdi, der overskrider den nationalt gældende tærskelværdi, og det vurderes om den forekomsts-specifikke tærskelværdi kan finde anvendelse. Den forekomsts-specifikke tærskelværdi for nikkel i grundvandsforekomster af typen dkmj_ks (kvartært sandmagasin i Jylland) er udpeget for den geokemiske klasse, hvor $\text{pH} \leq 6$ (surt vand) & $\text{NO}_3 > 2$ (oxideret vand). Af de 16 indtag er MAM-værdien i 7 indtag under denne forekomsts-specifikke tærskelværdi. De resterende 9 indtag har enten MAM-værdier, der overskrider den forekomsts-specifikke tærskelværdi eller mangler data til at vurdere MAM-værdierne i forhold til de geokemiske kriterier, hvorfor de stadig vurderes at bidrage til klassifikationen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand på baggrund af den nationalt gældende tærskelværdi. Samlet set vurderes grundvandsforekomsten i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for nikkel på baggrund af de 9 indtag, som enten overskrider den nationalt gældende tærskelværdi eller den forekomsts-specifikke tærskelværdi, se Tabel 8.3.

Den endelige maskinelle tilstandsvurdering for grundvandsforekomsten dkmj_1105_ks bliver 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, på baggrund af, at 7 sporstoffer har indtag med MAM-værdier, der overskrider enten den nationalt gældende tærskelværdi eller den forekomsts-specifikke tærskelværdi, se Tabel 8.3 nederst.

Efter den maskinelle tilstandsvurdering er der udført en ekspertvurdering af de indtag, hvor MAM-værdien overskrider tærskelværdierne. Resultaterne af ekspertvurderingen er ikke inddraget i denne rapport, da det ligger uden for rapportens genstandsområde, men den er inddraget i dette eksempel for at vise de ændringer, det gav anledning til. Det ses af Tabel 8.3, at der for denne forekomst er enkelte indtag, som indledningsvist bidrog til klassifikationen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand på baggrund af den maskinelle tilstandsvurdering, men som i stedet bidrager til klassifikationen 'God' kemisk tilstand på baggrund af ekspertvurderingen, da der er færre indtag med overskridelser af tærskelværdier efter ekspertvurderingen sammenlignet med den indledende maskinelle vurdering. Det ændrer dog ikke status i forhold til de enkelte sporstoffer, som grundvandsforekomsten er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand overfor, og den samlede status for grundvandsforekomsten forbliver 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

Forekomsts-specifikke tærskelværdier på baggrund af geografi/geologi.

Det fremgår af kapitel 7.2, Tabel 7.5, at der er fastlagt geografiske/geologiske tærskelværdier for sporstofferne aluminium og arsen. Disse tærskelværdier benyttes jævnfør beslutningstræet, Figur 8.1, hvis der ikke foreligger data for de enkelte indtag til brug for de geokemiske tærskelværdier. Ved gennemgang af den samlede maskinelle tilstandsvurdering for alle grundvandsforekomster fremgik det, at de geografiske/geologiske tærskelværdier kun fandt anvendelse i en enkelt grundvandsforekomst, hvor den resulterede i vurderingen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. De geografiske/geologiske tærskelværdier fandt desuden anvendelse i to grundvandsforekomster, hvor de resulterede i vurderingen 'God' kemisk tilstand.

Miljøstyrelsen har efterfølgende ikke indstillet forekomstspecifikke tærskelværdier på baggrund af geografi/geologi, se nærmere i bilag 16.

8.3 Håndtering af forskellige datakilder for sporstoffer og salte

Datatyperne og deres definition og tekniske afgrænsninger er præsenteret i datakildenotatet: 07-VA-2020-02, bilag 5. I dette notat redegøres der også for den repræsentativitet, der er tilknyttet de forskellige datatyper. Herunder opsummeres kort de aktuelle datatyper.

Grundvandsovervågningen (GRUMO)

Data fra GRUMO repræsenterer især påvirkninger fra det åbne land, og indtagene er rumligt og geografisk repræsentative. Datatætheden for GRUMO er lav ved dybder under 60-70 meter under terræn (m u.t.). Påvirkninger fra punktkilder og bebyggede områder er underrepræsenteret i GRUMO-data. Det forventes, at GRUMO-data generelt giver et retvisende billede af den naturlige forekomst af sporstoffer i grundvandet, da overvågningen har som delformål at fastlægge de naturlige baggrundsværdier for sporstoffer.

Grundvandskortlægning (GKO)

I grundvandskortlægningen i Danmark undersøges kvaliteten af grundvandet i relation til drikkevandsinteresser. Indtagene ligger derfor ofte dybere end GRUMO, og der er bias mod magasiner, der potentielt kan udnyttes til drikkevandsindvinding. Det begrænsede antal kortlægningsboringer medfører, at datasættet ikke nødvendigvis er repræsentativt for hele landet, og samtidig er der ofte ikke analyseret for sporstoffer. Derimod indgår saltene som regel i analysepakkerne anvendt til grundvandskortlægningen.

Vandforsyningsindtag (VF)

VF-datasættet repræsenterer påvirkningen i den del af grundvandet, der indvindes til drikkevand. VF-indtag er ofte placeret tæt på bebyggede områder. Mange VF-indtag er lange og blander vand fra flere dybder med forskellig kemisk sammensætning. Vandforsyningsboringer lukkes ofte når der optræder uønskede stoffer i grundvandet, og nye boringer placeres i videst muligt omfang i områder, hvor vandkemien forventes ikke at overskride drikkevandskvalitetskravene. Det forventes derfor, at sporstoffer og salte, der optræder i koncentrationer over tærskelværdierne, og som samtidig ikke nemt fjernes ved vandbehandling, sjældent vil indgå i data fra vandforsyningsindtag i forhold til stoffernes generelle udbredelse. I nogle vandforsyningsboringer kan sporstofindholdet være påvirket af ikke bæredygtig indvinding.

DEPOT

DEPOT-datasættet repræsenterer data indsamlet omkring erkendte punktkildeforureninger og indeholder ofte analyser for sporstoffer og salte. De ofte korte forureningsboringer er repræsentative for det øvre forurenede grundvand, og typen af analyserede stoffer varierer alt efter hvilken forurening, der undersøges for. Data er derfor især repræsentative for punktkilder.

Andet

Disse data kan stamme fra en lang række andre kilder, og der kan være behov for opslag i Jupiter for at vurdere data, afhængig af hvor stor en andel af de samlede data, de udgør i en

grundvandsforekomst. Til denne gruppe hører for eksempel vandværkernes overvågningsboringer, som kan bidrage med vigtig viden om de sporstoffer og salte, der findes i vandværkernes indvindingsopland.

8.4 Repræsentativitet af data og sikkerhed af vurderingerne

Sikkerheden af tilstandsvurderingerne er knyttet til både repræsentativiteten og kvaliteten af de data, der foreligger for en given grundvandsforekomst. Der kan ikke opstilles en simpel ligning for vurdering af sikkerheden, da omfanget og kvaliteten af tilgængelige data og datatyper varierer betragteligt fra forekomst til forekomst. Det være sig antal af indtag såvel som geografisk og rumlig udbredelse af indtag med sporstof- og salteanalyser, datatyper (Vandforsyning/GRUMO/DEPOT etc.), omfanget af analyser for de valgte stoffer, osv.

Med udgangspunkt i den metoderapport, der er udarbejdet i forbindelse med tilstandsvurderingen for nitrat (Thorling mfl., 2019), gives her en beskrivelse af sikkerhedsbegrebet: Datatætheden for de bedømte grundvandsforekomster varierer meget fra forekomst til forekomst for de forskellige datatyper. Det er derfor vigtigt at kunne vurdere repræsentativiteten af data for at kunne give en bedømmelse af kvaliteten af den resulterende tilstandsvurdering.

Der bør skelnes mellem repræsentativiteten af de tilgængelige data og sikkerheden for vurderingen (bias og konfidens). Eksempelvis kan der være få vandanalyser fra de øvre lag af en grundvandsforekomst med stor mægtighed og mange data fra den dybere del. I det tilfælde er der vandanalyser med en ringe rumlig repræsentativitet.

Det har ikke været forsøgt at opstille kvantitative kriterier for at vurdere repræsentativiteten af de enkelte datatyper, idet fordelingen af de forskellige typer af data er meget uensartet fra forekomst til forekomst.

Endelig har de forskellige datatyper en forskellig rumlig dækningsgrad, som er en konsekvens af det design, som datatyperne indsamles efter. Dette har betydning for deres repræsentativitet og ikke mindst mulighederne for at interpolere mellem data.

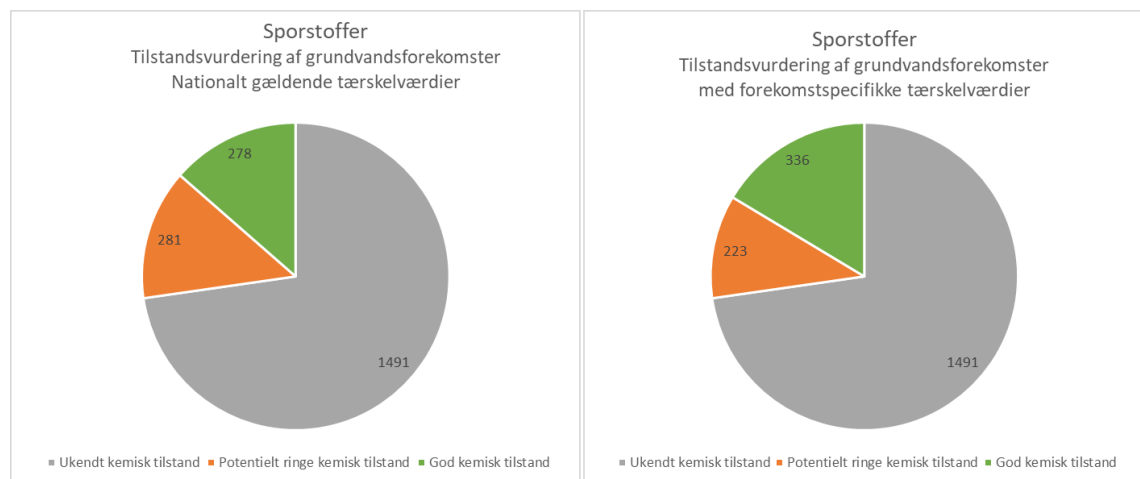
Det har ikke været en del af nærværende projekt om sporstoffer og salte, at foretage en gennemgående vurdering af sikkerheden og repræsentativiteten af data.

9. Tilstandsvurderinger for sporstoffer og salte, samlet resultat

9.1 Sporstoffer

I Figur 9.1 sammenlignes resultatet af den maskinelle tilstandsvurdering for sporstoffer efter den indledende vurdering i forhold til den nationalt gældende tærskelværdi, med den samlede vurdering, hvor der også er inddraget de forekomstspecifikke tærskelværdier. Af i alt 2.050 grundvandsforekomster er der 559 grundvandsforekomster med data for mindst ét af de undersøgte sporstoffer, svarende til 27 %. I de resterende 1.491 grundvandsforekomster er der ingen indtag med data for nogen af de undersøgte sporstoffer i perioden 2013-2019.

Figur 9.1(venstre) viser resultatet af den indledende vurdering, hvor der kun benyttes de nationalt gældende tærskelværdier. Figur 9.1(højre) viser resultatet af den indledende vurdering, hvor både de nationalt gældende tærskelværdier og de forekomstspecifikke tærskelværdier benyttes i vurderingen.



Figur 9.1 Venstre: Indledende registrering af overskridelser af den nationalt gældende tærskelværdi for ét eller flere sporstoffer til den maskinelle tilstandsvurdering af 2.050 grundvandsforekomster. Der er ikke taget højde for de forekomstspecifikke tærskelværdier. **Højre:** Indledende maskinel tilstandsvurdering af 2.050 grundvandsforekomster for sporstoffer på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier og de forekomstspecifikke tærskelværdier.

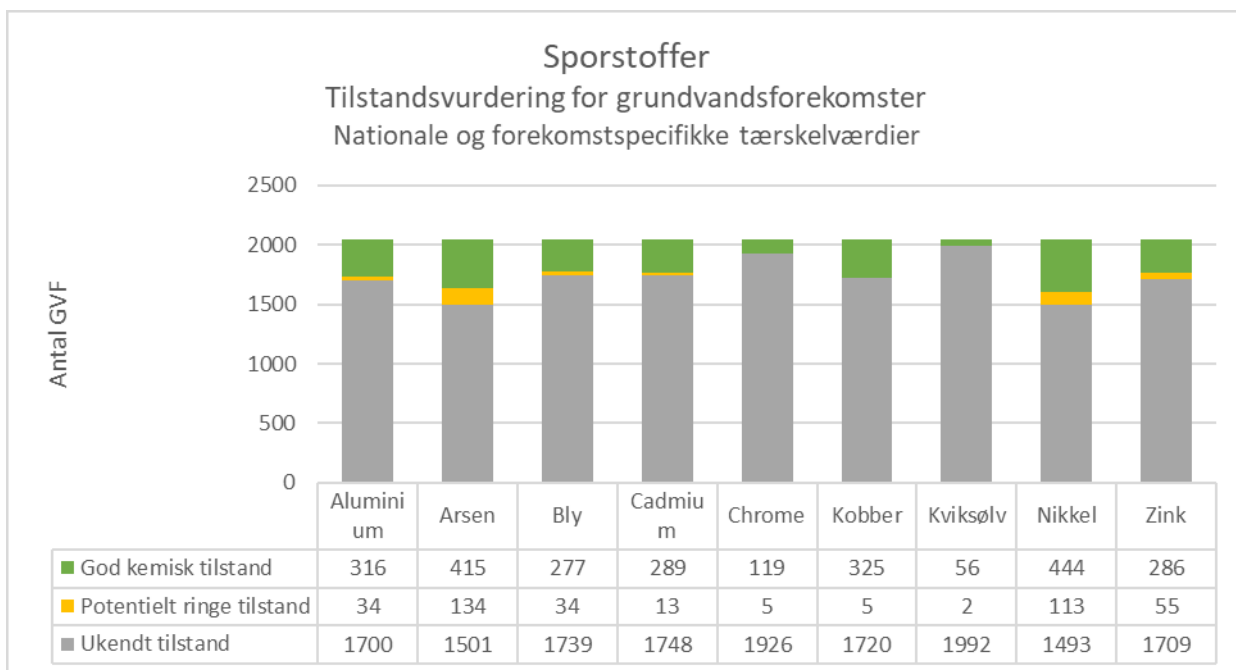
Der er fastsat forekomstspecifikke tærskelværdier på baggrund af de naturlige baggrundsværdier for de fire sporstoffer aluminium, arsen, cadmium og nikkel. Tabel 9.1 viser for de fire sporstoffer antallet af de grundvandsforekomster med MAM-værdier over de nationalt gældende tærskelværdier, der efterfølgende kan klassificeres som værende i 'God' kemisk tilstand på baggrund af de forekomstspecifikke tærskelværdier, se også bilag 10. Liste X_a og Y_a henviser til geokemiske/geografiske/geologiske kriterier, mens X_b og Y_b henviser til de geografiske/geologiske kriterier. Hvis den forekomstspecifikke tærskelværdi ikke finder anvendelse, resulterer den maskinelle tilstandsvurdering af grundvandsforekomsten i klassifikationen 'Potentielt Ringe', på baggrund af MAM-værdiens overskridelse af den nationalt gældende tærskelværdi, angivet i kolonnen med overskrift NA.

Tabel 9.1 Resultat af den maskinelle tilstandsvurdering for hver af de sporstoffer, hvor der er forekomstspecifikke tærskelværdier og hvor der samtidig er overskridelse af de nationalt gældende tærskelværdier i mindst ét indtag. Tabellen viser hvilke tærskelværdier, der var afgørende for tilstandsvurderingen på grundvandsforekomstniveau. Liste X_a og Y_a henviser til geokemiske/geografiske/geologiske kriterier, mens X_b og Y_b henviser til de geografiske/geologiske kriterier. NA: Grundvandsforekomster, uden forekomstspecifikke tærskelværdier, hvor indtagene kun vurderes i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier.

Antal grundvandsforekomster	Grundvandsforekomster; indledende vurdering		Grundvandsforekomster; indledende vurdering		Total
	God tilstand, (Liste X_a)	God tilstand, (Liste X_b)	Potentielt ringe tilstand (Liste Y_a og Y_b)	NA	
Element					Alle gvf
Aluminium	14	-	7	27	48
Arsen	61	1	85	49	196
Cadmium	5	-	5	8	18
Nikkel	6	-	10	103	119

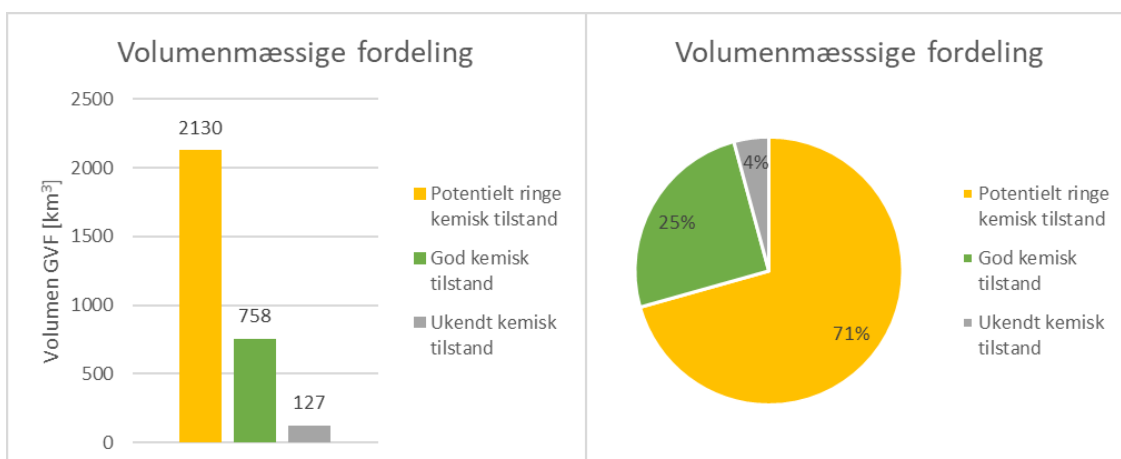
Bemærk, når den indledende maskinelle tilstandsvurdering for en grundvandsforekomst for ét enkelt af de fire sporstoffer klassificeres som værende i 'God' kemisk tilstand som følge af brug af de forekomstspecifikke tærskelværdier, betyder det ikke nødvendigvis, at grundvandsforekomsten samlet set ændrer tilstand til 'God' kemisk tilstand for sporstoffer. Hvis et andet sporstof i samme grundvandsforekomst stadig overskrider den relevante tærskelværdi, vil grundvandsforekomsten stadig samlet set klassificeres som 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.

Figur 9.2 viser fordelingen af de maskinelle tilstandsvurderinger af grundvandsforekomster for de enkelte sporstoffer, med antal grundvandsforekomster fordelt på 'God', 'Potentielt Ringe' og 'Ukendt' tilstand. Indtag som bidrager til klassifikationen 'Potentielt ringe' kemisk tilstand er efterfølgende ekspertvurderet i forhold til muligt naturligt indhold over tærskelværdierne, se kapitel 10.



Figur 9.2 Grundvandsforekomsters kemiske tilstand for sporstoffer efter vurdering i forhold til de nationalt gældende tærskelværdier og de forekomstspecifikke tærskelværdier.

Figur 9.3 viser den volumenmæssige fordeling af grundvandsforekomster efter den maskinelle tilstandsvurdering i 'God' kemisk tilstand, 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand og 'Ukendt' kemisk tilstand. Det fremgår, at 71 % af grundvandsforekomsternes samlede volumen er i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for sporstoffer, mens 25 % er vurderet i 'God' kemisk tilstand og 4 % er i 'Ukendt' tilstand på grund af manglende data.

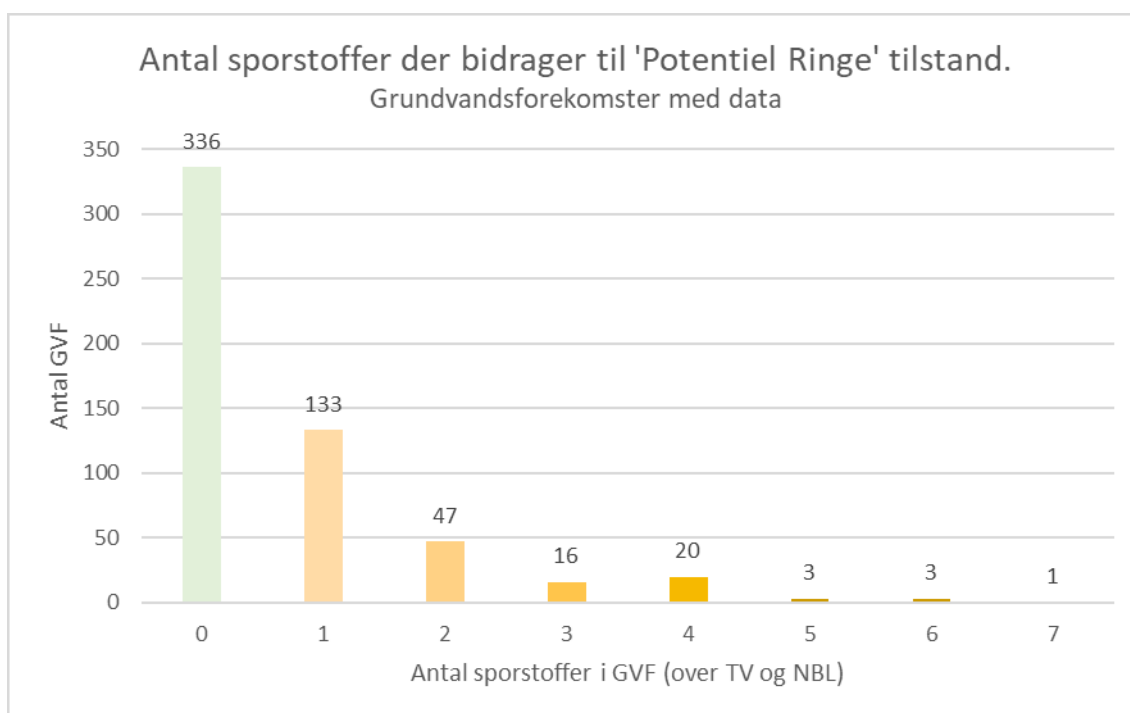


Figur 9.3 Den volumenmæssige fordeling af grundvandsforekomsters kemiske tilstand; maskinelt vurderet på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier og de forekomstspecifikke tærskelværdier.

Da vurderingen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand tildeles ved overskridelse i bare ét indtag af de nationalt gældende tærskelværdi eller den forekomstspecifikke tærskelværdi må det antages, at mange store grundvandsforekomster med mange indtag er klassificeret som værende i 'Potentielt ringe' kemisk tilstand, uden at dette nødvendigvis er dækkende for hele

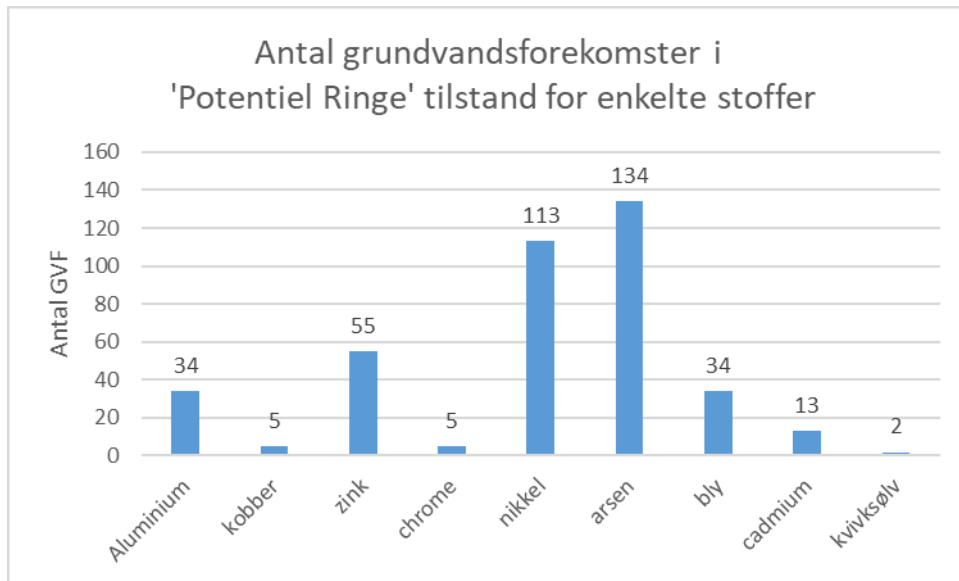
forekomsten. Det kræver imidlertid en konkret undersøgelse af den enkelte grundvandsforekomst at afgøre dette. Vurderingen 'Ukendt' kemisk tilstand tildeles grundvandsforekomster uden indtag med data for de relevante stoffer i perioden 2013-2019. Det høje antal af grundvandsforekomster i 'Ukendt' tilstand sammenholdt med den lille volumenmæssige andel viser, at det overvejende er små grundvandsforekomster i denne gruppe, og at der er data for sporstoffer i hovedparten af det samlede volumen af grundvandsforekomster.

Figur 9.4 viser en oversigt over antallet af forskellige sporstoffer, som overskrider en tærskelværdi i en grundvandsforekomst, og dermed resulterer i 'Potentielt Ringe' tilstand. I hovedparten af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' tilstand er det forårsaget af ét sporstof, idet 133 grundvandsforekomster har ét sporstof, hvor tærskelværdien er overskredet, svarende til ca. 25 % af de grundvandsforekomster der har data, og 60 % af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' tilstand. Der er blot én grundvandsforekomst, hvor der er fundet 7 forskellige sporstoffer, der overskrider tærskelværdierne. For 336 grundvandsforekomster med data er der ingen sporstoffer, der overskrider en tærskelværdi, hvilket resulterer i 'God' tilstand.



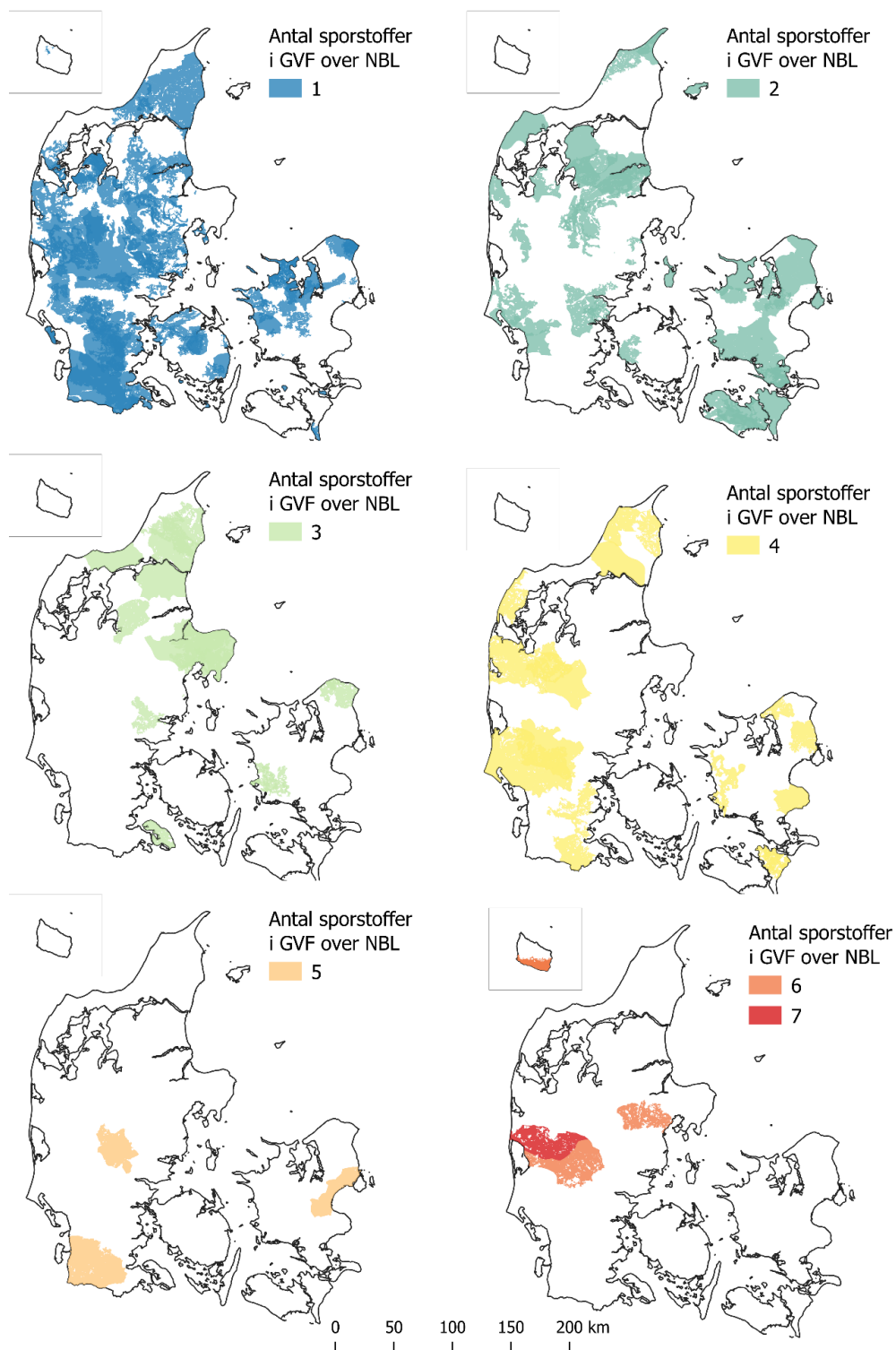
Figur 9.4 Antal af forskellige sporstoffer, der overskrider en tærskelværdi og resulterer i en grundvandsforekomst i 'Potentielt Ringe' tilstand for sporstoffer. Antal grundvandsforekomster er angivet over søjlen. Når ingen sporstoffer overskrider en tærskelværdi, er grundvandsforekomsten i 'God' tilstand, vist med grønt.

Figur 9.5 viser hvor mange grundvandsforekomster, der for de enkelte sporstoffer har mindst ét indtag med overskridelser af tærskelværdierne. Det ses, at arsen giver anledning til det største antal grundvandsforekomster i 'Potentiel Ringe' tilstand, mens kviksølv giver det laveste antal.



Figur 9.5 Antallet af grundvandsforekomster, hvor der ses overskridelser af de fastsatte tærskelværdier for de enkelte sporstoffer.

Figur 9.6 viser den geografiske fordeling af grundvandsforekomsterne med angivelse af antallet af sporstoffer, der overskrider en tærskelværdi.



Figur 9.6 Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Kortet viser antal af sporstoffer i grundvandsforekomsten (GVF), der overskrider de nationalt gældende tærskelværdier og de forekomstspecifikke tærskelværdier (NBL).

9.2 Salte

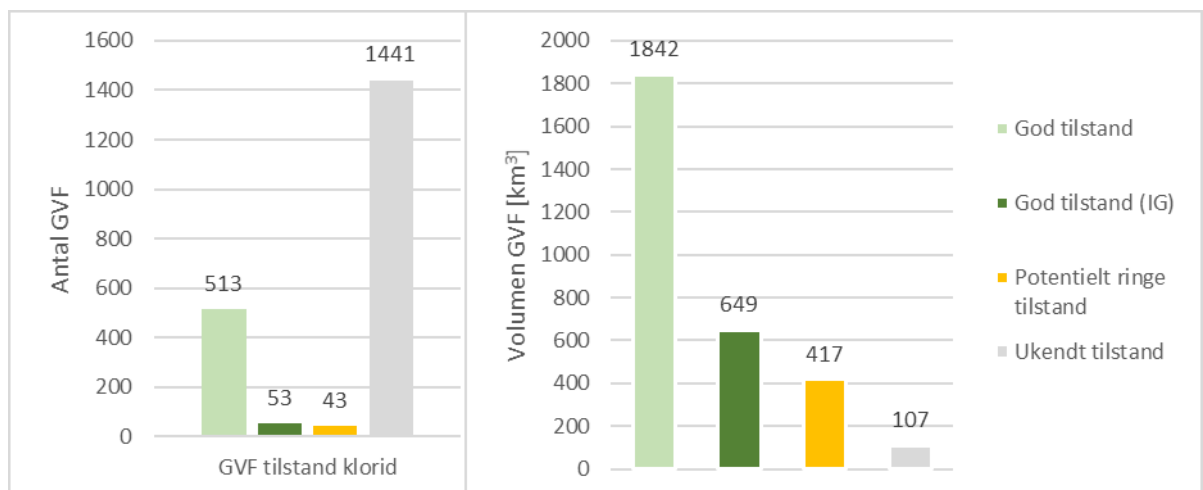
Der er udarbejdet en maskinel tilstandsvurdering for klorid, som er udførligt dokumenteret i GEUS-notat 07-VA-2020-14, se bilag 3, mens der for de øvrige salte er udarbejdet en samlet redegørelse i GEUS-notat 07-VA-2020-18, se bilag 4. Ammonium er dokumenteret i bilag 2.

Tilstandsvurderingerne for salte er udført efter de samme principper som tilstandsvurderingerne for sporstoffer, hvor der maskinelt tildeles vurderingen 'Potentielt Ringe' tilstand, hvis MAM-værdien i ét indtag i en grundvandsforekomst overskrider de fastsatte tærskelværdier (den nationalt gældende tærskelværdi eller den forekomstspezifiske tærskelværdi). Hvis ingen indtag har MAM-værdier, der overskrider tærskelværdierne tildeles grundvandsforekomsten tilstanden 'God'. Hvis der ikke foreligger kemiske analyser for de relevante ioner i perioden 2013-2019, tildeles grundvandsforekomsten tilstanden 'Ukendt'.

Klorid

For klorid blev der ikke fundet naturlige baggrundsværdier over den nationalt gældende tærskelværdi. Der er derfor ikke behov for at fastsætte forekomstspezifiske tærskelværdier for klorid. Klorid er derfor alene vurderet i forhold til den nationalt gældende tærskelværdi, der er fastsat til 250 mg/l. Som støtteparameter til vurdering af grundvandets kemiske tilstand for klorid anvendes ionbytningsgraden (IG), fordi denne viser om saltholdigheden har været konstant gennem længere tid eller er stigende eller faldende (Hansen & Thorling, 2018). En lav ionbytningsgrad indikerer et stigende saltindhold.

På baggrund af dette er det besluttet, at grundvandsforekomster tildeles tilstanden "God (IG)" når tærskelværdien for klorid er overskredet i et indtag, men ionbytningsgraden samtidig er større end 0,65. Hermed kan der skelnes mellem grundvandsforekomster i god tilstand med kun lave kloridkoncentrationer og grundvandsforekomster med høje naturlige kloridindhold. Resultatet af den maskinelle tilstandsvurdering for klorid ses i Figur 9.7.

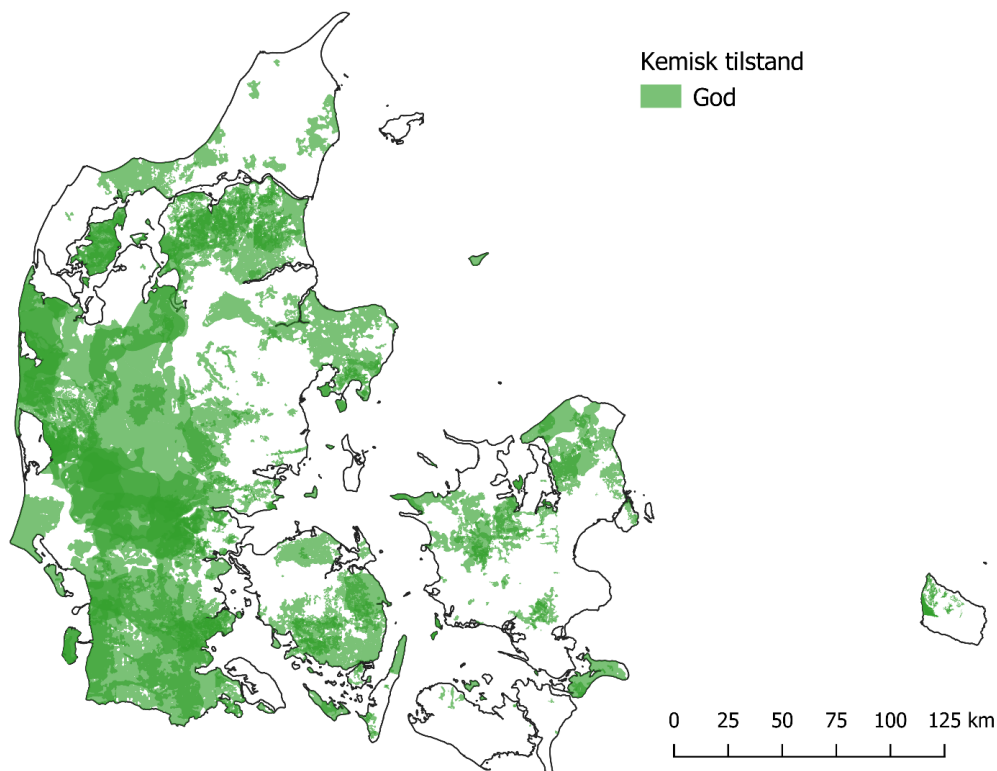


Figur 9.7 Tilstandsvurdering for klorid fordelt på antal (venstre) og volumen (højre) af grundvandsforekomster. Bemærk, et relativt stort volumen af grundvandsforekomster er i god tilstand, hvor ionbytningen peger på et naturligt højt kloridindhold.

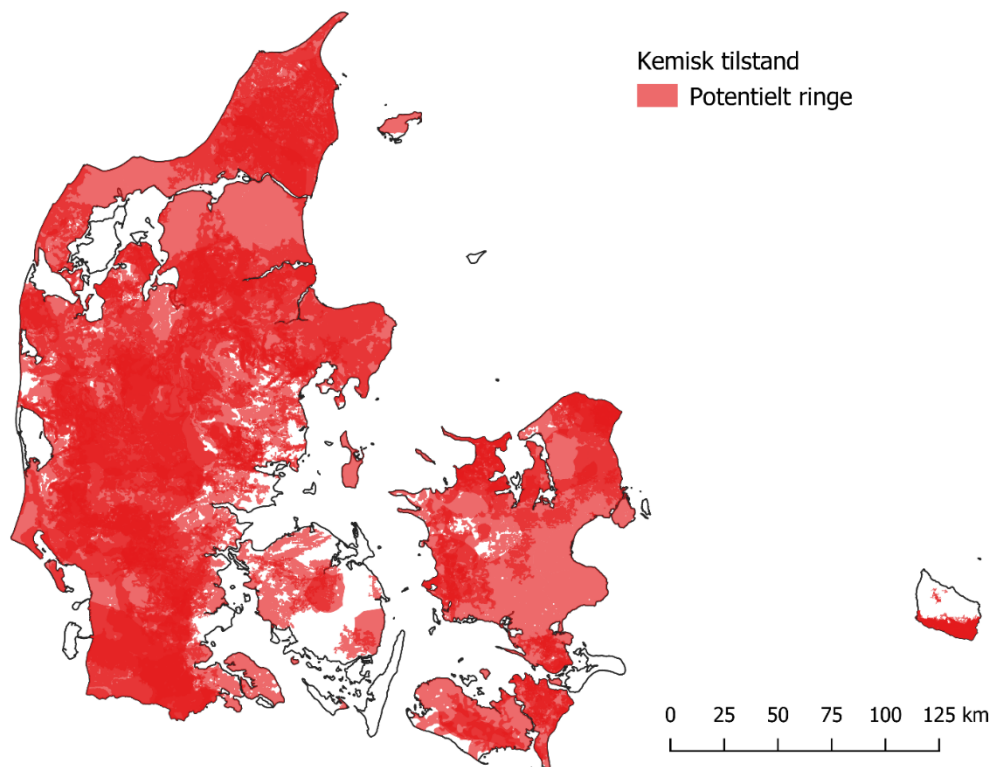
Klorid forekommer naturligt i de danske grundvandsmagasiner. Naturlige koncentrationer over den nationale tærskelværdi på 250 mg/l skyldes typisk kystnære forhold eller marint residualvand. I forhold til at vurdere den kemiske tilstand for klorid i grundvandsforekomsterne, hvor der er overskridelse af tærskelværdierne, og der er en lav ionbytningsgrad, der peger på et stigende saltindhold, er det derfor nødvendigt at tage højde for den geografiske placering af grundvandsforekomsterne, ligesom det bør undersøges, om der finder indvindingssted, der kan påvirke den lokale saltvandsbalance. Denne vurdering ligger uden for dette projekt.

9.3 Oversigtskort over sporstoffer og salte på landsplan

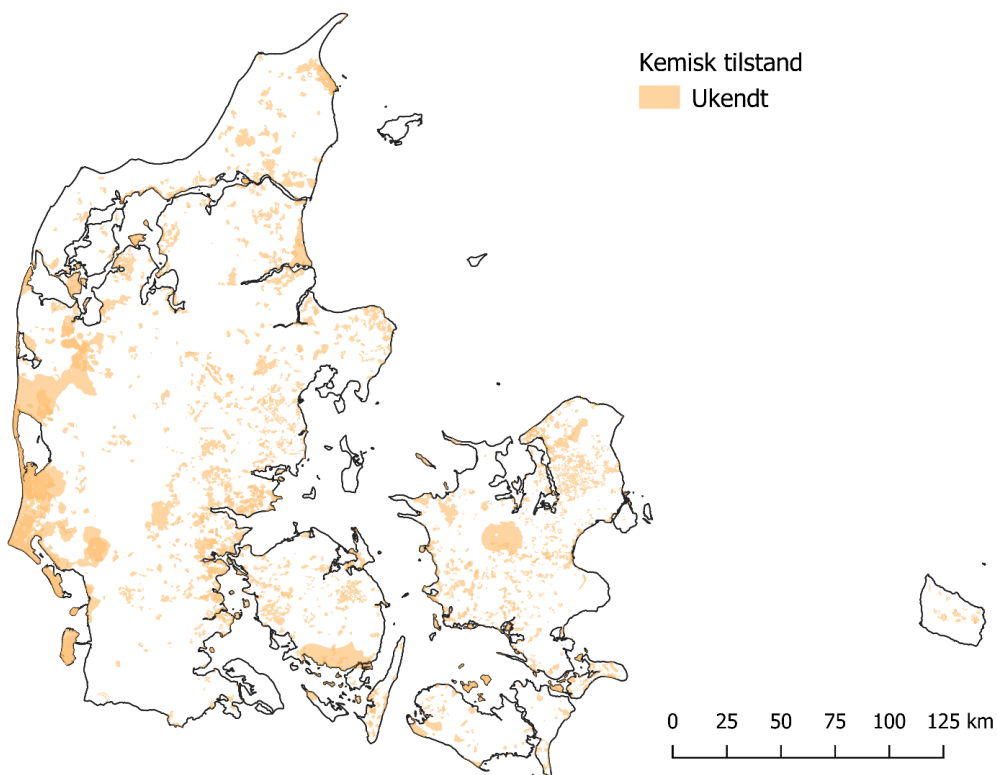
I det efterfølgende vises først oversigtskort over den geografiske fordeling af den samlede tilstandsvurdering for sporstoffer på Figur 9.8 til Figur 9.10. Herefter vises oversigtskort over den geografiske fordeling af grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for de enkelte sporstoffer, se Figur 9.11 til Figur 9.19. Den geografiske fordeling af den samlede tilstandsvurdering for klorid er vist på Figur 9.20 til Figur 9.22



Figur 9.8 Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'God' tilstand i forhold til sporstoffer. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



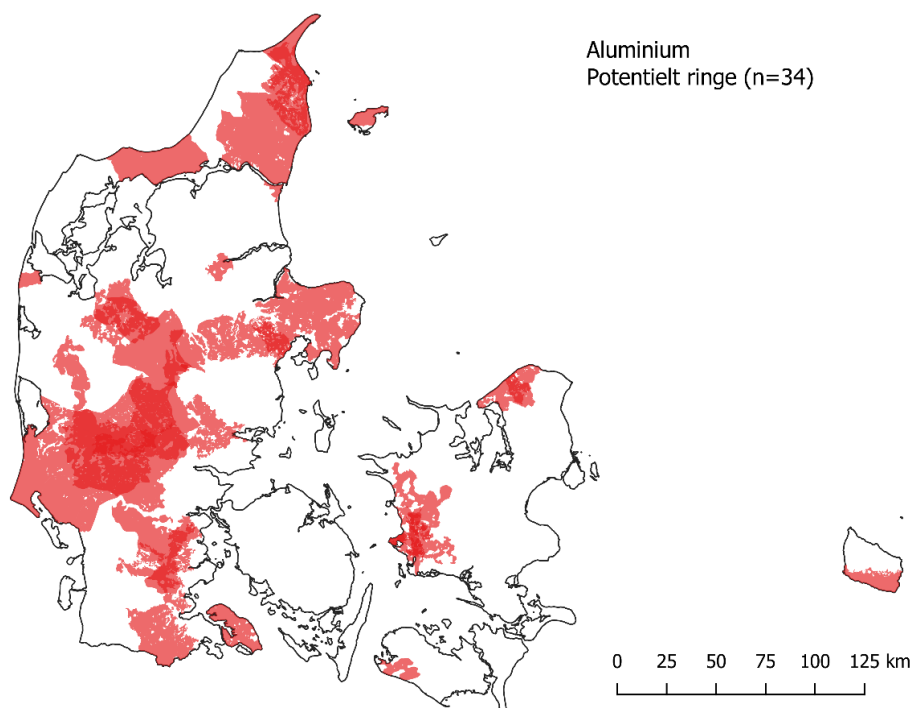
Figur 9.9 Den geografiske fordeling af samtlige grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' tilstand i forhold til ét eller flere sporstoffer. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



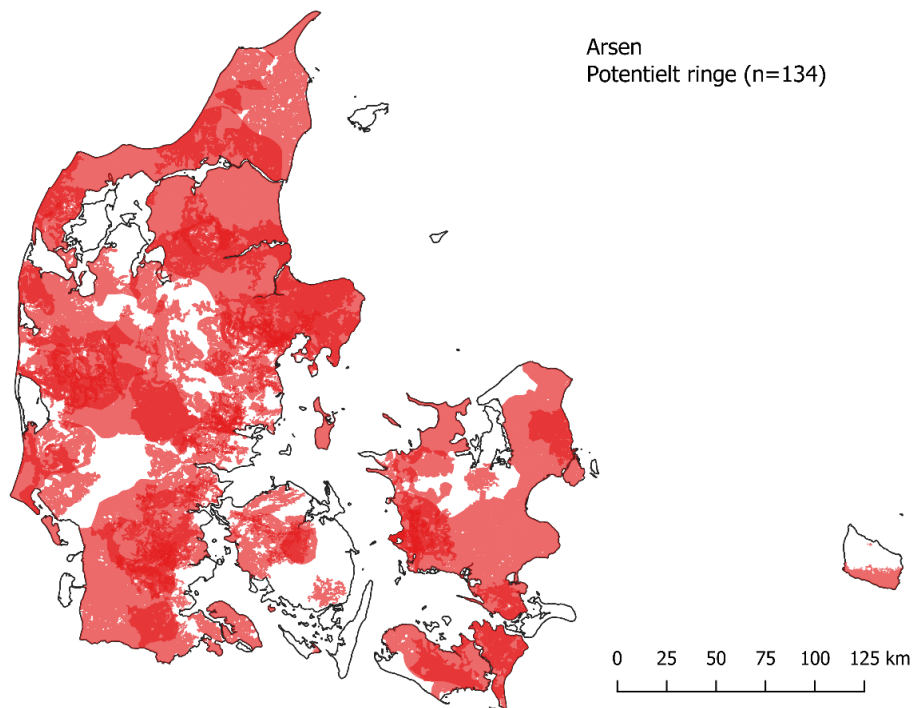
Figur 9.10 Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Ukendt' tilstand i forhold til sporstoffer. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.

Figur 9.9 viser, at der i det meste af landet forekommer grundvandsforekomster, som er i 'Potentielt ringe' kemisk tilstand for ét eller flere sporstoffer.

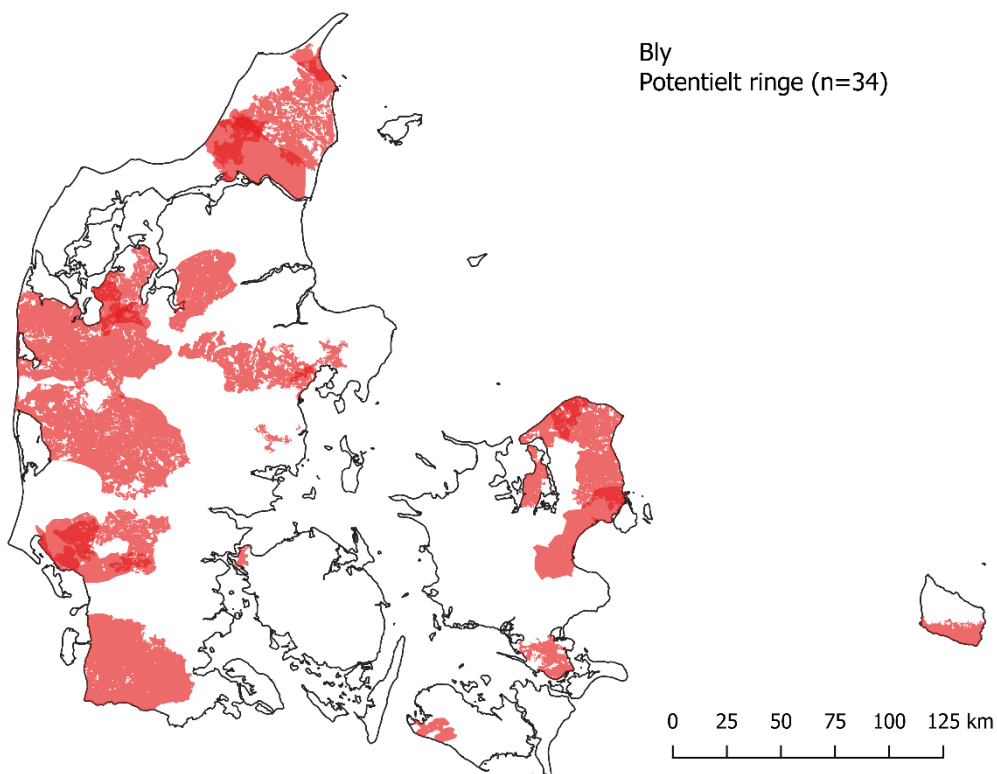
Derfor er der udarbejdet kort over grundvandsforekomster i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for de enkelte sporstoffer for at visualisere den geografiske fordeling på stofniveau, se Figur 9.11 til Figur 9.19.



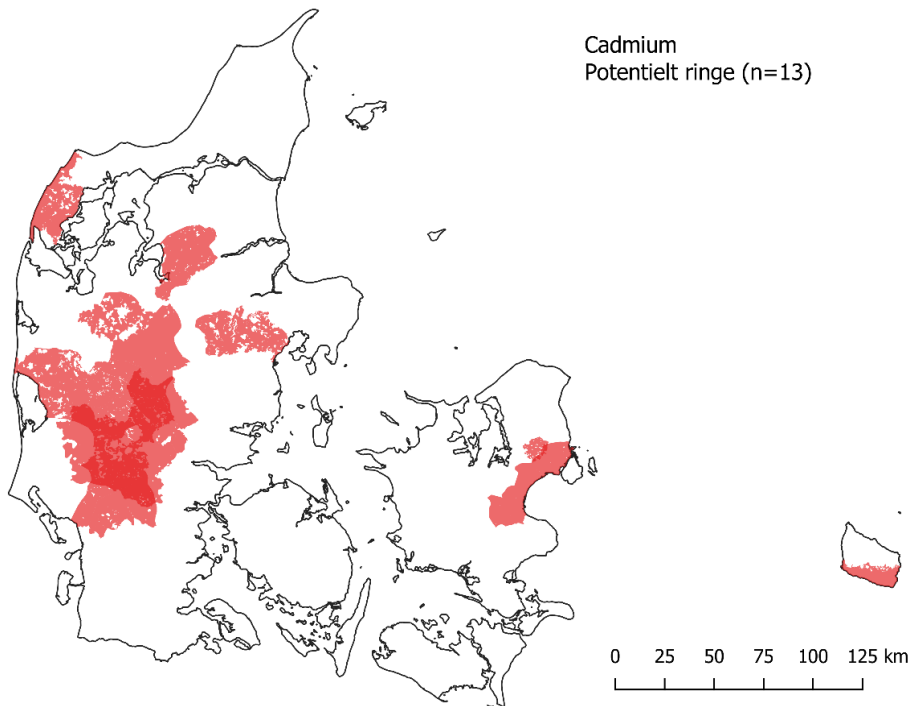
Figur 9.11 Aluminium. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for aluminium (34 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



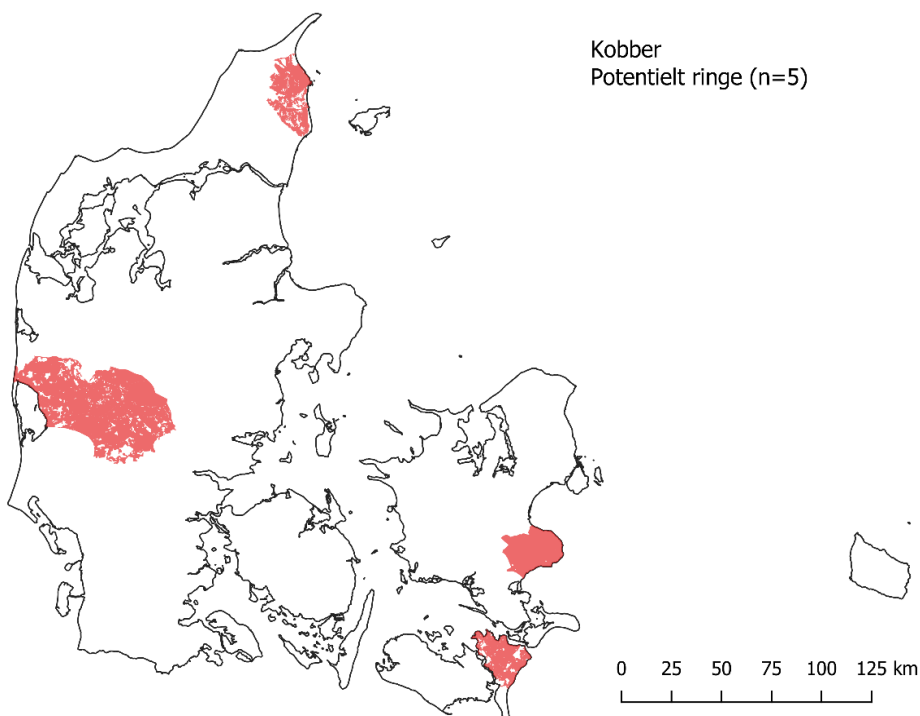
Figur 9.12 Arsen. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for arsen (134 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



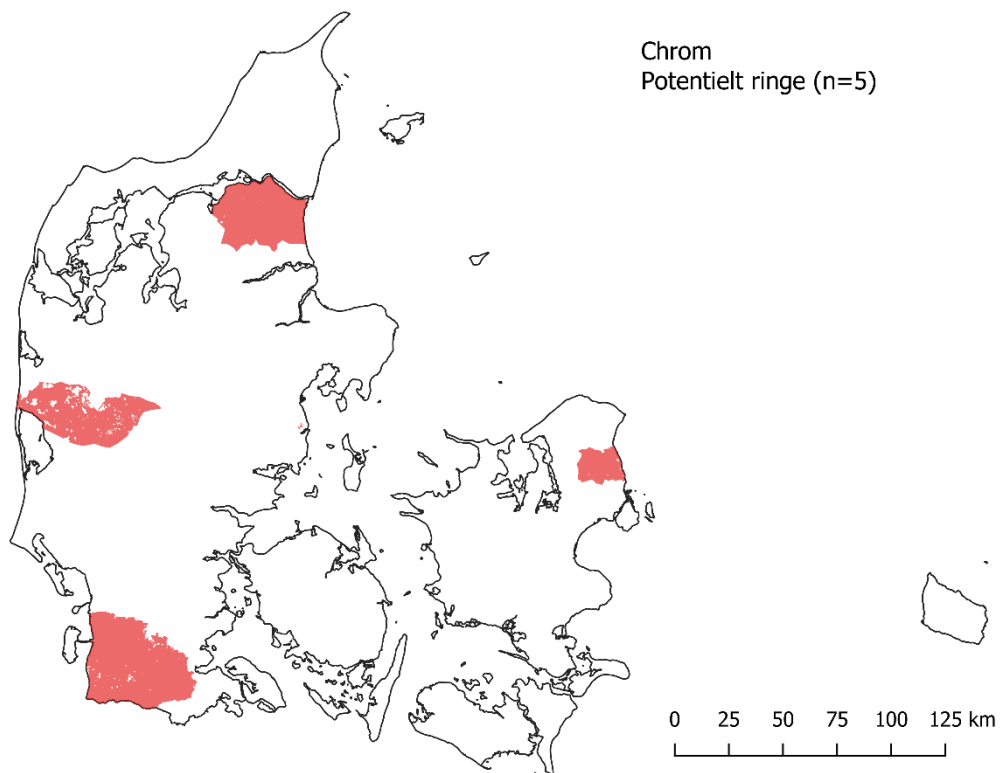
Figur 9.13 Bly. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for bly (34 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



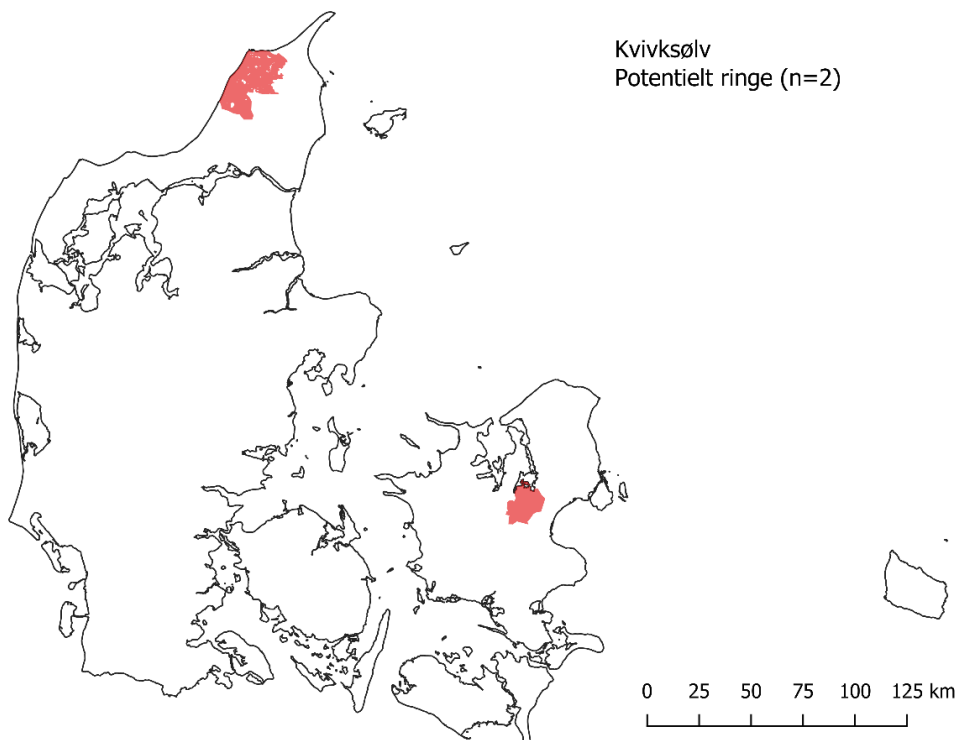
Figur 9.14 Cadmium. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for cadmium (13 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



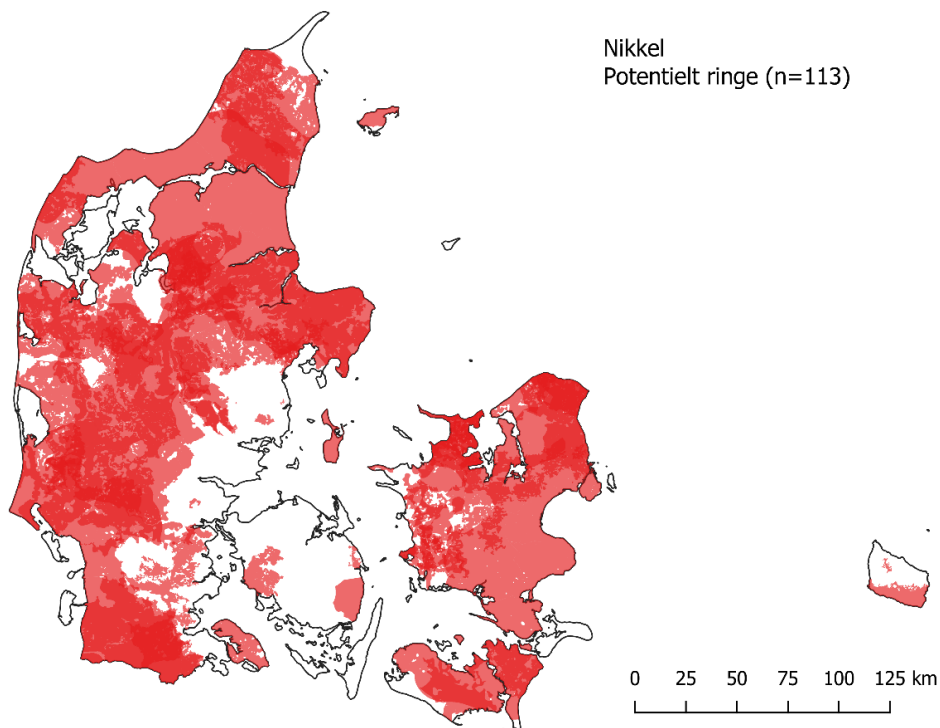
Figur 9.15 Kobber. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for kobber (5 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



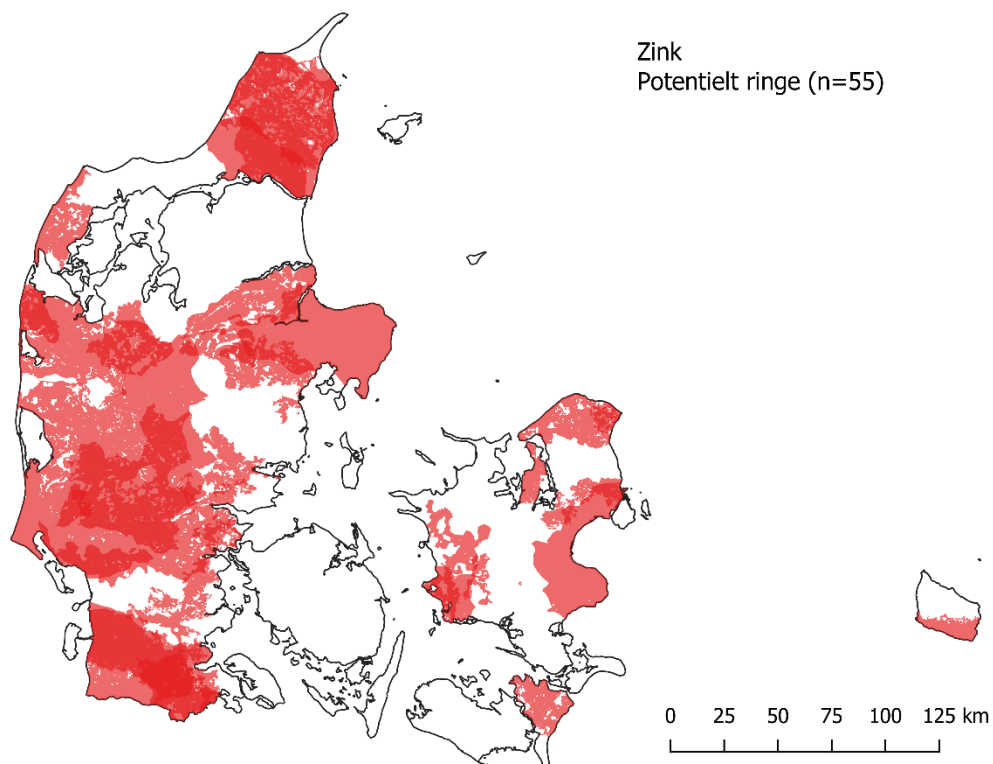
Figur 9.16 Krom. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for krom (5 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



Figur 9.17 Kviksølv. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for kviksølv (2 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



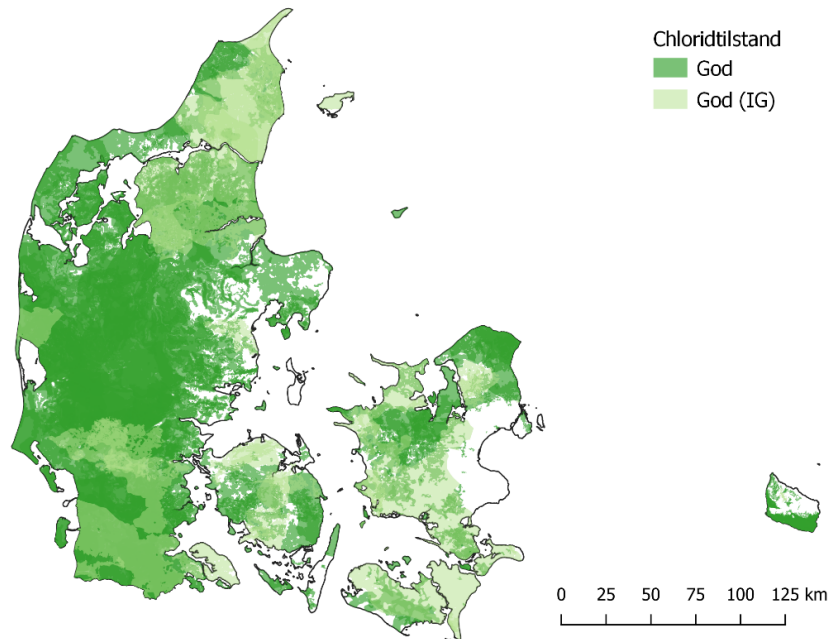
Figur 9.18 Nikkel. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for nikkel (113 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



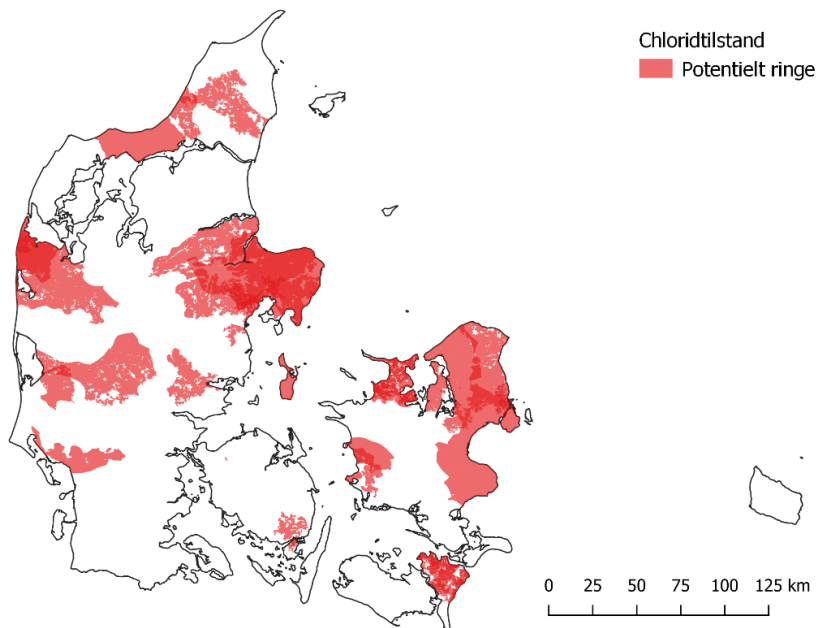
Figur 9.19 Zink. Den geografiske fordeling af grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for zink (55 grundvandsforekomster). Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.

Salte

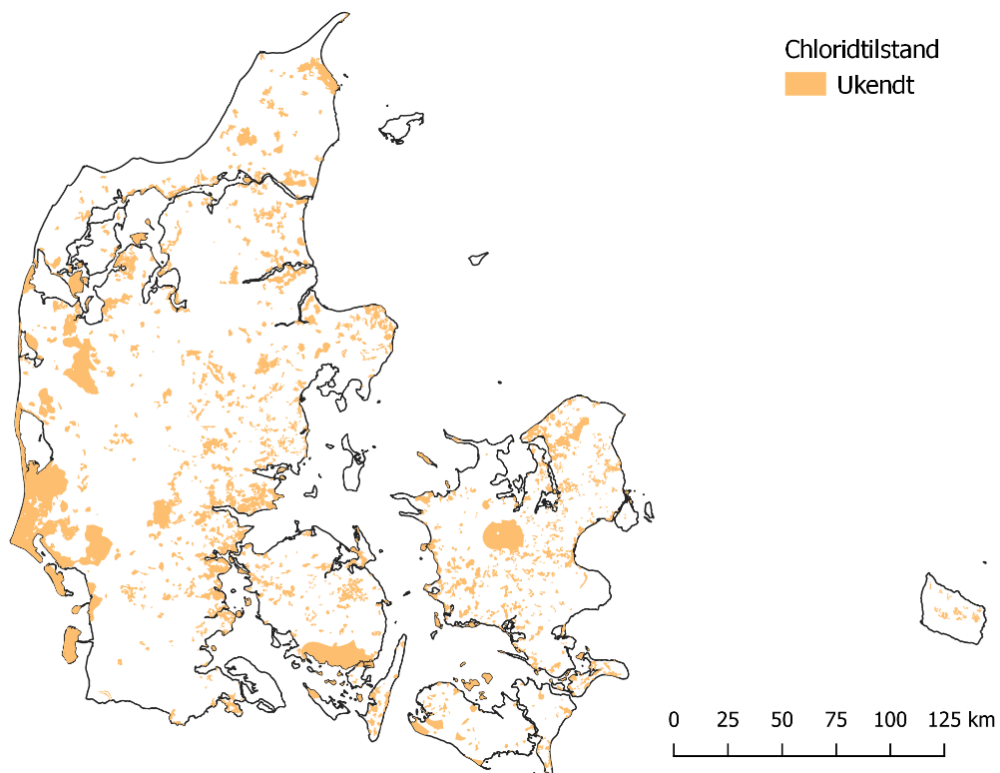
Den geografiske fordeling af tilstandsvurderingerne for klorid er vist i Figur 9.20 til Figur 9.22



Figur 9.20 Klorid. Den geografiske fordeling af 566 grundvandsforekomster, som er vurderet i 'God' tilstand i forhold til klorid. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



Figur 9.21 Klorid. Den geografiske fordeling af 43 grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Potentielt Ringe' tilstand i forhold til klorid. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.



Figur 9.22 Klorid. Den geografiske fordeling af 1.441 grundvandsforekomster, som er vurderet i 'Ukendt' tilstand i forhold til klorid. Mørkere farve indikerer, at flere grundvandsforekomster ligger over hinanden i det samme område.

10. Ekspertvurdering af indtag med overskridelser af tærskelværdier for sporstoffer

I forbindelse med projektet "Bidrag til tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for miljøfarlige forurenende stoffer uden primær anvendelse som pesticid samt for sporstoffer" er der udarbejdet en ekspertvurdering af de indtag, hvor MAM-værdien for sporstoffer overskrider de anvendte tærskelværdier, se bilag 11.

Ekspertvurderingen er udarbejdet for følgende sporstoffer: Aluminium, arsen, bly, cadmium, nikkel og zink, idet det blev vurderet, at der for disse stoffer ville være en del tilfælde, hvor lokale konkrete geokemiske forhold kunne betinge et særligt højt naturligt indhold. Miljøstyrelsen ønskede derfor belyst, om der kunne være naturlige forhold i de enkelte indtag, der resulterede i MAM-værdier over en tærskelværdi.

Projektet blev gennemført på indtagsniveau, hvor overskridelser af tærskelværdier blev vurderet i forhold til kriterierne i Tabel 10.1. Herudover er der taget højde for dybden til indtagene og de generelle vandkemiske forhold for de enkelte indtag.

Tabel 10.1 Ekspertvurdering af enkeltindtag. Kriterier for vurdering af overskridelser af tærskelværdier for enkeltstoffer.

Sporstof	Kriterie for at et indtag bidrager til god tilstand ved høje MAM-værdier
Aluminium	Naturlig overskridelse som følge af lav pH
Arsen	Overskridelse relateret til geologiske forhold, f.eks. tertiært ler
Bly	Er MAM-værdien repræsentativ
Cadmium	Naturlig overskridelse som følge af lav pH
Nikkel	Naturlig overskridelse som følge af lav pH/redox
Zink	Naturlig overskridelse som følge af lav pH/redox

Ekspertvurderingen tager udgangspunkt i de indtag, der bidrager til 'Potentielt Ringe' tilstand, hvor MAM-værdien overskrider den nationalt gældende tærskelværdi, og de forekomstspeficikke tærskelværdier (liste Y_a og Y_b).

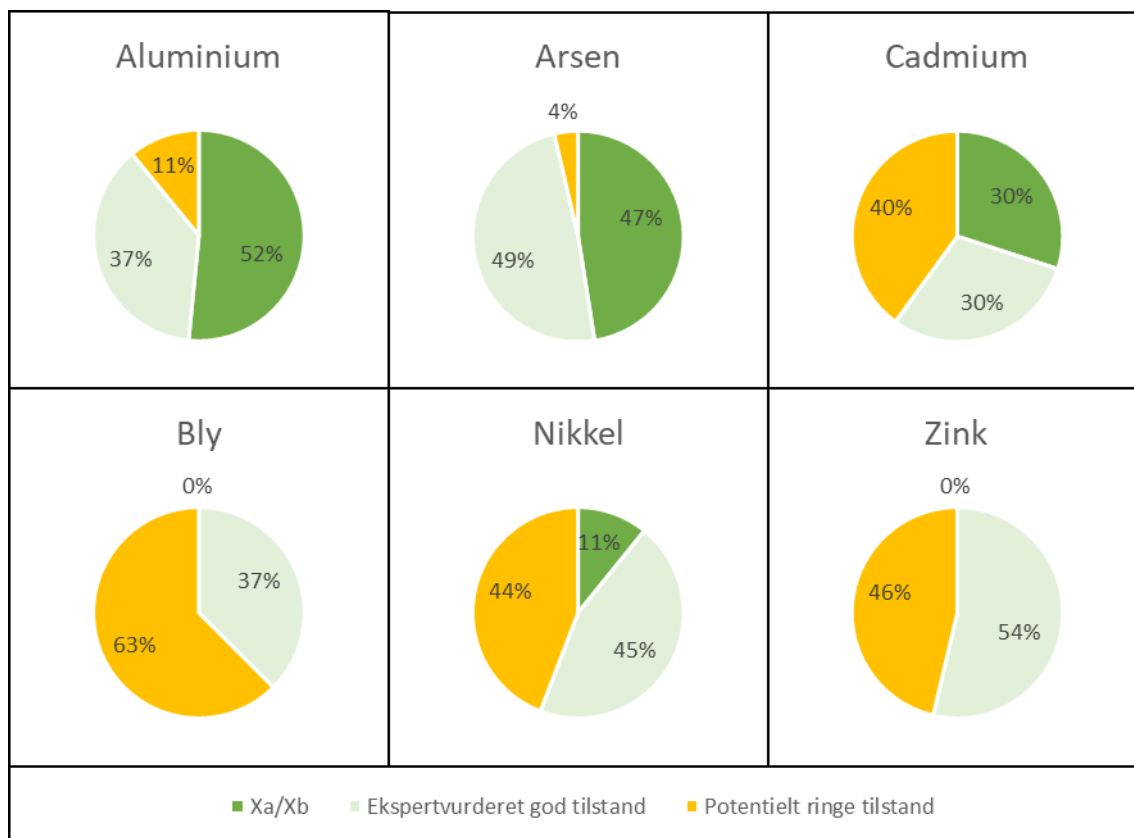
Disse indtag er gennemgået manuelt og vurderet i forhold til de lokale geologiske og geokemiske forhold. Der er redegjort for indtag, hvor MAM-værdien ifølge GEUS vurderes at skyldes naturlige forhold, og derfor ikke bør bidrage til klassificeringen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand for en grundvandsforekomst. Indtag, hvor der ikke var naturlige forhold, der kunne forklare MAM-værdiens overskridelse af tærskelværdierne, blev vurderet til fortsat skulle bidrage til klassificeringen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand i de grundvandsforekomster, hvor de er placeret.

Resultatet af ekspertvurderingen er opsummeret i Tabel 10.2.

Table 10.2 Oversigt over: Antal indtag, hvor MAM-værdien overskrider de nationalt gældende tærskelværdier; Antal indtag, der godkendes på baggrund af forekomstspecifikke tærskelværdier; Antal af indtag, der er ekspertvurderet; Antal af indtag, hvor ekspertvurderingen har konkluderet, at der er tale om en naturlig overskridelse af tærskelværdierne; Antal indtag, hvor ekspertvurderingen konkluderer, at overskridelse ikke kan begrundes i naturlige forhold, og indtaget stadig klassificeres med overskridelse af tærskelværdierne. For aluminium er 12 ud af de 14 indtag, som overskrider tærskelværdierne, ikke ekspertvurderet, idet de ligger uden for Jylland.

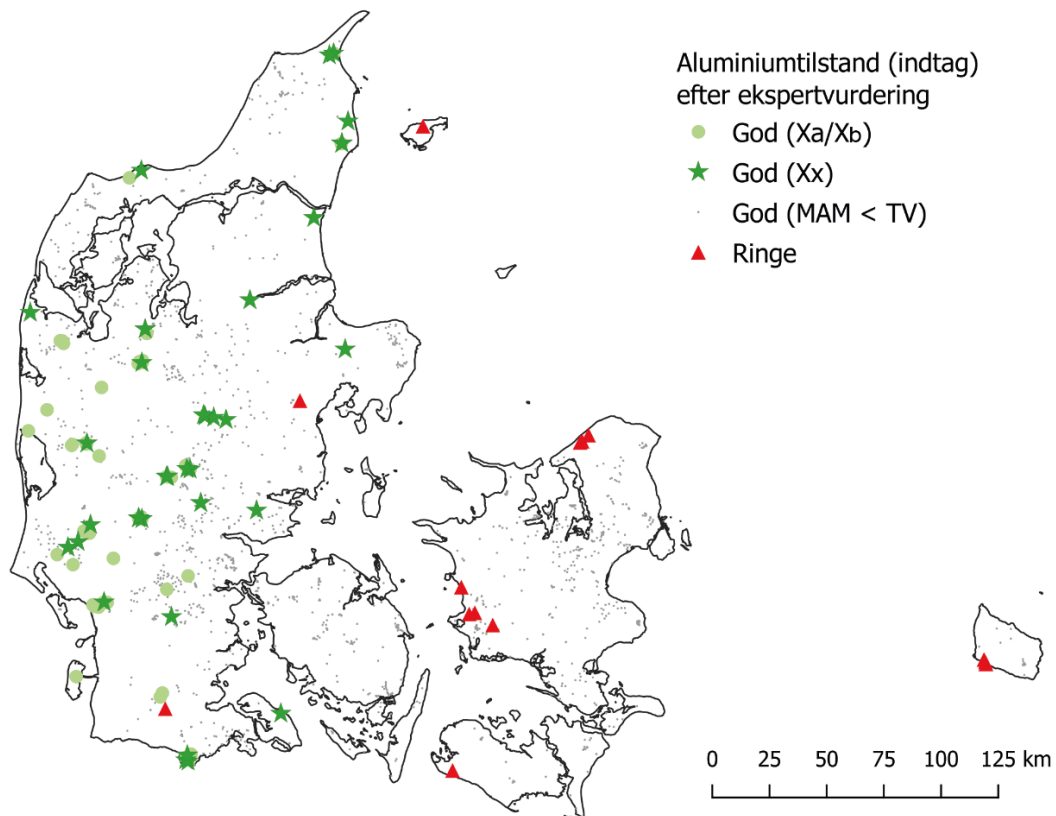
	Aluminium	Arsen	Bly	Cadmium	Nikkel	Zink
Antal indtag med MAM-værdier over den nationalt gældende tærskelværdi	128	960	82	30	480	108
Antal indtag heraf som er under de forekomstspecifikke tærskelværdier (liste Xa/Xb)	66	456		9	52	
Antal indtag ekspertvurderet	62	504	82	21	428	108
Antal indtag ekspertvurderet naturligt indhold	48	469	30	9	216	58
Antal indtag ekspertvurderet over tærskelværdierne	14	35	52	12	212	50

For at vise hvor mange indtag, der blev vurderet til at bidrage til 'God' tilstand som følge af ekspertvurderingen viser Figur 10.1 den procentvise fordeling for alle indtag der overskrider de nationalt gældende tærskelværdier. Indtagene er opdelt efter om de bidrager til hhv. 'God' og 'Potentielt Ringe' tilstand, ud fra om de ligger under de forekomstspecifikke tærskelværdier (vist med grønt, liste X_a og X_b), om ekspertvurderingen peger på, at høje koncentrationer er naturlige (lysegrøn), eller om indtagene efter ekspertvurderingen forsat bidrager til 'Potentielt Ringe' tilstand.

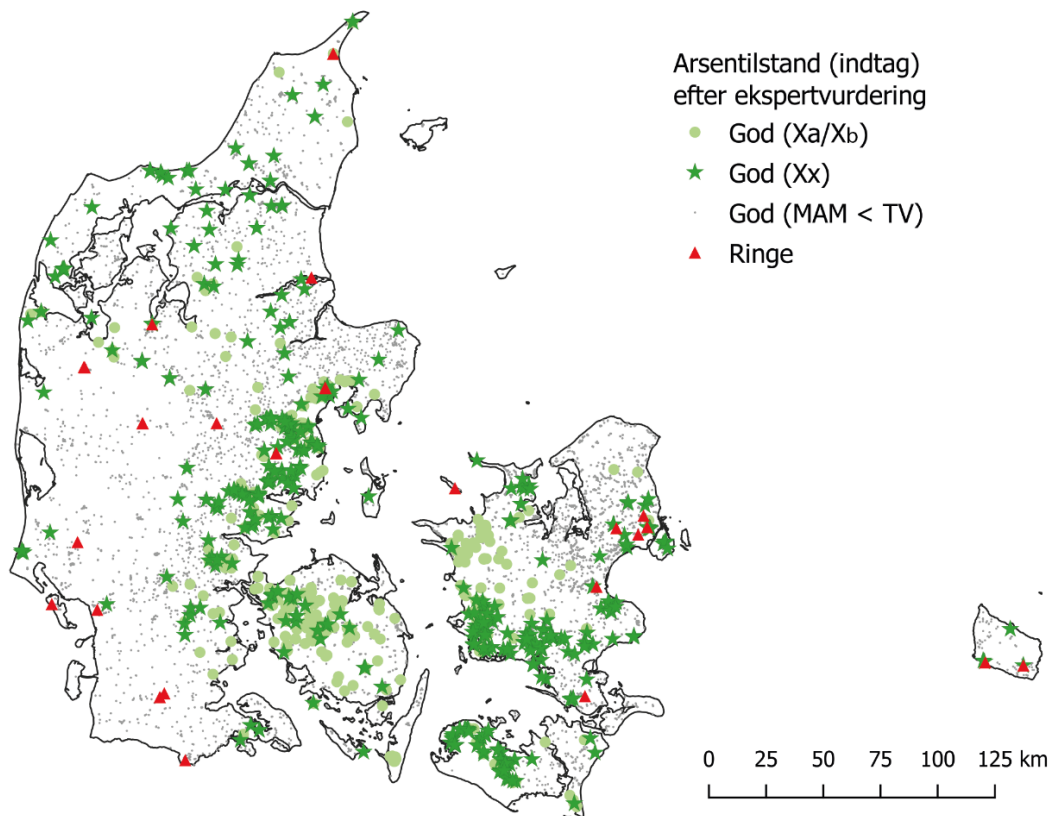


Figur 10.1 Resultat af ekspertvurderingen. Den procentvise fordeling for alle indtag der overskrider de nationalt gældende tærskelværdier for sporstoffer. Grøn: X_a/X_b angiver indtag, hvor den maskinelle vurdering viser, at indtagene bidrager til 'God' tilstand, idet MAM-værdien er mindre end de forekomstspecifikke tærskelværdier. Lys grøn: "Ekspertvurderet god tilstand". Indtag, hvor MAM-værdierne overskrider en tærskelværdi, men koncentrationerne er vurderet til at være af naturlig oprindelse. Gul: 'Potentielt Ringe' tilstand. Indtag som bidrager til vurderingen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, hvor klassifikationen er bibeholdt efter ekspertvurderingen.

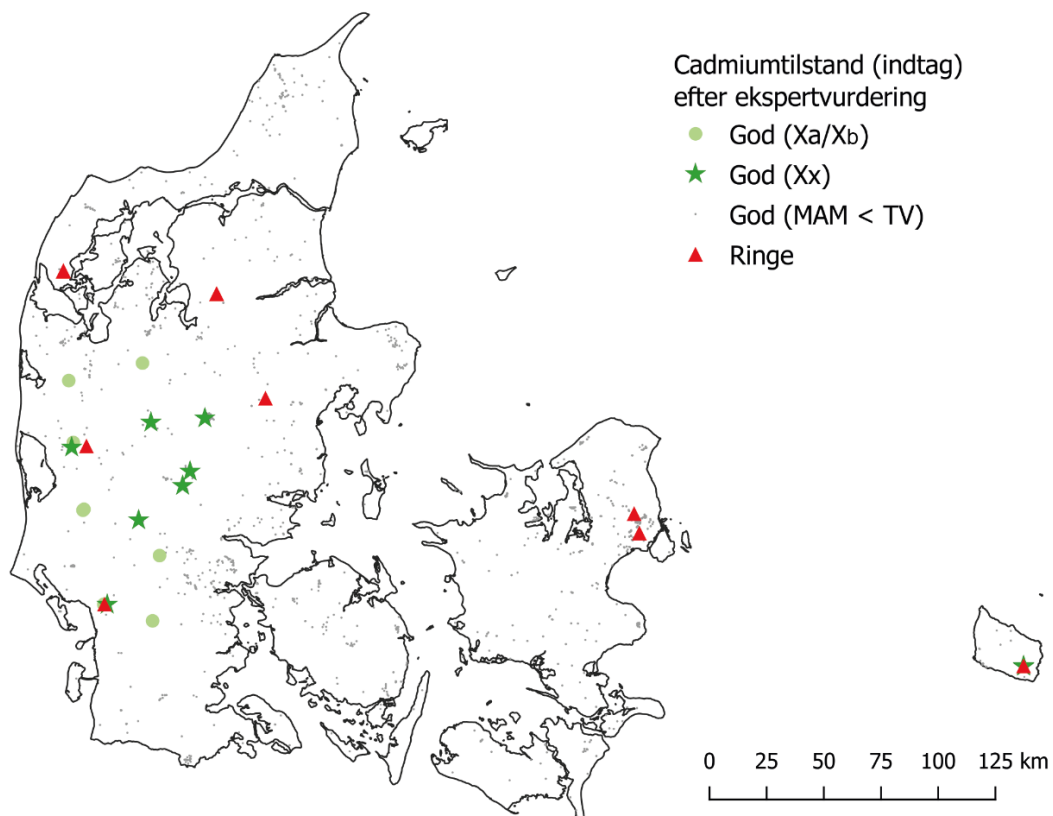
Den geografiske fordeling og tilstandsvurdering af de indtag, der er ekspertvurderet, ses i Figur 10.2 til Figur 10.7.



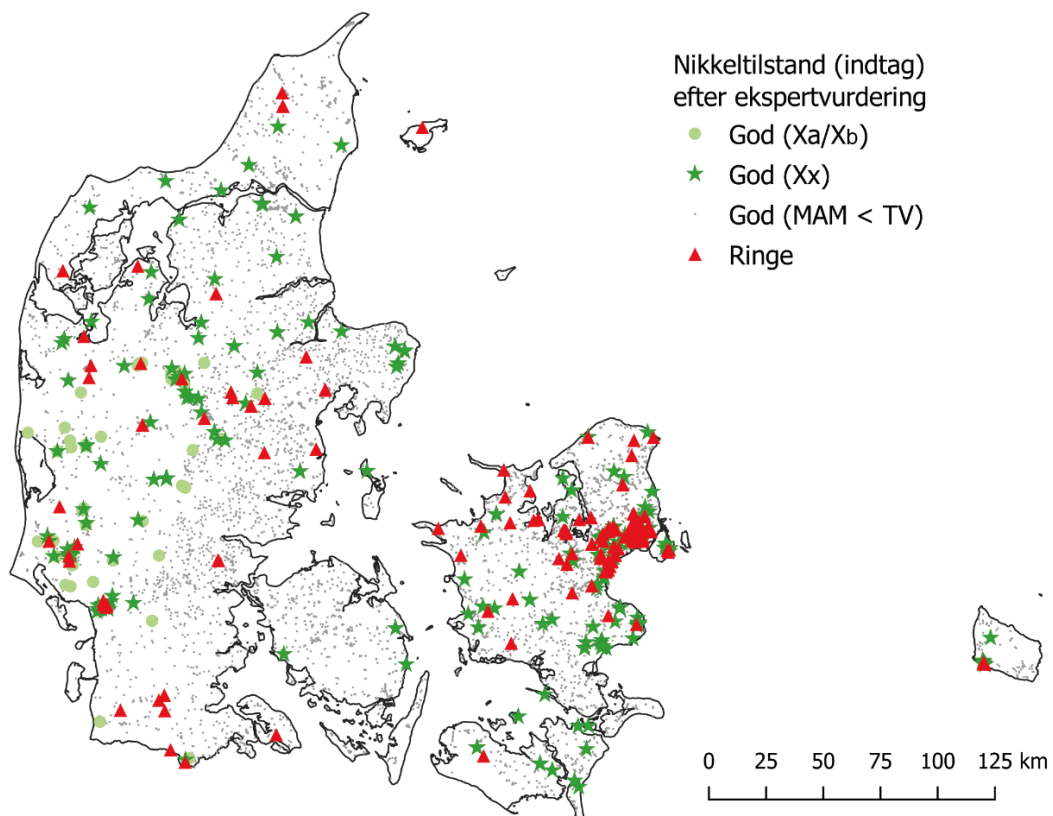
Figur 10.2 Tilstandsvurdering for aluminium efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider tærskelværdierne. "God (X_a/X_b)": Indtag, som bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand" på baggrund af de forekomstspecifikke tærskelværdier. "God (X_x)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. For aluminium gælder dog, at 12 indtag uden for Jylland ikke er ekspertvurderet.



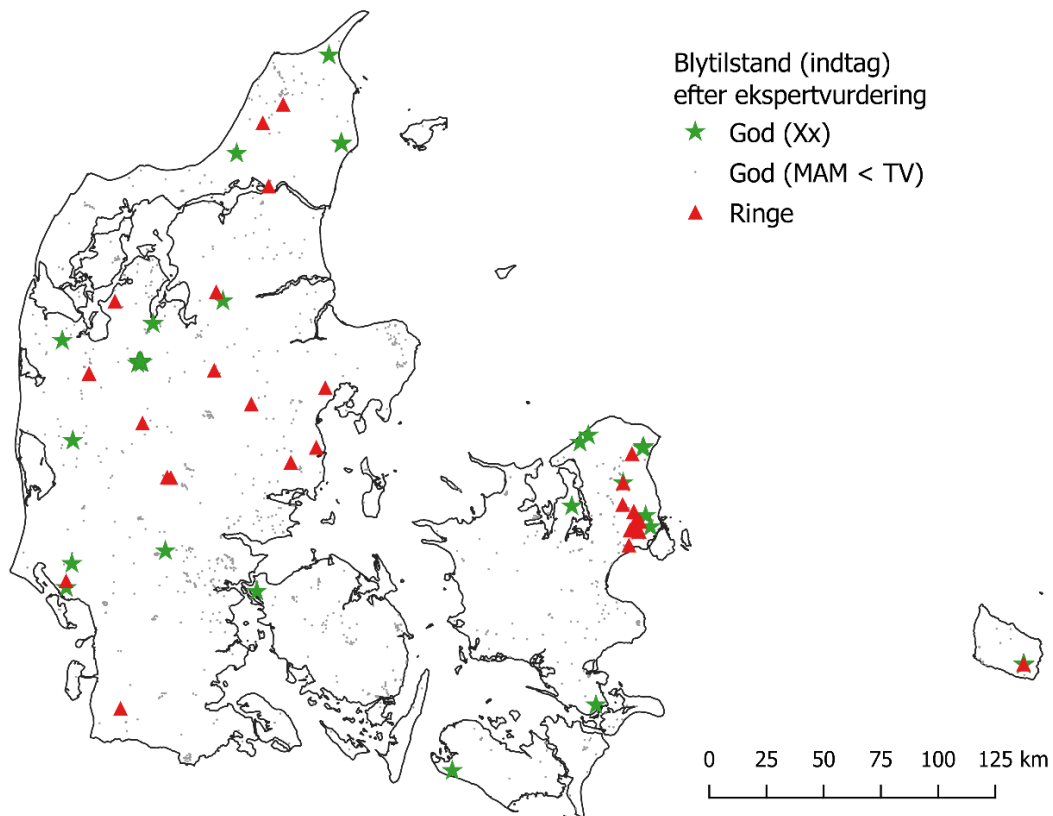
Figur 10.3 Tilstandsvurdering for arsen efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider tærskelværdierne. "God (X_a/X_b)": Indtag, som bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand" på baggrund af de forekomstspezifiske tærskelværdier. "God (X_x)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.



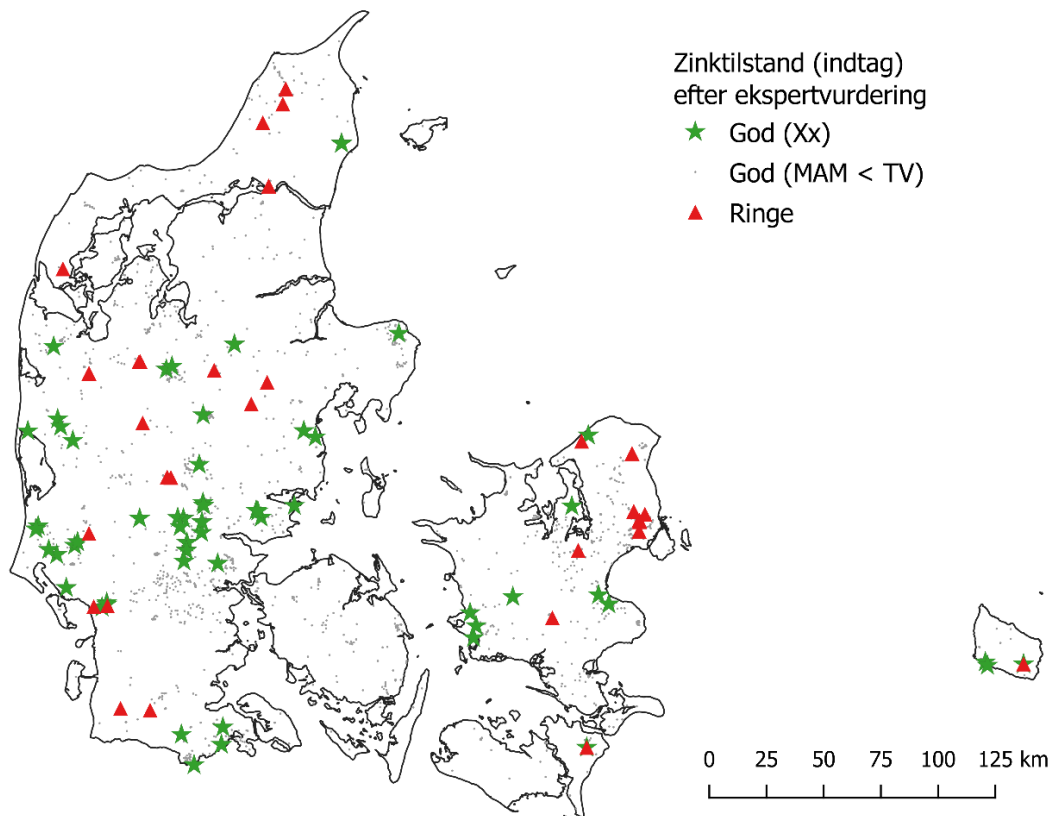
Figur 10.4 Tilstandsvurdering for cadmium efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider tærskelværdierne. "God (X_a/X_b)": Indtag, som bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand" på baggrund af de forekomstspecifikke tærskelværdier. "God (X_x)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.



Figur 10.5 Tilstandsvurdering for nikkel efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider tærskelværdierne. "God (X_a/X_b)": Indtag, som bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand" på baggrund af de forekomstspecifikke tærskelværdier. "God (X_x)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.



Figur 10.6 Tilstandsvurdering for bly efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider den nationalt gældende tærskelværdi. Der er ikke fastlagt forekomsts specifikke tærskelværdier for bly. "God (Xx)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationalt gældende tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand.



Figur 10.7 Tilstandsvurdering for zink efter ekspertvurdering af indtag, hvor MAM-værdien overskrider den nationalt gældende tærskelværdi. Der er ikke fastlagt forekomsts-specifikke tærskelværdier for zink. "God (Xx)": Indtag, hvor ekspertvurderingen klassificerer indtaget som bidragende til 'God' kemisk tilstand. "God (MAM < TV)": Indtag, der bidrager til klassificeringen 'God' kemisk tilstand på baggrund af de nationale tærskelværdier. "Ringe": Indtag, som efter ekspertvurderingen stadig bidrager til 'Potentielt ringe' kemisk tilstand.

11. Sammenfatning og kommentarer

11.1 Sammenfatning

Denne rapport dokumenterer arbejdet udført i forbindelse med tilstandsvurdering af grundvandsforekomsterne for sporstoffer og salte.

Den indledende maskinelle tilstandsvurdering for alle udvalgte sporstoffer giver 336 grundvandsforekomster klassificeret i 'God' kemisk tilstand, mens 223 grundvandsforekomster er klassificeret som værende i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Der er 1.491 grundvandsforekomster, hvor der ikke var data til at vurdere den kemiske tilstand for de udvalgte stoffer. Disse er klassificeret som 'Ukendt' tilstand. Den samlede tilstand for de enkelte grundvandsforekomster er 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand når mindst ét sporstof, har overskridelser af MAM-værdien i forhold til de anvendte tærskelværdier.

For klorid er 566 grundvandsforekomster vurderet i 'God' kemisk tilstand, mens 43 er i 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Der var 1.441 grundvandsforekomster, hvor der ikke var data til at vurdere den kemiske tilstand for salt (klorid).

Der er for sporstoffer fastlagt naturlige baggrundsværdier i grundvandsforekomsterne. De naturlige baggrundsværdier er beregnet ud fra datatyperne GRUMO (grundvandsovervågning) og VF (vandforsyningsindtag), som antages at være upåvirket af menneskelig aktivitet. De naturlige baggrundsværdier er på baggrund af EU-CIS Guidance document no. 18 (EU, 2009) beregnet som 90% fraktilen af disse indtags middelkoncentration (MAM-værdien).

Der er udarbejdet en maskinel metode til vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for sporstoffer og salte. Den maskinelle metode følger de beslutningstræer, der er udarbejdet i samarbejde mellem Miljøstyrelsen og GEUS, og på baggrund heraf, er grundvandsforekomsterne tildelt klassifikationen 'God' kemisk tilstand, 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand eller 'Ukendt' tilstand.

For sporstoffer er der efterfølgende udført en ekspertvurdering af GEUS for et udvalg af indtag, som bidrager til klassifikationen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand. Indtagene er vurderet på baggrund af yderligere tilgængelige data i Jupiterdatabasen. Resultatet af ekspertvurderingen indgår i Miljøstyrelsens arbejde med den endelige tilstandsvurdering for sporstoffer, se bilag 16.

11.2 Kvalitetssikring

Kvalitetssikring af arbejdet med tilstandsvurderingerne har fra starten været et vigtigt aspekt af arbejdet og er udført løbende gennem projektet.

De mange dataleverancer, tekniske notater samt GEUS-notater har gennemgået fagfælle kvalitetssikring. Herudover har der i løbet af projektet været en meget omfattende kommunikation med Miljøstyrelsen, både som møder og skriftligt, hvilket har ført til løbende justering

og præcisering af projekterne. Dette gælder fx fastlæggelse af udtrækskriterier, beslutnings-træer, afrundingsprincipper mm., således som det er beskrevet i denne rapport.

11.3 Kommentarer

Det videre arbejde med udarbejdelse af de endelige tilstandsvurderinger har fundet sted i Miljøstyrelsen, se også bilag 16.

Den forventede høje kvalitet og det store omfang af data benyttet til beregning af de naturlige baggrundsværdier betyder, at det til næste vandplan bør overvejes om 97% fraktilen skal benyttes i stedet ved beregning af naturlige baggrundsværdier som grundlaget til udpegelse af forekomstspekifikke tærskelværdier. Dette vil resultere i færre indtag, der bidrager til klassificeringen 'Potentielt Ringe' kemisk tilstand, på trods af naturlige forhold i grundvandsforekomsterne, se kapitel 10.

Der kan til kommende arbejder med vandområdeplaner være et behov for at arbejde videnskabeligt videre med at udbygge og konsolidere den konceptuelle forståelsesmodel for sporstoffer og salte.

Der har været udført et stort arbejde for at inddrage nye data fra ikke mindst regionerne og koble dem korrekt til grundvandsforekomsterne. Der er dog fortsat et omfattende arbejde med at få denne datatype (DEPOT) korrekt ind i Jupiter, ikke mindst med de relevante metadata som oplysninger om filtrering, indtagsdybder mm.

12. Litteratur

Litteraturlisten dækker såvel selve rapporten som bilagene.

Analysekvalitetsbekendtgørelsen, 2020: Gældende BEK nr. 1770 af 28/11/2020. Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger

Andersen, H. E. & Heckrath, G. (redaktører), 2020: Fosforkortlægning af dyrkningsjord og vandområder i Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 338 s. - Videnskabelig rapport nr. 397. <http://dce2.au.dk/pub/SR397.pdf>

Appelo, C.A.J., Postma, D., 2005: Geochemistry, Groundwater and Pollution, second ed. A.A. Balkema Publishers.

Borggaard, O. K. & Elberling, B., 2004: Pedological Biogeochemistry. Institute of geography, University of Copenhagen. ISBN: 87-989450-0-9.

Drikkevandsbekendtgørelsen, 2019: BEK nr. 1070 af 28/10/2019. Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. (Retsinformation: <https://www.retsinformation.dk/eli/ta/2019/1070>).

Ernstsen, V., 2020: Naturlige baggrundsværdier. Metode og faglige forudsætninger. Bilag 1 i nærværende rapport.

EU 2000: Europa-Parlamentets og Rådets direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger med senere ændringer (Vandrammedirektivet).

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

EU, 2009: Guidance Document No. 18 Guidance on groundwater status and trend assessment. Technical Report-2009-026.

EU, 2010: Guidance Document No. 26, Guidance on risk assessment and the use of conceptual models for groundwater. Technical Report – 2010 – 042.

GEUS-notat 06-VA-18-02: Afdækning af sammenhænge mellem almene vandforsyninger og grundvandsforekomster under ”kontrakt om metode for vurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand og nye vurderinger af tilstanden fsva. nitrat”.

GEUS-notat 07-VA-2020-16: Udtræk fra Jupiter, Leverance 5A i projektet ”Metode for vurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for sporstoffer og nye vurderinger af forekomsternes tilstand for sporstoffer”.

Hansen B. & Larsen F., 2016: Faglig vurdering af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof i 2016-18. <https://www.geus.dk/media/6845/bhansen-2016-4ny.pdf>

Hansen, B. & Thorling, L., 2018: Kemisk grundvandskortlægning. Geo-vejledning 2018/2. GEUS. ISBN: 978-7871-493-0.

Henriksen, H. J., Voutchkova, D., Troldborg, L., Ondracek, M., Schullehner, J. & Hansen, B., 2019: National Vandressource model. Beregning af udnyttelsesgrader, afsækning og vandløbspåvirkning med DK-model 2019. GEUS-rapport 2019/32.

Henriksen, H. J., Voutchkova, D., Ondracek, M., Troldborg, L., Thorling, T., 2021: Konsolidering af kvantitativ tilstandsvurdering for danske grundvandsforekomster i potentielt ringe tilstand på basis af ekspertvurdering. Danmarks og Grønlands geologiske undersøgelser Rapport 2021/2.

Kjøller, C., Jessen, S., Larsen, F., Postma, D., Jakobsen, R., 2006: Binding af nikkel til og frigivelse fra naturlige kalksedimenter. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 8. <https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2006/87-7614-997-8/pdf/87-7614-998-6.pdf>

Kristiansen, S. M., Christensen, F. D. & Hansen, B., 2009: Vurdering af danske grundvandsmagasiners sårbarhed overfor vejsalt. GEUS. ISBN 978-87-7871-264-6.

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

Miljøstyrelsen, 2003: Renere luft – den danske indsats. Udarbejdet af Fenger, J., DMU. ISBN: 87-7972-389-6.

Miljøstyrelsen, 2020: Projektinitieringsdokument (PID). Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: Ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP3 2021-2027. DD 10-11-2020.

Mortensen, M. H., 2020a: Resultat af ammoniumtilstandsvurdering i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: Ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP3 2021-2027". GEUS-notat 07-VA-2020-06.

Mortensen, M. H., 2020b: Resultat af kloridtilstandsvurdering i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: Ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP3 2021-2027". GEUS-notat 07-VA-2020-14.

Mortensen, M. H., 2020c: Redegørelse for grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for fosfor, sulfat, nitrit og ledningsevne i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: Ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP3 2021-2027". GEUS-notat 07-VA-2020-18.

Mortensen, M. H. & Voutchkova, D., 2020a: Leverance 3 i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027". GEUS-NOTAT nr.: 07-VA-2020-11.

Mortensen, M. H. & Voutchkova, D., 2020b: Leverance 4 i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027". GEUS-NOTAT nr.: 07-VA-2020-12.

Mortensen, M. H. & Voutchkova, D., 2020c: Leverance 5 og 6: Opdeling i tilstand efter beslutningstræ (leverance 5), i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027", samt rubricering af grundvandsforekomster (leverance 6). GEUS-NOTAT nr.: 07-VA-2020-13.

Postma, D. & Boesen, C., 1991: Nitrate reduction in an unconfined sandy aquifer: Water chemistry, reduction processes, and geochemical modeling. *Water resources research*, vol 27, No. 8, pages 2027-2045.

Reimann, C., Birke, M. (eds), 2010: *Geochemistry of European bottled water*. Borntraeger Science Publishers, Stuttgart.

Reimann, C., Birke, M., Demetriades, A., Filzmoser, P., O'Connor, P. (eds), 2014: *Chemistry of Europe's agricultural soils. Part A. Methodology and interpretation of the GEMAS data set*. *Geologisches Jahrbuch, Reihe B, Regionale Geologie Ausland und Angewandte Geowissenschaften*, heft 102. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.

Thorling, L., Hansen, B. & Magid, J. 2010: Opløst organisk fosfor i grundvand?. *Vand og Jord*. 17. årgang, nr. 1. 20-23.

Thorling, L., Brüsch, W., Hansen, B., Larsen, C.L., Mielby, S., Troldborg, 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., Ernstsens, V., Hansen, M., Thomsen, C.T., Wandall, T., Sørensen, E.N., 2014: *Data-tekniske anvisning for kemidata – GRUNDTVAND*. DG02.

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

Thorling, L., 2017: *Prøvetagning af grundvand i felten*. Teknisk anvisning. GEUS 2017. <https://www.geus.dk/media/6775/g02-proevetagning-version-12.pdf> (21-1-2021).

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsens, E., Hansen, B., Johnsen, A.R., & Troldborg, L., 2018: *Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2016*. Teknisk rapport, GEUS 2018. <https://www.geus.dk/media/7921/grundvand1989-2016-endelig-momslag.pdf>

Thorling, L. og Hansen, M., 2018: *Datakilder, der kan anvendes ved vurdering af grundvandets tilstand for nitrat*. Notat af 23. marts. 2018. rev. 8. maj 2018.

Thorling, L., Ditlefsen, C., Ernstsens, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., & Troldborg, L., 2019: *Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2018*. Teknisk rapport, GEUS 2019. <https://www.geus.dk/media/8321/grundvand1989-2018-rettet.pdf>

Thorling, L. & Johnsen A. R., 2020: Datakilder i form af vandanalyser, der anvendes ved vurdering af grundvandets tilstand i forbindelse med vandområdeplanerne 2021-2023. GEUS-NOTAT nr.: 07-VA-2020-02. For Miljøstyrelsen.

Troldborg, L., 2020a: Afgrænsning af de danske grundvandsforekomster. GEUS-rapport 2020/1, København.

Troldborg, L., 2020b: Revision af indtagskobling til grundvandsforekomster. GEUS-Notat 06-VA-20-01.

Voutchkova, D.D.; Ernstsén, V.; Schullehner, J.; Hinsby, K.; Thorling, L.; Hansen, B., 2021: Roadmap for Determining Natural Background Levels of Trace Metals in Groundwater. *Water* 2021, 13, 1267. <https://doi.org/10.3390/w13091267>

Voutchkova, D. D., Schullehner, J., Rasmussen, P., Hansen, B., 2021: A high-resolution nitrate vulnerability assessment of sandy aquifers (DRASTIC-N), *Journal of Environmental Management* 277, 111330, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111330>

World Health Organization, 2017: Guidelines for drinking-water quality. Fourth edition.

Bilag.

Alle bilag foreligger kun som PDF-filer.

Alle GEUS-notater tilknyttet leverancerne i projektet fremgår af Bilagene.

Oversigt over bilag

Bilag 1	Naturlige baggrundsværdier. Metode og faglige forudsætninger. Ernstsens, V., december 2020. <ul style="list-style-type: none">- Naturlige baggrundsværdier. Metode og faglige forudsætninger.- Bilag 1: Resultat af den første beregning af NBV.- Bilag 2: Resultat af den anden beregning af NBV (> 50 indtag).- Bilag 2: Resultat af den anden beregning af NBV (> 20 indtag).- Bilag 3: Workflow document (2020-06-20).- Compiled workflow documentation (2021-05-28).
Bilag 2	GEUS-notat 07-VA-2020-06. Notat vedrørende den kemiske tilstandsvurdering af grundvandsforekomster fsva ammonium. <ul style="list-style-type: none">- Cover GEUS-notat 07-VA-2020-06.- GEUS-notat 07-VA-2020-06.
Bilag 3	GEUS-notat 07-VA-2020-14. Notat vedrørende den kemiske tilstandsvurdering af grundvandsforekomster fsva klorid.
Bilag 4	GEUS-notat 07-VA-2020-18. Notat vedrørende redegørelse for saltene fosfor, nitrit, sulfat og ledningsevne.
Bilag 5	GEUS-notat 07-VA-2020-02. Datakildenotatet: Datakilder i form af vandanalyser, der anvendes ved vurdering af grundvandets tilstand i forbindelse med vandområdeplanerne 2021-2027.
Bilag 6	GEUS-notat 06-VA-20-01. Revision af indtagskobling til grundvandsforekomster.
Bilag 7	MST juni 2021. Kvalitetssikring af datagrundlag og aggregering af data ved vurdering af grundvandsforekomsternes kemiske tilstand for pesticider, sporstoffer, klorid og øvrige miljøfarlige forurenende stoffer (MFS).
Bilag 8	GEUS-notat 07-VA-2020-16. Udtræk fra Jupiter, Leverance 5A i projektet "Metode for vurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for sporstoffer og nye vurderinger af forekomsternes tilstand fsva sporstoffer". <ul style="list-style-type: none">- GEUS-notat nr.: 07-VA-2020-16.- Appendiks 1: Bestilling af udtræk og overblikstabeller.- Bilag 1: Sporstoffer til tilstandsvurdering.- Bilag 2: Uddrag af projektbeskrivelse pr. 24. april 2020.

	<ul style="list-style-type: none"> - Appendiks 2: Bestilling af nyt udtræk og overblikstabeller, nov. 2020.
Bilag 9	<p>GEUS-notat 07-VA-2020-15. Leverance 5B og 5C: Aggregering af data og udarbejdelse af datasæt til brug for tilstandsvurderingen for sporstoffer.</p> <ul style="list-style-type: none"> - GEUS-notat nr.: 07-VA-2020-15. - Bilag 1: Procedure for leverance 5B. - Bilag 2: Procedure for leverance 5C. - Bilag 3: Uddrag af projektbeskrivelsen, leverance 5B og 5C.
Bilag 10	<p>Assessment exceedance based on the NBV for Al, As, Cd and Ni for the VP3-Sporstof project. Voutchkova, D., Version dated December 8th, 2020.</p>
Bilag 11	<p>Ekspertvurdering af overskridelser af uorganiske sporstoffer med henblik på at identificere tilfælde, der skyldes naturlige forhold. Ernstsén, V., December 2020.</p>
Bilag 12	<p>GEUS-notat 07-VA-2020-11. Leverance 3 i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027".</p> <ul style="list-style-type: none"> - GEUS-notat nr.: 07-VA-2020-11. - Bilag 1: Dokumentation for fastsættelse af grundvandsforekomstspecifikke tærskelværdier (naturlige baggrundsværdier) for ammonium og klorid.
Bilag 13	<p>GEUS-notat 07-VA-2020-12. Leverance 4 i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027".</p> <ul style="list-style-type: none"> - GEUS-notat nr.: 07-VA-2020-12. - Bilag 1: Metodebeskrivelse og dokumentation for dataaggregering og beregning af ionbytning.
Bilag 14	<p>GEUS-notat 07-VA-2020-13. Leverance 5 og 6: Opdeling i tilstand efter beslutningstræ (leverance 5) i projektet "Tilstandsvurdering af de danske grundvandsforekomsters kemiske tilstand for saltene: ammonium, nitrit, sulfat, fosfor og klorid til VP 3 2021-2027", samt rubricering af grundvandsforekomster (leverance 6).</p> <ul style="list-style-type: none"> - GEUS-notat nr.: 07-VA-2020-13. - Bilag 1: Metodebeskrivelse for tildeling af tilstand efter beslutningstræ, leverance 5 og 6.
Bilag 15	<p>Oversigtskort over geografiske/geologiske grundvandsforekomstklasser, hvor der er udarbejdet forekomstspecifikke tærskelværdier.</p>
Bilag 16	<p>Miljøministeriet. Notat: Metode for beregning af kemisk tilstand for de danske grundvandsforekomster fsva sporstoffer og salt til VP3. Juni 2021.</p>