

Grundvand

Status og udvikling 1989 – 2013

GEUS 2015

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling

Walter Brusch

Vibeke Ernstsén

Birgitte Hansen

Troels Laier

Flemming Larsen

Susie Mielby

Brian L. Sørensen

Dato 25. marts 2015

Rapporten kan hentes på: www.grundvandsovervaagning.dk

Forord

Denne rapportering om grundvandets tilstand og udvikling er baseret på data indsamlet i perioden 1989 til 2013 som led i den nationale grundvandsovervågning (GRUMO) og landovervågning (LOOP). Fra de almene vandværker præsenteres data fra egenkontrollen af grundvandsvandkvaliteten i vandværksboringerne. Der er ligeledes i et vist omfang inddraget kemiske analyser af grundvandet fra andre grundvandsundersøgelser, fx i forbindelse med kortlægningen af grundvandet i områder med særlige drikkevandsinteresser. Fra indvindere af grundvand og overfladevand; vandværker, industrier, markvandere mv. rapporteres indberettede oplysninger om vandindvindings størrelse.

Data er præsenteret i en række faste figurer og tabeller, der hvert år opdateres i den løbende rapportering. Med udgangspunkt heri præsenteres supplerende resultater og konklusioner. Derudover kan der være en uddybende datapræsentation i varierende omfang, typisk i form af et tema. Der er i år ikke noget særligt tema, idet der for hele NOVANA programmet udgives en særskilt rapport om Miljøfremmede stoffer. Kapitlerne om fosfor, redoxboringer og organiske mikroforureninger indgår ikke hvert år og er ikke med i dette års rapport.

Målgrupperne for denne rapportering er Regeringen, Folketinget og offentligheden samt de involverede aktører i overvågningen, herunder Naturstyrelsen, Miljøstyrelsen, kommuner, vandforsyninger og Århus Universitet (DCE). Rapporten udkommer alene elektronisk på GEUS' hjemmeside www.geus.dk.

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

Grundvandets Strømning og Alder	Flemming Larsen, Troels Laier og Lærke Thorling
Nitrat og andre Hovedbestanddele	Birgitte Hansen og Lærke Thorling
Uorganiske Sporstoffer	Vibeke Ernstsén
Organiske Mikroforureninger	(rapporteres ikke her)
Pesticider	Walter Brüsçh og Lærke Thorling
Vandindvinding	Brian L. Sørensen
Det Nationale Pejleprogram	Susie Mielby

© Denne rapport er behæftet med copyright. Hvis figurer eller andet materiale anvendes skal den nødvendige kildeangivelse anføres, enten i form af et link til GEUS hjemmeside eller ved en henvisning til denne rapport:

Thorling, L., Brüsçh, W., Ernstsén, V., Hansen, B., Laier, T., Larsen, F., B., Mielby, S og Sørensen, B. L., 2015: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. Teknisk rapport, GEUS 2015.

ISBN 978-87-7871-387-2.

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
1 Sammenfatning	4
1 Summary in English.....	11
2 Formål og stationsnet.....	19
2.1 Formål.....	19
2.2 Overvågningsdesign og stationsnet, GRUMO.....	21
2.3 Vandværkernes indvindingsboringer	27
3 Metoder og datagrundlag	31
3.1 Analyseindsats og dataindsamling	31
3.2 Metoder til databehandling	34
4 Grundvandets strømning og opholdstid	38
Grundvandets Hydrogeologi	38
Grundvandets Opholdstid	42
5 Nitrat	49
Indledning	50
Tilstand	52
Udvikling	63
6 Uorganiske sporstoffer	70
Indledning	70
Tilstand og udvikling, Grundvandsovervågning	73
Tilstand og udvikling, grundvand i vandværksboringer	76
7 Pesticider.....	79
Indledning	80
7.1 Grundvandsovervågning.....	81
Tilstand, grundvandsovervågning.....	83
Udviklingstendenser, effektindikator for udvalgte stoffer	95
7.2 Grundvand i vandværksboringer	100
Tilstand, grundvand i vandværksboringer.....	100
Udvikling i grundvandet i vandværksboringer.....	103
7.3 Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet.....	110
8 Vandindvinding.....	115
Status og udvikling.....	117
9 Det Nationale Pejleprogram	120
Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag	128
10 Referencer.....	131

1 Sammenfatning

Overvågningen af grundvandet (GRUMO) og det øvrige vandmiljø, har fundet sted i 25 år, med en systematisk dataindsamling og rapportering siden 1989. Dette års grundvandsovervågningsrapport præsenterer resultaterne for perioden 1989-2013. Overvågningsprogrammets formål, udvikling og metoder præsenteres i rapportens kapitel 2 og 3. Kapitel 4 beskriver de geologiske og hydrologiske forudsætninger for grundvand og vandforsyning i Danmark, samt resultaterne af indsatsen for at datere grundvandet igennem de seneste år.

Mens kapitel 2 præsenterer den forvaltningsmæssige ramme for grundvandsovervågningen, giver kapitel 4 således den faglige baggrund for de fortolkninger, der præsenteres i de øvrige kapitler, hvor der fokuseres på de indsamlede overvågningsdata.

Overvågning af grundvandet finder sted i følgende sammenhænge:

- Grundvandsovervågningen, GRUMO (1989 ff.)
- Landovervågningen, LOOP (1989 ff.)
- Vandværkernes boringskontrol (1989 ff.)
- Oppumpede vandmængder på vandværker, industri, markvandere mv.(ca. 1980 ff.)

Derudover gennemføres der også en overvågning af grundvandet i forbindelse med forurenede jord og punktkilder i henhold til jordforureningsloven. Denne opgave varetages af regionerne og Miljøstyrelsen (MST, 2014). Data herfra rapporteres ikke systematisk til den fællesoffentlige database JUPITER og indgår IKKE i denne rapportering.

Datagrundlag

Rapporteringen af grundvandsovervågningen omfatter kemiske analyser og pejledata for grundvandet samt oplysninger om oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand. Det datamateriale, der ligger til grund for rapporten, er udtrukket fra JUPITER ud fra særlige kriterier, som blandt andet sikrer en veldefineret datakvalitet, og at fortrolige oplysninger mv. håndteres korrekt. Kemidata opdeles i fire datasæt, GRUMO, LOOP, Vandværksboringer og "Andre boringer". Datasættet Vandværksboringer består af analyser fra aktive vandværker.

"Andre boringer" består af analyser fra nedlagte vandværker, forureningsundersøgelser, kortlægningsboringer og øvrige analyser, der ikke hører til i de tre øvrige datasæt. Data fra den nationale Grundvandskortlægning giver over årene et geografisk dækkende datasæt og kan således understøtte tilstandsvurderingerne. Datasættet "Andre boringer" er derimod uegnet til at vurdere udviklingstendenser, da mange indtag kun indgår med en enkelt analyse gennem tiden.

Alle relevante data om grundvand og drikkevand skal i henhold til "Dataansvarsaftalen" være tilgængelige i JUPITER. Kommunernes opdatering af vandværkernes oppumpede vandmængder er fortsat et fokusområde mht. opretning af forkerte eller mangelfulde data for perioden fra 2007 til 2013. Der er dog sket væsentlige forbedringer i indberetningerne de seneste år. Der er fortsat ikke noget samlet overblik over antallet af aktive vandværker og indvindingsboringer på landsplan. Dette medfører en række problemer for såvel datahåndteringen som rapporteringen, herunder hvilke svar overvågningen kan give om kvalitet og kvantitet af det grundvand, der anvendes til vandforsyning. En revision af drikkevandsbekendtgørelsen i 2012

har medført, at der fremover skal indberettes status for alle forsyningsboringer. Dette forventes med tiden at kunne give mere præcise redegørelser for tilstanden på vandværker og opgørelser over indvindingsboringernes status.

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

Udbygning af stationsnet

Et vigtigt indsatsområde for grundvandsovervågningen er at justere og udbygge stationsnettet for bedre at kunne understøtte vandområdeplanerne og implementeringen af EU's vandrammedirektiv. Vandområdeplanerne skal bygge på overvågningsdata, der indsamles på baggrund af et overvågningsnet, der er udformet således, at det giver "et sammenhængende og omfattende overblik over grundvandtes kemiske tilstand i hvert vandløbsopland, og således at langsigtede, menneskeskabte tendenser til stigning i forekomsten af forurenende stoffer kan registreres", jf. EU's Vandrammedirektiv. Samtidig skal der overvåges hyppigere, hvis grundvandet er i risiko for at være i ringe tilstand på grund af påvirkning fra menneskelige aktiviteter.

Grundvandsovervågningen bestod oprindeligt af 73 grundvandsovervågningsområder omfattende ca. 1400 almindelige overvågningsindtag. Dette design var imidlertid ikke dækkende for overvågningsbehovene til vandområdeplanerne. Der er indtil nu etableret de første 157 nye indtag til et distribueret stationsnet, jf. programbeskrivelsen. Dette skal sikre en repræsentativ overvågning i alle vandløbsoplande og af grundvandsforekomster, der er i risiko for ikke at opfylde miljømålene, og som ikke var dækket af det oprindelige stationsnet.

I 2013 bestod det samlede aktive stationsnet til overvågning af grundvandets kvalitet af 157 indtag i det distribuerede net og ca. 1.250 gamle GRUMO-indtag medregnet 112 i Rabis Bæk området og 89 indtag i multifilterboringerne fordelt på 65 grundvandsovervågningsområder. Ikke alle indtag overvåges hvert år. Et stabilt overvågningsnetværk er en forudsætning for overvågningen, idet der opbygges tidsserier af høj kvalitet, der beskriver såvel den aktuelle miljøtilstand som effekter af de samfundsmæssige påvirkninger herunder indsatsplaner mv. Dette hensyn er tilgodeset gennem fastholdelsen af en kerne af faste boringer i programmet.

Parallelt med udbygningen af stationsnettet til den kemiske overvågning udbygges også stationsnettet til Det Nationale Pejleprogram, der i 2013 omfattede i alt 151 indtag.

Metoder

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt for databehandlingen bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagsniveau. Hvis der inden for en periode er udtaget flere prøver i samme indtag, aggregeres målingerne som beskrevet nedenfor.

Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data fra flere forskellige indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskravet og detektionsgrænser. I det omfang, der beregnes middelværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler.

En kumulativ metode er udviklet til at give et billede af den samlede påvirkning over en periode.

Datering af grundvandet

I år afrapporteres resultaterne af dateringer af grundvandet udført i 2012 og 2013. Der er udtaget vandprøver til datering dels i en række nyetablerede indtag, og dels i udvalgte indtag i det hidtidige stationsnet med iltholdigt grundvand. Baggrunden for dette er, at den hidtidige dateringsmetode med CFC ikke længere er en hensigtsmæssig dateringsmetode for grundvand dannet de seneste 15-20 år. Tritium/helium metoden, er derfor valgt som ny dateringsmetode i GRUMO. Der har været store tekniske udfordringer med dateringsprojektet, idet tritium/helium metoden kun har vist sig anvendelig i indtag med god tilstrømning af grundvand, og en række målinger er derfor af tekniske årsager behæftet med stor usikkerhed.

De sidste analyseresultater er først indkommet i juli 2014, og er først bearbejdet i detaljen i nov.- dec. 2014. Dateringen er afrapporteret i to notater (Laier, 2014 og Laier, 2014a). Det kunne konkluderes, at CFC stadig er en nyttig metode til datering af iltet grundvand, der er 20-60 år gammelt. Derimod ser det ud til, at der i specielt ældre, iltfrit grundvand er afvigende resultater ved en sammenligning af CFC metoden og tritium/helium metoden. Dette kan bl.a. hænge sammen med nedbrydning af CFC under reducerede forhold, hvilket indvirker på den bestemte alder i vandprøverne.

I det unge grundvand under 15-20 år kan de to metoder ikke sammenlignes pga. stor usikkerhed på CFC metoden, og man er alene henvist til at anvende tritium/helium datering.

Nitrat

Nitrat er tilstede i den iltede del af grundvandet, og kan findes stort set overalt i Danmark, men især i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland (2008-2013), hvor mægtigheden af de nitratholdige lag er størst. Der er en tydelig tendens til, at andelen af indtag i det iltede grundvand fra GRUMO med nitratkoncentrationer over 50 mg/l er aftagende i de seneste prøvetagningsår. Omkring 40 % af disse indtag havde i 2013 et nitratindhold over 50 mg/l.

Dette mønster genfindes i LOOP. I sandjordsoplandene i LOOP er der for perioden 1990-2013 en tydelig tendens til et fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold fra ca. 100 til ca. 50 mg/l. Faldet er størst frem til 2000, hvorpå ændringerne bliver mindre. For lerområderne i LOOP er der også en tendens til et fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold fra 1990-2013 fra ca. 50 til ca. 30 mg/l. Faldet er størst frem til 2006, hvorpå ændringerne bliver mindre.

Udviklingstendensen i nitratindholdet i det yngste, iltede grundvand er en vigtig indikator i vurderingen af effekten af Vandmiljøplanen fra 1987 og de efterfølgende vand- og miljøplaner. Der blev i rapporteringen fra 2009 (Thorling m.fl., 2010b) gennemført en statistisk analyse af den tidlige udvikling i grundvandets nitratindhold fra 152 indtag med iltet grundvand i grundvandsovervågningen.

Resultaterne fra arbejdet med nitrattidsserier i iltet grundvand viser, at der generelt kan dokumenteres en effekt af de gennemførte reguleringer af landbruget. I det yngste grundvand (0-15 år) er der en større andel med signifikant faldende nitratindhold sammenlignet med det ældre grundvand (25-50 år). Denne observation er i overensstemmelse med udviklingen i kvælstof-

overskuddet i dansk landbrug, og målinger af nitratudvaskningen og nitrattransporten i vandløb i andre dele af det nationale overvågningsprogram. I mere end halvdelen af det yngste vand kunne der dog ikke påvises en faldende tendens for nitrat ved den statistiske analyse.

Generelt har kun få vandværksboringer et nitratindhold over kvalitetskravet for drikkevand. Dette hænger sammen med, at den forurenede del af grundvandet mange steder kan fravælges, idet boringer med et højt nitratindhold lukkes og erstattes af dybere boringer (Schullehner & Hansen, 2014).

Det konkluderes, at det overordnet set går den rigtige vej med hensyn til at nedbringe nitratindholdet i grundvandet, men at der flere steder fortsat kan konstateres stigninger, herunder også i det helt unge grundvand dannet efter vandmiljøplanernes ikrafttræden. Dette blev uddybet og diskuteret indgående i GRUMO-rapporten fra 2012.

Uorganiske sporstoffer

En række uorganiske sporstoffer optræder i dansk grundvand i koncentrationer over kvalitetskravene. En del af grundvandets indhold af disse stoffer er naturligt forekommende, mens det i andre tilfælde skyldes påvirkning fra samfundsmæssige aktiviteter.

Resultaterne fra 2013 af grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer viser i overensstemmelse med tidligere års overvågning, at der er mange boringer, hvor indholdet af sporstoffer i grundvandet overstiger drikkevandskvalitetskravene (grænseværdierne). Dette gælder især for arsen og nikkel, men også for aluminium og bor. I områder, hvor grundvandet har - ofte naturligt - høje indhold af disse stoffer, kan en simpel vandbehandling på vandværkerne og/eller fokus på indvindingsstrategien understøtte levering af drikkevand, der overholder kvalitetskraverne. Stofferne optræder derfor ikke i drikkevandet i samme omfang som i grundvandet.

Der er fundet overskridelser af kvalitetskravene for drikkevand for ét eller flere stoffer i 40 % af de undersøgte indtag i GRUMO og i 16 % af vandværksboringerne. Desuden viser GRUMO-resultaterne en samtidig overskridelse på to stoffer (ofte aluminium og nikkel), tre stoffer (ofte aluminium sammen med bly, cadmium, nikkel eller zink) og fire stoffer (aluminium, bly, kobber og zink) i henholdsvis 7,5, 4,5 og 1,5 % af indtagene.

Resultater for GRUMO i perioden 1993-2013 viser fra 2010 en stigning i andelen af indtag med koncentrationer af aluminium over kvalitetskravene, og i 2013 er det næsten hvert femte indtag. Dette hænger sammen med udbygningen af stationsnettet, der i de seneste år især har fundet sted i Vestjylland, hvor indholdet af aluminium som følge af lavere pH-værdier ofte er højere i grundvandet end i resten af landet.

Pesticider i grundvandsovervågningen

I 2013 blev der i grundvandsovervågningen fundet pesticider i 37 % af indtagene, mens kvalitetskravet (grænseværdien) på 0,1 µg/l var overskredet i 10 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirket af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det mere dybtliggende og ældre grundvand er mindre.

I de senere år har der i det øvre grundvand været tegn på en faldende andel af indtag med pesticider med koncentrationer over kvalitetskravet. Parallelt hermed ses en stigende hyppig-

hed af indtag med pesticider i koncentrationer under kvalitetskravet i de øverste 50 m u.t. Dette peger på, at den gennemførte regulering af anvendelsen af pesticider nu giver resultat i det øverste og yngste grundvand.

Samtidig har der de senere år været en større andel af indtag med pesticider over kvalitetskravet i det dybereliggende og ældre grundvand. Dette skyldes, at en puls af pesticider bevæger sig ned gennem grundvandslagene på grund af en langsom nedbrydning i grundvandet af pesticider og ikke mindst de i dag forbudte pesticider. Det er således "fortidens synder", der i den dybere del af grundvandet giver anledning til en forringet grundvandskvalitet.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: Godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status pr. 1. aug. 2014. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført yderligere begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. I analyseprogrammet indgår i alt 31 stoffer, hvoraf de 21 stoffer stammer fra forbudte pesticider, mens fem er fra regulerede og fem er fra tilladte.

I 2013 blev der fundet godkendte stoffer i ca. 1,6 % af indtagene (0,2 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$), mens regulerede stoffer blev fundet i 4,5 % (1,9 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$) og forbudte stoffer i 34 % (8,8 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$). Pesticidanalyserne for de sidste syv år viser, at ca. 80 % af fundene udgøres af forbudte stoffer.

Udvikling i koncentrationen i prøver med fund for fire udvalgte forbudte og regulerede stoffer (hhv. BAM og DEIA, og dichlorprop og bentazon), udviser generelt tendenser til faldende koncentrationer i prøver med fund, mens der ikke er tilstrækkelige data til at vurdere udviklingen for tilladte stoffer som fx glyphosat og dets nedbrydningsprodukt, AMPA.

Siden 2011 er der analyseret for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De tre dominerende stoffer med relativt mange fund, for to af stoffernes vedkommende også over kvalitetskravet på 0,1 $\mu\text{g/l}$, er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner. Af disse er didealkylhydroxy-atrazin påvist i 7,4 % af de undersøgte indtag i 2011-13 (ca. 1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$). Deisopropyl-hydroxyatrazin blev påvist i 4,1 % af indtagene (hvoraf 0,1 % \geq 0,1 $\mu\text{g/l}$). Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid rimsulfuron er påvist i 0,8 % af de undersøgte indtag, i alle tilfælde dog under kvalitetskravet. Et andet nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron, desamino-PPU, er ikke påvist i de 863 undersøgte indtag. Fire stoffer, heraf tre godkendte er påvist én til to gange i koncentrationer under kvalitetskravet, mens et stof, hydroxyterbutylazin, blev påvist i to indtag under kvalitetskravet.

En screening i 49 indtag for et svampemiddel til kartoffelplanter, metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter, blev gennemført i efteråret 2013. Dette resulterede i fund under kvalitetskravet i ét indtag i et område med kartoffeldyrkning, mens de tre stoffer ikke blev påvist i nogen af de øvrige områder, hvor der formodentlig ikke har været dyrket kartofler. Resultaterne herfra betyder, at stoffet fremover vil indgå i boringskontrollen i kartoffeldyrkningsområder (MIM, 2014b).

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer

Andelen af aktive vandværksboringer, hvor grundvandet indeholder pesticider, er de sidste 5-10 år stabiliseret på 25 %. I 2013 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 25 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 $\mu\text{g/l}$ (grænseværdien for drikke-

vand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,5 % af borerne. Denne påvirkningsgrad har været nogenlunde konstant siden 2004, hvor der var fund i 26 % af borerne, heraf 4,5 % over kvalitetskravet. Nedbrydningsproduktet BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 19 % af de undersøgte vandværksboringer i 2013.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af analyseprogrammet for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne, "Boringskontrollen", hvor der blev tilføjet 18 supplerende stoffer til det obligatoriske analyseprogram (MiM, 2014b) og fjernet 8 andre stoffer. Stoffer, som bl.a. er fundet i grundvandsovervågningen eller i Varslingsystemet for udvaskning af pesticider (VAP) til grundvandet. Af disse supplerende stoffer er nedbrydningsprodukt DEIA, fra det forbudte stof atrazin, fundet i 1,9 % af de analyserede prøver i 2012-2013, mens de øvrige nye stoffer kun er fundet i ca. 1 % eller mindre af de undersøgte vandprøver. Der er kun få fund over kvalitetskravet. Glyphosat er fundet i 0,3 % af analyserne.

I hele overvågningsperioden for pesticider og nedbrydningsprodukter fra 1992 til 2013 er der blevet analyseret for 171 forskellige stoffer. Det store antal af forskellige stoffer skyldes, at flere vandværkerne af egen drift har ønsket at undersøge grundvandet for så mange stoffer som teknisk muligt. Ud af de 171 stoffer blev der påvist 51 stoffer, hvoraf 35 i dag er forbudte, 13 regulerede og tre godkendte. Når disse stoffer fordeles på godkendte, regulerede og forbudte pesticider i forhold til antallet af analyser for hvert stof udgør de forbudte pesticider 24 % (5 % $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$), mens de regulerede stoffer forekommer i 7 % (1 % $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$), og godkendte stoffer forekommer i 0,6 % (0,1 % $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$).

Vandindvinding

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) er på knap 500 mio. $\text{m}^3/\text{år}$, og fra 2006 og frem har den været stabil eller svagt faldende.

Set under et har kommunerne det forløbne år gjort en markant indsats for at indberette rettidigt d. 1. april og rettet op på tidligere års fejlindberetninger.

Indvinding af grundvand til erhvervsvanding (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år som følge af variationer i nedbørsmønstret. I 2011 nåede denne del af indvindingen over 300 mio. m^3 , hvilket svarer til over 40 % af den samlede grundvandsindvinding i Danmark, mens den for 2012 blot var på 166 mio. m^3 . Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding er relativt konstant og har de seneste fire år ligget på mellem 42 og 44 mio. m^3 om året dog med et svagt fald siden 2012.

Den samlede indvinding af overfladevand i Danmark ligger på blot ca. 10 mio. $\text{m}^3/\text{år}$. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand i Danmark, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

Det Nationale pejleprogram

På baggrund af de 151 pejlestationer, som udgjorde Det Nationale Pejleprogram i 2013, overvåges og følges grundvandsstanden over hele landet i indtag med forskellige dybder.

Stationsnettet bliver i denne programperiode (2011-2015) revideret og udbygget, således at stationsnettet fremover bedre kan repræsentere og dække relevante grundvandsforekomster og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet (EU, 2000).

De seneste 100 år har nedbørsmængderne i Danmark været stigende, hvilket må forventes at afspejles i grundvandsstanden dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige nedbør er steget 4,4 % fra 1961-1990 frem til perioden 1991-2010, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år på 30 år.

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

Langsigtet udvikling. Flere, men ikke alle lange pejetidsserier, viser en svag stigning i grundvandsstand, i overensstemmelse med en generelt stigende nedbør.

Årsvariation. Tidsserierne viser en årsvariation i grundvandsstanden på op til 6 m.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som et op til 2 m højere beliggende vandspejl.

Påvirkning fra tørre perioder. I den observerede periode har der været to nedbørsfattige hændelser i 1975-76 og 1996, som afstedkom øgede markvandingsbehov. Disse hændelser slår i flere tidsserier tydeligst igennem i de følgende 3-4 år for de regionale og dybe grundvandsforekomster, hvor grundvandsstanden nogle steder falder op til 3 m og andre steder ikke - som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.

1 Summary in English

In Denmark, groundwater monitoring (GRUMO) and monitoring of Surface water has now been in place for 25 years. As from 1989, monitoring has included systematic data collection and reporting. This year's groundwater monitoring report presents results from the 1989-2013 period. The objective, development and methods of the monitoring programme are presented in chapters 2 and 3 of the report. Chapter 4 describes the geological and hydrological preconditions to groundwater and water supply in Denmark, and the results of the efforts made to date groundwater in recent years.

Whereas Chapter 2 presents the administrative framework for groundwater monitoring, Chapter 4 outlines the professional basis for the interpretations that are presented in the remaining chapters, where the collected monitoring data are the main focus.

Groundwater monitoring is implemented through the following initiatives:

- The Groundwater Monitoring Initiative, GRUMO (1989 ff.)
- The Agricultural Catchment Monitoring Programme, LOOP (1989ff.)
- The Waterworks' Well Monitoring Programme (1989 ff.)
- Quantities of water abstracted at waterworks, by industry, for irrigation, etc. (approx. 1980 ff.)

Additionally, the groundwater is monitored in connection with contaminated soil and point source contamination. This task is undertaken by the Danish regions and by the Danish Environmental Protection Agency (MST, 2014). Data from these latest monitoring efforts are not reported systematically to the joint public database JUPITER and are NOT taken into account in the present report.

Data basis

Reporting of groundwater monitoring includes chemical analyses, data from groundwater table soundings and information about the quantity of water abstracted from groundwater and surface water. The data material upon which this report is based was extracted from JUPITER on the basis of specific criteria which, among others, ensure a well-defined quality along with correct handling of confidential information, etc. The chemistry data consist of four datasets; GRUMO, LOOP, the Waterworks' Well Monitoring Programme and "Other analyses". The Waterworks' Well Monitoring Programme comprises analyses from active waterworks.

The dataset "Other analyses" includes analyses from inactive waterworks, contamination studies, mapping wells and other analyses which do not form part of the three remaining datasets. Over time, data from the national Danish Groundwater Mapping (Grundvandskortlægning) provide a geographically complete dataset and may therefore be used to underpin groundwater chemical status assessments. In contrast hereto, the dataset "Other analyses" is unsuited for assessment of development trends as many wells only contribute with a single analysis over time.

In pursuance of the Danish Data Responsibility Agreement (in Danish: Dataansvarsaftalen), relevant data on groundwater and drinking water shall be made available in JUPITER. The municipalities' updating of the quantities of water abstracted by the waterworks remains a focus area with a view to revising incorrect and lacking data from the 2007-2013 period. However,

er, considerable improvements have been observed in the reports made in recent years. As previously, no single national overview of all active waterworks and abstraction wells exists in Denmark. This causes a range of problems related to data handling and reporting, and limits the answers monitoring can provide concerning the quality and quantity of the groundwater used for the water supply. An amendment of the executive order on drinking water introduced in 2012 implies that the status of all wells used for water supply must be reported. In the long term, this is expected to lead to more precise reports on the conditions at waterworks and on the status of abstraction wells.

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

Expansion of the net of monitoring stations

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

Originally, the groundwater monitoring initiative consisted of 73 groundwater monitoring areas comprising a total of approx. 1,400 standard groundwater monitoring points. This design, however, did not meet the monitoring requirements of the river basin management plans. Currently, the first 157 new monitoring points have been established for a new distributed net of monitoring stations, cf. the programme description. This initiative shall ensure a representative monitoring of all watercourse catchment areas and of groundwater bodies at risk of not meeting the objectives established for the environment and which were not covered by the original net of monitoring stations.

In 2013, the complete net of stations for monitoring of the groundwater's quality consisted of 157 monitoring points in the distributed net and approx. 1,250 old GRUMO monitoring points, including 112 monitoring points in the Rabis Bæk area and 89 monitoring points in the multi-filter wells, distributed on 65 groundwater monitoring areas. Not all monitoring points are monitored annually. A stable monitoring network is a prerequisite to monitoring as quality time-series can then be recorded describing the current state of the environment as well as the effects of any human impact, including the impact of action plans, etc. This need was taken into account by maintaining a core of fixed wells in the programme.

As the station net of monitoring stations for chemical monitoring is being extended, the net of monitoring points under The National Groundwater Level Monitoring Programme is also being extended. It currently includes a total of 151 monitoring points.

Methods

The present report employs a range of indicators and reporting methods to describe the occurrence of each substance in the groundwater. Data are prepared for analysis to ensure that

presentations are presented at a monitoring point level. If several samples were taken from a monitoring point within a period, the measurements are aggregated as described below.

The main principle for the majority of the figures is that the focus is on the distribution of concentrations. Mean values based on data from several monitoring points are only given exceptionally. Rather, the focus is on how large shares of the measured data (the population) fall above or below required values and detection thresholds. Where mean values are calculated, the median and range are also provided, typically as quantiles, see below.

A cumulative method was developed to provide a representation of the overall impact in a given period, see below.

Groundwater age dating

This year's report includes groundwater age dating results from 2012 and 2013. Age dating samples were taken from a series of newly-established monitoring points and from selected monitoring points from the previous station net with oxic groundwater. The background for this is that the previous CFC dating method is no longer an expedient dating method for groundwater formed within the past 15-20 years. The tritium/helium method was therefore selected as the new GRUMO dating method. The groundwater dating project has been facing considerable technical challenges as the tritium/helium method has proven workable only in monitoring points with a good inflow of groundwater. Therefore, a series of measurements are subject to considerable uncertainty due to technical issues.

The final analysis results were not received until July 2014 and were only analysed in detail in November-December 2014. The dating was reported in two briefs (Laier, 2014 and Laier 2014a). It was concluded that CFC remains a useful method for dating of oxic groundwater aged 20-60 years. Conversely, it seems that specifically in older, anoxic groundwater, diverging results are achieved when comparing the CFC method and the tritium/helium method. This may be due, among others, to degradation of CFC under reduced conditions and to various physical-chemical effects of tritium and CFC gases molecules when mixed in water of different age, and the effects of this on the established water sample age.

In the most recently created groundwater aged less than 15-20 years, the two methods cannot be compared due to the considerable uncertainty associated with the CFC method, and tritium/helium dating is therefore the only available method.

Nitrate

Nitrate is present in the oxic part of the groundwater, and is found almost everywhere in Denmark, but particularly in North Jutland, Thy, Himmerland and on Djursland (2008-2013) where the groundwater layers containing nitrate are thicker. In GRUMO, a clear trend has been observed in recent years towards a lower share of oxic water monitoring points with nitrate concentrations above 50 mg/l. In 2013, about 40% of these monitoring points had nitrate contents exceeding 50 mg/l.

This pattern is also found in LOOP. In the sandy soil catchment areas of the LOOP, the period from 1990 to 2013 shows a clear trend towards a decrease in the oxic groundwater's mean nitrate content, from approx. 100 to approx. 50 mg/l. The decrease is largest until 2000, after which the changes are smaller. In the clayey areas of the LOOP, the period from 1990 to 2013

also shows a clear trend towards a decrease in the oxic groundwater's mean nitrate content, from approx. 50 to approx. 30 mg/l. The decrease is largest until 2006, after which the changes are smaller.

The trend for the nitrate content in the youngest oxic groundwater is an important indicator in the assessment of the effect of the 1987 Water Action Plan and the subsequent water and environment plans. The 2009 report (Thorling et al., 2010b) included a statistical analysis of the development over time in the groundwater's content of nitrate in 152 oxic groundwater monitoring points. This analysis forms part of the Groundwater Monitoring initiative.

The results from the work on nitrate time series in oxic groundwater demonstrate that, generally, it is possible to document an effect of the agricultural regulation introduced. In the youngest groundwater (0-15 years), there is a greater share with a significantly decreasing nitrate content than in the older groundwater (25-50 years). This observation is in accordance with the development of the nitrogen surplus in Danish agriculture and measurements of nitrate leaching and nitrate transport in water courses made as part of other parts of the national Danish Monitoring Programme. Nevertheless, in more than half of the youngest water, the statistical analyses demonstrated no decreasing trend for nitrate.

General, only few waterworks wells have a nitrate content that exceed the quality requirement for drinking water. This is owed to the fact that in many locations, the contaminated part of the groundwater is excluded because wells with an excessive nitrate content are closed and replaced by deeper wells (Schullehner & Hansen, 2014).

In conclusion, the overall trend with regard to reducing the groundwater nitrate content is positive, but several locations still record increases, including some of the most recently created groundwater which was formed after the water action plans came into force. This issue was clarified and discussed in depth in last year's report.

Inorganic trace elements

A series of inorganic trace elements are present in Danish groundwater in concentrations exceeding the quality requirements. Some of these concentrations occur naturally, while others are caused by human activity.

In line with previous years' monitoring results, 2013 data show that in many wells the content of inorganic trace elements exceeds the drinking water quality requirement (threshold values). This mainly applies to arsenic and nickel, but also to aluminium and boron. In areas where the drinking water has an - often naturally occurring - high content of these substances, simple water treatment at the water works and/or an increased focus on the abstraction strategy may underpin the supply of drinking water in accordance with the quality requirements. The substances are therefore not as prevalent in drinking water as they are in groundwater.

Values exceeding those established in the drinking water requirement for one or more of the relevant substances were found in 40% of the tested GRUMO monitoring points and in 16% of the monitoring points of the Waterworks' Well Monitoring Programme. Furthermore, GRUMO results demonstrate concurrent, excessively high values for two substances (frequently aluminium and nickel), three substances (frequently aluminium and lead, cadmium, nickel or zinc,

and four substances (aluminium, lead, copper, and zinc) in 7.5, 4.5 and 1.5% of the wells, respectively.

GRUMO results for the 1993-2013 period show an increase from 2010 onwards in the share of wells with aluminium concentrations exceeding the quality requirements; and in 2013, nearly one in every five wells exceeds the requirements. This is associated with the expansion of the station net, which in recent years has mainly affected West Jutland, where the aluminium content is higher due to lower pH values in the groundwater than are found in the rest of Denmark.

Pesticides in groundwater monitoring

In 2013, groundwater monitoring identified pesticides in 37% of monitoring points, and the drinking water requirement (the threshold value) of 0.1 µg/l was exceeded in 10% of monitoring points. Particularly the upper aquifers carry pesticides and their metabolites, whereas the pesticide content of deeper and older groundwater is lower.

In recent years, the upper groundwater has shown signs of a decreasing share of pesticides, where the concentration exceeds the quality requirement. In line herewith, monitoring points with pesticide concentrations below the quality requirement are seen more frequently in the upper 50 metres below the surface. This indicates that the implemented regulation of the use of pesticides is now positively affecting the upper groundwater and younger groundwater.

In contrast hereto, recent years have shown an increased share of pesticides in quantities exceeding the quality requirement in the deeper and older groundwater. This is because a pulse of pesticides is moving downwards through the groundwater layers due to slow pesticide degradation in the groundwater, including and not least the currently banned pesticides. It is thus the "sins of the past" that are causing the lower groundwater quality in the deeper groundwater layers.

Pesticides may be divided into three groups: Approved, regulated and banned, in pursuance of their administrative status as per 1 August 2014. In this context, regulated pesticides are substances which, after their initial approval, have been subjected to additional restrictions with a view to protecting the groundwater. The analysis programme comprises a total of 31 substances, including 21 associated with banned pesticides, five are from regulated and five from approved pesticides. In 2013, approved substances were found in 1.6% of the sampled monitoring points (0.2% \geq 0.1 µg/l), while regulated substances were identified in 4.5% (1.9% \geq 0.1 µg/l) of monitoring points and banned substances in 34% (8.8% \geq 0.1 µg/l). Pesticide analyses for the past 7 years show that approx. 80% of the substances detected are banned substances.

The development in the concentration of the findings relating to four selected banned and regulated substances (BAM, DEIA, and dichlorprop and bentazon, respectively), generally exhibit decreasing concentrations in the monitoring points where findings are made, whereas the data are not sufficient to assess the developments for allowed substances such as, e.g., glyphosate and its metabolite, AMPA.

As from 2011, tests have been performed for ten substances which had not previously formed part of the monitoring. The three predominant substances that have been found relatively often

are metabolites of banned triazines. Two of these substances have been found in quantities exceeding the 0.1 µg/l quality requirement. Among these, didealkylhydroxy-atrazine was detected in 7.4% of the tested monitoring points in the 2011-2013 period (approx. 1% \geq 0.1 µg/l). Deisopropyl-hydroxyatrazine was detected in 4.1% of the monitoring points (of which 0.1% \geq 0.1 µg/l). The metabolite PPU from the banned pesticide rimsulfuron was detected in 0.8% of the tested monitoring points, but in all cases within the quality requirement. Another metabolism of rimsulfuron, desamino-PPU, was not detected in any of the 863 tested monitoring points. Four substances, including three approved substances were detected one to two times in concentrations within the quality requirement, whereas one substance, hydroxy-terbutylazine, was detected in two monitoring points in concentrations below the quality requirement.

A screening in 49 monitoring points to test for a fungicide used for potato plants, metalaxyl-M, and its two metabolites, was performed in the autumn of 2013. This screening yielded a finding in a single monitoring point in quantities below the quality requirement. The finding was made in an area with potato production, whereas the three remaining substances were not detected in any of the remaining areas where potatoes were probably not produced. These results mean that, in future, the substance will form part of the Waterworks' Well Monitoring Programme in potato production areas (MIM, 2014b).

Pesticides in the groundwater in waterworks wells

The share of active abstraction wells where the groundwater contains pesticides has stabilised at 25% in the course of the past 5-10 years. In 2013, pesticides were detected in groundwater in 25% of the sampled abstraction wells, whereas the quality requirement of 0.1 µg/l (threshold value for drinking water and particular, individual groundwater substances) was exceeded in 3.5% of the wells. This share has remained relatively constant since 2004 when findings were made in 26% of the wells, hereof 4.5% were above the quality requirement. The metabolite BAM remains the most frequently detected substance and was found in 19% of the tested abstraction wells in 2013.

In January 2012, an amendment was introduced to the analysis programme for pesticides in groundwater from water works wells, the "Waterworks' Well Monitoring Programme", as 18 substances were added to the mandatory analysis programme (MiM, 2014b) and 8 other substances were removed. The substances added had e.g. been detected as part of the groundwater monitoring initiative or the Warning System for Pesticide washout to the groundwater (VAP). One of these new substances is DEIA, a metabolite of the banned substance atrazine, which was found in 1.9 % of the samples analysed in 2012-2013, while the remaining new substances were detected in 1% or fewer of the tested water samples. Only few of the findings exceeded the quality requirement. Glyphosate was found in 0.3% of the analyses.

In the entire pesticide and metabolite monitoring period from 1992 to 2013, testing included a total of 171 different substances. The large number of substances is due to the fact that, on their own accord, several water works have wanted to test their groundwater for as many substances as is technically possible. In all, 51 of the 171 substances were found, of which 51 substances are now banned, 13 are regulated and 3 approved. When these substances are divided into approved, regulated and banned pesticides, the banned pesticides comprise 24% (5% \geq 0.1 µg/l), whereas the regulated substances comprise 7% (1% \geq 0.1 µg/l) and approved substances comprise 0.6% (0.1% \geq 0.1 µg/l).

Water abstraction

The total amount of abstracted water in Denmark (not including irrigation) is nearly 500 million m³/yr, and as from 2006 this amount has been stable or slightly decreasing.

As a whole, in the past year, the municipalities have made significant efforts to report on time (1 April) and have revised previous years' incorrect reporting.

Groundwater abstraction for industrial irrigation (field irrigation, horticulture and fish farms) varies considerably from year to year due to variations in the precipitation pattern. In 2011 this part of the abstracted water exceeded 300 million m³, corresponding to more than 40% of the total amount of abstracted water in Denmark, whereas the amount abstracted for these purposes in 2012 was a modest 166 million m³. The water consumption of companies with independent abstraction facilities is relatively constant, and for the past 4 years it has fallen in the 42-44 million m³ range. This type of water consumption has followed a slightly decreasing trend since 2012.

In Denmark, the total abstraction of surface water is marginal; about 10 million m³/yr. Surface water is not used for drinking water in Denmark, but is primarily used for industrial purposes, gravel washing in primary industries and for irrigation.

The National Groundwater Level Monitoring Programme

On the basis of the 151 groundwater level measurement stations that comprised The National Groundwater Level Monitoring Programme in 2013, the groundwater level is monitored in all of Denmark through monitoring points at various depths.

In the current programme period, the net of monitoring stations will be revised and extended to ensure that the station net may in future better represent and cover relevant groundwater bodies and thereby meet the requirements for quantitative monitoring specified in the Water Framework Directive (EU, 2000).

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

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

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

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

The impact of the increasing amount of precipitation in the 1980s is an up to 2-m rise of the groundwater table.

Impact of dry periods. The observed period saw two low-precipitation events, which gave rise to an increased irrigation need. These events are more clearly reflected in the following 3-4 years in the regional and deep groundwater bodies, where the groundwater table decreases by up to 3 m in some locations and in other locations does not increase (as they normally would) in the subsequent winter period.

2 Formål og stationsnet

Sammenfatning og konklusion

Grundvandsovervågningen har i mere end 25 år sikret indsamling af forvaltningsrelevante data om grundvandets kvalitet og kvantitet. Herved er der bl.a. etableret lange sammenhængende tidsserier for en lang række stoffer, der kan danne basis for vurderinger af grundvandets tilstand på landsplan, og effekterne af politiske handleplaner over for blandt andet nitrat og pesticider. Den landsdækkende grundvandsovervågning, GRUMO, er en del af det nationale overvågningsprogram for vand og natur: NOVANA. Analyseprogrammet præsenteres i kapitel 3. Den årlige afrapportering i denne rapport er en national præsentation af data baseret på forskellige indikatorer.

Der blev i 2013 udtaget vandprøver fra i alt 866 indtag til grundvandsovervågning, heraf 647 i "gamle" indtag fordelt på 62 GRUMO-områder og 125 "nye" indtag fra det distribuerede stationsnet. Endvidere er der analyser fra 94 indtag fra fem LOOP-områder.

Siden 2007 har det nationale pejleprogram været en del af grundvandsovervågningen, med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand. Det Nationale Pejleprogram gennemførtes i 2013 i 151 indtag.

Gennem årene er programmet revideret flere gange for at kunne imødekomme udviklingen i de forvaltningsmæssige behov. Siden 2007 har der i flere omgange været tiltag for at tilpasse stationsnettet til vandrammedirektivets krav til overvågning. Dette indebærer, at der i denne programperiode (2011-15) er fokus på etablering af nye overvågningspunkter, mens nogle af de oprindelige overvågningsboringer lukkes eller indgår med lavere prøvetagningsfrekvens. Der har i 2011-13 været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra den statslige grundvandskortlægning. I denne treårs periode har 184 indtag været i betragtning, hvoraf 141 er udvalgt til fortsat overvågning. I alt 67 indtag fra grundvandskortlægningen er med i det fremtidige overvågningsprogram.

2.1 Formål

Det nationale overvågningsprogram, NOVANA

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

Formålet og overvågningsdesignet er i den nuværende programperiode 2011-2015 tilpasset kravene til grundvandsovervågning i Vandrammedirektivet og Grundvandsdirektivet (EU 2000 og 2006). Det fremgår af programbeskrivelsen (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011), at formålet med grundvandsovervågningen er, at:

- *"Understøtte den statslige forvaltning i forbindelse grundvandets kvalitet og mængde i forhold til Vandplanarbejdet*
- *Bidrage til at styrke det faglige grundlag for fremtidige internationale tiltag, nationale handlingsplaner, regional forvaltning og andre foranstaltninger til beskyttelse og udnyttelse af grundvandsressourcen, herunder bidrage til at udvikle forskellige værktøjer og tilvejebringe en bedre forståelse af sammenhængen mellem grundvand og overfladevand*

- *Overordnet dokumentere effekten af vandmiljøplaner og andre miljøindsatser på grundvandsressourcens kvalitet og størrelse - herunder om målsætningen er nået og om udviklingen går i den ønskede retning*
- *Fremskaffe den fornødne viden om status og udvikling i grundvandets kvalitet og kvantitet og om årsagerne til ændringer, så der i fremtiden vil være tilstrækkelige vandmængder i de rette kvaliteter til at dække både samfundets behov for vandforsyning og samfundets behov for vand i naturen for at opnå de ønskede miljømål*
- *Løbende formidle om grundvandets kvalitet og kvantitet, nationalt og regionalt*
- *Overvågningen af grundvandet skal desuden sikre viden om grundvandets tilstand og udvikling med henblik på fremtidig justering af vandværkernes boringskontrol. Det skal derved bidrage til at sikre grundvandet i en mængde og af en kvalitet, der er egnet til produktion af drikkevand, som overholder de til enhver tid gældende kvalitetskrav. Kendskab til tilstand og udvikling i grundvandets kemiske sammensætning er også væsentlig for at kunne vurdere risiko for korrosion i vandforsyningsanlæg og rørledninger og for valg af nye materiale typer hertil.*
- *Endvidere skal grundvandsovervågningen være med til at fremskaffe dokumentation til fremtidig vurdering af pesticiders anvendelighed i dansk landbrug og i andre sammenhænge. Grundvandsovervågningen supplerer således varslingssystemet for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP), som kun finder sted i 5 specielt indrettede værkstedsområder med kontrolleret udbringning af pesticider og næringsstoffer.”*

Vandrammedirektivet og Grundvandsdirektivet

Vandrammedirektivet, der trådte i kraft i 2000, har blandt andet til formål at beskytte og forbedre grundvandets tilstand med henblik på at opnå og bevare god tilstand i grundvandet. Efter Vandrammedirektivet skal medlemsstaterne hvert 6. år udarbejde vandområdeplaner, der bl.a. skal indeholde en tilstandsvurdering af grundvandets kemiske og kvantitative tilstand, samt et resume af eventuelle fornødne foranstaltninger med henblik på at nå fastlagte konkrete miljømål (EU, 2000).

Der er i vandrammedirektivet desuden fastlagt nærmere bestemmelser om medlemsstaternes forpligtelser til at overvåge grundvandets tilstand.

Det forrige NOVANA program blev gennemført i perioden 2004-2010, med en mindre midtvejsjustering gældende fra 2007. Den væsentligste fornyelse var et formaliseret program for overvågning af grundvandets kvantitative tilstand i form af det Nationale Pejleprogram.

Det danske grundvand er i forbindelse med forberedelserne af vandområdeplanerne for anden planperiode (2015-2021) opdelt i 402 grundvandsforekomster, der udgør den planmæssige enhed med henblik på at opgøre tilstanden og fastlægge evt. indsatser, der ligger ud over den generelle miljøindsats i den eksisterende regulering. Grundvandsforekomsterne har betydning for, hvorledes grundvandsovervågningen tilrettelægges, idet der er konkrete krav til overvågningen af grundvandsforekomsterne i direktiverne (Trolborg mfl., 2014)

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

2.2 Overvågningsdesign og stationsnet, GRUMO

Historik for Grundvandsovervågningen, GRUMO

De nationale overvågningsprogrammer blev oprindeligt iværksat som en konsekvens af vedtagelsen af Vandmiljøplan I i 1987, og havde dengang to hovedformål: For det første, at gennemføre effektmålinger af vandmiljøplanerne og de generelle landbrugsreguleringer i forhold til vandmiljøets belastning med kvælstof og fosfor. For det andet at sikre befolkningens forsyning med drikkevand af god kvalitet (MST, 1988). Stationsnettet i grundvandsovervågningen blev derfor designet med det formål at give et generelt billede af grundvandets tilstand i en række udvalgte oplande, for dermed at opnå et landsdækkende repræsentativt overblik.

I dag er formålet med prøvetagningsstrategien tillige at give "et sammenhængende og omfattende overblik over grundvands kemiske tilstand i hvert vandløbsopland, og således at langsigtede menneskeskabte tendenser til stigning i forekomsten af forurenende stoffer kan registreres", jf. EU's Vandrammedirektiv. Bl.a. af den grund er prøvetagningsstrategien ændret siden 2004 og fokuserer nu på de borer, hvor tidligere målinger har vist, at der er størst sandsynlighed for at finde en samfundsmæssig påvirkning, fx fra forurening med pesticider og deres nedbrydningsprodukter.

Vandrammedirektivets krav til prøvetagningsfrekvens i overvågningsprogrammerne afhænger af om grundvandsforekomsten vurderes at være i risiko for ikke at kunne opfylde miljømålet ved udløbet af planperioden. Vandrammedirektivet opererer med "kontrol-" og "operationel overvågning". I programbeskrivelsen er den praktiske implementering af dette detaljeret beskrevet (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011).

Kontrolovervågning skal iflg. Vandrammedirektivet gennemføres for såvel grundvandsforekomster, som anses for at være truet, som grundvandsforekomster, som ikke anses for at være truet, jf. herved vandrammedirektivet og tilhørende Guidance Documents. Kontrolovervågning skal udføres mindst én gang for hver planperiode, dvs. mindst én gang hvert 6. år.

Den "operationelle overvågning" skal gennemføres for forekomster eller grupper af forekomster, hvor der vurderes at være risiko for, at grundvandsforekomsten ikke vil kunne opfylde miljømålet ved udløbet af planperioden. Operationel overvågning skal finde sted mindst én gang om året.

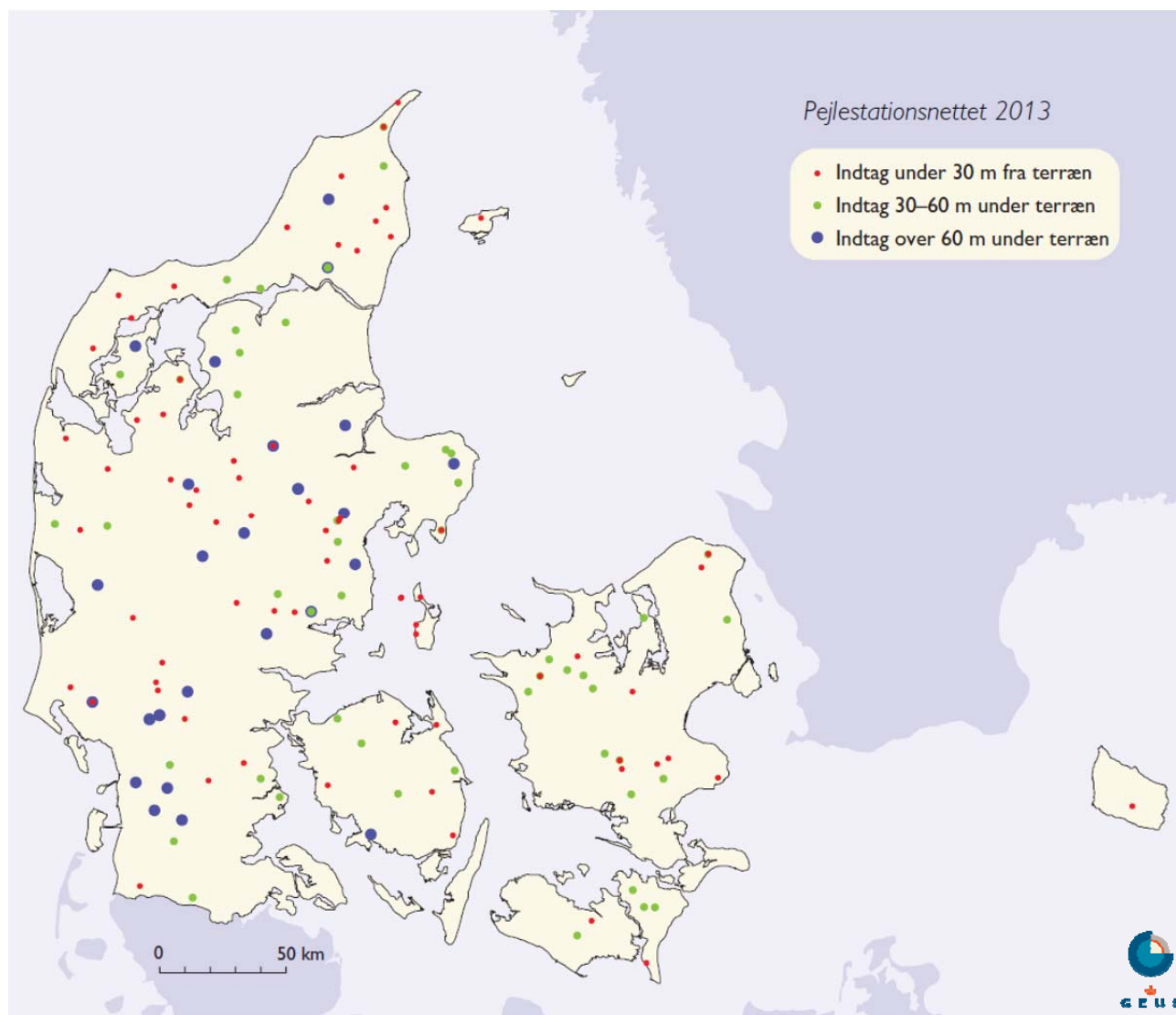
Data fra kontrolovervågningen og den operationelle overvågning skal bl.a. anvendes til at opgøre grundvandsforekomsternes tilstand, og disse tilstandsvurderinger skal efter vandrammedirektivet indgå i vandområdeplanerne, der som nævnt skal udarbejdes hvert 6. år.

Mens selve overvågningen er et direktivkrav er nærværende årlige overvågningsrapport ikke et direktivkrav, men er en national, indikatorbaseret afrapportering.

Ændringerne af overvågningsstrategien medfører, at den tidsmæssige udvikling i vandkvaliteten bedst beskrives enten på indtagningsniveau eller samlet set for hver programperiode. Af praktiske grunde er prøvetagningen af de borer, der kun skal prøvetages én eller to gange i en programperiode, fordelt over alle prøvetagningsår. Den fundne tilstand de enkelte år i en periode afhænger derfor af vægtningen mellem indtag med forskellig prøvetagningsfrekvens. For at håndtere dette arbejdes der med en kumulativ metode, se kapitel 3.

Det Nationale Pejleprogram

Det Nationale Pejleprogram gennemførtes i 2013 i 151 indtag, se Figur 1 og kapitel 9. Her overvåges grundvandets potentialeforhold med fast installerede dataloggere, der dagligt opsamler flere målinger af grundvandsstanden. Pejleprogrammet bliver i denne programperiode (2011-2015) tilpasset de overvågningsbehov, der er identificeret i vandområdeplanerne, således at stationsnettet udbygges med nye indtag, så det dækker alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster. Der har primært været fokus på udbygning med stationer til overvågning af vandkvalitet. I 2013 er pejlestationsnettet justeret, og der er såvel nedlagt som oprettet stationer, for at forbedre kvaliteten af stationsnettet.



Figur 1. Stationsnet for det Nationale Pejleprogram i 2013 med fordelingen på henholdsvis terrænnære (< 30 m u.t.), middel dybde (30-60 m u.t.) og dybe indtag (> 60 m u.t.).

Grundvandsovervågning, stationsnet for vandkvalitet

Alle vandprøver er indsamlet i borer. Det filtersatte interval af boringen, hvor vandet strømmer ind, kaldes indtaget. Et indtag kan dog også være et åbentstående hul i kalken. Når der i denne rapport og andre sammenhænge, hvor der anvendes data fra JUPITER tales om indtag, er der således som regel tale om den filtersatte del af en boring. Begrebet er defineret i GRUMO-rapporten fra 2001 (Stockmarr, 2001).

Grundvandsovervågningen bestod oprindeligt af 73 grundvandsovervågningsområder, som i årene op til 2007 blev udbygget til at omfatte ca. 1400 almindelige overvågningsindtag. Derudover var der fra programmets start inddraget 112 meget korte indtag (længde 5 cm) i en række multifilterboringer til overvågning af grundvandets hovedbestanddele i Rabis Bæk område. Disse boringer blev etableret som led i et NPo-forskningsprojekt (Postma mfl. 1991). Sidst i 1990'erne blev yderligere fem multifilterboringer, "redoxboringerne", hver med 15-20 indtag korte indtag (10 cm) inddraget.

Siden 2007 har overvågningen fundet sted i 65 overvågningsområder med i alt ca. 1.250 indtag medregnet 112 i Rabis Bæk området og 89 indtag i redoxboringerne. En række overvågningsindtag har været hvilende siden 2007, men bevares i beredskab.

I de fem aktive landovervågningsoplande, LOOP se figur 3, har der siden overvågningens start sidst i 1980'erne indgået yderligere ca. 100 indtag, kun 1,5 - 6,0 meter under terræn (m u.t.), hvor kvaliteten af det helt nydannede grundvand overvåges under landbrugsarealer. Grundvandsovervågningen i LOOP fokuserer på næringsstofferne nitrat og fosfat, men omfattede før 2005 også uorganiske sporstoffer og pesticider. Disse rapporteres sammen med NOVANA programmets øvrige overvågning af grundvandet. I denne rapport rapporteres kun LOOP overvågning i den mættede zone, mens rapporteringen af øvrige aktiviteter i LOOP herunder overvågning af udvaskning til den umættede zone rapporteres af DCE, senest i Blicher-Mathiesen mfl. (2015).

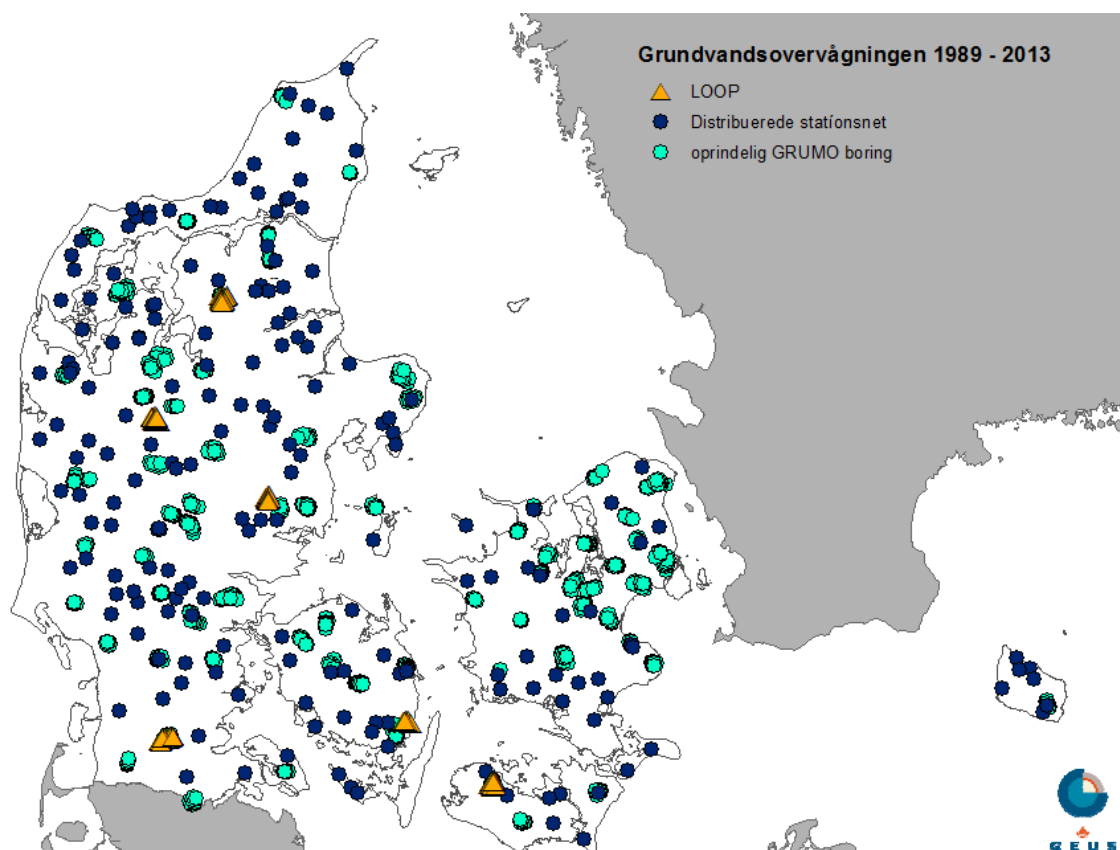
Stationsnettet blev i 2002-2004, og igen 2007-2009, suppleret med en række terrænnære indtag, inddraget med det formål at forbedre overvågningen af det yngste grundvand. Indtagene fra 2007-2009 var særligt rettet mod grundvandets påvirkning af overfladevand, og blev placeret i områder uden grundvandsovervågning.

I den nuværende programperiode (2011-2015) sker der en tilpasning af stationsnettet til vandrammedirektivets krav om overvågning af grundvandsforekomster, og der bliver inddraget yderligere en række indtag, hvoraf en del er placeret i dybereliggende grundvand, se afsnit herom nedenfor.

Et stabilt overvågningsnetværk er forudsætningen for enhver overvågning, idet der opbygges tidsserier, der beskriver såvel den aktuelle miljøtilstand som effekterne af de samfundsmæssige påvirkninger, herunder indsatsplaner mv. Dette hensyn er tilgodeset gennem fastholdelse af en kerne af faste boringer i programmet. Det samlede stationsnet er løbende blevet justeret af hensyn til skiftende overvågningsbehov, som beskrevet ovenfor.

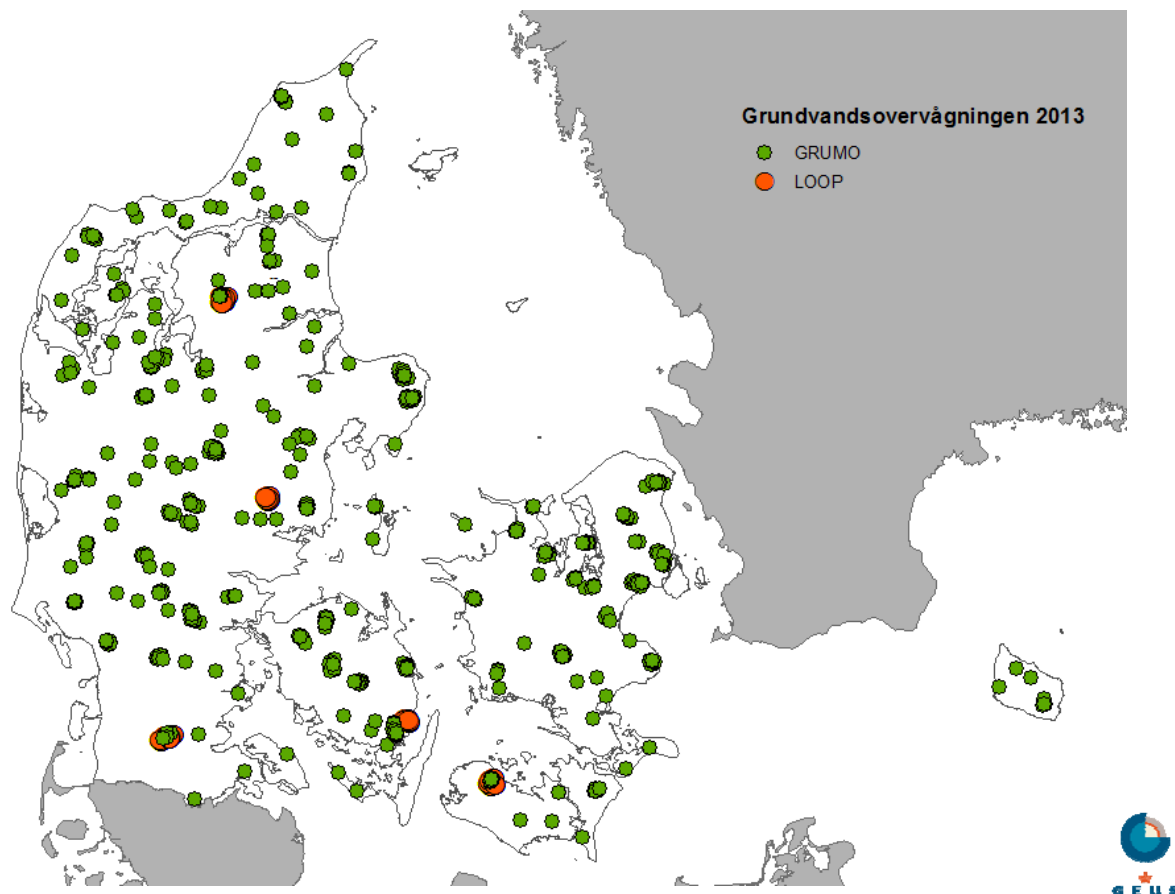
Figur 2 viser det samlede stationsnet anvendt i perioden 1989-2013, hvor borerne er opdelt i oprindelige GRUMO borer i de gamle grundvandsovervågningsområder, indtag i de seks oprindelige landovervågningsområder (LOOP) og enkeltstående borer i det distribuerede stationsnet.

Der har samlet været godt 2.000 indtag omfattet af overvågning af grundvandets kvalitet i GRUMO og LOOP i perioden 1989-2013.



Figur 2. Det samlede stationsnet for grundvandsovervågningen i Danmark i perioden 1989-2013. Det omfatter det oprindelige stationsnets borer fordelt på 73 grundvandsovervågningsområder (GRUMO-områder) og seks landovervågningsoplande (LOOP), hvoraf et ved Herning er lukket i dag, samt overvågnings-borerne i det ”nye” distribuerede stationsnet, der som udgangspunkt ligger uden for de oprindelige GRUMO-områder.

Figur 3 viser det anvendte stationsnet for overvågningen af grundvandets kemiske tilstand i 2013. Der blev udtaget vandprøver fra i alt 866 indtag til grundvandsovervågning, heraf 647 i "gamle" indtag fordelt på 62 GRUMO-områder og 125 "nye" indtag fra det distribuerede stationsnet. Endvidere er der analyser fra i 94 indtag fra de fem LOOP-områder, der nu er i brug.



Figur 3. Stationsnet for grundvandsovervågningen i 2013. Overvågning af grundvandets kvalitet, i grundvandsovervågningsboringer (GRUMO) og i de boringer, der indgår i LOOP.

Justering af stationsnet, vandkvalitet 2011-2015

For at tilpasse stationsnettet til kravene om overvågning i vandrammedirektivet udbygges det gamle stationsnet i GRUMO områderne i 2011-2015 med inddragelse af en række enkeltstående boringer med indtag i grundvandsforekomster i risiko (for ikke at kunne overholde miljømålene jf. vandplanerne) og i grundvandsforekomster, hvor der tidligere har været ingen, eller ikke repræsentativ overvågning. Disse nye boringer er i programbeskrivelsen betegnet "det distribuerede stationsnet" (Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011). I den forbindelse er der i 2011-2013 især inddraget relevante indtag i kortlægningsboringer fra den Nationale Grundvandskortlægning (se grundvandskortlægningens hjemmeside).

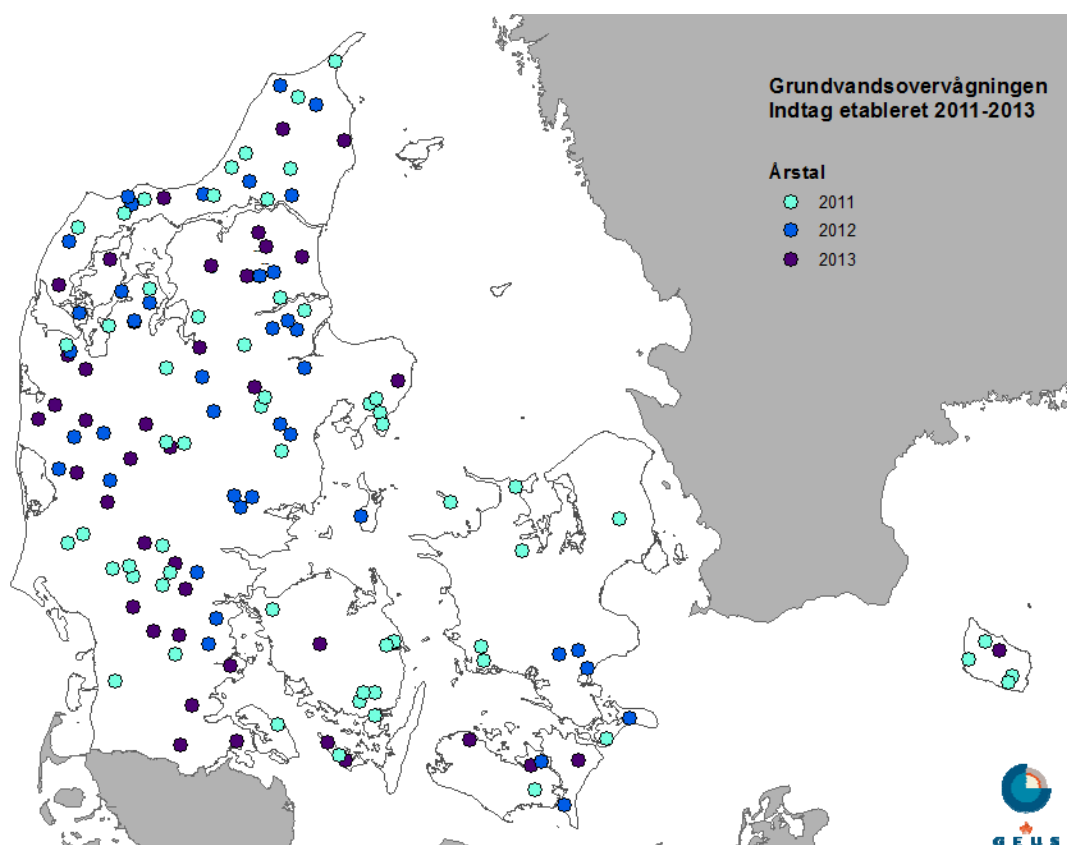
I forlængelse heraf blev 261 indtag, der var aktive indtil 2010, hvilende, dvs. der udtages ikke prøver fra indtagene i programperioden 2011-2015. Der er tale om indtag i dybere grundvandsforekomster med lille eller ingen påvirkning af nitrat, pesticider eller andre miljøfremmede stoffer. Samtidig er det indtag, hvor vandkvaliteten kun langsomt ændres, og over den hidtidige overvågningsperiode har været stabil for nitrat, klorid, sulfat og pH. Viden om vandkvali-

teten i disse indtag har betydning for at kunne danne et mere repræsentativt billede af grundvands samlede kvalitet, og resultaterne herfra kan med fordel anvendes til etablering af konceptuelle modeller for grundvands kemiske tilstand i vandområdeplanerne, selv når der kun udtages prøver hvert 10. år eller sjældnere.

I perioden 2007-2013 er der inddraget 223 indtag, hvoraf de 157 indtager udvalgt til at indgå det fremtidige i overvågningsprogram.

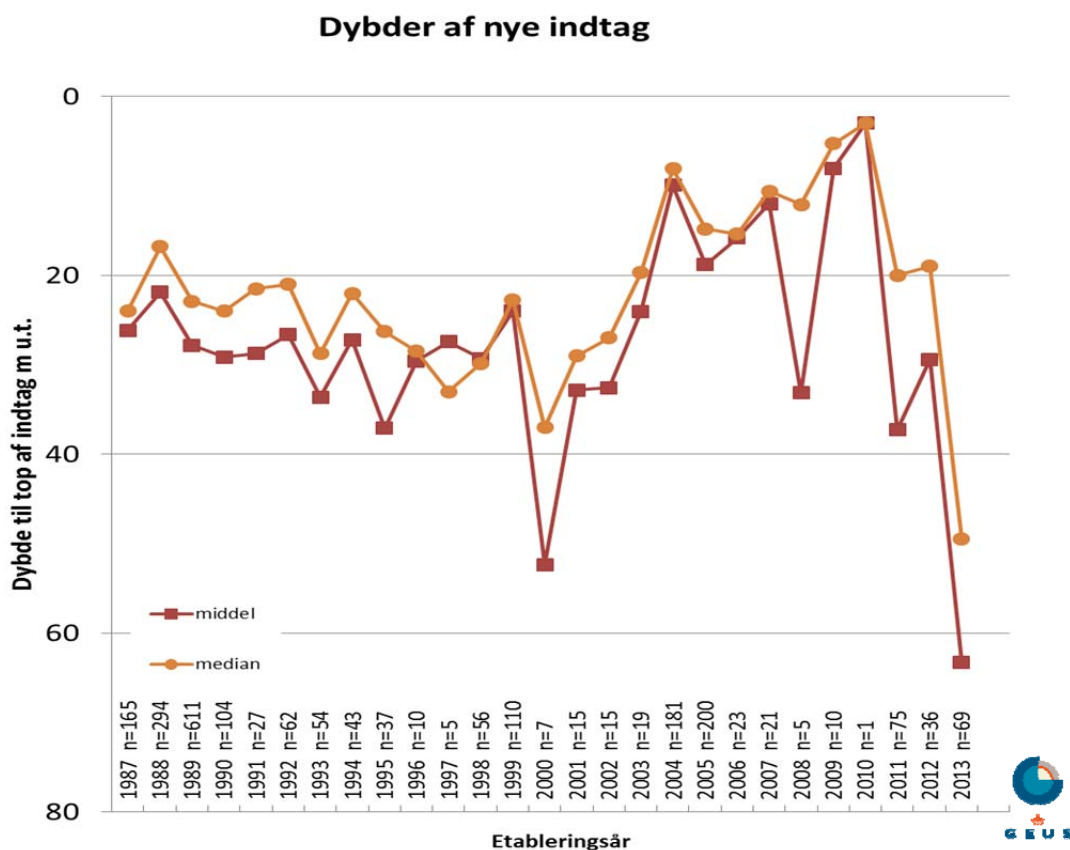
Med det formål at kunne fastsætte den fremtidige overvågningsfrekvens, og vurdere boringens egnethed til overvågningsformål, er der blevet udtaget prøver til analyse for alle relevante kemiske parameter i alle de indtag i overvågningsprogrammet, der har været i betragtning som kandidater til det distribuerede stationsnet. En række af de nye indtag repræsenterer grundvand, der indgår i kontrolovervågningen og prøvetages én til to gange i hver programperiode. Ikke aktive indtag bevares i beredskab, bortset fra de tilfælde, hvor boringens fysiske tilstand udgør en risiko for forurening af grundvandet.

Figur 4 viser lokaliseringen af boringsindtag, der i denne programperiode (2011-2015), har været inddraget med henblik at skabe det distribuerede stationsnet. Der har i 2011-2013 været fokus på at inddrage eksisterende boringer fra Grundvandskortlægningen. I denne treårs periode har 184 indtag været i betragtning, hvoraf 141 er udvalgt til fortsat overvågning.



Figur 4. Samtlige 184 overvågningsindtag, der er prøvetaget i 2011-2013 med henblik på inddragelse i det distribuerede stationsnet for GRUMO. 141 af indtagene er udvalgt til at indgå som en del af det permanente stationsnet.

Figur 5 viser dybdefordelingen for nye indtag etableret de enkelte år gennem hele overvågningsperioden 1987 til 2013 målt ved top af indtag. Etableringen af boringer begyndte året før de første prøvetagninger blev igangsat i 1988. Det fremgår, at der frem til ca. 2009 blev indtaget stadig mere terrænnære indtag, mens der i peioden 2011-2013 er inddraget mange indtag fra den nationale grundvandskortlægning i dybere dele af grundvandet



Figur 5. Dybdefordeling af afstanden til overkant af indtag for nye indtag i overvågningen som funktion af det år de er etableret. Stor forskel på middel- og medianværdi forekommer i år med stor spredning på dybderne.

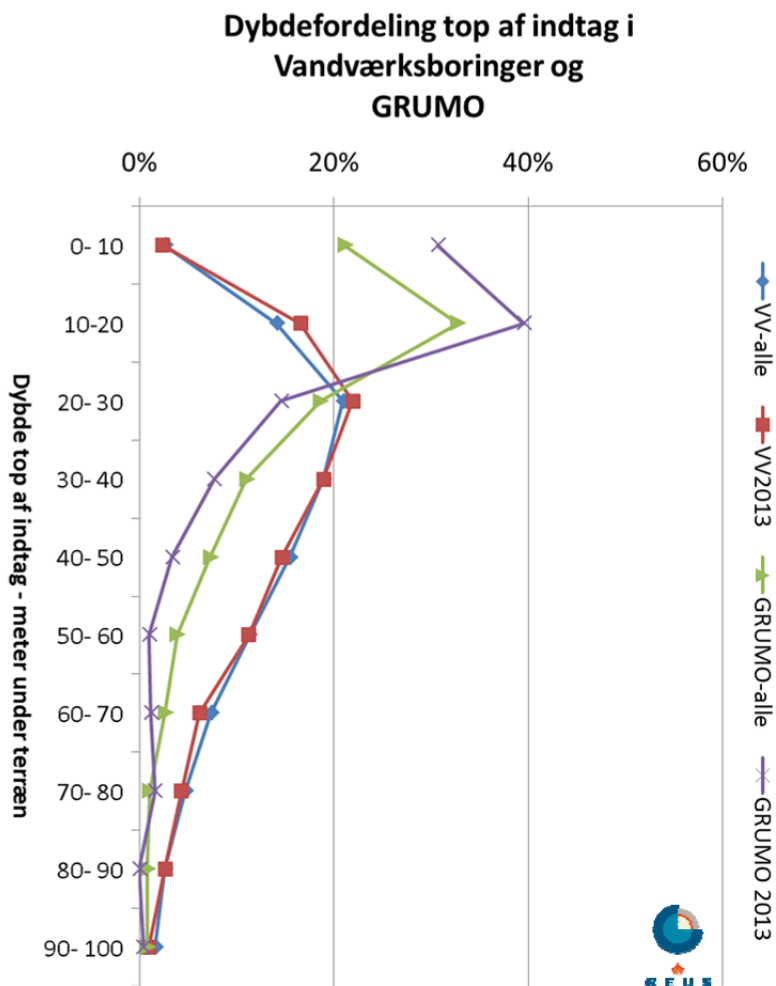
2.3 Vandværkernes indvindingsboringer

I Miljøministeriets bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg, den såkaldte Drikkevandsbekendtgørelse (MiM, 2014b), har der siden 1989 været stillet krav om overvågning af kvaliteten af det grundvand, som vandværkerne indvinder. Boringskontrollen som den kaldes, gennemføres af vandværkerne. Hyppigheden af boringskontrollanalyser i aktive indvindingsboringer afhænger af den indvundne vandmængde med en prøvetagningshyppighed fra hvert 5. år til hvert 3. år.

Boringskontrollen udføres over tid for en skiftende mængde boringer, idet nye indvindingsboringer kommer til, og andre udgår af forskellige årsager fx tekniske problemer. Dermed sikres løbende den bedst mulige drikkevandskvalitet for forbrugerne, hvilket ikke nødvendigvis er udtryk for en tilsvarende udvikling i grundvandets kvalitet. I 2005 fandtes ca. 2.600 almene vandforsyninger (DANVA, 2006) med omkring 10.000 tilknyttede boringer. Heraf bliver der indberettet data til JUPITER fra ca. 8.000 boringer. Endelig har der de seneste årtier været en udvikling mod færre vandværker i Danmark, se kapitel 8.

For at beskrive kvaliteten af det vand, der på et givet tidspunkt anvendes til drikkevandsformål, er det nødvendigt at have opdaterede oplysninger om hvilke vandværksboringer, der til enhver tid er i drift. Indvindingsboringerne er fordelt over hele Danmark og fremgår af fx Figur 23, der viser nitratindholdet i indvindingsboringer prøvetaget i perioden 2009-2013, hvor man kan forvente, at alle aktive boringer er prøvetaget mindst én gang.

Figur 6 viser dybdefordelingen til toppen af indtaget for GRUMO og vandværksboringer, hvorfra der er analyseresultater for pesticider, og dermed også en boringskontrol. Fordelingen af samtlige indtag i det seneste afrapporterede år, 2013, og i hele den periode, hvor der er analyseret for pesticider (1990-2013) fremgår også af figuren. Det ses, at dybdefordelingen af vandværksboringerne er den samme i 2013 som for hele perioden, mens der er flere indtag fra GRUMO i højtliggende grundvand i 2013 end for hele perioden. Dette er en tilstræbt udvikling, da det fremgår af Vandrammedirektivet (EU, 2000) at overvågningen, ud over at give et sammenhængende og omfattende overblik over grundvandets kemiske tilstand, skal fokuseres på den del af grundvandet, som anses for at være truet af menneskeskabte påvirkninger. Samtidig fremgår af Figur 6, at kun ca. 30 % af vandværksboringerne har overkanten af indtaget beliggende i større dybde end 50 m u.t. Mere end halvdelen af alle vandværksboringer har toppen af indtaget beliggende mellem 20 og 50 m u.t.



Figur 6. Dybdefordeling af overkant af indtag (m u.t.) for vandværksboringer (VV) og GRUMO boringer, hvorfra der er udtaget prøver til pesticider. Fordelingen er vist for hele perioden (1990-2013) og for 2013. Det fremgår, at vandværksboringerne havde den samme dybdefordeling i 2013 som i hele perioden, mens der i GRUMO er kommet flere indtag til i de øverste 20 m.

Grundvandsovervågningen sikrer et datamateriale, der er uafhængigt af udviklingen i vandindvindingsstrukturen, mens analyserne fra grundvandet i vandværksboringerne giver et billede af vandkvaliteten i det grundvand, som indvindes af vandværkerne. Tilsammen giver begge datasæt et billede af grundvandets generelle tilstand.

Rapportering af Grundvandsovervågning

Hvert år siden 1990 har GEUS udarbejdet en landsdækkende rapport over resultaterne fra grundvandsovervågningen (se grundvandsovervågningsens hjemmeside). Nærværende rapport bygger på data indsamlet til og med 2013.

Siden 2005, der var det første rapporteringsår for NOVANA programmet, har der været tale om en indikatorbaseret rapportering, hvor en række faste indikatorer opdateres hvert år. Dette er typisk figurer af generelle, landsdækkende karakter. Med udgangspunkt heri suppleres der med relevante figurer og diskussioner. Nogle emner rapporteres ikke hvert år. I år rapporteres der således ikke for fosfor, de særlige redoxboringer og organiske mikroforureninger. Endelig er forskellige temaer uddybet enkelte år, enten som et selvstændigt fokuspunkt eller som en mere omfattende bearbejdning af de faste emner. Alle data er derudover tilgængelige for offentligheden via den fællesoffentlige database JUPITER (se JUPITER hjemmesiden).

Ud over præsentationen af data i nærværende rapport, indberettes alle data til det Europæiske Miljøagentur (EEA), hvor de indgår i den internationale rapportering som EEA forestår, (se EEA hjemmesiden). Overvågningen af grundvandets nitratindhold i overvågningsboringerne for GRUMO rapporteres desuden hvert 4. år i en selvstændig rapport til EU kommissionen, som led i en særlig rapportering tilknyttet Nitratdirektivet (EU, 1991). Den seneste rapportering i henhold til Nitratdirektivet kan findes i (MST, 2013).

Referencer: Formål og stationsnet

Dansk lovgivning mv.

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

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

Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900, 17. august 2011. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)

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

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

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

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

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

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

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

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

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)

EU direktiver.

Nitratdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF

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

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

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

Analysekvalitetsdirektivet: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2009/90/EF

Andre henvisninger:

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L., 2015: Landovervågningsoplande 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. XX

DANVA 2006: Vandstatistik. Drikkevand og spildevand 2005.

DMU, 2007: NOVANA – det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508

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

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

Stockmarr, J. (red) 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/g-o-2001-indl.pdf>

Thorling, L., Brüsck, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013.

www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (25-08-14)

Trolborg, L., Sørensen, B.L., Kristnensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrænsning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Documents/GEUS_Rapport_58_2014_Final_web.pdf (19.03.15)

Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/78 http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/grundvand_kemiske_tilstand.aspx (19.03.15)

Relevante hjemmesider og links

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

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

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

Grundvandsovervågningsens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.08.2014)

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

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

NOVANA hjemmeside:

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

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

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

3 Metoder og datagrundlag

Sammenfatning og konklusion

Gennem hele overvågningen har grundvandets kvalitet været overvåget med fokus på fire stofgrupper: hovedbestanddele, uorganiske sporstoffer, pesticider og organiske mikroforureninger. Data er indsamlet i det nationale overvågningsprogram i særlige overvågningsboringer og i vandværkernes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol. Analyseprogrammerne for de miljøfremmede stoffer har både for GRUMO og Boringskontrollen udviklet sig gennem tid, bl.a. i takt med fund af nye stoffer i grundvandet og udviklingen af analysemetoder har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser. Samtidig er stoffer, der kun sjældent eller aldrig påvises, udgået af programmerne. Analyseprogrammerne for boringskontrollen fremgår af den til enhver tid gældende version af drikkevandsbekendtgørelsen. Tidligere versioner af bekendtgørelsen findes på Retsinformations historiske database. Analyseprogrammerne for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne, der kan findes på NOVANA-hjemmesiden.

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen. Data indberettes hvert år af kommunerne til JUPITER.

Kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af regionerne i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteres årligt af Miljøstyrelsen (MST, 2014).

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt for databehandlingen bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagsniveau. Hvis der inden for en periode er udtaget flere prøver i samme indtag, aggregeres målingerne som beskrevet nedenfor.

Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit på data fra flere forskellige indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskravet og detektionsgrænser. I det omfang, der beregnes middelværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler, se nedenfor.

En kumulativ metode er udviklet til at give et billede af den samlede påvirkning over en periode, se nedenfor.

3.1 Analyseindsats og dataindsamling

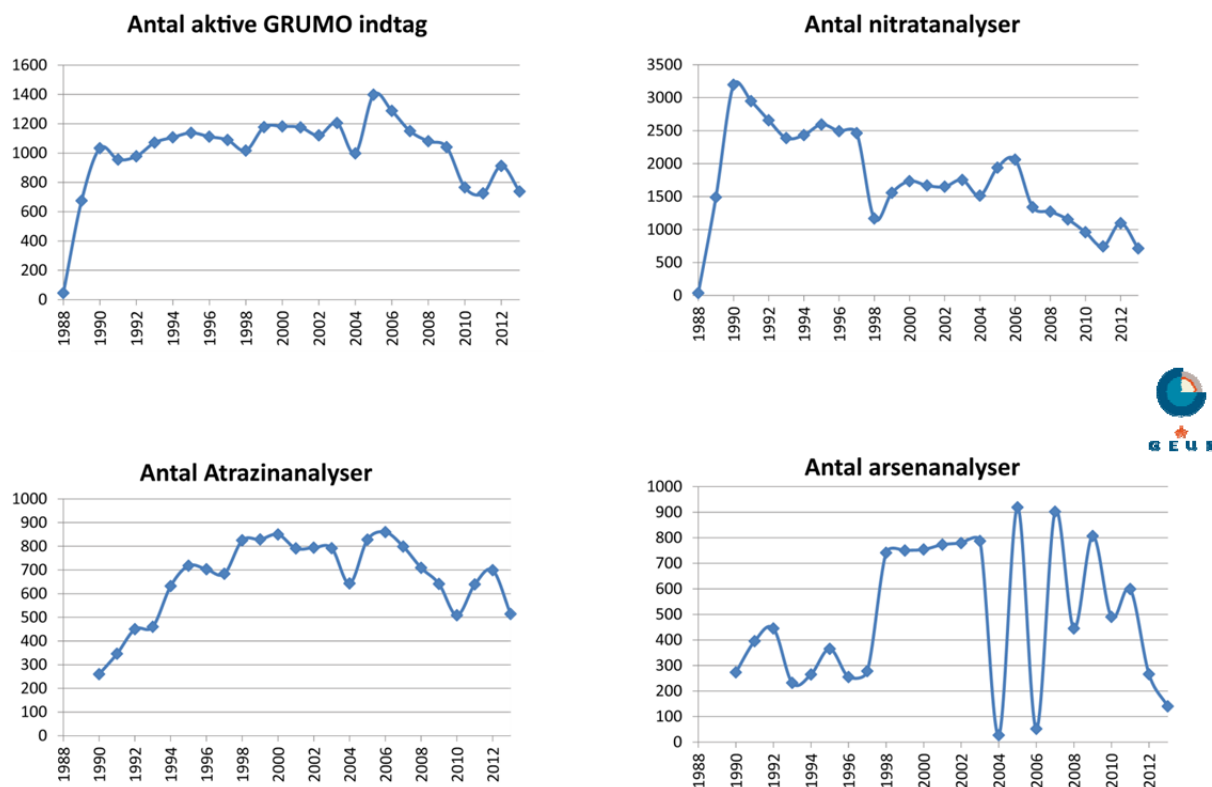
Analyseindsats vedr. grundvandskvalitet

Gennem hele overvågningen har grundvandets kvalitet været overvåget med fokus på fire stofgrupper: hovedbestanddele, uorganiske sporstoffer, pesticider og organiske mikroforureninger. Data er først og fremmest indsamlet i det nationale overvågningsprogram i særlige overvågningsboringer og i vandværkernes indvindingsboringer i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol. Analyseprogrammerne for de miljøfremmede stoffer har både for GRUMO og Boringskontrollen udviklet sig gennem tiden i takt med, at udviklingen af analysemetoderne har muliggjort analyser med tilstrækkeligt lave detektionsgrænser. Samtidig er stoffer, der kun

sjældent eller aldrig findes, udgået af programmerne igen. Analyseprogrammerne for Boringskontrollen fremgår af de forskellige versioner af drikkevandsbekendtgørelsen. Analyseprogrammerne for grundvandsovervågningen fremgår af programbeskrivelserne, der kan findes på NOVANA-hjemmesiden. De aktuelle analyseprogrammer for nuværende programperiode fremgår i de kapitler, hvor stofferne præsenteres.

Specielt for pesticider gælder, at resultaterne fra "Varslingssystemet for pesticider" (VAP) anvendes til justering af analyseprogrammet for både GRUMO og Boringskontrollen, mens fx screeninger og andre resultater fra NOVANA indgår i beslutningsgrundlaget for justering af analyseprogrammet for Boringskontrollen, se også kapitel 7. Bilag 4-9 præsenterer resultater fra samtlige pesticidanalyser i grundvand, som ligger i JUPTIER opdelt på Grundvandsovervågning, boringskontrol og andre boringer.

Figur 7 viser hvor stort et datamateriale, der er til rådighed for rapporteringen med udgangspunkt i antallet af registrerede aktive GRUMO indtag samt antal analyser for nitrat, atrazin og arsen.



Figur 7. Analyseindsatsen for grundvandsovervågningen 1988-2013. Antal indtag, hvorfra der er taget prøver, samt antal analyser for stofgrupperne hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, ud fra antallet af årlige analyser af et gennemgående stof i stofgrupperne.

De tre udvalgte stoffer har gennem hele programperioden indgået i analysepakkerne for hhv. hovedbestanddele, pesticider og sporstoffer, og viser således analyseomfanget for disse stofgrupper. Det fremgår af Figur 7, at mens der har været et fald i omfanget af analyser for nitrat, og dermed hovedbestanddele, har analyseindsatsen over for pesticider og sporstoffer ligget mere konstant i hele overvågningsperioden. Faldet i antallet af nitratanalyser pr. år er især begrundet i det forhold, at analysefrekvensen for hovedbestanddele er faldet gennem tiden,

mens analysefrekvensen for pesticider til sammenligning ikke har varieret meget. Det større antal analyser i 2012 end i årene før og derefter viser, at der i 2012 blev udtaget prøver i de 89 indtag i redoxboringerne, der ikke prøvetages hvert år.

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

Oppumpede vandmængder

Rapportering af oppumpede vandmængder fra grundvand og overfladevand er en integreret del af grundvandsovervågningen.

I henhold til Vandforsyningsloven (MiM, 2013) og Drikkevandsbekendtgørelsen (MiM, 2014b) skal alle almene indvindinger indberette indvindingen til kommunerne. Ikke-almene indvindinger indberettes dog kun, såfremt kommunalbestyrelsen pålægger dem det. Kommunerne skal sikre, at indberetningerne til JUPITER er korrekte. Indvindingerne opgøres for hvert kalenderår, og indberetningen til kommunalbestyrelserne skal foretages inden den 1. februar det følgende år, hvorefter data skal offentliggøres i JUPITER inden 1. april.

Til denne rapport er der pr. 20. maj 2014 foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de vandmængder som kommunerne (tidligere, amterne), har indberettet til JUPITER for perioden 1989 frem til og med 2013.

I perioden 1989-2005 blev de oppumpede vandmængder beskrevet på baggrund af de indberetninger, som GEUS hvert år modtog fra amterne. Disse data indeholdt et skøn over størrelsen af de manglende indberetninger. Efter strukturreformen i 2007 ligger tilsynsmyndigheden for indvinding af grundvand hos de 98 kommuner, og der udarbejdes ikke længere decentrale skøn over manglende indberetninger. GEUS har derfor siden 2008 baseret opgørelserne på de faktisk indberettede vandmængder i JUPITER databasen på udtrækstidspunktet, således at der herefter er overensstemmelse mellem databasen og de rapporterede opgørelser. For yderligere information se GRUMO-rapporten for 1989-2008 (Thorling mfl., 2010a).

Anden overvågning af grundvandet

Kendte punktkilder, som forurenede grunde og lossepladser, overvåges af Regionerne i medfør af Jordforureningsloven, og rapporteres årligt af Miljøstyrelsen (MST, 2014). Denne overvågning knyttes såvel til oprydninger som kortlægning af jordforureninger. Dertil kommer overvågning af forurenende virksomheder som lossepladser mv. Mere information kan fås på Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer (Hjemmesiden for jordforurening). Data herfra bliver i dag kun i mindre omfang indberettet til JUPITER, det gælder såvel boringsoplysninger som vandanalyser.

Data, der indsamles som led i overvågning og undersøgelser af kendte større punktkilder, og som efterfølgende er indlæst i JUPITER, er så vidt muligt søgt adskilt fra de øvrige data, der indgår i denne rapportering. Generelt indberettes regionernes grundvandsdata ikke til JUPITER, men i det omfang data er indlæst i JUPITER, vil disse indgå i datasættet "Andre boringer". Der arbejdes i disse år på, at grundvandsdata fra regionernes forureningsundersøgelser lægges i JUPITER, men på nuværende tidspunkt er det ikke besluttet, hvornår det skal sker.

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

Datagrundlag for rapportering

Årets rapportering bygger på de data, som Naturstyrelsen (indtil udgangen af 2006 amterne) har indsamlet, samt data fra vandværkernes Boringskontrol og kommunernes indberetning af oppumpede vandmængder. Indberetningen af vandanalyser fra såvel grundvandsovervågningen som Boringskontrollen og øvrige undersøgelser, foretages af analyselaboratorier direkte til JUPITER databasen. Efterfølgende godkender kommunerne eller Naturstyrelsen data jf. dataansvarsaftalen, før de bliver offentligt tilgængelige og til rådighed for rapporteringen.

De aktive indvindingsboringer identificeres til rapportering på grundlag af bl.a. en kode for prøveformål, som laboratorierne angiver for hver analyseret vandprøve, der indberettes til databasen.

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

Fast dataudtræk fra JUPITER

Som grundlag for rapporteringen udarbejdes der hvert år et veldefineret udtræk fra JUPITER, som rapporteringen er baseret på. Udtrækket produceres af et særligt program med algoritmer, der sikrer at data, der fx er mærket som fejlagtige, ikke indgår i databehandlingen. Ligeledes fjernes dubletter, lige som andre datatekniske problemer som anvendelse af forskellige koder og enheder håndteres.

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

3.2 Metoder til databehandling

I denne rapport er der anvendt en række indikatorer og opgørelsesmetoder med det formål at beskrive, hvorledes de enkelte stoffer optræder i grundvandet. Som udgangspunkt for databehandlingen bearbejdes data, så opgørelserne er på indtagsniveau. Hvis der inden for en periode er udtaget flere prøver i samme indtag, aggregeres målingerne som beskrevet nedenfor.

Det bærende princip for hovedparten af figurerne er, at der fokuseres på, hvorledes koncentrationerne fordeler sig. Der beregnes kun undtagelsesvist gennemsnit for data fra flere forskelli-

ge indtag. I stedet er der fokus på, hvor store andele af de undersøgte indtag (populationen), der ligger over eller under kvalitetskravet og detektionsgrænser. I det omfang, der beregnes middelværdier, præsenteres også median og spredning, som regel udtrykt ved fraktiler, se nedenfor.

Status for seneste overvågningsår

Den aktuelle status for 2013 på indtagsniveau er for nitrat præsenteret som fraktildiagrammer, hvor alle målinger (evt. for en bestemt vandtype) indgår, se fx Figur 16. Diagrammerne viser median, middelværdi og spredningen på resultaterne. Hvis der er flere målinger i samme indtag, hvad der kun helt undtagelsesvis er, beregnes den årlige middelværdi for den pågældende parameter i det pågældende indtag. Ved beregning af middelværdien indgår værdier under detektionsgrænsen med detektionsgrænsens numeriske værdi.

For mange stoffer giver en stor andel af analyserne resultater under detektionsgrænsen. Dette gælder især for miljøfremmede stoffer som fx pesticider. For denne type målinger er der fokus på fundhyppigheder og hyppigheden af overskridelser af kvalitetskravet. Dette præsenteres som andele af indtag i %, som regel i tabelform eller søjlediagrammer se fx Figur 29 og Tabel 10.

Fundhyppighed er beregnet som procentdelen af indtag med koncentrationer højere end detektionsgrænsen.

I søjlediagrammer og tabeller præsenteres stoffernes procentvise fordeling typisk i mindst tre koncentrationsintervaller:

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

Periodestatus, den kumulative metode

For at illustrere i hvilket omfang indtagene har været påvirket af ét stof eller én stofgruppe i en periode, anvendes den kumulative metode. Dette er relevant, da ikke alle indtag prøvetages hvert år. For vandværksboringer kræver det fem års data for at sikre data fra alle aktive vandværksboringer. I GRUMO prøvetages alle indtag ikke hvert år, idet indtag, der følger kontrolovervågningen, typisk kun prøvetages én eller to gange i programperioden, mens indtag, der følger den operationelle overvågning, prøvetages hvert år.

De anvendte perioder er hele overvågningsperioden (fx 1990-2013), programperioder (fx 2011-2013) eller andre relevante delperioder.

Ved den kumulative metode optælles antallet af indtag, hvor der mindst én gang har været påvist et stof over detektionsgrænsen (et fund) inden for én periode. Fundene opdeles som regel også i koncentrationer over og under kvalitetskravet. Metodens udgangspunkt er indtagsniveau, således at ét indtag kun tælles med én gang for den relevante periode, uanset om der har været ét eller flere fund i det pågældende indtag i den pågældende periode.

- For *enkeltstoffer* tælles i hvor mange indtag et stof er fundet mindst én gang over en given periode. Den højst fundne værdi i perioden bestemmer, hvilken koncentrationsklasse indtaget henføres til.

- For *grupper af stoffer* optælles i hvor mange indtag, med udgangspunkt i den højst fundne koncentration i hver prøve, der er fundet mindst ét stof i stofgruppen over en given periode. Den højst fundne værdi i perioden bestemmer, hvilken koncentrationsklasse indtaget henføres til.

Ved beregningen af andelen af indtag, der mindst én gang i hele monitoringsperioden har været påvirket, medtages det enkelte indtag kun én gang, selv om der har været udtaget mange vandprøver med fund.

Dybdefordelinger mm.

Fordelingen af de analyserede stoffer med dybden i grundvandet illustreres som Figur 25 vist i Figur 19. Her er dybden opdelt i intervaller typisk af 10 m.

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

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

Dybden er angivet som "dybden til top af indtag" eller "indtagstop". Dette er den dybde som er angivet i JUPITER i meter under terræn til overkanten af indtaget. I GRUMO er indtagene som regel korte med en længde på en til to meter. I vandforsyningsboringer er længden af indtaget ofte omkring 6 m, men kan være meget lange, fx kan indtaget i nogle kalkboringer være op til 50 m langt.

Tidsserier

Der opstilles som udgangspunkt tidsserier med udgangspunkt i prøvetagningsåret, se fx Figur 25. I forbindelse med temarapportering, og lejlighedsvis mere dybdegående datafortolkninger, inddrages resultaterne fra dateringerne (se kap. 4), og tidsskalaen kan transformeres til infiltrationstidspunktet. Dette muliggør en stærkere effektmåling af samspillet mellem indsatsplaner og miljøtiltag og påviste koncentrationer i grundvandet, eksempelvis af nitrat, se Figur 28.

Egentlige statistiske analyser af tidsudviklinger ligger uden for rammerne af den årlige normalrapportering, men kan udføres i forbindelse med temarapportering.

Tidsserier, hvor alle målinger (evt. for en bestemt veldefineret delmængde af data) fra hvert år indgår, er præsenteret i "box and whiskers" diagrammer, er især nyttige for stoffer med høje fund procenter. Her vises både middelværdi, median sammen med 10, 25, 75 og 90 % fraktillerne, se fx Figur 26.

En særlig indikator type er udviklet for at vurdere effekten af pesticidreguleringer. Opgørelser over fund på analyseniveau anvendes ved beregninger af middel- og mediankoncentrationer, for udvalgte enkeltstoffer til vurdering af den tidsmæssige udvikling i de fundne koncentrationer i boringer med fund, se Figur 36. Af hensyn til den grafiske præsentation er boringer uden fund ikke med i figurerne, som dermed kun viser den relative udvikling, og derfor ikke er et udtryk for den samlede belastning af grundvandet. Antallet af og kandidatmængden af boringer med fund skifter fra år til år, så disse figurer kan alene bruges som indikator for udviklingstendenser for koncentrationen i den påvirkede del af grundvandet. I denne type databehandling, vises alle data også i tabelform.

Pejledata og oppumpede vandmængder

Pejledata og oppumpede vandmængder behandles ikke som de kemiske parametre.

Mht. pejledata er overvågningen stadig under konsolidering, og fokus ligger på datakvalitet og teknisk udvikling af området. Data indsamles med meget stor hyppighed (ned til hvert kvarter) og præsenteres som tidsserier på indtagsniveau for udvalgte indtag. Der finder ingen aggregering af data sted.

Oppumpede vandmængder præsenteres alene som tidsserier opdelt på indvindingskategorier.

Referencer, indledning

Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)

DMU, 2007: NOVANA – det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508

Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013.

www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (25-08-14)

Relevante hjemmesider og links

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

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

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

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

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

NOVANA hjemmeside:

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

4 Grundvandets strømning og opholdstid

Sammenfatning og konklusion

Formålet med dette kapitel er at give en kortfattet baggrund for de hydrogeologiske betingelser for tolkning af data, der indgår i GRUMO. Her introduceres begreber som: grundvandsmagasiner, grundvandsdannelse, grundvandets strømningsforhold og grundvandets opholdstid. Dette er valgt frem for en fragmentarisk ordliste, som vanskeligere kan formidle sammenhængen i den faglige baggrundsviden.

I år afrapporteres resultaterne af dateringer af grundvandet udført i 2012 og 2013. Der er udtaget vandprøver til datering dels i en række nyetablerede indtag, og dels i udvalgte indtag i det hidtidige stationsnet med iltholdigt grundvand. Baggrunden for dette er, at den hidtidige dateringsmetode med CFC ikke længere er en hensigtsmæssig dateringsmetode for grundvand dannet de seneste 15-20 år. Tritium/helium metoden, er derfor valgt som ny dateringsmetode i GRUMO. Der har været store tekniske udfordringer med dateringsprojektet, idet tritium/helium metoden kun har vist sig anvendelig i indtag med god tilstrømning af grundvand, og en række målinger er derfor af tekniske årsager behæftet med stor usikkerhed.

De sidste analyseresultater er først indkommet i juli 2014, og er først bearbejdet i detaljen i nov.- dec. 2014. Dateringen er afrapporteret i to notater (Laier, 2014 og Laier, 2014a). Det kunne konkluderes, at CFC stadig er en nyttig metode til datering af iltet grundvand, der er 20-60 år gammelt. Derimod ser det ud til, at der i specielt ældre, iltfrit grundvand er afvigende resultater ved en sammenligning af CFC metoden og tritium/helium metoden. Dette kan bl.a. hænge sammen med nedbrydning af CFC under reducerede forhold, hvilket indvirker på den bestemte alder i vandprøverne.

I det unge grundvand under 15-20 år kan de to metoder ikke sammenlignes pga. stor usikkerhed på CFC metoden, og man er alene henvist til at anvende tritium/helium datering.

Grundvandets Hydrogeologi

Geologiske forudsætninger

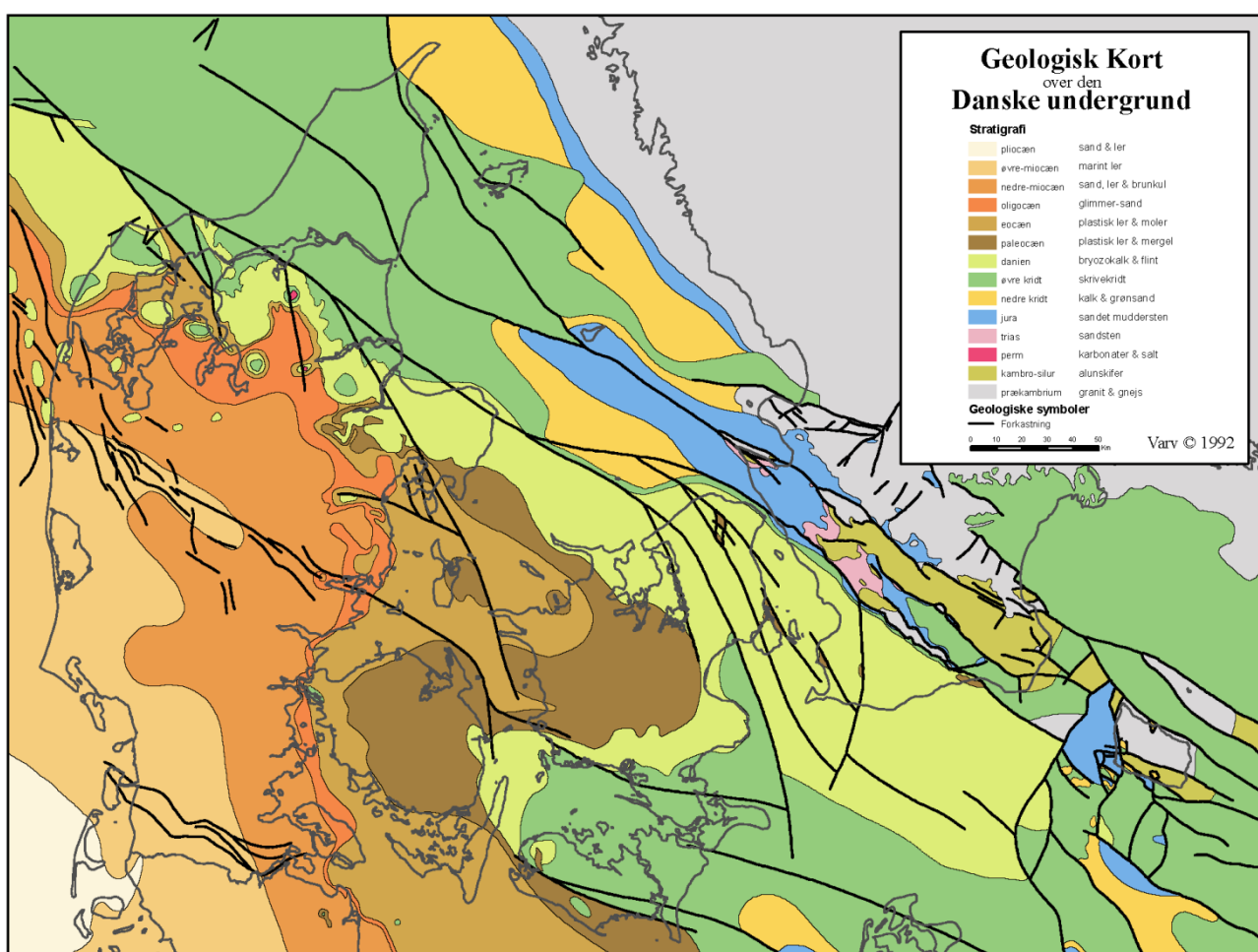
I store dele af Danmark foregår grundvandsindvindingen især i lag afsat af smeltevand under kvartærtiden i forbindelse med landets nedisning under de seneste istider. I andre områder indvindes vandet i kalk og sandlag, der stammer fra før istiderne, de såkaldte prækvartære aflejringer. Den nordlige del af Bornholm er den eneste undtagelse herfra, idet undergrunden der består af grundfjeld.

Figur 8 viser et geologisk kort over den danske undergrund, (et prækvartærkort) dvs. de lag der ligger under istidsaflejringerne. I den østlige del af Sjælland, på Lolland, Falster, Møn, i den østlige del af Fyn ved Nyborg og på det nordlige Langeland samt i et strøg fra Djursland til Aalborg, findes der under istidslagene grundvandsmagasiner i Skrivekridt (mørk grøn farve) og Danienkalk (lys gulgrøn farve). Derudover findes der i disse områder også grundvandsmagasiner i glaciale sandlag.

I Østjylland i området omkring Himmerland/Thy og på Fyn består de tertiære lag af fed ler (Oligocæn, Eocæn og Paleocæn), Her findes grundvandsmagasinerne typisk i begravede da-

le, der er opfyldt med istidsaflejringer, og lagene er ofte meget forstyrrede af isens bevægelser. Under disse heterogene forhold kan det være vanskeligt at vide, hvor grundvandsmagasinerne ligger, og ny viden fra den nationale grundvandskortlægning (se grundvandskortlægningens hjemmeside) har stor betydning for kendskabet til grundvandsmagasinerne rumlige udbredelse.

I det vestlige Jylland findes der også grundvand i de tertiære sandlag under istidslagene. Disse lag hælder mod vest, og findes derfor i stor dybde ved den jyske vestkyst. De tertiære sandlag, er yngre end kalken og optræder ikke i den østlige del af Danmark. Over disse tertiære grundvandsmagasiner findes betydelige glaciale grus- og sandmagasiner, der også udnyttes til vandindvinding. I den nordlige Jylland ligger kalkforekomsterne så dybt, at de indeholder saltvand, og derfor ikke er anvendelige til vandforsyningsformål. I dette område anvendes glaciale grus- og sandlag samt post-glaciale lag til grundvandsindvinding.



Figur 8. Den prækvartære overflade i Danmark, dvs. udbredelsen af geologiske lag umiddelbart under istidsaflejringerne i den kvartære periode for op til 1,6 mio. år siden.

Grundvandsdannelse

Nedbør, der ikke fordampes fra planter, fra jordoverfladen eller vandoverflader, strømmer enten via dræn til vandløbene eller til dybere lag i undergrunden, hvor det udgør den egentlige grundvandsdannelse. I de øvre jordlag er der som regel også luft i hulrummene mellem sedi-

mentkornene, og man taler om den umættede zone, hvor nedsivningen til grundvandet, og dermed grundvandsdannelsen finder sted ved en overvejende lodret vandbevægelse.

Grundvandets strømning

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

Grundvandets strømning i undergrunden er betinget af fordelingen af vandets hydrauliske potentiale, der udtrykker grundvandets energitilstand. Grundvandets energi er givet ved summen af den potentielle energi og vandets tryk. Grundvandet strømmer fra områder med højt hydraulisk potentiale til områder med lavere hydraulisk potentiale. Det hydrauliske potentiale driver således grundvandsstrømmen, og vandets strømningshastighed er givet ved Darcy's lov:

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

Hvor V_p er grundvandets partikelhastighed, K er de geologiske lags hydrauliske ledningsevne, dh/dx er hydraulisk gradient og n er sedimenternes effektive porøsitet, dvs. den brøkdel af sedimenterne, hvor der er hulrum i sedimenterne (porerummet), hvor grundvandet kan strømme. Grundvandets konkrete detaljerede strømningsmønster påvirkes af de geologiske lags rumlige udbredelse, og derfor er det vigtigt at kende grundvandsmagasinerne geologiske opbygning.

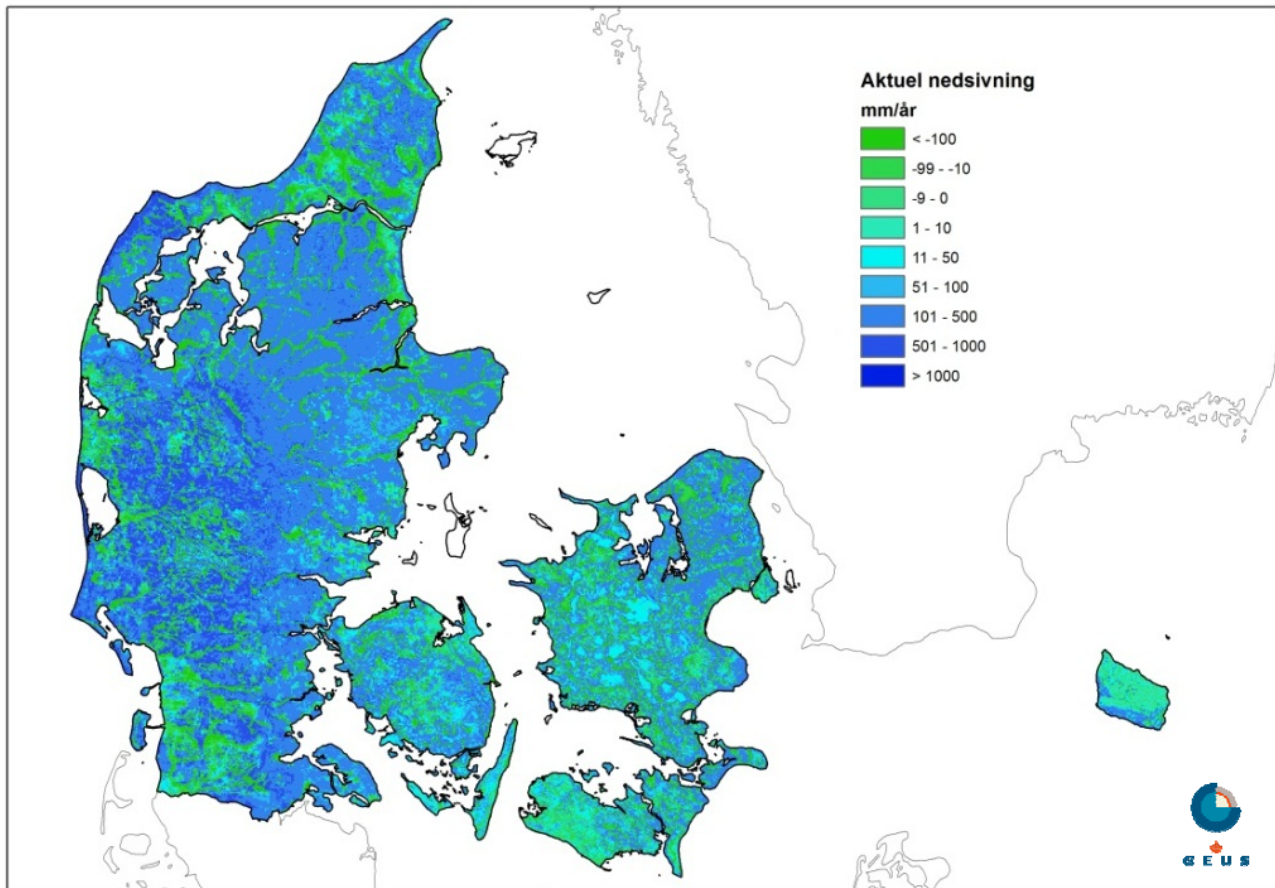
Modellering

Grundvandsstrømningen i Danmarks undergrund er overordnet beskrevet i DK modellen, hvor undergrunden er inddelt i 11 beregningslag (se DK model hjemmeside). DK modellen er en national hydrologisk model udviklet i samspil med NOVANA aktiviteterne.

Den beregnede vertikale grundvandsstrømning mellem de to øverste beregningslag (lag 1 og 2) i DK modellen, kan betragtes som et udtryk for nedsivningen til grundvandsmagasinerne. Figur 9 viser den beregnede nedsivning/opsivning for perioden 2005-2010 mellem beregningslag 1 og 2 i DK modellen. Det fremgår, at på de overvejende sandende jorde i Jylland er den typisk mellem 500 og 1.000 mm/år. På Fyn og Sjælland er grundvandsdannelsen meget mindre, typisk 10 - 100 mm/år. I hele landet viser beregningerne udsivning langs store dele af kysten og under åerne.

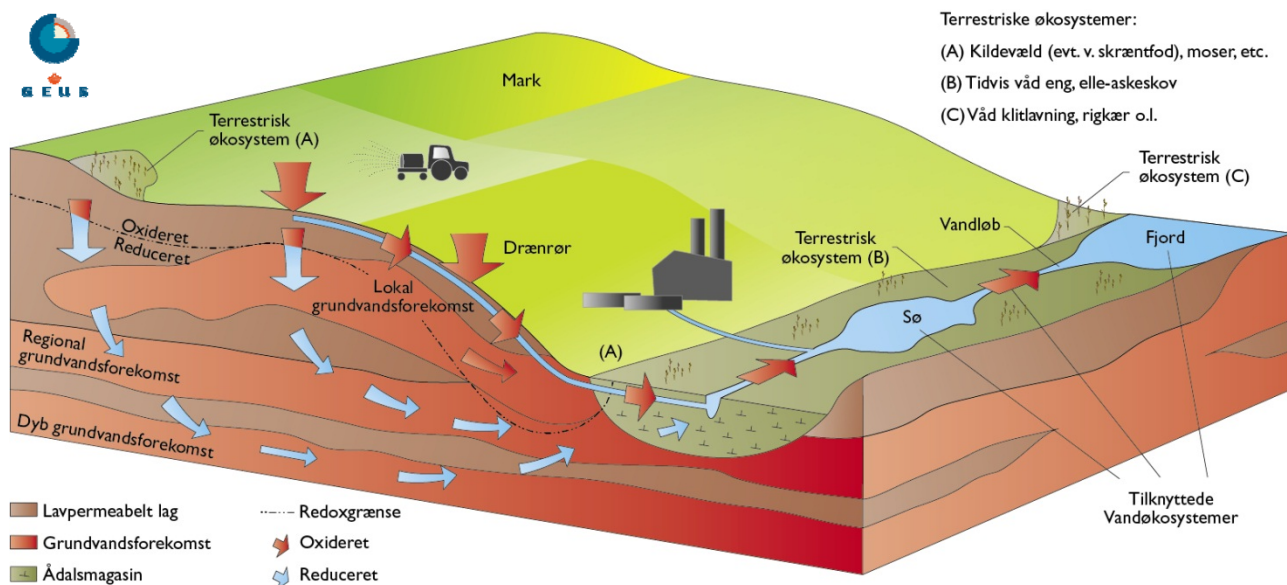
Grundvandsmagasiner

Et grundvandsmagasin kan defineres som et vandførende geologisk lag, hvorfra der kan etableres en rentabel vandindvinding. Dette kræver en passende stor mægtighed af laget, samt tilstrækkelig porøsitet og permeabilitet eller hydraulisk ledningsevne (ligning 1). Der foregår også en opmagasinering og transport af grundvand i mellemliggende, lavpermeable geologiske lag, og ofte påvirkes grundvandskvaliteten i betydeligt omfang af disse lag, det være sig i form af nitratreduktion eller frigivelse af arsen.



Figur 9. Grundvandsdannelsen i Danmark udtrykt ved den gennemsnitlige beregnede nedsvining/opsivning mellem beregningslag 1 og 2 i DK modellen i perioden fra 2005 til 2010 i mm/år (Henriksen et al., 2014). Terrænnære lag findes i beregningslag 1 i DK modellen, og den horisontale strømning heri har betydning for grundvandsdannelsen til de lag, der er relevante for vandforsyningen og for størrelsen af en hurtig afstrømning til overfladevand.

Fejl! Henvisningskilde ikke fundet. viser en principskitse for grundvandsdannelse og strømning samt magasintyper. Grundvandsmagasiner opdeles i frie og spændte, eller artesiske. Frie grundvandsmagasiner er karakteriseret ved, at der over grundvandsspejlet findes en umættet zone, hvor porerummet ikke er vandfyldt, men også indeholder luft. Frie grundvandsmagasiner er normalt i direkte kontakt med atmosfæren via luften i den umættede zone. I Figur 10 er de frie magasiner vist som en "Lokal grundvandsforekomst". Frie grundvandsmagasiner findes i sandlag i store dele af Jylland, og i kalkmagasiner eksempelvis ved Ålborg, på Djursland, på Stevns og Møn. Grundvandet i frie grundvandsmagasiner er ofte relativt ungt. Der kan dog forekomme relativt gammelt grundvand i frie magasiner, hvor der er opadrettede hydrauliske gradienter tæt på åer. Grundvandet i frie magasiner er ofte relativt sårbart, da der ikke er overliggende, beskyttede lag, som ved spændte magasiner, se næste afsnit.



Figur 10. Konceptuel figur over grundvandets strømningmønster. Frie grundvandsmagasiner med dominerede lokal grundvandsstrømning og spændte grundvandsmagasiner med regionale grundvandsstrømninger.

Spændte grundvandsmagasiner, er højpermeable aflejringer, der ligger under lavpermeable geologiske lag, se Figur 10. Når grundvandsmagasiner er spændte, vil grundvandsstanden i borerer stå over lagets øvre grænse og op i lag, der er mere eller mindre vandstandsende. I særlige tilfælde står trykniveauet over terrænen. Grundvandsmagasiner, med trykniveau over terrænen blev første gang beskrevet i egnen Artois i Frankrig, og har derfor fået betegnelsen artesiske.

Spændte grundvandsmagasiner er ofte dybtliggende (Regionale grundvandsforekomster i Figur 10), og de er derfor mindre sårbare end grundvandsmagasiner med frit vandspejl. I Danmark findes dybe, spændte grundvandsmagasiner i grus og sandforekomster i Jylland, på Fyn og Vestsjælland. I det østlige Sjælland findes spændte magasiner i kalkbjergarter. I ådale kan ler og dyndlag skabe spændte, artesiske forhold tæt ved terrænen. Mange vandværksboringer er derfor placeret i ådale.

Figur 10 viser områder med nedadrettet hydraulisk gradient (grundvandsdannelse) og områder med opadrettet gradient (grundvandsudsivning) under ånen. I figuren er også vist beliggenheden af redoxgrænsen i undergrunden, over hvilken grundvandet indeholder ilt, og som regel også nitrat. Under redoxgrænsen er vandet iltfrit og nitrat er reduceret til N_2 , se også kapitel 5 Figur 15.

Grundvandets Opholdstid

Relevans af datering

Tolkning af årsager til ændringer i grundvandets kvalitet er vanskeligt, for ikke at sige umuligt, uden kendskab til grundvandets opholdstid eller alder i de enkelte indtag. Opholdstiden er her defineret som det antal år, vandet har strømmet i undergrunden. Det vil sige, hvis en vandprøve udtaget i år 2007 viser, at vandet infiltrerede i 1993, så er grundvandets opholdstid 14 år. Kendskab til vandets opholdstid gør det muligt at vurdere, om udviklingen i grundvandets kva-

litet viser tidsmæssige sammenfald med ændringer i arealanvendelse eller indsatsprogrammer.

Datering af grundvandet i de enkelte overvågningsboringers indtag er derfor et meget nyttigt redskab, fx når effekter af ændret landbrugspraksis på nitratudvaskningen skal dokumenteres. Samtidig kan datering af grundvandet bruges til at demonstrere, om det med udbygningen af overvågningen med flere indtag er lykkedes at fokusere indsatsen på det unge grundvand, som ønsket. (Thorling m.fl., 2009, Hansen et al, 2011). Det samme gælder effektmålinger på pesticidreguleringen de sidste 15 år, hvilket dog er en vanskeligere opgave, idet pesticiderne i højere grad vekselvirker med sedimenterne, gennem nedbrydning og sorption i et langt mere komplekst mønster end nitrat.

Det antages som udgangspunkt, at opholdstiden for grundvandet i et punkt er nogenlunde konstant over tid, skønt den i et vist omfang vil variere med variationer i nedbøren fra år til år og hen over året. Gentagne dateringer og målinger af opholdstider i samme indtag i overvågningsprogrammet har vist, at langt hovedparten af indtagene kan karakteriseres med en opholdstid med en usikkerhed på få år.

I forbindelse med udbygning af stationsnettet, se kapitel 2, er der opstået et fornyet behov for datering af de enkelte indtag. Ligeledes er der behov for en gentagen datering i specielt de iltede indtag, se kapitel 5. De nye dateringer foretages med tritium/helium metoden, da CFC-metoden ikke længere er anvendelig til datering af ungt grundvand. De første 45 prøver til tritium/helium datering blev udtaget i 2012, og yderligere 92 blev udtaget i 2013. Resultaterne herfra præsenteres samlet i dette års rapport i bilag 1, mens GEUS rapportering af dateringerne er vist i bilag 2 og 3.

CFC metoden udnyttede det stigende indhold af flere CFC forbindelser i atmosfære og grundvand til aldersbestemmelse. CFC indholdet i atmosfæren falder nu, se Figur 13, som følge af Montreal Protokollen i 1987 om beskyttelse af ozonlaget gennem reduktion af CFC-udslip, og CFC metoden kan derfor ikke længere anvendes.

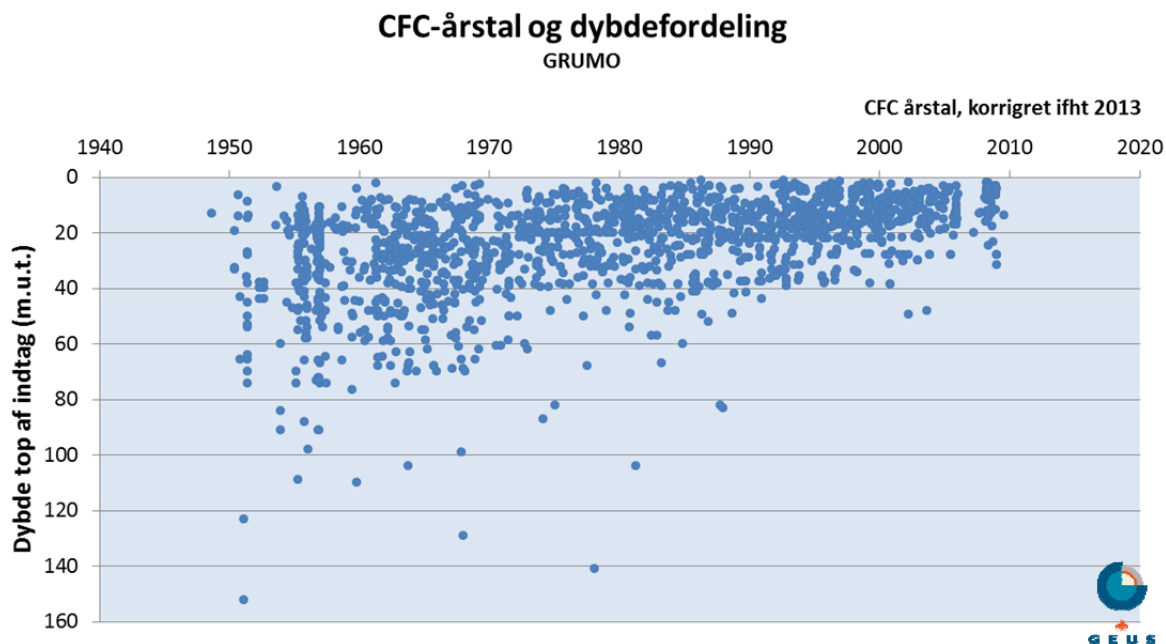
Alderen af det overvågede grundvand.

Tilstand og udvikling

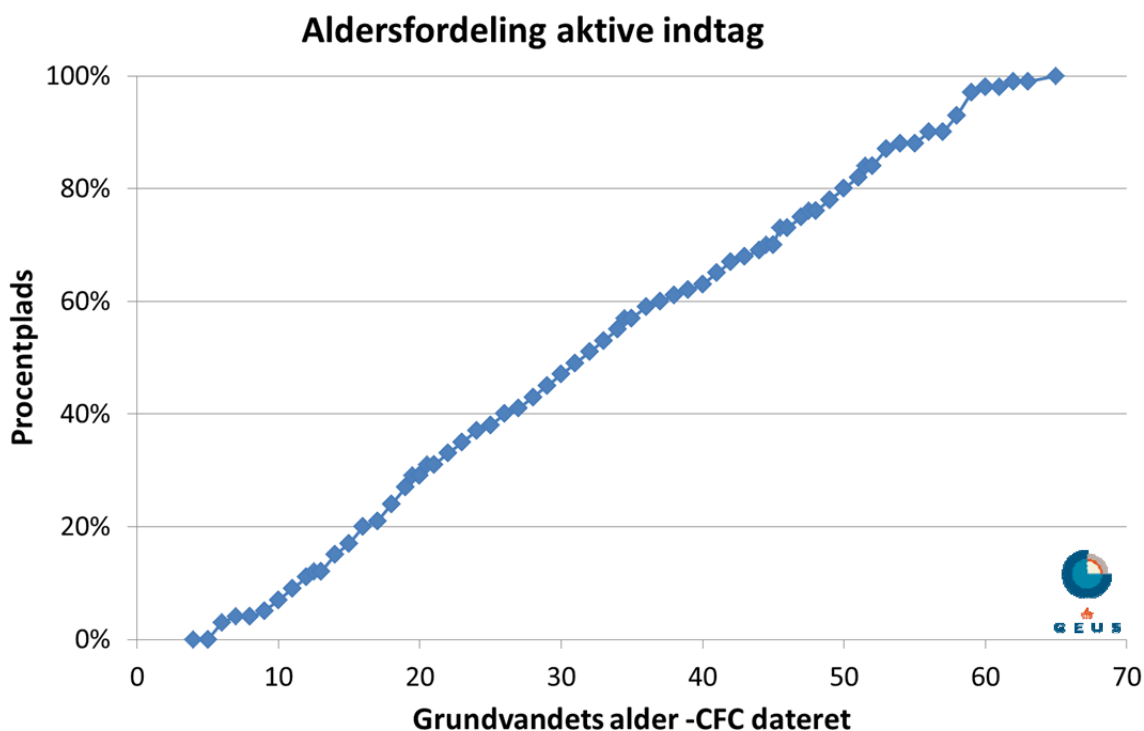
Figur 11 sammenfatter tidligere aldersbestemmelser med CFC metoden som funktion af dybden. De fleste bestemmelser blev foretaget sidst i 1990'erne, hvor resultaterne blev angivet som CFC-årstal for grundvandsdannelsen. Da CFC-årstal for grundvandsdannelsen ændres med tidspunkt for prøvetagningen, er tallene i Figur 11 korrigerede herfor. Det fremgår af figuren, at der i de øverste 40 m optræder grundvand med meget forskelligt dannelses-tidspunkt og dermed alder, og at der selv i de øverste 20 m ikke er nogen simpel sammenhæng mellem dybde og alder, når alle indtag sammenlignes fra både iltede, anoxiske og reducerede zoner. Årsagen hertil er forskelle i grundvandsdannelse, hydrauliske barrierer og andre forskelle i de hydrogeologiske strømningsforhold. I udstrømningsområder med opadrettet gradient, kan der træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terræn, se Figur 10. Det skal dog bemærkes, at gennemsnitsalderen stiger med stigende dybde, da andelen af ungt vand falder med dybden.

I 2013 er det 25 år siden, vandmiljøplanerne blev iværksat. Figur 12 viser, at grundvandet i omkring 40 % af de daterede aktive indtag, har en opholdstid på under 25 år. Grundvand fra

disse indtag kan derfor i princippet vise mulige eventuelle effekter af vandmiljøplanerne på grundvandets kvalitet. I kapitel 5 er disse data anvendt til at vurdere effekten af vandmiljøplanerne på grundvandets indhold af nitrat.



Figur 11. Aldersfordelingen i 2013 for grundvandets dannelsesår i GRUMO boreninger, udtrykt ved CFC-årstal for overvågningsindtag som funktion af dybden til indtagstop (m u.t.). Alderen er beregnet ud fra målt CFC årstal korrigeret for forskel mellem året for datering og 2013.



Figur 12. Aldersfordelingen for grundvandets dannelsesår, udtrykt ved CFC-alderen for de daterede overvågningsindtag, der var aktive i 2012.

Tritiumdatering

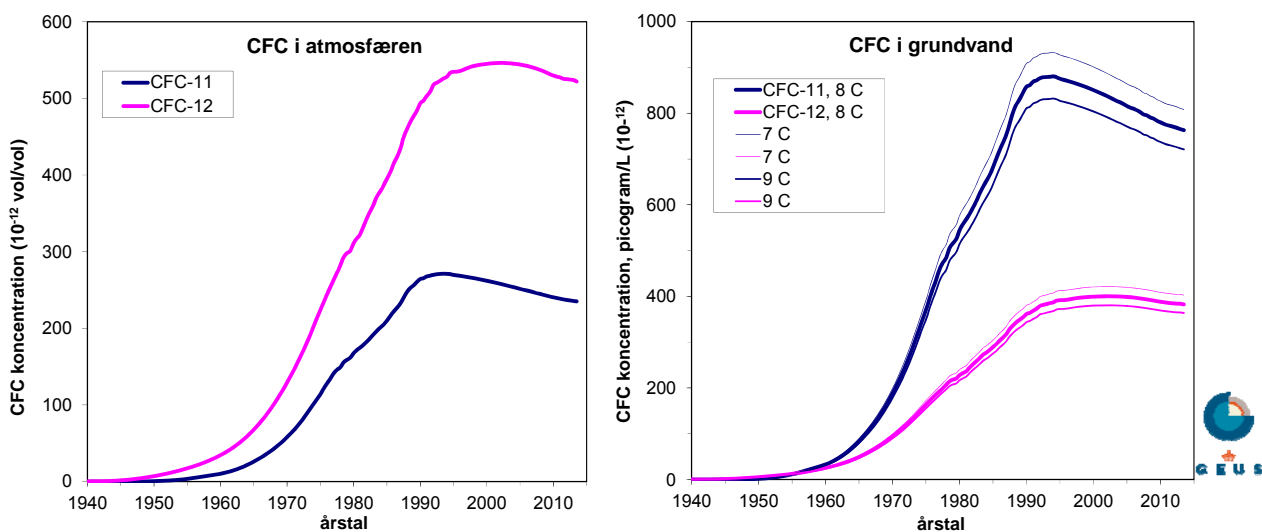
Grundvandets alder har altid været en meget vigtig parameter for tolkningen af de data, der indsamles i forbindelse med grundvandsovervågningen. I overvågningsens første år (1990-95) blev der indsamlet data for tritium: ^3H . Store mængder tritium blev frigivet til atmosfæren som følge af brintbombsprængninger i 1950'erne og 1960'erne, se Figur 14. Dette tritium blev sammen med naturligt dannet tritium indbygget i nedbørens vandmolekyler, og muliggør en grov datering af grundvandet.

Det vigtigste resultat af tritiumdateringen af grundvandet i overvågningsområderne i 1990'erne var, at grundvandet i GRUMO blev opdelt i ungt og gammelt grundvand. Det gamle grundvand er defineret som alt grundvand med meget lave indhold af tritium, dannet før ca. 1955. Det unge grundvand, svarede i 1995, til en opholdstid på højst ca. 40 år. Opdelingen er hensigtsmæssig ud fra en vandkvalitetsmæssig synsvinkel, da der siden 1950'erne har været en stor påvirkning af grundvandets kvalitet med nitrat og pesticider fra landbruget, og med miljøfremmede stoffer og pesticider fra byområder. Dette er også en rimelig opdeling set ud fra en geologisk betragtning, da opholdstiden i mange grundvandsmagasiner kan være op til flere hundrede år (Hinsby, 2008).

Opdelingen i ungt og gammelt grundvand, ift. ca. 1955, er imidlertid utilstrækkelig, når effekten af vandmiljøplanerne fra 1980'erne og frem skal vurderes, og sprogbrugen omkring ungt grundvand kan da også virke forvirrende på de, der overvejende har fokus på den del af vandkredsløbet, som finder sted i det ferske overfladevand. Derfor var man interesseret i metoder der kunne levere mere præcise dateringer, se nedenfor.

CFC-datering

CFC-forbindelserne, også kaldet freoner, er kemisk meget stabile, og derfor er indholdet i atmosfæren steget markant, siden produktionen af disse stoffer begyndte i 1930'erne, se Figur 13. Nedbørens indhold af CFC er i ligevægt med atmosfærens CFC-indhold, og nedbørens indhold af CFC ændrer sig derfor med CFC indholdet i atmosfæren. CFC-indholdet i det nydannede grundvand har derfor været stigende indtil omkring år 2000, hvor stofferne blev udfaset. Da CFC forbindelserne kun i begrænset omfang nedbrydes i grundvandet (Hinsby m.fl., 2007), kan bestemmelse af CFC koncentrationen i grundvandet sige noget om, hvornår dette grundvand sidst var i kontakt med atmosfæren, og dermed ideelt set grundvandet opholdstid i undergrunden (Laier og Thorling, 2005). I dag er indholdet af CFC i atmosfæren svagt faldende for de forskellige freonforbindelser, og CFC metoden er derfor ikke egnet til datering af grundvand dannet efter omkring år 1990, da der ikke længere er en entydig sammenhæng mellem CFC indholdet i grundvandet og opholdstiden for grundvandet, se Figur 13.



Figur 13. CFC i atmosfæren og grundvandet fra 1940 til 2013. CFC-11 er lettere opløselig i vand end CFC-12, og derfor ses højere CFC-11 end CFC-12 i grundvand. Vandets temperatur bestemmer, hvor meget gas der kan opløses i vandet. Beregning af årstal for en given prøve må derfor tage højde for vandets temperatur ved grundvandsspejlet. I Danmark er temperaturen oftest lig med ca. 8 °C, årets middeltemperatur, når vandspejlet ligger 5 m u. t. eller dybere. Ved mere terrænnært vandspejl kan ligevægtstemperaturen variere, og dermed påvirke CFC indholdet i grundvandet. For CFC nær maksimum koncentration ses, at der er to løsninger mht. alder for et givet CFC indhold.

CFC-datering i overvågningsboringerne er tidligere udført fra 1996 og frem til omkring år 2005. De fleste indtag er blot analyseret for CFC-forbindelser én gang, men for en række indtag er der udført gentagne analyser og produceret egentlige tidsserier, der for de fleste indtag viser, at alderen, dvs. strømningstiden fra grundvandsspejl til indtag, er nogenlunde konstant i det overvågede grundvand. I enkelte indtag ses store udsving i alderen, og her er alderen formentlig påvirket af varierende strømningforhold, der opstår når grundvandsspejlet varierer mellem tørre og våde perioder (Laiet og Thorling, 2005).

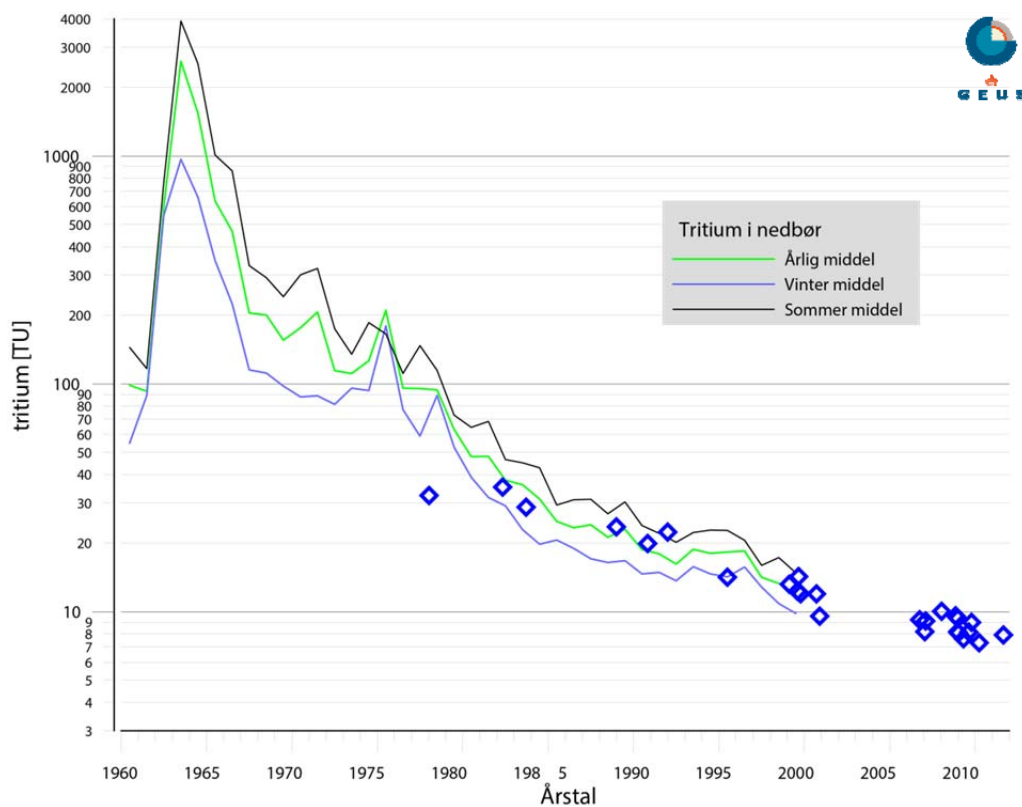
Tritium/helium datering

Kender man forholdet mellem ^3H (tritium) og dets henfaldsprodukt ^3He (helium-3) i grundvand kan man i princippet bestemme alderen (t) af grundvandvandet ud fra tritiums halveringstid (12,43 år). En konsekvens heraf er, at alderen af grundvand, der indeholder lige store mængder ^3H og ^3He , må være 12,43 år, da baggrundsværdien for ^3He er forsvindende lille.

Tritiumindholdet i atmosfæren nåede et maksimum i 1963 pga. brintbombe sprængningerne, men er nu 50 år senere (fire halveringstider) faldet til nær det naturlige niveau, se Figur 14.

^3H dannes naturligt i atmosfæren i små mængder pga. den kosmiske stråling, og resulterer i et ^3H indhold i nydannet grundvand på omkring 5 – 10 TU (1 tritium unit = 10^{18} ^3H /mol H).

Aldersbestemmelse ved hjælp af ^3H / ^3He metoden er ikke begrænset til perioden kendetegnet ved et kraftig forøget ^3H indhold fra brintbombe sprængningerne, men kan anvendes til alle tider, så længe der er et målbart tritiumindhold tilbage i vandet. Detektionsgrænsen for tritium medfører, at metoden er begrænset til datering af grundvand yngre end omkring 50-75 år.



Figur 14. Tritium i nedbør og oprindelig tritiumindhold i grundvand (\diamond), som funktion af det beregnede infiltrationsår, for prøver udtaget under pilotprojektet i 2012. Bemærk logaritmisk y-akse (Laier, 2014a).

Beregning af grundvandets oprindelige tritium indhold (summen af ^3H og ^3He) viser en stigende påvirkning fra det forhøjede tritiumindhold, jo ældre grundvandet er. Der er en god overensstemmelse med de fundne opholdstider, og dermed de beregnede infiltrationsår, og det tritium indholdet i atmosfæren på infiltrationstidspunktet, se Figur 14.

Referencer, grundvandetets strømning og alder

Fredericia, J., Larsen, F. og Madsen, B., 1992: Grundvandsforurening i områder med moræneler. Vand og Jord, Nr. 3, 1992.

Freeze, R.A. og Cherry, J.A., 1979: Groundwater Printice-Hall Inc. 604 sider.

Henriksen, H.J., Rasmussen, J., Olsen, M. og Troldborg L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: "Effekt af vandindvinding". Udkast Version Juni 2014 – Leverance I udarbejdet for Miljøministeriet

Hinsby, K., Harrar, W.G., Nyegaard, P., Konradi, P., Rasmussen, E.S., Bidstrup, T., Gregersen, U. & Boaretto, E. 2001: The Ribe Formation in western Denmark: Holocene and Pleistocene groundwaters in a coastal Miocene sand aquifer. In: Edmunds and Milne (Eds.): . Palaeowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene. Geol. Soc. Spec. Publ., 189, 29-48.

Hinsby, K., Højberg, A.L., Engesgaard, P., Jensen, K.H., Larsen, F., Plummer, N.L., and Busenberg, E., 2007: Transport and degradation of Chlorofluorocarbons (CFCs) in the pyritic Rabis Creek aquifer, Denmark. Water Resources Research, vol. 43, W10423, doi: 10.1029/2006WR005854.

Hinsby, K., Purtschert, R., Edmunds, W.M., 2008: Groundwater age and quality. In P. Quevauviller (ed.), Science and Policy - an International Overview. RSC Publishing, The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 217-39.

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

Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.

Laier, T., 2014: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01

Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat 05-VA-14-04

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brusch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L. 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2010.

www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (5.11.13)

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

Relevante hjemmesider og links

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

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

5 Nitrat

Sammenfatning og konklusion

Nitrat er tilstede i den iltede del af grundvandet, og kan findes stort set overalt i Danmark, men især i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland (2008-2013), hvor mægtigheden af de nitratholdige lag er størst. Der er en tydelig tendens til, at andelen af indtag i det iltede grundvand fra GRUMO med nitratkoncentrationer over 50 mg/l er aftagende i de seneste prøvetagningsår. Omkring 40 % af disse indtag havde i 2013 et nitratindhold over 50 mg/l.

Dette mønster genfindes i LOOP. I sandjordsoplandene i LOOP er der for perioden 1990-2013 en tydelig tendens til et fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold fra ca. 100 til ca. 50 mg/l. Faldet er størst frem til 2000, hvorpå ændringerne bliver mindre. For lerområderne i LOOP er der også en tendens til et fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold fra 1990-2013 fra ca. 50 til ca. 30 mg/l. Faldet er størst frem til 2006, hvorpå ændringerne bliver mindre.

Udviklingstendensen i nitratindholdet i det yngste, iltede grundvand er en vigtig indikator i vurderingen af effekten af Vandmiljøplanen fra 1987 og de efterfølgende vand- og miljøplaner. Der blev i rapporteringen fra 2009 (Thorling m.fl., 2010b) gennemført en statistisk analyse af den tidlige udvikling i grundvandets nitratindhold fra 152 indtag med iltet grundvand i grundvandsovervågningen.

Resultaterne fra arbejdet med nitrattidsserier i iltet grundvand viser, at der generelt kan dokumenteres en effekt af de gennemførte reguleringer af landbruget. I det yngste grundvand (0-15 år) er der en større andel med signifikant faldende nitratindhold sammenlignet med det ældre grundvand (25-50 år). Denne observation er i overensstemmelse med udviklingen i kvælstofoverskuddet i dansk landbrug, og målinger af nitratudvaskningen og nitrattransporten i vandløb i andre dele af det nationale overvågningsprogram. I mere end halvdelen af det yngste vand kunne der dog ikke påvises en faldende tendens for nitrat ved den statistiske analyse.

Generelt har kun få vandværksboringer et nitratindhold over kvalitetskravet for drikkevand. Dette hænger sammen med, at den forurenede del af grundvandet mange steder kan fravælges, idet boringer med et højt nitratindhold lukkes og erstattes af dybere boringer (Schullehner & Hansen, 2014).

Det konkluderes, at det overordnet set går den rigtige vej med hensyn til at nedbringe nitratindholdet i grundvandet, men at der flere steder fortsat kan konstateres stigninger, herunder også i det helt unge grundvand dannet efter vandmiljøplanernes ikrafttræden. Dette blev uddybet og diskuteret indgående i GRUMO-rapporten fra 2012, (Thorling mfl., 2012).

Indledning

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

- kvælstofudvaskningen fra landbrugsarealer
- nedbørsoverskuddet (nedbør minus fordampning)
- nitratomsætningen ved redoxprocesser i de geologiske lag
- vandets strømningsveje i de geologiske lag

I dette kapitel er der særlig fokus på nitrat i det iltede grundvand, da koncentrationen her direkte kan sammenlignes med nitratudvaskningen fra rodzonen, såfremt der er foretaget en datering af grundvandet, og dermed en bestemmelse af strømningstiden fra terræn til indtaget i overvågningsboringen. En analyse af tilstanden og udviklingen i nitratindholdet i det iltede grundvand kan dermed anvendes til en vurdering af summen af effekterne af de nationale handlingsplaner, som har haft til formål at reducere kvælstofudledningen fra landbruget.

Miljømål

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

Hensynet til en tilfredsstillende grundvandskvalitet er en af årsagerne til reguleringen af kvælstofanvendelsen i landbruget gennem de forskellige nationale handlingsplaner siden 1985, og ved udarbejdelse af kommunale indsatsplaner i forbindelse med den Nationale Grundvandskortlægning, som udføres i perioden 2000-2015. I forhold til EU's Nitratdirektiv (EU, 1991) er hele Danmark udpeget som et nitratfølsomt område, mens ca. 15 % af Danmarks areal er udpeget som nitratfølsomme indvindingsområder af Miljøministeriet.

Datagrundlag

Beskrivelsen af tilstanden og udviklingen i grundvandets nitratindhold bygger på data for perioden 1990-2013 fra alle analyserede indtag fra GRUMO og LOOP, og perspektiveres med data fra andre boringer herunder grundvandsprøver fra aktive vandværksboringer og forskellige typer af undersøgelsesboringer og lukkede vandværksboringer ("andre boringer"). Der indgår et varierende antal indtag i de årlige rapporteringer, da ikke alle indtag prøvetages hvert år, og andre indtag kun undersøges i en del af perioden (se kapitel 2).

Tabel 1 viser antallet af nitratanalyser i GRUMO, LOOP, aktive vandværksboringer og "Andre boringer" for de seneste tre år og for hele overvågningsperioden (1990-2013), se også Figur 7. Det fremgår af tabellen, at antallet af nitratanalyser i 2013 ligger på niveau med de to foregående år for alle fire grupper af data. Dog lå antallet af analyser i GRUMO i 2012 ca. 50 % højere end i 2013, hvilket skyldes prøvetagningen af redoxboringerne i 2012.

Periode	GRUMO	LOOP	Vandværksboringer	”Andre boringer”	I alt
2011	744	434	1.815	1.220	4.213
2012	1.097	514	1.732	1.016	4.359
2013	713	455	1.654	1.425	4.247
1990-2013	43.486	17.087	35.190	43.495	139.258

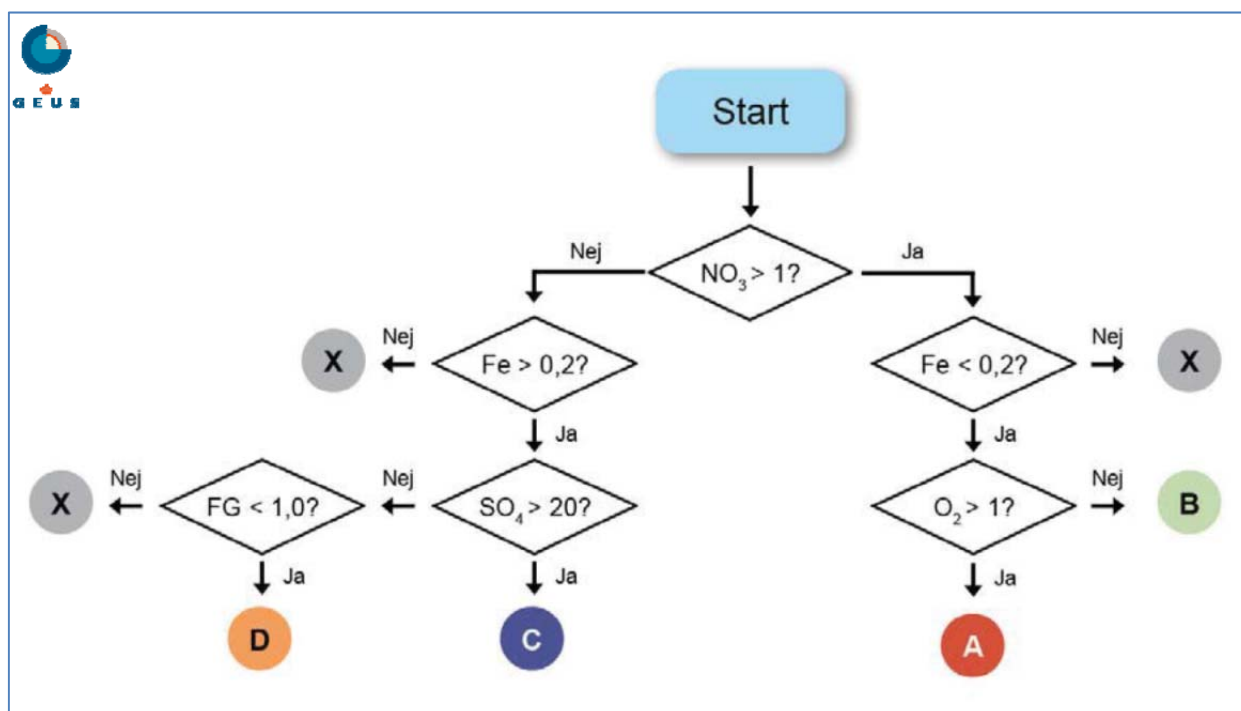
Tabel 1. Antal nitratanalyser i GRUMO, LOOP, aktive vandværksboringer og ”Andre boringer” (bl.a. bestående af forskellige typer af undersøgelsesboringer og lukkede vandværksboringer).

Nitrat i iltet grundvand i GRUMO og LOOP

I GRUMO og LOOP er delmængden af data fra iltet grundvand, analyseret nærmere. Gruppen af nitratanalyser fra iltet grundvand (vandtype A) er i GRUMO fundet ved hjælp af algoritmen fra Geo-vejledning 5 (Hansen mfl., 2009), der opstiller følgende tre kriterier, se Figur 15.

1. $\text{NO}_3 > 1 \text{ mg/l}$	2. $\text{Fe} < 0,2 \text{ mg/l}$	3. $\text{O}_2 > 1 \text{ mg/l}$
-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------

Nitrit (NO_2^-) er brugt som støtteparameter for at identificere anoxiske nitratreducerede forhold. I LOOP analyseres der ikke for jern-(Fe) lige så ofte, som der analyseres nitrat, og derfor indgår primært kriterie 1 og 3 ved udvælgelse af LOOP-data fra det iltede grundvand.



Figur 15. Algoritme til fastlæggelse af vandtyperne A, B, C og D. FG=forvitningsgrad (Hansen mfl., 2009).

Tabel 2 viser det samlede antal aktive indtag og antallet af nitratanalyser heri, samt andelen af indtag med iltet grundvand i LOOP og GRUMO i 2013. Fx er der i 2013 analyseret for nitrat i

713 indtag i GRUMO, hvoraf 280 indtag er placeret i iltet grundvand. I parentes er vist, at 227 af disse er dateret.

Antallet af indtag i iltet grundvand varierer fra to til 17 indtag per. LOOP-opland, og er specielt lavt i det lerede LOOP 1. Der foreligger ikke brugbare dateringer fra LOOP-områderne, da dette ikke har været teknisk muligt pga. udformningen af de lavtydende borer. I efteråret 2012 er der udført en ny horisontal overvågningsboring i LOOP 2 området ved Odderbæk (Nielsen mfl., 2014). Der foreligger dog endnu ikke nitratanalyser fra denne nye boring.

Program		Antal nitrat analyser i 2013	Aktive indtag i 2013	Indtag fra iltet grundvand 2013
GRUMO		713	713	280 (227)
LOOP		455	94	52
	LOOP 1 (ler)	105	19	2
	LOOP 2 (sand)	84	15	10
	LOOP 3 (ler)	67	22	17
	LOOP 4 (ler)	91	18	9
	LOOP 6 (sand)	108	20	13

Tabel 2. Antal aktive indtag og antal indtag i iltet grundvand med nitratanalyser, som indgår i grundvandsovervågningen i GRUMO og LOOP i 2013. I parentes er angivet, hvor mange af de iltede indtag, der er dateret med CFC.

Tilstand

Fordeling af nitrat i alle typer borer i 2013

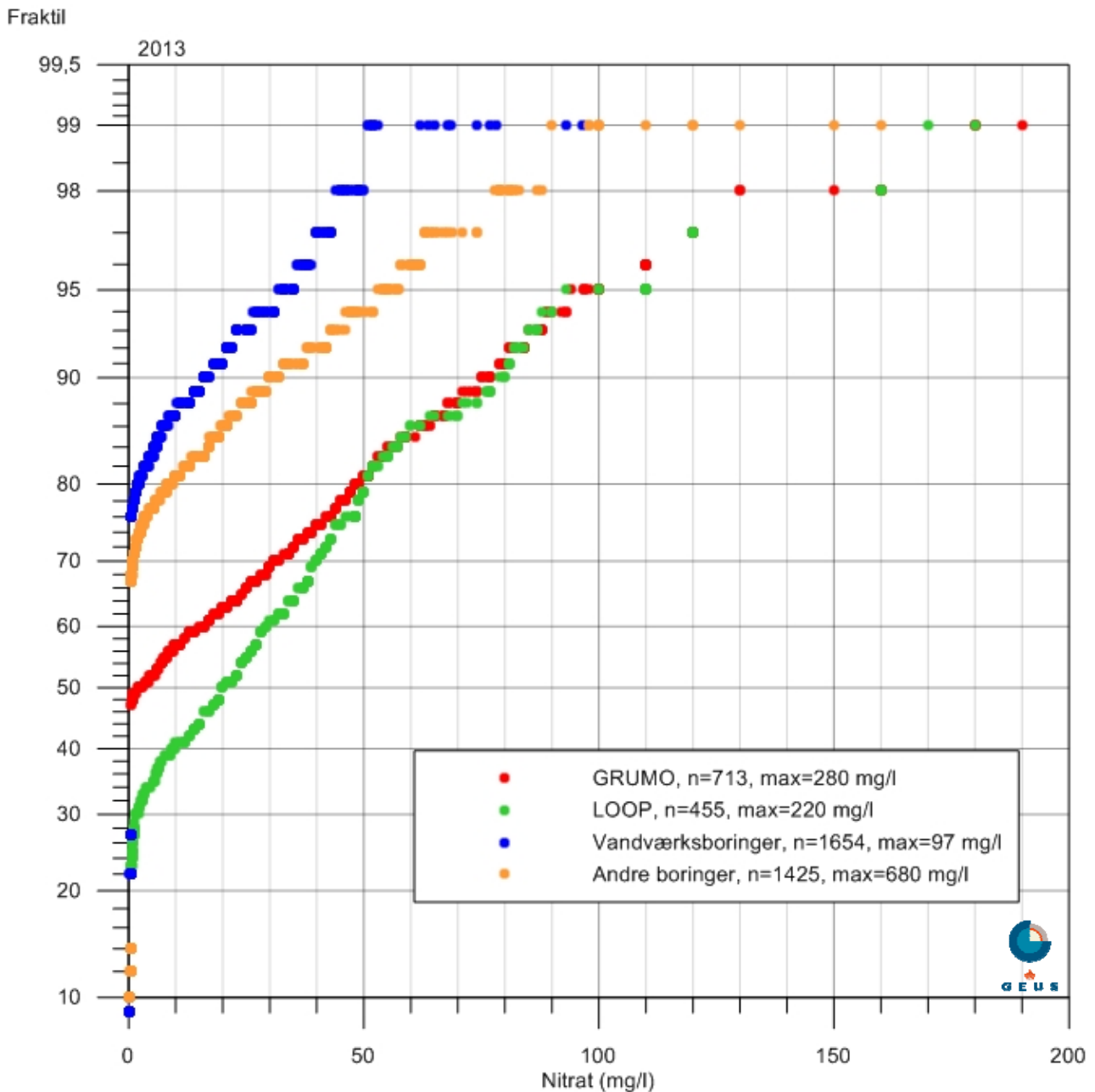
Figur 16 viser fordelingen af samtlige nitratanalyser fra alle indtag, som er analyseret i 2013 i GRUMO, LOOP, grundvand i aktive vandværksboringer og gruppen af "Andre borer". Hvert af de fire datasæt er afbilledet i et fraktildiagram for de fundne nitratkoncentrationer med en ikke-lineær y-akse, der giver rette linjer for normalfordelte data. Det betyder, at den del af hvert datasæt, som ligger på rette linjer på Figur 16 stammer fra normalfordelte delpopulationer.

De maksimale nitratværdier, der er målt i 2013, er 680, 280, 220 og 97 mg/l for henholdsvis "Andre borer", GRUMO, LOOP og grundvand i aktive vandværksboringer.

Nitratanalyserne fra GRUMO ligger omtrent på en ret linje for koncentrationer under 100 mg/l, hvilket indikerer, at data er normalfordelte.

Nitratkoncentrationerne fra LOOP ligger på den samme rette linje som GRUMO for nitratkoncentrationer større end 50 mg/l. Nitratkoncentrationer i LOOP under 50 mg/l tilhører en anden fordeling, med færre lave koncentrationer end GRUMO. Dette kan muligvis skyldes, at en større andel af nitratanalyserne fra LOOP stammer fra nitratreducerende, anoxiske forhold i det højtliggende grundvand præget af store udsving i grundvandspejl, varierende redoxforhold og påvirkning fra reaktivt organisk stof i rodzonen, og at nitratindholdet derfor i mindre grad er reduceret end i GRUMO.

Det anoxiske nitratreducerende miljø i det højtliggende grundvand i LOOP repræsenterer dermed et anderledes geokemisk miljø end den dybere liggende anoxiske nitratreducerende zone, som en del af GRUMO-indtagene er placeret i.

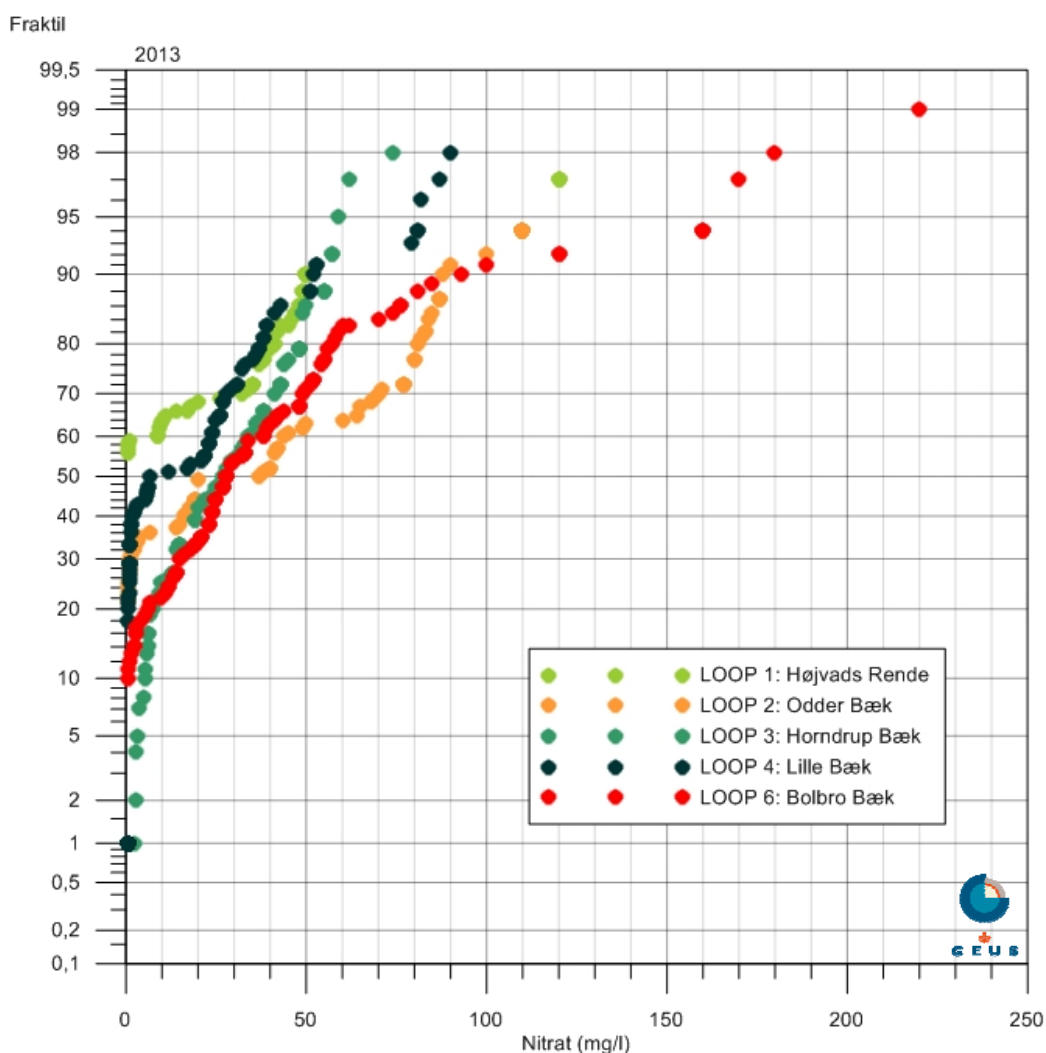


Figur 16. Fordelingen af samtlige nitratanalyser fra GRUMO, LOOP, grundvand i aktive vandværksboringer og ”Andre borer” i 2013 med koncentrationer under 200 mg/l afbilledet i et fraktildiagram med sandsynligheds y-akse. Antallet af analyser og max. koncentrationen af nitrat fremgår af legenden.

Fordeling af alle nitratanalyserne i LOOP oplandene i 2013

Figur 17 viser fordelingen af samtlige nitratanalyser fra alle analyserede indtag i 2013 i de fem LOOP-oplande. Ligesom i Figur 16 er nitratanalyserne afbilledet som fraktildiagram i et sandsynlighedsplot. Nitratanalyserne fra de enkelte LOOP-oplande ligger noget mere spredte end hele gruppen af nitratanalyser fra LOOP, se Figur 16, og udgør kun tilnærmelsesvis hver for sig normalfordelte populationer. Der er dog nogenlunde samme hældning på alle kurverne op til 100 mg/l.

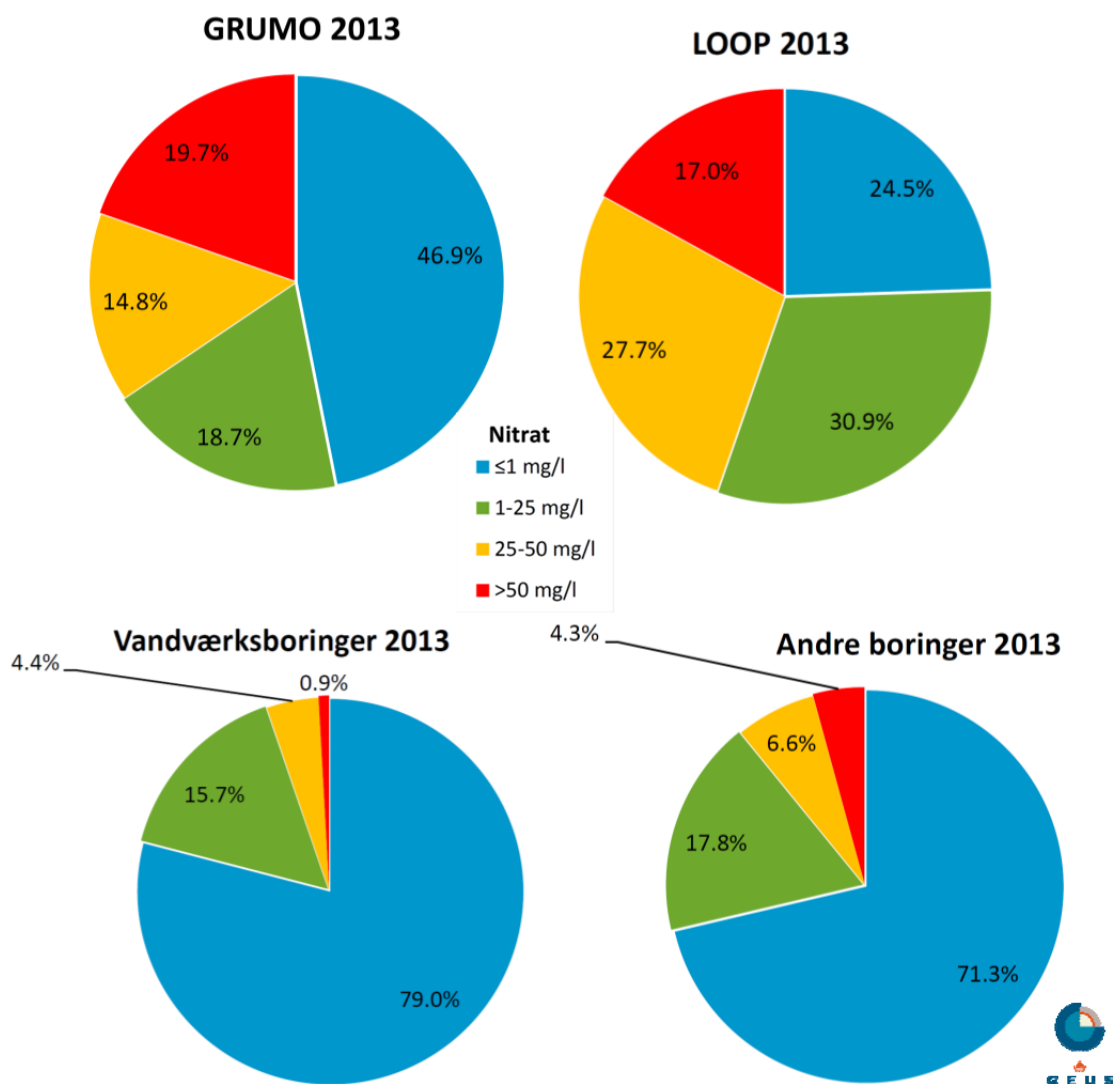
De højeste koncentrationer af nitrat (op til 220 mg/l) er målt i LOOP 6, Bolbro Bæk, som ligger i Sønderjylland. Generelt ligger nitratkoncentrationerne højere i sandjordsoplandene (LOOP 2 og 6, rødlige signaturer) end i lerjordsoplandene (LOOP 1, 3 og 4, grønlig signaturer). Det skyldes, at nitratudvaskningen ofte er højere på sandjordene end på lerjordene, men også at mange indtag på lerjordene er placeret i anoxisk nitratreducerende eller reduceret grundvand, se Figur 15, hvilket betyder, at alene på grund af redoxforholdene er nitratindholdet mindre i lerjordene.



Figur 17. Fordelingen af samtlige nitratanalyser fra LOOP i 2013 i de 5 LOOP oplande afbilledet i et fraktildiagram med sandsynlighedsakse. LOOP 1, 2 og 4 er lerjordsoplande (grønlig signaturer) og LOOP 2 og 6 er sandjordsoplande (rødlige signaturer).

Fordeling af det gennemsnitlige nitratindehold i 2013 i alle typer af boringer

Figur 18 viser det gennemsnitlige nitratindehold for samtlige indtag analyseret i 2013 for fire koncentrationsintervaller for de fire grupper af data (GRUMO, LOOP, grundvand i aktive vandværksboringer og "Andre boringer"). Det fremgår, at ca. 20 % af indtagene i GRUMO og ca. 17 % af indtagene i LOOP har et gennemsnitligt nitratindehold over 50 mg/l. For grundvand i vandværksboringer er det knap 1 % og for gruppen af "Andre boringer" ca. 4 %. Grundvandet betragtes som nitratholdigt, når nitratindeholdet er > 1 mg/l. Nitratholdigt grundvand er i 2013 fundet i 75, 53, 29 og 21 % af indtagene i henholdsvis LOOP, GRUMO, i vandværksboringer og "Andre boringer".

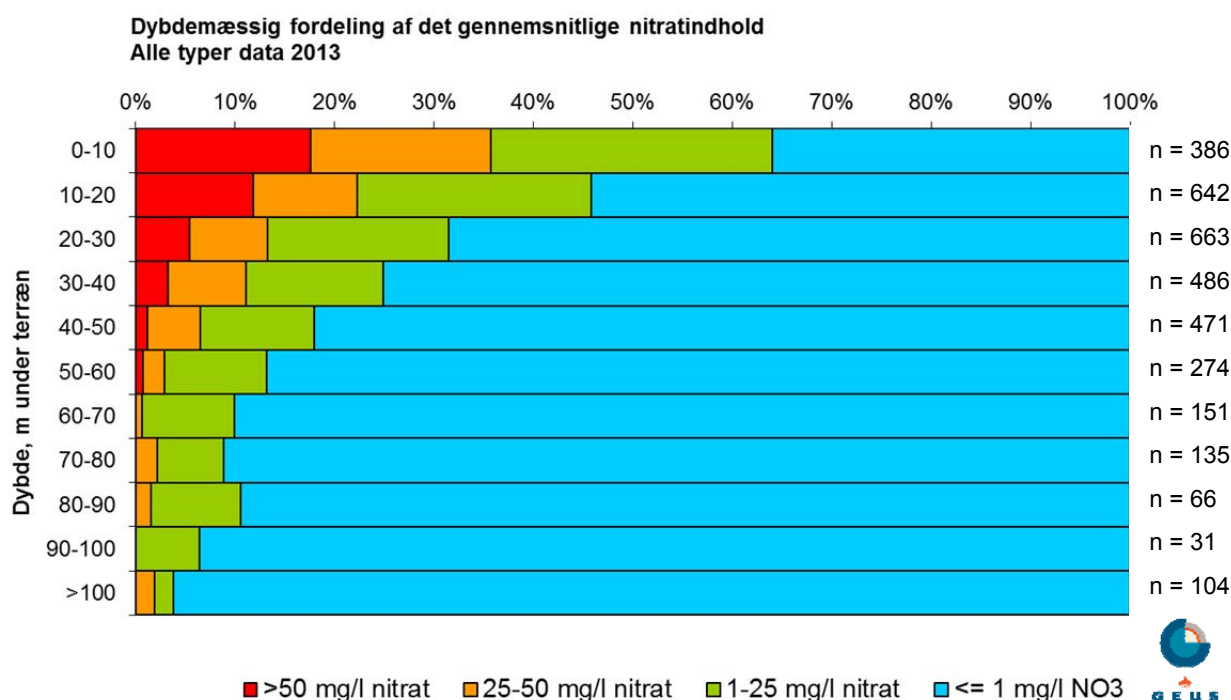


Figur 18. Fordelingen af det gennemsnitlige nitratindehold pr. indtag i 2013 for GRUMO, LOOP, aktive vandværksboringer og gruppen af "Andre boringer".

Dybdemæssig fordeling af nitratindholdet i alle type boringer

Figur 19 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold fra indtag, hvor indtagsdybden er kendt, for alle typer af boringer i 2013. Fordelingen af nitratkoncentrationerne er opdelt i fire grupper (≤ 1 , 1-25, 25-50 og >50 mg/l).

Der ses et gradvis fald med dybden i andelen af indtag med et nitratindhold over 25 mg/l. Grundvand med et indhold af nitrat over 25 mg/l findes hovedsageligt i de øverste 60 m af jordlagene. Den største hyppighed af høje nitratindhold findes i de øverste 10 m af jordlagene, hvor nitratindholdet er større end 1 mg/l i ca. 64 % og over 50 mg/l i ca. 18 % af indtagene. Figuren viser også, at der lokalt optræder nitrat i mere end 100 m u.t., ligesom der optræder nitratfrit grundvand i de øverste 10 m.



Figur 19. Dybdemæssig fordeling til top af indtag i m u.t. af det gennemsnitlige nitratindhold i 2013 i 3.355 indtag fra alle type boringer (GRUMO, LOOP, aktive vandværksboringer og ”Andre boringer”) opdelt i fire koncentrationsklasser. Antal indtag i hvert dybdeinterval er anført til højre for tabellen.

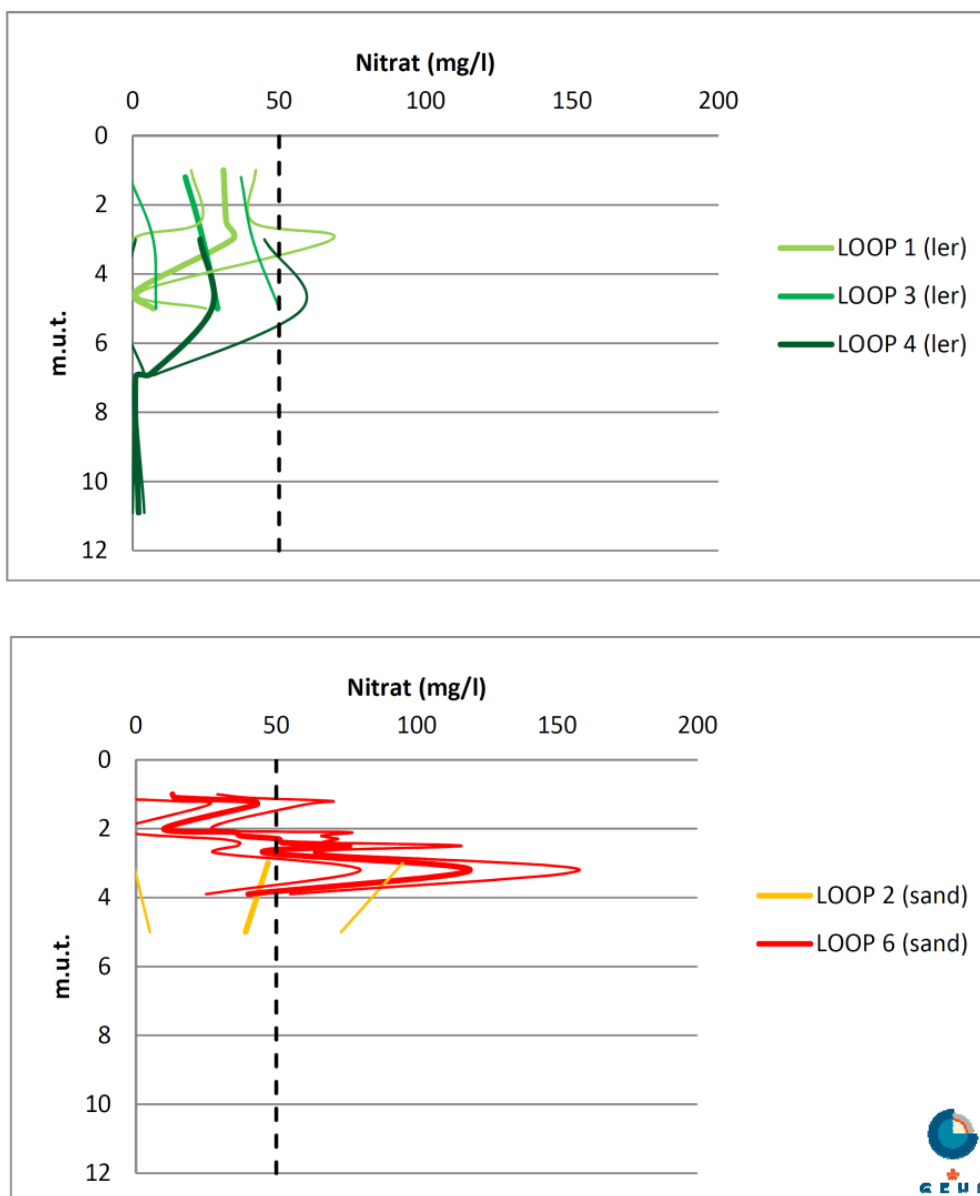
Dybdemæssig fordeling af nitratindholdet i LOOP

Figur 20 viser den dybdemæssige fordeling af det gennemsnitlige nitratindhold i LOOP områderne fra 2008-2013. Antallet af nitratanalyser, som ligger til grund for de beregnede gennemsnitlige nitratanalyser, har stor variation fra seks analyser (LOOP 6: 2-2,3 m.u.t.) til 420 nitratanalyser (LOOP 2: 5-5,3 m.u.t.). Der er i alle dybder fundet en forholdsvis stor spredning på den beregnede gennemsnitlige nitratkoncentration, og standardafvigelsen når i visse tilfælde helt op på ca. 50 mg/l (LOOP 2: 3-3,3 m.u.t.).

Figur 20 viser, at nitratkoncentrationerne i sandjordsoplandene ligger noget højere end i lerjordsoplandene. I lerjordsoplandene (LOOP 1 og 4) og i sandjordsoplandet (LOOP 2) falder nitratindholdet med dybden. Dette skyldes sandsynligvis nitratreduktion. I LOOP 4 (på Fyn) er

der målinger til 11 m under terræn. Her viser resultaterne, at nitratfronten ligger omkring 7 m.u.t., hvorfor grundvandet er nitratfrit under denne dybde.

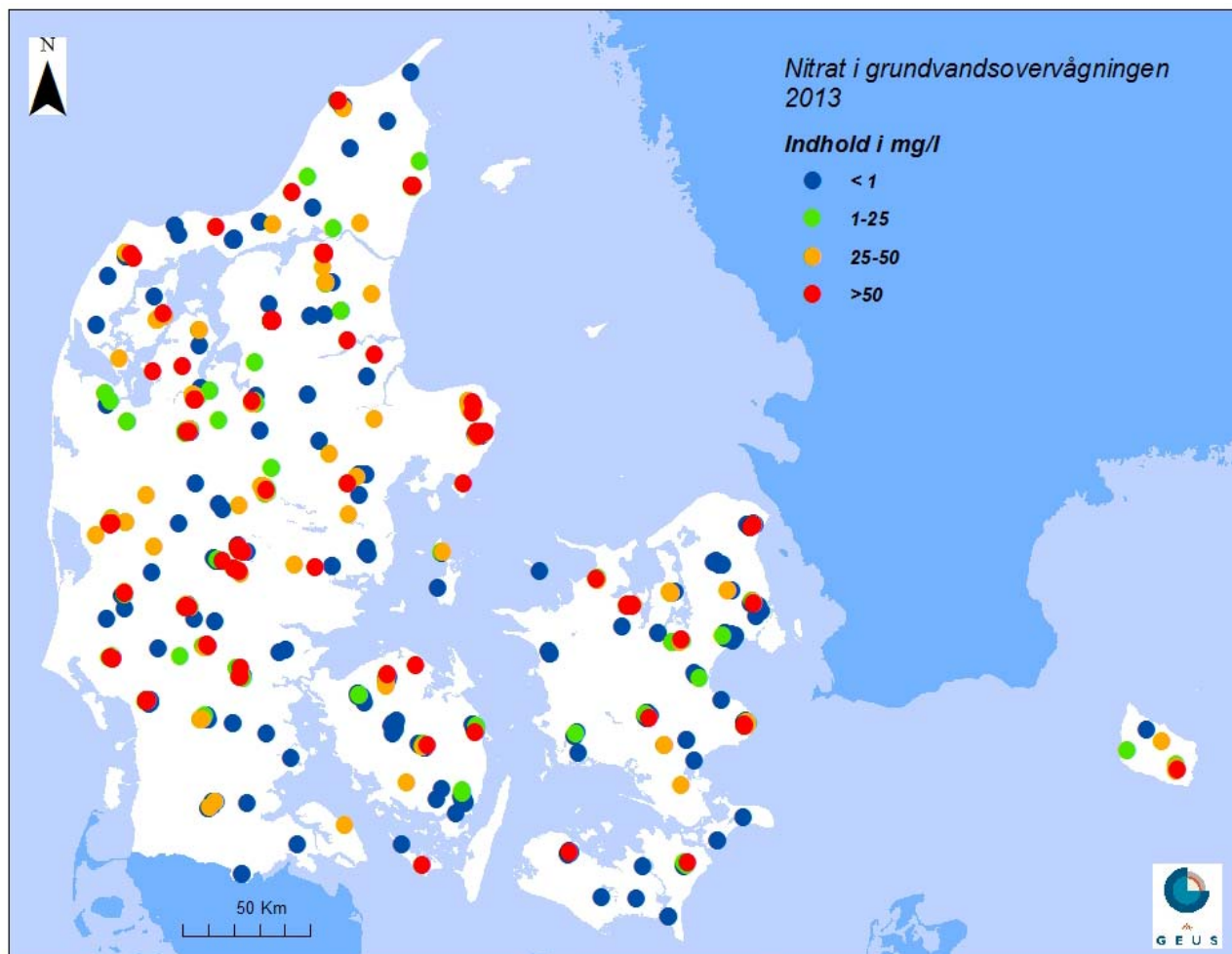
På sandjordsoplandene er der en stigning i nitratindholdet med dybden. Dette har sandsynligvis flere årsager, og skyldes dels lokale variationer i nitratreduktionsforholdene, dels at grundvandetets strømningsveje til de enkelte indtag ikke nødvendigvis er horisontal, men har et mere kompliceret strømningsmønster, som påvirkes af nedbørsforholdene det enkelte år. En anden mulig forklaring kan være udviklingen i nitratkoncentrationerne, hvor effekten af landbrugsreguleringen hovedsagelig registreres i de øverste indtag.



Figur 20. Gennemsnitlig nitratkoncentration i grundvand opgjort på filterdybder (indtagets top) i m.u.t. for lerjordsoplandene og sandjordsoplandene for perioden 2008-2013. Gennemsnittet er baseret på alle målinger foretaget i perioden i det angivne dybdeniveau. Spredningen (standardafvigelsen) omkring gennemsnittet er angivet med tyndere streg.

Geografisk fordeling af nitrat i GRUMO i 2013

Figur 21 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i GRUMO i 2013. De nitraholdige indtag og indtagene med overskridelser af kvalitetskravet er tilfældigt fordelt i landet uden tydelig regional gruppering.



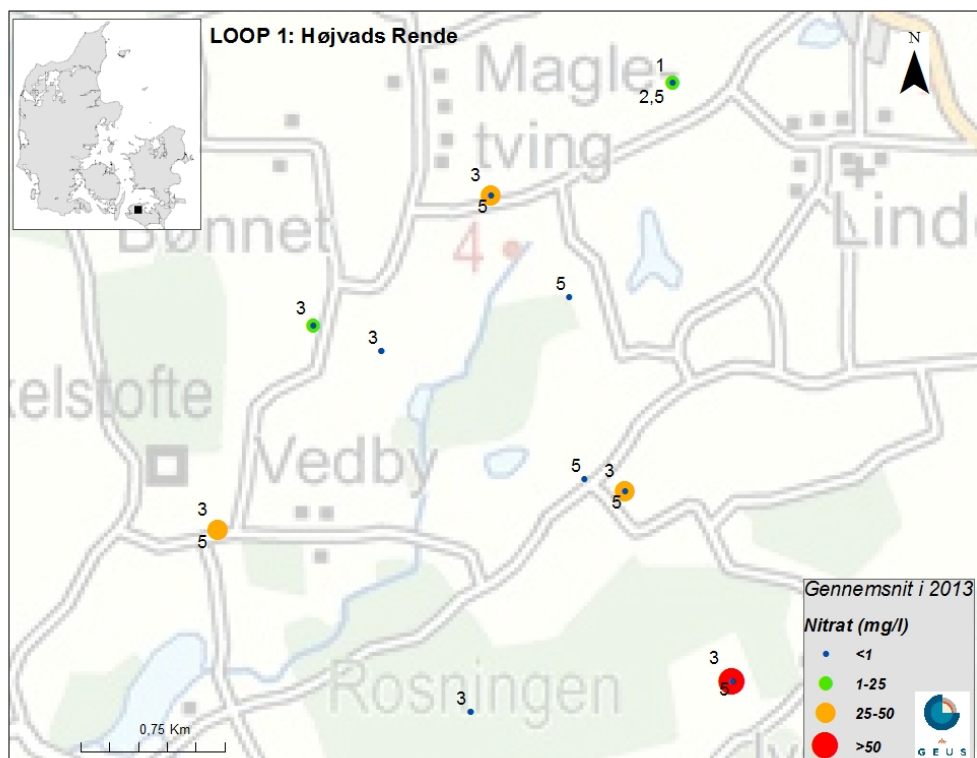
Figur 21. Nitratindholdet i grundvandet i GRUMO er opdelt på fire koncentrationsklasser i 2013.

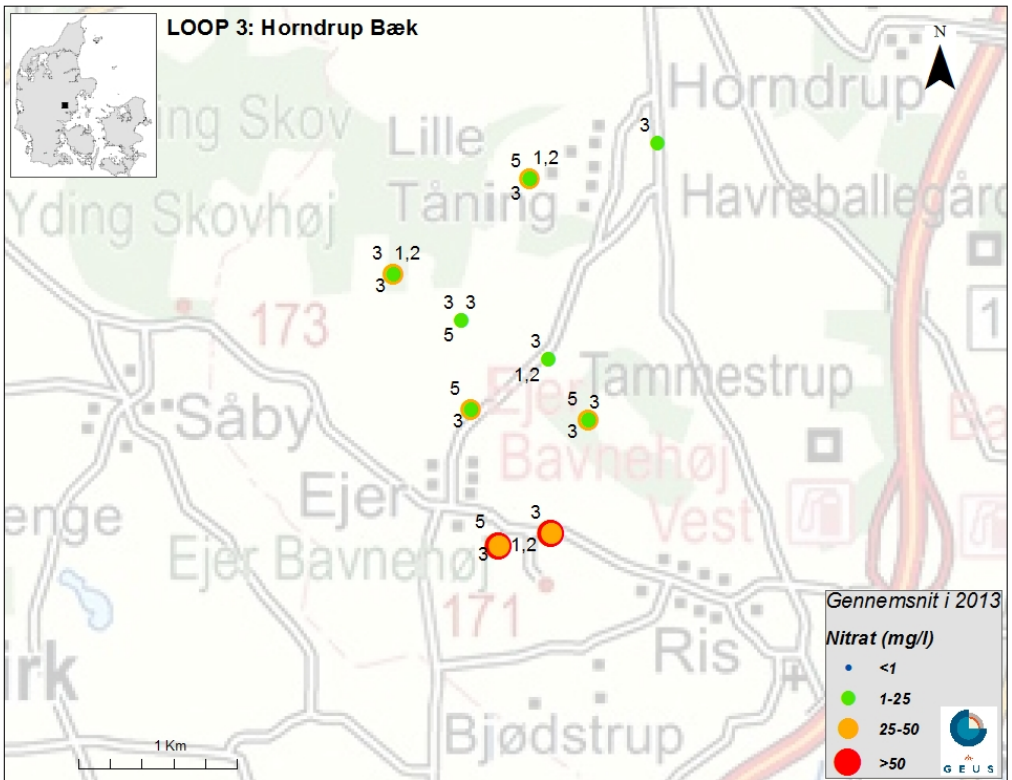
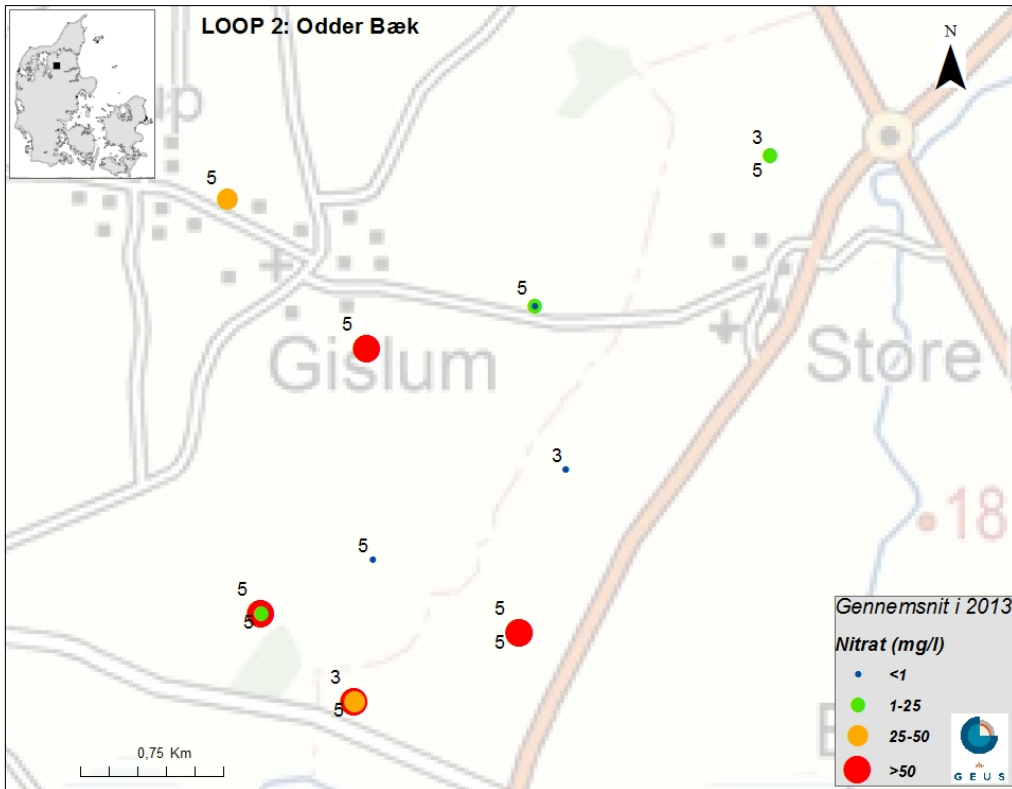
Geografisk fordeling af nitrat i LOOP i 2013

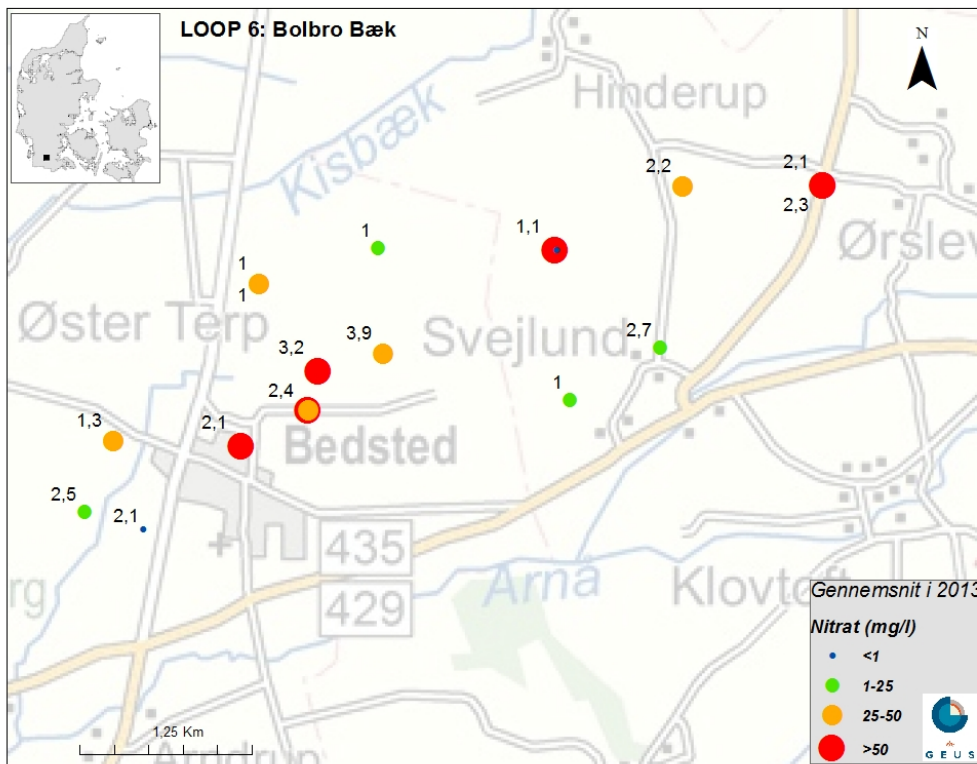
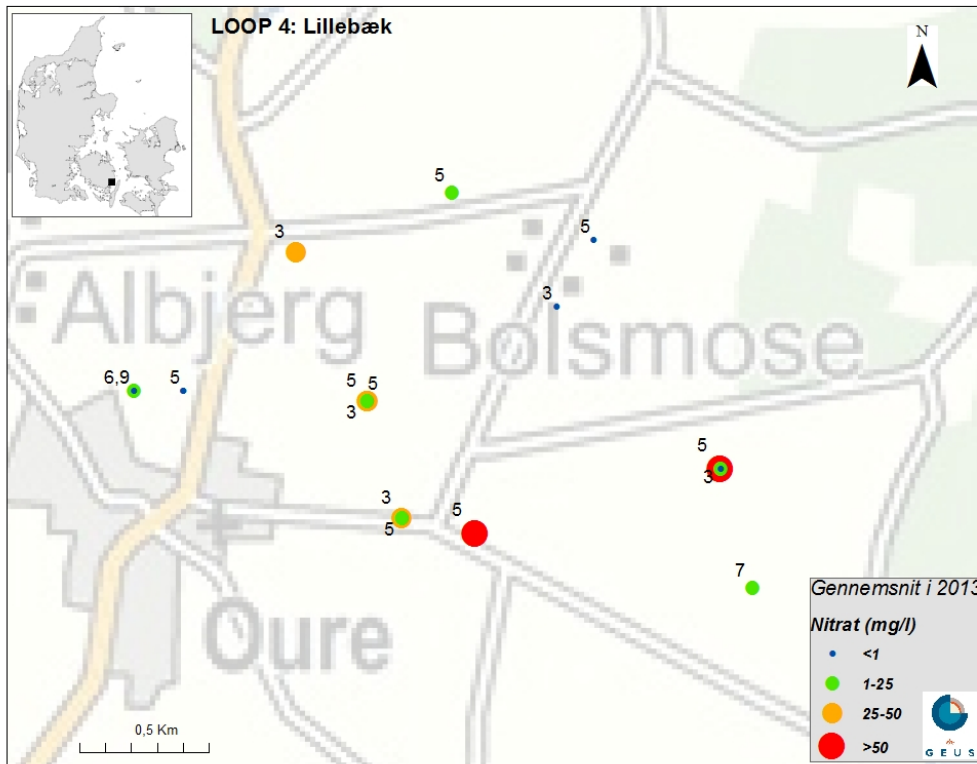
Figur 22 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i 2013 i de fem LOOP oplande:

- LOOP 1, Højvads Rende på Lolland (lerjord)
- LOOP 2, Odder Bæk i Himmerland (sandjord)
- LOOP 3, Horndrup Bæk i Midtjylland (lerjord)
- LOOP 4, Lille Bæk på Fyn (lerjord)
- LOOP 6, Bolbro Bæk i Sønderjylland (sandjord)

Figur 22 viser indtagsdybden ved siden af hvert punkt. I flere tilfælde ligger datapunkterne ovenpå hinanden, da den samme lokalitet kan have indtag i forskellige dybder. De største koncentrationer er tegnet nederst, således at indtag med mindre koncentrationer kan tegnes på samme sted med mindre signatur, og alle data kan ses.



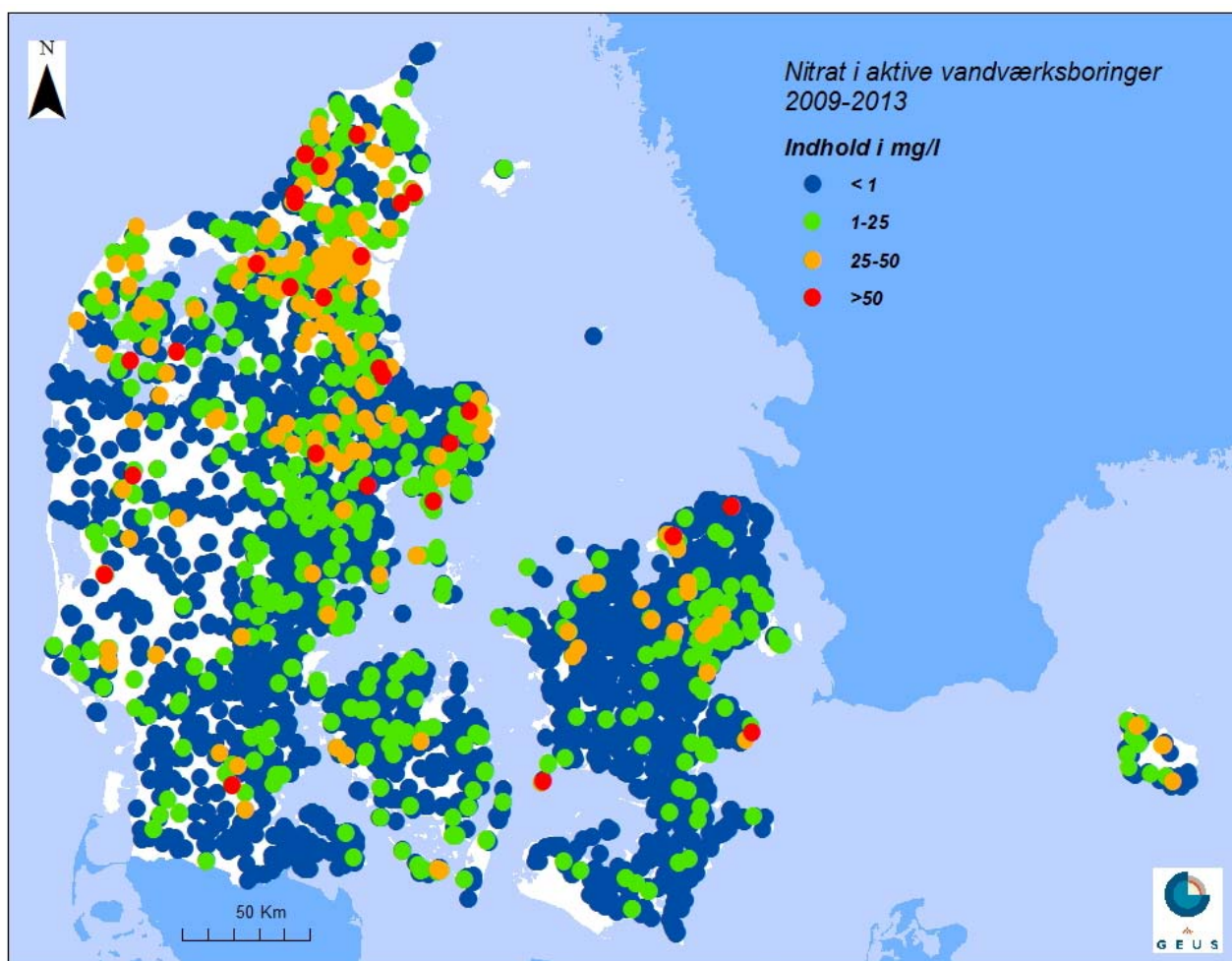




Figur 22. Nitratindholdet i grundvandet i overvågningsindtagene i de fem LOOP-oplande (gennemsnit per indtag) i 2013 er fordelt på fire koncentrationsklasser. Dybden (m u.t.) til toppen af indtagene er vist ved siden af hvert indtag.

Geografisk fordeling af nitrat i grundvand i vandværksboringer 2009-2013

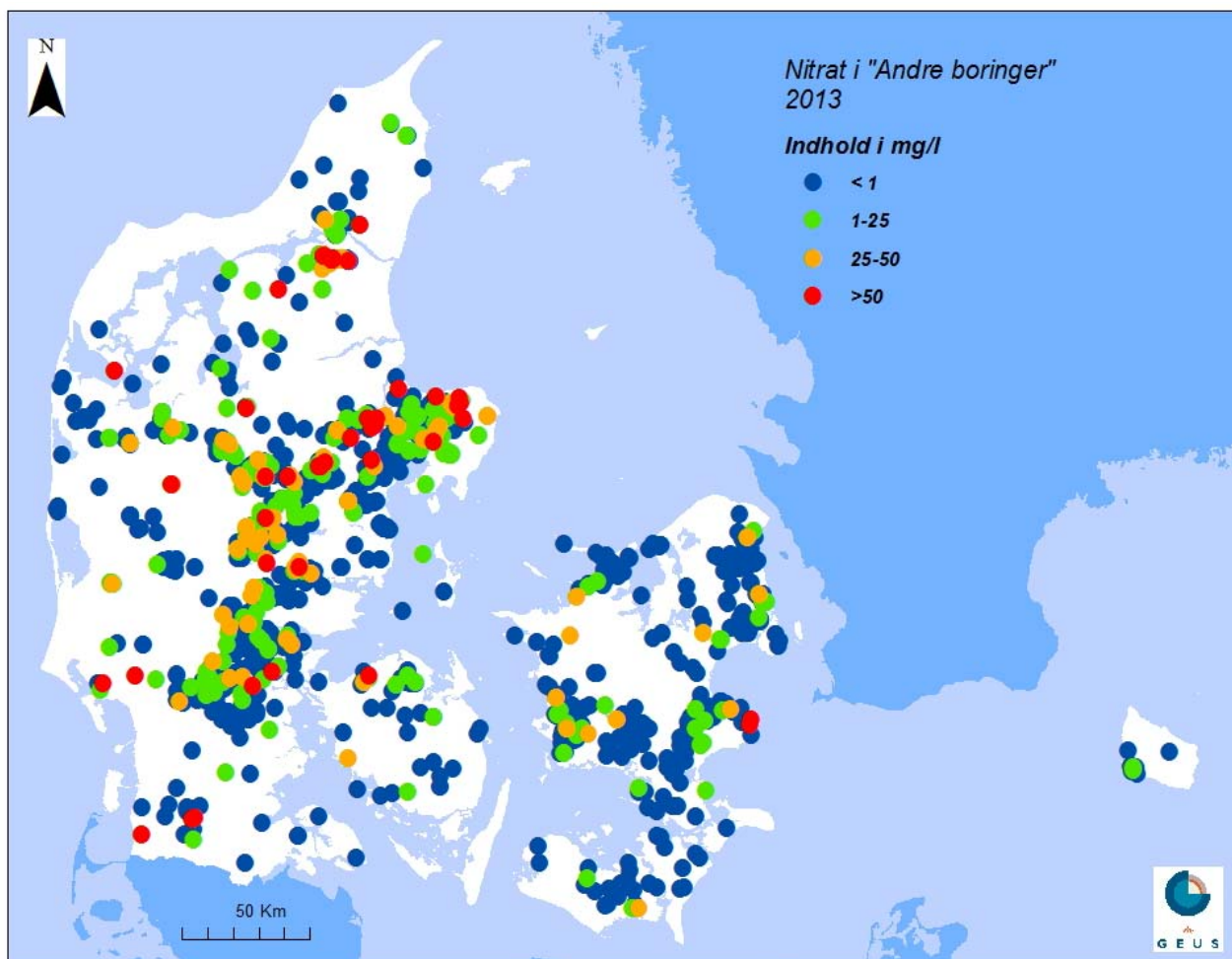
Figur 23 viser den geografiske fordeling af nitratindholdet i vandværksboringer hos aktive vandværker gennem de seneste fem år (2009-2013). Denne femårige periode er begrundet i, at Boringskontrollen, se kapitel 2 og 3, gennemføres i en turnus på tre til fem år. Kvalitetskravet for grundvand og drikkevand blev i perioden overskredet i kortere eller længere tid i 33 boringer. Den højst målte værdi i perioden var 115 mg/l. Der kan optræde data fra boringer, som er sat ud af drift, men som stadig overvåges. Nitrat i grundvand i vandværksboringer optræder særligt i Nordjylland, Thy, Himmerland og på Djursland. Dette hænger sammen med at i disse områder indeholder en større mægtighed af grundvandet nitrat end i resten af landet, hvor dybden til nitratfronten kan være blot få meter under terræn (Schullehner & Hansen, 2014).



Figur 23. Nitratindholdet i grundvandet i vandværksboringer fordelt på fire koncentrationsklasser. Data viser gennemsnit per. indtag for perioden 2009-2013 fra aktive vandværker, og der kan derfor indgå boringer, som ikke anvendes til drikkevandsforsyning.

Geografisk fordeling af nitrat i "Andre boringer" i 2013

Figur 24 viser for 2013 den geografiske fordeling af nitratindholdet i indtagene i "Andre boringer", som er restgruppen, der bl.a. består af forskellige typer af undersøgelsesboringer og lukkede vandværksboringer. Det fremgår af Figur 24, at indtagene i "Andre boringer" ikke er jævnt fordelt i landet, idet datatætheden er størst i Midtjylland og på Sjælland.



Figur 24. Nitratindholdet i grundvandet i gruppen "Andre boringer" (gennemsnit per indtag) er fordelt på fire koncentrationsklasser i 2013. "Andre boringer" er en restgruppe som bl.a. består af forskellige typer af undersøgelsesboringer og lukkede vandværksboringer.

Udvikling

Udviklingen i nitratindholdet i grundvandet vurderes udelukkende i forhold til udviklingen i iltet grundvand, hvor effekter af ændret udvaskning fra rodzone direkte kan sammenlignes med ændringer i nitratkoncentrationerne i grundvandet. Udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold vurderes både i forhold til prøvetagningstidspunktet og i forhold til dannelsesstidspunktet for grundvandet, i de tilfælde hvor grundvandet er blevet dateret.

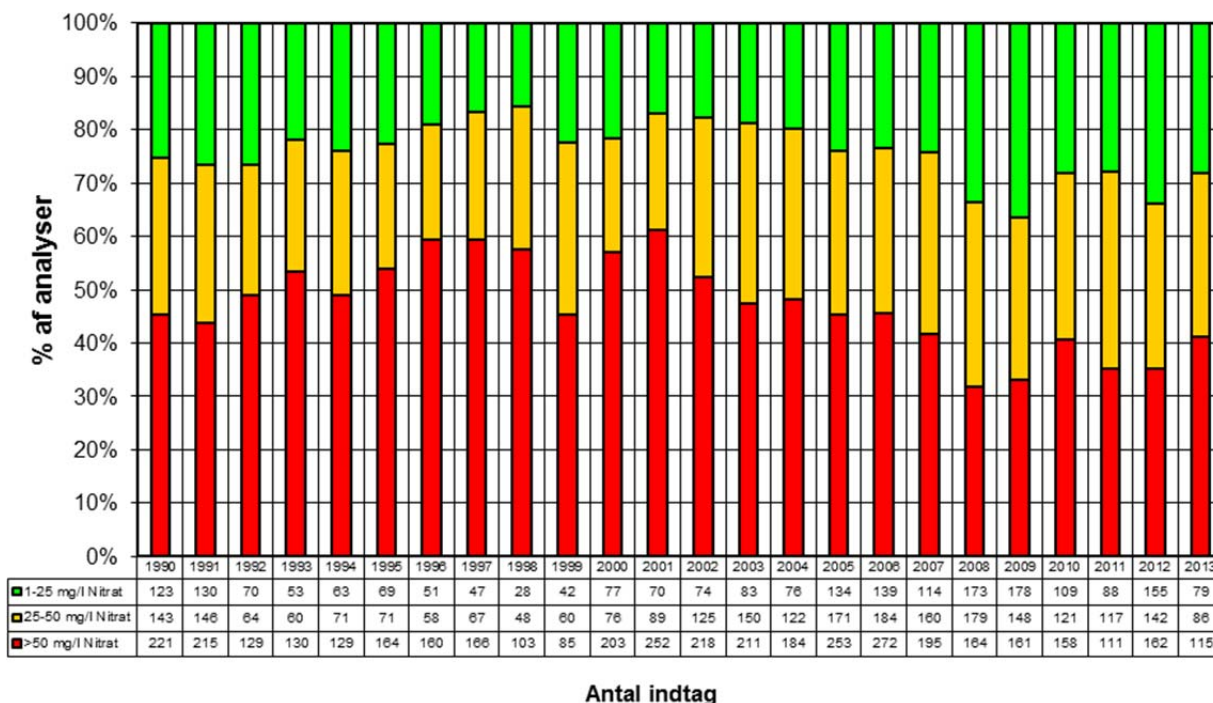
Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i GRUMO i forhold til prøvetagningsåret

Figur 25 viser fordelingen af alle nitratanalyser fra det iltede grundvand i grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2013 fordelt på tre koncentrationsklasser (1-25, 25-50 og >50 mg/l). Det iltede vand ligger over nitratfronten, og repræsenterer derfor den del af grundvandet, hvor der er nitrat i alle prøver. Under nitratfronten er der ikke nitrat i grundvandet, men lave indhold i prøverne kan bl.a. skyldes iltet ammonium.

Der er en tydelig tendens til, at andelen af indtag fra det iltede grundvand fra GRUMO, med koncentrationer over 50 mg/l har været aftagende, sådan at omkring 30-40 % af indtagene i de seneste prøvetagningsår har et indhold over 50 mg/l, mod 50-60 % frem til 2001. De seneste 6-7 år kan der ikke iagttages nogen udvikling i denne indikator.



Årlig fordeling af nitrat i iltet grundvand Grundvandsovervågningen 1990-2013

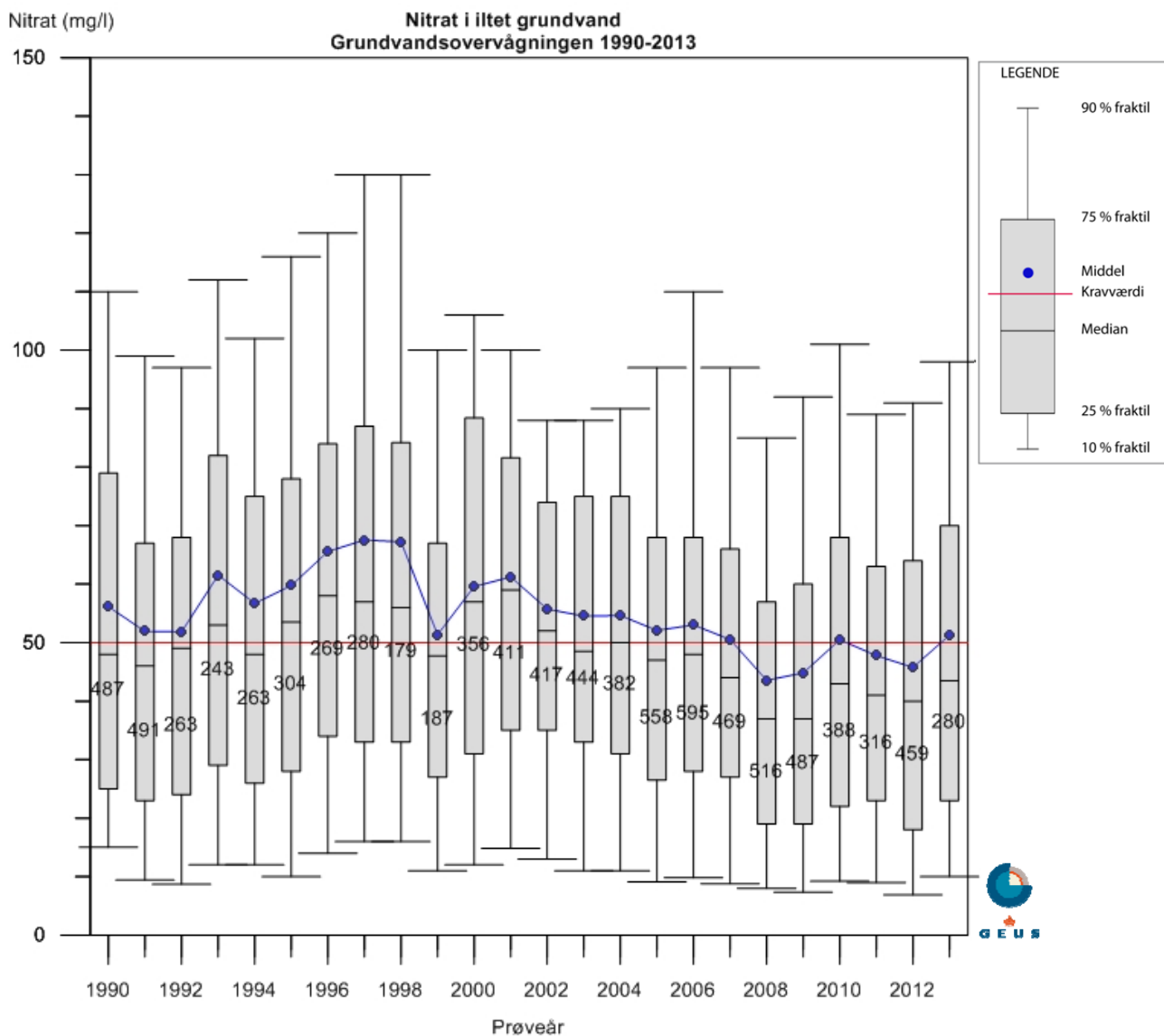


Figur 25. Tidsserie for den procentvise fordeling af nitrat (gennemsnit pr. indtag pr. år) fra iltet grundvand for prøver udtaget i perioden 1990-2013 i GRUMO, hvor nitratindholdet er opdelt på tre klasser (1-25, 25-50 og >50 mg/l nitrat). Antal analyser fra hvert år og klasse er anført i tabellen under figuren.

Figur 26 viser udviklingen, i det iltede grundvands nitratindhold for analyser fra GRUMO udført i perioden fra 1990 til 2013. Det iltede grundvands nitratindhold er vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår, hvor 10 %, 25 %, 50 % (median), 75 % og 90 % fraktillerne samt middelværdi og kvalitetskravet er vist. Det iltede grundvands nitratindhold udviser alle år en stor spredning. Medianværdien for nitrat i iltet grundvand ligger igennem hele prøvetagningsperioden under middelværdien, hvilket indikerer, at der forekommer enkelte meget høje nitratværdier. I prøvetagningsårene 1997-98 optræder de højeste værdier for 90 % fraktilen og

middelværdien. Derefter har nitratkoncentrationerne i iltet grundvand i forhold til prøvetagningsåret været faldende både hvad angår alle de viste fraktilværdier og middelværdien. De seneste 6-7 år kan der dog ikke iagttages nogen udvikling i denne indikator.

Median- og middelværdien har fra henholdsvis 2003 og 2007 ligget under eller tæt på kvalitetskravet på 50 mg/l nitrat.



Figur 26. Udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold i GRUMO vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990–2013. Antal af analyser er angivet hvert år.

Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i LOOP i forhold til prøvetagningsåret

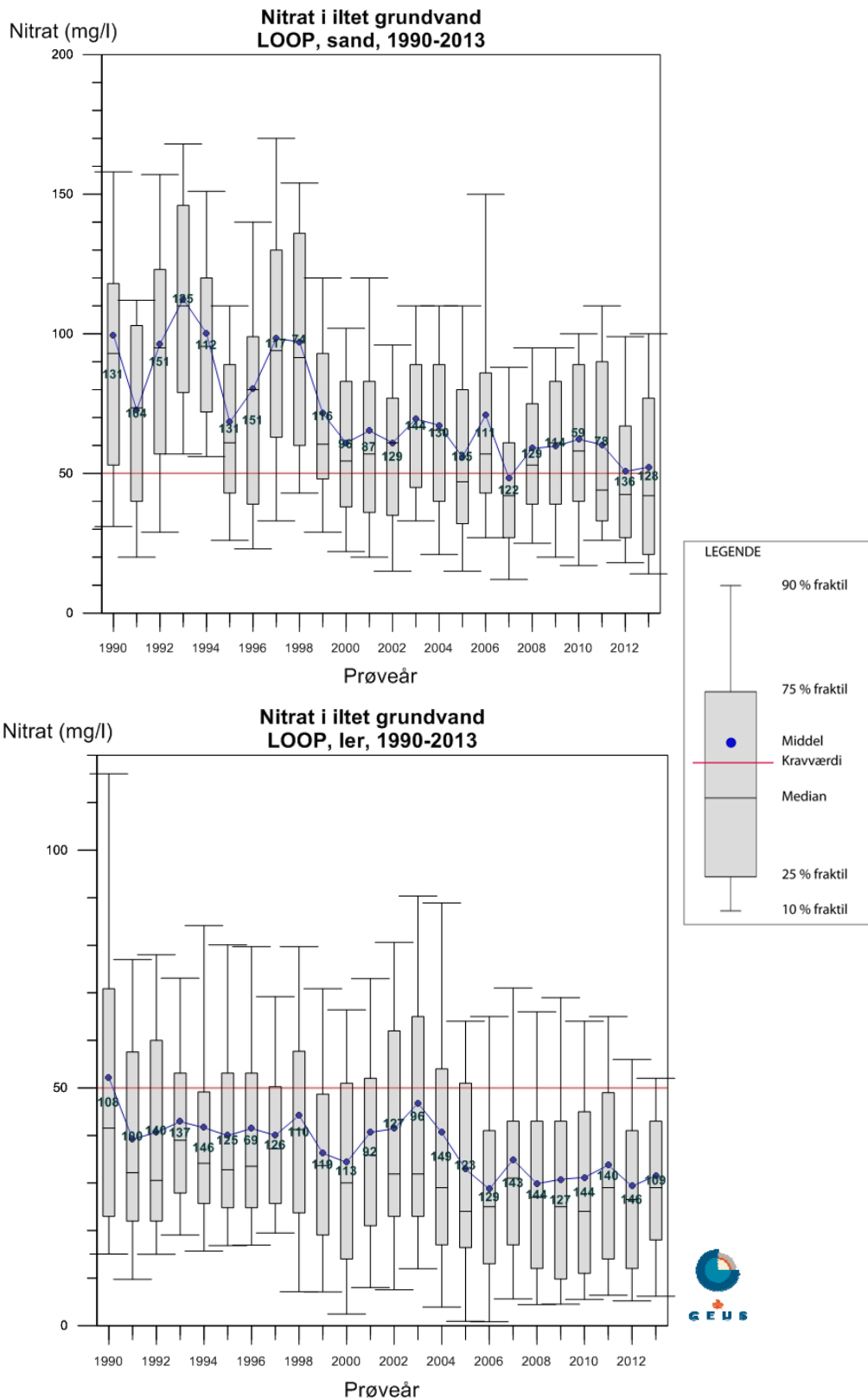
Figur 27 viser udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold i LOOP for oplandene med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4). I år vises kun udviklingen i nitrat i de indtag som monitorer iltet grundvand i LOOP, da det kun er disse analyser, som er direkte sammenlignelige med nitratudvaskningen fra rodzonen, og dermed evt. ændringer som følge af indsatserne for at nedbringe nitratindholdet i grundvandet.

I rapporten "Faglig vurdering af grundvandsboringer og pejleboringer i Landovervågningen (LOOP) 2010", (Hansen mfl., 2010) blev det konkluderet, at der var brug for en optimering af feltarbejdet i LOOP, særligt i forhold til måling af ilt, så indtagene med iltet grundvand kunne identificeres. Gennemgangen af data ved dette års og sidste års rapportering viser, at der nu gennemføres iltmålinger i felten i alle LOOP områderne. Dog er der ikke gennemført iltmålinger i LOOP 4 (Lille Bæk) i 2013. Detektionsgrænsen på iltmålingerne ligger højere end målinger i almindelige grundvandsboringer. Det skyldes, at der ved prøvetagningen normalt er utilstrækkeligt vand til at måle ilt i en flowcelle, jf. Teknisk Anvisning (Thorling, 2012b). Uanset den forhøjede detektionsgrænse er iltmålinger ved prøvetagningen i felten i LOOP meget vigtige for tolkning af fundene af nitrat i grundvandet.

Figur 27 viser, at der hvert år er stor spredning i de målte nitratkoncentrationer, og at der er en tendens til at denne spredning er blevet mindre de seneste 7-9 år. Generelt er der et højere nitratindhold i grundvandet i sandområderne end i lerområderne. Gennemsnitsværdierne for nitratindholdet i det øvre grundvand i sand- og lerjordsoplandene ligger lidt højere end medianværdierne, men har ellers et nogenlunde synkront forløb.

For sandjordsoplandene er der for perioden 1990-2013 et tydeligt fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold fra ca. 100 til ca. 50 mg/l. Faldet er størst frem til 2000, hvorpå ændringerne bliver mindre.

For lerområderne er der også et fald i det iltede grundvands gennemsnitlige nitratindhold i perioden 1990-2013 fra ca. 50 til ca. 30 mg/l. Faldet er størst frem til 2006, hvorpå ændringerne bliver mindre.



Figur 27. Udviklingen i det iltede grundvands nitratindhold i LOOP-oplande med sand (LOOP 2 og 6) og ler (LOOP 1, 3 og 4) vist som boksdiagrammer for hvert prøvetagningsår i perioden 1990-2013. Antallet er analyser er angivet hvert år.

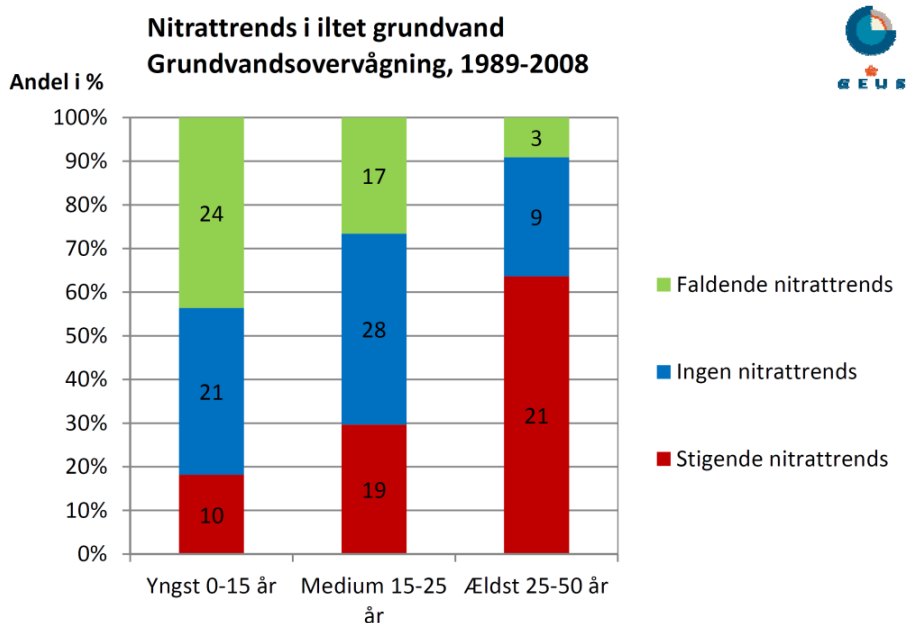
Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i GRUMO i forhold til dannelsesåret for grundvandet

Eventuelle effekter af den generelle kvælstofregulering i landbruget siden 1985 ved de forskellige vandmiljøplaner mv. vil kunne erkendes i det iltede grundvand. Det skyldes, at koncentrationen af nitrat kan sammenlignes med nitratudvaskningen, da nitraten ikke er omsat ved reducerende processer. Datering af grundvandet giver mulighed for at sammenligne udviklingen i nitratkoncentrationer i iltet grundvand med udviklingen i kvælstofpåvirkningen fra landbruget.

Nitratindholdet infiltreret til grundvand, kan direkte sammenlignes med kvælstoftilførslen i landbruget eller nitratudvaskningen det pågældende år.

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

Figur 28 viser en opsummering af de publicerede resultater fra 152 indtag med iltet CFC dateret grundvand. Det fremgår, at det yngste iltede grundvand (< 15 år) har flere overvågningsindtag med et signifikant faldende nitratindhold (44 %) end det ældste (25-50 år) iltede grundvand (9 %). Dog findes der stadig indtag, hvor nitratindholdet er stigende, men hvor kun ca. 18 % af det yngste iltede grundvand har et signifikant stigende nitratindhold, har 64 % af det ældste iltede grundvand et signifikant stigende nitratindhold. Det bemærkes også, at der i mere end 50 % af indtagene i det yngste grundvand ikke kan påvises en faldende tendens.



Figur 28. Andel af statistisk signifikante ($p < 0,05$) stigende og faldende nitrattrends samt ikke-signifikante ($p \geq 0,05$) nitrattrends i grundvandet inddelt i 3 aldersgrupper (modificeret efter Hansen m.fl., 2011). Antallet af undersøgte indtag i hver gruppe er vist.

Referencer nitrat

Dansk lovgivning mv.

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

EU direktiver.

EU, 1991: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, de stammer fra landbruget. (Nitratdirektivet)

EU, 2006: Europaparlamentet og Rådets direktiv 2006/118/EF af 12. december 2006 om beskyttelse af grundvandet mod forurening og forringelse.(Grundvandsdirektivet)

Andre henvisninger:

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

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

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

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

Nielsen, A.M., Hansen, B, Ernstsén, V., Rasmussen, P., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokalitet 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport, 2014/82.

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

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

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüschen, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (25.08.2014)

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

6 Uorganiske sporstoffer

Sammenfatning og konklusion

En række uorganiske sporstoffer optræder i dansk grundvand i koncentrationer over kvalitetskravene. En del af grundvandets indhold af disse stoffer er naturligt forekommende, mens det i andre tilfælde skyldes påvirkning fra samfundsmæssige aktiviteter.

Resultaterne fra 2013 af grundvandets indhold af uorganiske sporstoffer viser i overensstemmelse med tidligere års overvågning, at der er mange borer, hvor indholdet af sporstoffer i grundvandet overstiger drikkevandskvalitetskravene (grænseværdierne). Dette gælder især for arsen og nikkel, men også for aluminium og bor. I områder, hvor grundvandet har - ofte naturligt - høje indhold af disse stoffer, kan en simpel vandbehandling på vandværkerne og/eller fokus på indvindingsstrategien understøtte levering af drikkevand, der overholder kvalitetskraverne. Stofferne optræder derfor ikke i drikkevandet i samme omfang som i grundvandet.

Der er fundet overskridelser af kvalitetskravene for drikkevand for ét eller flere stoffer i 40 % af de undersøgte indtag i GRUMO og i 16 % af vandværksboringerne. Desuden viser GRUMO-resultaterne en samtidig overskridelse på to stoffer (ofte aluminium og nikkel), tre stoffer (ofte aluminium sammen med bly, cadmium, nikkel eller zink) og fire stoffer (aluminium, bly, kobber og zink) i henholdsvis 7,5, 4,5 og 1,5 % af indtagene.

Resultater for GRUMO i perioden 1993-2013 viser fra 2010 en stigning i andelen af indtag med koncentrationer af aluminium over kvalitetskravene, og i 2013 er det næsten hvert femte indtag. Dette hænger sammen med udbygningen af stationsnettet, der i de seneste år især har fundet sted i Vestjylland, hvor indholdet af aluminium som følge af lavere pH-værdier ofte er højere i grundvandet end i resten af landet.

Indledning

Uorganiske sporstoffer forekommer naturligt i relativt små mængder i grundvandet, typisk i størrelsesordenen µg/l. De uorganiske sporstoffer har meget forskellige kemiske egenskaber, anvendelser og geologisk forekomst. Stofgruppen uorganiske sporstoffer omfatter, bl.a. tungmetaller som cadmium og bly, men også letmetaller som aluminium og ikke-metaller som fx arsen og bor. Også den simple kemiske forbindelse cyanid (CN), som blandt andet optræder på gamle gasværksgrunde, indgår i gruppen af uorganiske sporstoffer. For en lang række sporstoffer må det anses for sandsynligt, at de målte indhold ud over det naturligt forekommende baggrundsindhold også rummer bidrag fra samfundsmæssig aktivitet.

Tabel 3 viser kvalitetskriterierne for de enkelte sporstoffer i drikkevand, grundvand og overfladevand. Den store variation i kvalitetskriterierne fra stof til stof skyldes de vidt forskellige kemiske egenskaber, der igen medfører stor variation i såvel de gavnlige som de toksiske og økotoxikologiske egenskaber.

Uorganiske sporstoffer	Grundvands kvalitets-kriterier (MST 2014)	Kvalitetskrav drikkevand ^a (MiM 2014b)	Kvalitetskrav for overfladevand (MiM 2010)			
			Fersk	Fersk/kort tid	Marin	Marin/kort tid
	µg/l	µg/l				
Aluminium	-	100			-	-
Antimon	-	2	113 ^c	177 ^c	11,3 ^c	177 ^c
Arsen	8	5	4,3 ^c	43 ^c	0,11 ^{c,d}	1,1 ^{c,d}
Barium	-	700	9,3 ^{c,d}	145 ^c	5,8 ^{c,d}	145 ^c
Beryllium	-	10	-	-	-	-
Bly	1	5	0,34 ^{c,f}	2,8 ^{c,f}	0,34 ^{c,f}	2,8 ^{c,f}
Bor	300	1.000/300 ^b	94 ^{cd} dog max 20.000 ^c	2080 ^d	94 ^{cd} dog max 20.000 ^c	2080 ^d
Cadmium (blødt vand ^e)	0,5	2	-	-	-	-
Cadmium (hårdt vand ^e)	0,5	2	-	-	-	-
Kobolt	-	5	0,28 ^{c,d}	18 ^c	0,28 ^{c,d}	34 ^c
Jod	-	-	10 ^d	10 ^d	10 ^d	10 ^d
Krom, total	25	20	-	-	-	-
Krom, VI	1	-	3,4 ^c	17 ^c	3,4 ^c	17 ^c
Krom III	-	-	4,9 ^c	124 ^c	3,4 ^c	124 ^c
Cyanider, uorganiske	50	50	-	-	-	-
Cyanider, syreflygtige	-	20	-	-	-	-
Kobber	100	100	1 ^{c,d} dog max 12 ^c	2,0 ^{c,d}	1 ^{c,d} dog max 2,9 ^c	2,0 ^{c,d}
Kviksølv	0,1	1/0,1 ^b	-	-	-	-
Litium	-	1000	-	-	-	-
Molybdæn	20	20	67 ^c	587 ^c	6,7 ^{c,d}	587 ^c
Nikkel	10	20	2,3 ^{c,d} dog max 3 ^c	6,8 ^c	0,23 ^{c,d} dog max 3 ^c	6,8 ^c
Selen	-	10	-	-	-	-
Strontium	-	- /10.000 ^b	210 ^{c,d}	553 ^{c,d}	210 ^{c,d}	553 ^{c,d}
Sølv	-	10	0,017 ^{c,d}	0,36 ^{c,d}	0,2 ^{c,d}	1,2 ^{c,d}
Tallium	-	1	0,48 ^{c,d}	1,2 ^{c,d}	0,048 ^{c,d}	1,2 ^{c,d}
Tin	-	10	-	-	-	-
Vanadium	-	-	4,1 ^{c,d}	57,8 ^c	4,1 ^{c,d}	57,8 ^c
Zink	100	100	7,8 ^{c,d}	8,4 ^{c,d}	7,8 ^{c,d}	8,4 ^{c,d}
Zink ¹	100	100	3,1 ^{c,d}	-	-	-

a) Ved indgang til ejendom;

b) Krav/Anbefaling;

c) Kvalitetskravet gælder for koncentrationen i opløsning, dvs. den opløste fase af en vandprøve, der er filtreret gennem et 0,45 µm filter eller behandlet tilsvarende;

d) Ved vurdering af overvågningsdata eller beregnede koncentrationer i et vådområde tages der hensyn til den naturlige baggrundskoncentration, hvis den gør det umuligt at overholde miljøkvalitetskravene;

- | |
|--|
| <p>e) Nationalt miljøkvalitetskrav for forurenende stof med EU-miljøkvalitetskrav (jf. bilag 3 i MIM 2010);</p> <p>f) Ved vurdering af overvågningsresultater i forhold til miljøkravene (bilag 3, del B, punkt 3 i MIM 2010);</p> <p>g) korttidskvalitetskrav er ikke fastsat;</p> <p>h) Gældende værdi i bilag 3;</p> <p>i) Miljøkvalitetskravet gælder for blødt vand (Hårdhed < 24 mg CaO/l).</p> |
|--|

Tabel 3. Kvalitetskriterier for uorganiske sporstoffer i drikkevand, grundvand og overfladevand.

I forhold til menneskers helbred kan de uorganiske sporstoffer groft opdeles i tre grupper:

- de toksiske stoffer, der har sundheds- og miljømæssigt skadelige effekter (humantoksiske og økotoksiske) selv ved små koncentrationer
- de essentielle stoffer, der omfatter stoffer, som er nødvendige for den menneskelige organisme i små mængder, men som er sundhedsskadelige og økotoksiske i større koncentrationer
- de stoffer, som normalt ikke optræder i problematiske koncentrationer, men hvor stoffet kan have relevans, fordi det stedvis kan optræde i så høje koncentrationer, at det kan være enten sundhedsskadeligt eller have økotoksikologiske effekter fx aluminium og sølv, hvor de frie ioner er giftige.

De toksiske stoffer omfatter bl.a. antimon, arsen, bly, cadmium, kviksølv samt cyanid. Arsen er yderst giftigt for mennesker, og visse uorganiske arsenforbindelser kan forårsage kræft hos mennesker (Miljøstyrelsen, 1995).

De essentielle stoffer omfatter bl.a. krom, kobber, zink og selen. For selen er der en relativ lille forskel mellem den nødvendige dosis og en dosis med giftvirkning.

Restgruppen udgøres bl.a. af aluminium, barium, bromid, bor, jod, litium, molybdæn, strontium og sølv. For nogle stoffer, fx. beryllium, er der kun sparsom viden om deres effekter i de små koncentrationer, som normalt forekommer opløst i grundvand. Bor er normalt ikke til stede i problematiske koncentrationer i almindeligt fersk grundvand, og betragtes heller ikke som essentielt (Adriano, 2001). Bor anvendes bl.a. til trykimprægning af træ og i visse insekticider. Derudover er bor en indikator for saltvandsindtrængning.

Miljømål

Drikkevandskvalitetskravene for sporstoffer (grænseværdierne) er opdelt i to, dels en værdi ved indgang til ejendom og dels en anden (højere) værdi ved forbrugers taphane, med baggrund i risikoen for afsmitning af metaller fra installationer og rør (MIM, 2014b).

En række sporstoffer, herunder arsen og nikkel kan fjernes delvist ved vandbehandlingen, under forudsætning af at grundvandet indeholder de fornødne mængder af jern og mangan. Under iltningen på vandværket udfældes jern og mangan sammen med mange sporstoffer som okkerslam (Miljøstyrelsen, 1999). Koncentrationer af disse sporstoffer i drikkevandet, der leveres til forbrugerne, kan derfor forventes at være lavere, og er ofte lave nok til at overholde kvalitetskraverne sammenlignet med grundvandet i indvindingsboringerne. Indholdet af bor ændres ikke ved almindelig vandbehandling, og ved høje indhold i grundvandet må vandværket blande med mindre påvirket vand.

Datagrundlag

Tabel 4 viser hvilke analyseparametre, der indgår i overvågningsprogrammet for grundvand (GRUMO for programperioden 2011-2015) samt anvendes til overvågning af grundvandskvaliteten i vandværksboringerne i forbindelse med den obligatoriske boringskontrol (MiM, 2014b). Analysefrekvenserne i såvel GRUMO som i vandværksboringerne varierer fra årlige analyser til en analyse hvert 5-6 år.

Uorganiske sporstoffer	GRUMO	Vandværksboringer
Aluminium (Al)	X	X ^d
Arsen (As)	X	X
Barium (Ba)	X ^a	X
Beryllim (Be)	X ^b	
Bly (Pb)	X	
Bor (B)	X	X
Bromid (Br)	X ^c	
Cadmium (Cd)	X	
Jod (I)	X	
Kobber (Cu)	X	
Kobolt (Co)		X
Kviksølv (Hg)	X ^a	
Nikkel (Ni)	X	X
Strontium (Sr)		X ^e
Zink (Zn)	X	

a) Analyseres kun, hvis der er et behov fra påvirket overfladevand, for at kende baggrundskoncentrationer i lokale grundvandsforekomster.
b) Iværksættelse af overvågning afventer fastsættelse af grænseværdi for drikkevand.
c) Analyseres kun hvor der er mistanke om, at stigende klorid skyldes vejsalt eller, hvor der er behov for baggrundskoncentrationer i de lokale grundvandsforekomster.
d) Analyseres, hvor grundvandets pH er mindre end 6.
e) Analyseres, hvis vandet indvindes fra områder med Skrivekridt.

Tabel 4. Analyseparametre 2013 for uorganiske sporstoffer i grundvandsovervågningen og obligatoriske stoffer i vandværksboringer.

Tilstand og udvikling, Grundvandsovervågning

Fra 1993 til 2013 er i alt 24 uorganiske sporstoffer overvåget i kortere eller længere perioder. Der er fastsat drikkevandskvalitetskrav for 21 af disse. Der er i 2013 konstateret overskridelser af de "ved indgangen til forbrugers ejendom" fastsatte kvalitetskrav for syv af de målte stoffer, nemlig aluminium, arsen, bly, cadmium, kobber, nikkel, og zink.

Det generelle omfang af overskridelser for de vigtigste stoffer, samt den tidlige udvikling for perioden 1993-2009, fremgår af Thorling et al. (2010b). Tabel 5 viser udviklingen i aluminium, arsen og nikkel i perioden 1993-2013.

For aluminium har den procentvise overskridelse været nogenlunde konstant (<10 %) for perioden 1993-2009, mens den for perioden 2010-2013 stiger til 20 % af indtagene. Ligeledes er der for nikkel sket en stigning i den procentvise overskridelse for 2012 og 2013 sammenlignet med perioden 1993-2011. For arsen er der tale om et fald i den procentvise andel af indtag over kvalitetskravet for perioden 2009-2013. Disse ændringer er formentlig knyttet til de ændringer i stationsnettet, som har fundet sted de senere år. Flere vestjyske lokaliteter med grundvand med lavere pH-værdi og dermed mere aluminium kan være en medvirkende faktor. En nærmere analyse af udviklingen af aluminium, arsen og nikkel over tid ligger imidlertid uden for rammerne af dette års rapport.

År	Aluminium		Arsen		Nikkel	
	Indtag (antal)	Indtag >KK (%)	Indtag (antal)	Indtag >KK (%)	Indtag (antal)	Indtag >KK (%)
1993	210	8	232	19	255	5
1994	264	6	265	11	283	1
1995	364	14	364	11	381	4
1996	255	5	255	12	268	3
1997	276	7	277	12	290	2
1998	732	6	735	8	744	4
1999	746	8	750	10	758	4
2000	749	6	751	11	750	4
2001	771	6	771	11	771	4
2002	741	6	766	9	763	3
2003	751	6	787	10	763	3
2004	1	0	23	17	46	2
2005	726	9	901	9	915	5
2006	33	12	52	12	53	2
2007	879	9	880	9	880	6
2008	445	11	445	8	445	7
2009	807	8	807	7	807	3
2010	239	13	490	4	490	7
2011	583	11	590	7	590	6
2012	257	20	259	4	259	12
2013	134	20	134	4	134	21

Tabel 5. GRUMO: Antal indtag og procentvise overskridelser af kvalitetskravene (KK) for aluminium, arsen og nikkel for perioden 1993 til 2013.

I 2013 er 134 GRUMO-indtag analyseret for stofferne aluminium, arsen, bly, bor, beryllium, cadmium, jod, kobber, nikkel og zink.

Tabel 6 viser koncentrationsniveauerne for sporstoffer i GRUMO opgivet som middel og medianværdi samt 10 og 90 % fraktiler. Derudover vises antal indtag med overskridelse af kvalitetskrave. Overskridelserne er fordelt på 83 indtag, svarende til 40 % af de undersøgte indtag.

I 10 indtag (7,5 %) overskrides kvalitetskravet for to stoffer (ofte aluminium og nikkel) og i seks indtag (4,5 %) overskrides kvalitetskravet for tre stoffer (ofte aluminium med bly, cadmium, nikkel eller zink) og i to indtag (1,5 %) overskrides kvalitetskravet for fire stoffer (aluminium, bly, kobber og zink).

I 2013 overskrides kvalitetskravet (100 µg/l) for aluminium i 27 indtag, se Tabel 6. Dette ses primært i Midtjylland og mellem Hanstholm og Fjerritslev. Overskridelser for arsen (5 µg/l) er målt i seks indtag fordelt over hele landet. I tre indtag i området fra Aalborg og nord på overstiger indholdet af bor den vejledende værdi på 300 µg/l, men der forekommer ingen overskridelser af kvalitetskravene (1000 µg/l). Kilden til dette indhold er antagelig jordens naturlige indhold af forskellige borholdige mineraler (Flyvbjerg og Terkelsen, 2006).

Overskridelser for bly (5 µg/l) og kobber (100 µg/l) forekommer i henholdsvis seks og fire indtag, der alle findes i Midt og Vestjylland. Et par overskridelser for cadmium (2 µg/l) forekommer begge i Midtjylland. Kvalitetskravet for nikkel (20 µg/l) overskrides i 28 indtag, der primært findes vest for en linje fra Fjerritslev til Løgumkloster, samt i Køge-Faxe-Københavnsområdet. Overskridelserne for kvalitetskravet for zink (100 µg/l) sker i 10 indtag i Vestjylland og den centrale del af Sjælland.

Uorganisk sporstof	Detektionsgrænse µg/l	Kval. Krav µg/l	Analyser					Indtag		
			Fund %	10 % µg/l	Median	Middel	90 %	Antal	Antal >KK	% >KK
Aluminium	0,60	100	94	0,54	3,50	136	360	134	27	20,1
Arsen	0,03	5	94	0,07	0,52	1,29	3,45	134	5	3,7
Bly	0,03	5	49	0,03	0,03	1,10	0,78	134	6	4,5
Bor	10	1000	100	12	22	48	93	134	0	0,0
Beryllium	0,002	10	33	0,01	0,02	0,19	0,66	134	0	0,0
Cadmium	0,004	2	65	0,004	0,010	0,17	0,42	134	2	1,5
Jod	0,03		99	1,60	4,90	15	25	133	-	-
Kobber	0,04	100	77	0,04	0,39	14	13,5	134	4	3,0
Nikkel	0,03	20	92	0,04	1,50	14	39	134	28	20,9
Zink	0,5	100	75	0,50	5,70	36	100	134	10	7,5

Tabel 6. Sporstoffer GRUMO 2013. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende detektionsgrænse og kvalitetskrav (KK).

Tilstand og udvikling, grundvand i vandværksboringer

For 2013 er der indberettet i alt 1642 analyser af uorganiske sporstoffer fra grundvand i vandværksboringer, fordelt på 1562 indtag. Hovedparten af indtagene er analyseret for de obligatoriske stoffer: arsen, barium, bor, kobolt og nikkel. Ud af de 1562 indtag er der fundet overskridelse af drikkevandskravene for ét eller flere stoffer i 251 indtag, svarende til 16 %. En samtidig overskridelse på to stoffer (nikkel med arsen eller kobolt) og tre stoffer (bor, kobolt og nikkel) forekommer i henholdsvis 0,12 og 0,06 % af indtagene.

Tabel 7 viser fund og overskridelser af kvalitetskravet for drikkevand for de målte sporstoffer for en 5-årig periode, 2009 til 2013. Tabel 8 viser, at de procentvise overskridelser for de enkelte sporstoffer for 2013 er i god overensstemmelse med data fra hele perioden 2009-2013.

Uorganisk sporstof	Direktionsgrænse	Kval. krav	Analyser					Indtag		
	µg/l	µg /l	Fund	10 %	Median	Middel	90 %	Antal	Antal	%
			%	µg/l			>KK		>KK	
Aluminium	7	100	55	1,1	7,0	11	20	316	5	1,6
Arsen	0,3	5	92	0,10	0,90	3,01	6,0	6021	709	11,8
Barium	1	700	100	10	58	80	170	6007	6	0,1
Bly	0,03	5	42	0,03	0,03	0,13	0,20	254	0	0,0
Bor	50	1.000	94	16	50	104	230	6012	18	0,3
Brom	4	-	99	58	83	110	160	-	-	-
Cadmium	0,004	2	15	0,004	0,004	0,008	0,015	242	0	0,0
Kobber	0,04	100	54	0,04	0,07	0,46	1,00	153	0	0,0
Kobolt	1	5	41	0,04	0,07	0,57	1,40	3132	66	2,0
Kviksølv	0,005	1	13	0,002	0,002	0,008	0,01	141	0	0,0
Nikkel	0,1	20	90	0,03	0,52	2,9	7,0	6043	349	1,7
Strontium	-	10.000*)	100	380	1365	2400	5450	497	17	3,2
Zink	0,5	100	59	0,50	0,92	6,02	20	245	0	0,0

Tabel 7. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer for perioden 2009-2013. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende detektionsgrænse og kvalitetskrav (KK).

*)Værdien for strontium er vejledende.

I 2013 er kvalitetskravet for arsen (5 µg/l) overskredet i 184 boringer fordelt over hele landet med undtagelse af det jyske område vest for Hovedopholdslinjen, hvor der ikke ses nogen overskridelser. De høje indhold af arsen kan som udgangspunkt forventes at være naturlige baggrundskoncentrationer (Larsen og Larsen, 2003), hvor indholdet vil være påvirket af de lokale geokemiske forhold, der bevirker, at de højeste arsen koncentrationer findes i reduceret grundvand (Larsen et al., 2009). Desuden kan indholdet af arsen påvirkes af den valgte pumpestrategi.

I 2013 er kvalitetskravet for nikkel (20 µg/l) overskredet i 31 boringer, der primært er placeret nord, vest og syd for København. Disse overskridelser er antagelig knyttet til en ikke bæredygtig

dig indvinding af grundvand og ændringer i grundvandsspejlet (Jensen et al., 2003). Den vejledende værdi for strontium (10.000 µg/l) er overskredet i 13 borer primært i Sydsjælland og Møn samt syd for København. Her er kilden til det høje indhold af strontium antagelig naturlig opløsning af strontium-rige mineraler i de kalkholdige lag (Bonnesen et. al, 2009).

Uorganisk sporstof	Detektionsgrænse	Kvalitetskrav	Analyser					Indtag		
			Fund	10 %	Median	Middel	90 %	Antal	Antal	%
	µg/l	µg /l	%	µg/l					>KK	>KK
Aluminium	7	100	49	1,60	7,0	9,1	11	106	1	0,9
Arsen	0,3	5	92	0,07	0,81	2,30	6,0	1561	185	11,9
Barium	1	700	99	9,9	59	79	170	1544	1	0,1
Bly	0,03	5	72	0,03	0,04	0,09	0,20	58	0	0,0
Bor	50	1000	97	14	50	96	225	1547	6	0,4
Brom	4	-	100	59	83	128	140	-	-	-
Cadmium	0,004	2	14	0,004	0,004	0,010	0,019	50	0	0,0
Kobber	0,04	100	58	0,04	0,11	0,64	1,00	47	0	0,0
Kobolt	1	5	46	0,04	0,05	0,39	1,50	1534	13	0,8
Kviksølv	0,005	1	2	0,002	0,002	0,007	0,002	42	0	0,0
Nikkel	0,1	20	83	0,03	0,47	2,62	6,10	1562	33	2,1
Strontium	-	10.000*)	100	300	1300	2550	6200	313	12	3,8
Zink	0,5	100	53	0,50	0,65	4,80	21	58	0	0,0

Tabel 8. Sporstoffer i grundvandet i vandværksboringer i 2013. Antal undersøgte indtag, fundne koncentrationer med tilhørende detektionsgrænse og kvalitetskrav (KK). Værdien for strontium er vejledende.

Referencer, Sporstoffer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet, 2010b. Bekendtgørelse om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet. Bekendtgørelse nr. 1022 af 25. august 2010.

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

Miljøstyrelsen, 1995. Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og vand - Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen nr. 12.

Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6.

Miljøstyrelsen, 1999. Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 17.

Miljøstyrelsen, 2014a. "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". Opdateret maj 2014.

EU- direktiver mv.

EU, 2000. Vandrammedirektivet. Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger.

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

Andre referencer og litteratur i øvrigt

Adriano, D. C, 2001. Trace elements in terrestrial environments (2. edition). Springer Verlag.

Bonnesen, E., Larsen, F., Sonnenborg, T., Klitten, K., og Stemmerik, L. 2009. Deep saltwater in chalk of north-west Europe origin, interface characteristics and development over glacial time. Hydrogeology Journal 17:1643-1663.

Flyvbjerg, J. og Terkelsen, M. 2006. Bor i grundvand og drikkevand i Roskilde Amt. Roskilde Amt.

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

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

Larsen, C.L. og Larsen, F. 2003. Arsen i danske sedimenter og grundvand. Vand og Jord, 10. årgang nr. 4, side 147-151.

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

Links.

GEUS, 1998. Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (25.08.2014)

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.08.2014)

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

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

NOVANA hjemmeside:

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

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

7 Pesticider

Sammenfatning og konklusion

Pesticider i grundvandsovervågningen

I 2013 blev der i grundvandsovervågningen fundet pesticider i 37 % af indtagene, mens kvalitetskravet (grænseværdien) på 0,1 µg/l var overskredet i 10 % af indtagene. Særligt de øvre grundvandsmagasiner er påvirket af pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse, mens pesticidindholdet i det mere dybtliggende og ældre grundvand er mindre.

I de senere år har der i det øvre grundvand været tegn på en faldende andel af indtag med pesticider med koncentrationer over kvalitetskravet. Parallelt hermed ses en stigende hyppighed af indtag med pesticider i koncentrationer under kvalitetskravet i de øverste 50 m u.t. Dette peger på, at den gennemførte regulering af anvendelsen af pesticider nu giver resultat i det øverste og yngste grundvand.

Samtidig har der de senere år været en større andel af indtag med pesticider over kvalitetskravet i det dybereliggende og ældre grundvand. Dette skyldes, at en puls af pesticider bevæger sig ned gennem grundvandslagene på grund af en langsom nedbrydning i grundvandet af pesticider og ikke mindst de i dag forbudte pesticider. Det er således "fortidens synder", der i den dybere del af grundvandet giver anledning til en forringet grundvandskvalitet.

Pesticider kan inddeles i tre grupper: Godkendte, regulerede og forbudte i forhold til den administrative status pr. 1. aug. 2014. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der efter den oprindelige godkendelse er indført yderligere begrænsninger på anvendelsen af hensyn til beskyttelsen af grundvandet. I analyseprogrammet indgår i alt 31 stoffer, hvoraf de 21 stoffer stammer fra forbudte pesticider, mens fem er fra regulerede og fem er fra tilladte.

I 2013 blev der fundet godkendte stoffer i ca. 1,6 % af indtagene (0,2 % \geq 0,1 µg/l), mens regulerede stoffer blev fundet i 4,5 % (1,9 % \geq 0,1 µg/l) og forbudte stoffer i 34 % (8,8 % \geq 0,1 µg/l). Pesticidanalyserne for de sidste syv år viser, at ca. 80 % af fundene udgøres af forbudte stoffer.

Udvikling i koncentrationen i prøver med fund for fire udvalgte forbudte og regulerede stoffer (hhv. BAM og DEIA, og dichlorprop og bentazon), udviser generelt tendenser til faldende koncentrationer i prøver med fund, mens der ikke er tilstrækkelige data til at vurdere udviklingen for tilladte stoffer som fx glyphosat og dets nedbrydningsprodukt, AMPA.

Siden 2011 er der analyseret for ti stoffer, der ikke tidligere har indgået i overvågningen. De tre dominerende stoffer med relativt mange fund, for to af stoffernes vedkommende også over kvalitetskravet på 0,1 µg/l, er nedbrydningsprodukter fra forbudte triaziner. Af disse er didealkylhydroxy-atrazin påvist i 7,4 % af de undersøgte indtag i 2011-13 (ca. 1 % \geq 0,1 µg/l). De isopropyl-hydroxyatrazin blev påvist i 4,1 % af indtagene (hvoraf 0,1 % \geq 0,1 µg/l). Nedbrydningsproduktet PPU fra det forbudte pesticid rimsulfuron er påvist i 0,8 % af de undersøgte indtag, i alle tilfælde dog under kvalitetskravet. Et andet nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron, desamino-PPU, er ikke påvist i de 863 undersøgte indtag. Fire stoffer, heraf tre godkendte er påvist én til to gange i koncentrationer under kvalitetskravet, mens et stof, hydroxyterbuthylazin, blev påvist i to indtag under kvalitetskravet.

En screening i 49 indtag for et svampemiddel til kartoffelplanter, metalaxyl-M og dets to nedbrydningsprodukter, blev gennemført i efteråret 2013. Dette resulterede i fund under kvalitetskravet i ét indtag i et område med kartoffeldyrkning, mens de tre stoffer ikke blev påvist i nogen af de øvrige områder, hvor der formodentlig ikke har været dyrket kartofler. Resultaterne herfra betyder, at stoffet fremover vil indgå i boringskontrollen i kartoffeldyrkningsområder (MIM, 2014b).

Sammenfatning og konklusion

Pesticider i grundvandet i vandværksboringer

Andelen af aktive vandværksboringer, hvor grundvandet indeholder pesticider, er de sidste 5-10 år stabiliseret på 25 %. I 2013 blev der således fundet pesticider i grundvandet i 25 % af de undersøgte vandværksboringer, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l (grænseværdien for drikkevand og grundvand for enkeltstoffer) var overskredet i 3,5 % af borerne. Denne påvirkningsgrad har været nogenlunde konstant siden 2004, hvor der var fund i 26 % af borerne, heraf 4,5 % over kvalitetskravet. Nedbrydningsproduktet BAM udgør fortsat det hyppigst fundne stof med fund i 19 % af de undersøgte vandværksboringer i 2013.

Fra januar 2012 er der gennemført en ændring af analyseprogrammet for pesticider i grundvandet fra vandværksboringerne, "Boringskontrollen", hvor der blev tilføjet 18 supplerende stoffer til det obligatoriske analyseprogram (MiM, 2014b) og fjernet 8 andre stoffer. Stoffer, som bl.a. er fundet i grundvandsovervågningen eller i Varslingssystemet for udvaskning af pesticider (VAP) til grundvandet. Af disse supplerende stoffer er nedbrydningsprodukt DEIA, fra det forbudte stof atrazin, fundet i 1,9 % af de analyserede prøver i 2012-2013, mens de øvrige nye stoffer kun er fundet i ca. 1 % eller mindre af de undersøgte vandprøver. Der er kun få fund over kvalitetskravet. Glyphosat er fundet i 0,3 % af analyserne.

I hele overvågningsperioden for pesticider og nedbrydningsprodukter fra 1992 til 2013 er der blevet analyseret for 171 forskellige stoffer. Det store antal af forskellige stoffer skyldes, at flere vandværkerne af egen drift har ønsket at undersøge grundvandet for så mange stoffer som teknisk muligt. Ud af de 171 stoffer blev der påvist 51 stoffer, hvoraf 35 i dag er forbudte, 13 regulerede og tre godkendte. Når disse stoffer fordeles på godkendte, regulerede og forbudte pesticider i forhold til antallet af analyser for hvert stof udgør de forbudte pesticider 24 % (5 % \geq 0,1 µg/l), mens de regulerede stoffer forekommer i 7 % (1 % \geq 0,1 µg/l), og godkendte stoffer forekommer i 0,6 % (0,1 % \geq 0,1 µg/l).

Indledning

I grundvand kan pesticider og deres nedbrydningsprodukter stamme fra erhvervsmæssig brug af pesticider i skov- og jordbrug, fra virksomheders og privates anvendelse i haver og anlæg samt fra ukrudtsbekæmpelse på befæstede arealer i byområder. Dertil kommer udvaskning fra spild og punktkilder fx vaskepladser, der håndteres særskilt af regionerne i forbindelse med Jordforureningsloven (MST, 2014; Tuxen et al, 2013). I den traditionelle vandbehandling på de danske vandværker, bliver pesticider og nedbrydningsprodukter kun i et begrænset omfang tilbageholdt eller nedbrudt. Grundvandets indhold af pesticider, har derfor direkte betydning for drikkevandskvaliteten. Pesticiderne kan også ende i overfladevand, når overfladenært grundvand og drænvand strømmer til vandløb og søer.

Miljømål

Ifølge Drikkevandsdirektivet og Grundvandsdirektivet er kvalitetskravet for pesticidindholdet i drikkevand og grundvand på 0,1 µg/l for enkeltstoffer af pesticider og relevante nedbrydnings-

produkter, mens det for summen af enkeltstoffer er 0,5 µg/l (EU, 1980 og 2006). I Danmark er sumværdien aldrig i anvendelse, da der i boringer med et samlet pesticidindhold over sumværdien praktisk taget altid er mindst ét stof, der overskrider kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

7.1 Grundvandsovervågning

I grundvandsovervågningen analyseres der i den indeværende programperiode (2011-2015) for 31 pesticider og nedbrydningsprodukter fordelt på 11 aktivstoffer og 20 nedbrydningsprodukter, se Tabel 9. Ud af de 31 stoffer er fem stoffer pesticider og nedbrydningsprodukter fra midler godkendt uden restriktioner, fem stoffer er regulerede pesticider eller nedbrydningsprodukter fra godkendte midler med restriktioner, mens de resterende stoffer stammer fra forbudte pesticider.

Der er i 2013 gennemført en screening for det nu forbudte svampemiddel til kartoffelplanter, metalaxyl-M og dets to tilhørende nedbrydningsprodukter i 49 indtag.

Datagrundlag

Der er i dette afsnit anvendt pesticidanalyser fra grundvandsovervågningen fra perioden 1990-2013, begge år inklusive. Der har over årene indgået et varierende antal stoffer i analyseprogrammet. De første år blev der analyseret for otte stoffer. Siden har udvikling i analyseteknikkerne muliggjort opbygningen af et omfattende og dynamisk program, hvor nye pesticider inddrages, når det er relevant. Samtidig udgår pesticider, der kun sjældent eller aldrig findes i grundvandet.

Siden 2003 er der overvejende blevet analyseret for pesticider, hvor dateringer viser, at grundvandet er dannet efter år 1950. For at opnå bedre overensstemmelse med kravene til overvågning i Vandrammedirektivet overvåges i dag i en større andel af grundvand i risiko for ikke at opfylde miljømålene, se kapitel 2. Bl.a. af den grund har der siden 2007 været en højere analysefrekvens for de boringer, hvor tidligere målinger viser, at der er størst sandsynlighed for at finde pesticider og deres nedbrydningsprodukter.

Det betyder, at indtag, hvor der ikke tidligere er påvist pesticider, prøvetages hvert tredje år (2007-2010) og to gange på fem år i 2011-2015. Indtag, hvor der tidligere er påvist pesticider, prøvetages hvert år. Nye indtag i overvågningen undersøges for pesticider det første år og derefter med en hyppighed, der afhænger af analyseresultatet. Variationen i antal indtag, der analyseres pr. år, og i analysefrekvens betyder, at rapporteringen giver et billede af tilstanden i de indtag, der analyseres de enkelte år og perioder, men også at det er kompliceret at opstille meningsfulde generelle landsdækkende tidsserier, se også kapitel 2. Det betyder også, at de kumulative opgørelser i højere grad dækker risikoen for pesticidpåvirkning samlet set end resultaterne fra et enkelt års overvågning.

Tabel 9 viser den administrative status for de pesticider, der indgår i den nuværende programperiode 2011-2015 for GRUMO. Analyseresultater fra grundvandsovervågningen i 2013 fremgår af bilag 4 mens data fra hele monitoringsperioden 1989-2013 fremgår af bilag 5.

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Status	Bemærkning
Aminomethylphosphorsyre (AMPA)*	Godkendt	Nedbrydningsprodukt fra glyphosat.
Atrazin	Forbudt	Forbudt i 1994 af hensyn til grundvandet.
Bentazon	Reguleret	Begrænset i 1995-1997. Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet.
4-CPP*#	Reguleret	Flere moderstoffer, nogle med anvendelsesrestriktioner. Forbudt eller pålagt væsentlige restriktioner.
2,6 DCP*#	Reguleret	Flere moderstoffer, nogle med anvendelsesrestriktioner. Forbudt eller pålagt væsentlige restriktioner.
Desamino diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Deethyl atrazin*	Forbudt	Moderstof: bl.a. Atrazin.
Deethyldeisopropyl atrazin* (DEIA)	Forbudt	Nedbrydningsprodukt, der kan dannes af atrazin, terbuthylazin, simazin mfl.
Deisopropyl atrazin*	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin. Terbuthylazin: Restriktioner i 2003, godkendelse tilbagekaldt ultimo 2008 (EU vurdering), anvendelse forbudt i DK april 2009 pga. risiko for grundvandet.
Deethyl-hydroxy-atrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
Deisopropyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
Didealkyl-hydroxyatrazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstoffer: Atrazin, simazin, terbuthylazin og formentlig andre som cyanazin.
2-hydroxyterbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof: Terbuthylazin: Restriktioner i 2003, godkendelse tilbagekaldt ultimo 2008 (EU vurdering), anvendelse forbudt i DK april 2009 pga. risiko for grundvandet.
Dichlobenil	Forbudt	Forbudt i 1996 af hensyn til grundvandet.
BAM (2,6-Dichlorbenzamid)*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
2,6-Dichlorbenzoesyre*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra dichlobenil.
Dichlorprop	Reguleret	Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet. Begrænset i 1997.
Diketo metribuzin*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra metribuzin.
Glyphosat	Godkendt	Godkendt, anvendt siden 1975.
Hexazinon	Forbudt	Forbudt i 1994 af hensyn til grundvandet.
Mechlorprop	Reguleret	Begrænset i 1997. Anvendelsesrestriktioner af hensyn til grundvandet.
Metribuzin	Forbudt	Forbudt i 2004 af hensyn til grundvandet.
4-nitrophenol*	Forbudt	Nedbrydningsprodukt fra parathion, forbudt i 1990. Kan være urenhed i andre midler og fra industrikemikalier.
Simazin	Forbudt.	Intet salg i Danmark efter 2004. Forbudt i EU 2005 af hensyn til grundvandet.
Trikloredikesyre (TCA)	Forbudt	Udfaset i Danmark (intet salg efter 1988) af hensyn

Pesticid/nedbrydningsprodukt*	Status	Bemærkning
		til grundvandet.
CYPM ^{nyt*}	Godkendt	Moderstof azoxystrobin, anvendt siden 1998.
Picolinafen ^{nyt}	Godkendt	Anvendt siden 2007.
CL153815 ^{nyt*}	Godkendt	Moderstof Picolinafen, anvendt siden 2007.
2-hydroxy-deethyl terbuthylazin ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof terbuthylazin.
PPU ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof rimsulfuron, solgt i små mængder 2001 til 2010.
PPU desamino, ^{nyt*}	Forbudt	Moderstof rimsulfuron, solgt i små mængder 2001 til 2010.

Tabel 9. Administrativ status pr. 1. aug. 2014 for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der analyseres i grundvandsovervågningen (GRUMO). Nedbrydningsprodukter er markeret med *. I alt 10 nye pesticider og nedbrydningsprodukter analyseret i 2011-2013 er mærket med ^{nyt}. Den administrative status for nedbrydningsprodukter gælder moderstoffet. # 4-CCP og 2,6-DCPP kan være nedbrydningsprodukter eller urenheder fra phenoxysyrer som dichlorprop, mechlorprop og andre phenoxysyrer. 4-nitrophenol er både et nedbrydningsprodukt og industrikemikalie og kan derfor ikke alene relateres til pesticidanvendelse, såfremt stoffet findes under industriområder.

Tilstand, grundvandsovervågning

Tabel 10 og Figur 29 viser, at der i 2013 blev fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i ca. 37 % af de undersøgte indtag, og kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet i ca. 10 %. Der var en lidt lavere fundandel i forhold til de sidste par år, som bl.a. skyldes, at der som led i udbygningen af stationsnettet er flere nye indtag fra dybere niveauer i grundvandet end i de sidste par år, se kap 2, Figur 7. Antallet af fund af de 10 nye stoffer i analyseprogrammet (2011-13) er ofte lavt, og stofferne optræder i indtag, hvor der allerede er andre fund af "gamle kendte" stoffer. Introduktionen af de 10 nye stoffer ændrer således ikke det generelle billede af stort set konstante fundprocenter for perioden 2007-13.

Det stigende antal fund af pesticider i grundvandsovervågningen i perioden frem til 1998, (Thorling mfl., 2012 og 2013) afspejler det forhold, at grundvandet i denne periode er blevet analyseret for stadig flere pesticider og nedbrydningsprodukter, hvilket også er tilfældet efter 2004, hvor analyseprogrammet dels medtager metribuzins nedbrydningsprodukter, og dels at andelen af indtag i højtliggende og mere påvirket grundvand forøges.

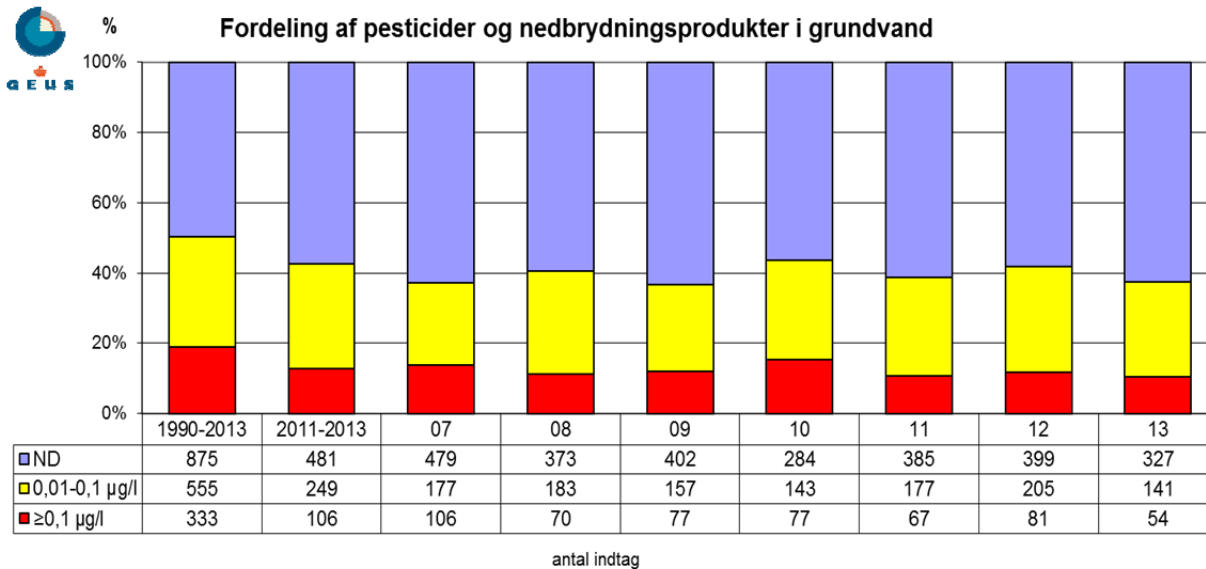
Pesticiderne og deres nedbrydningsprodukter kan bl.a. nedvaskes til grundvandet, når overskudsnedbør infiltrerer sammen med andre opløste stoffer fra de øvre jordlag. Et samspil mellem geologiske, hydrauliske, topografiske forhold og kraftige regnhændelser på udbringningstidspunktet kan betyde, at pesticiderne kan forekomme som pulser/fronter, der med grundvandet bevæger sig gennem grundvandsmagasinerne og i kortere eller længere periode påvirker de enkelte grundvandsmoniteringsindtag. Samtidig varierer forbrugsmønsteret af pesticider i et opland fra år til år. Dette betyder, at man ikke altid genfinder de samme pesticider eller nedbrydningsprodukter i de samme indtag fra år til år. De enkelte pesticider har meget forskellige fysisk-kemiske egenskaber, hvorfor de nedbrydes og tilbageholdes forskelligt i rodzonen og i de underliggende sedimentter, der udgør grundvandsmagasinerne. Nedbrydningsproduktet BAM, der er nedbrydes meget langsomt, genfindes ofte. Modsat gælder at andre stoffer, der i højere grad omsættes eller bindes, kun findes én enkelt eller få gange i samme indtag.

Tabel 10 og Figur 29 viser en kumulativ opgørelse over hele overvågningsperioden (1990-2013), der illustrerer, at der er fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i ca. 50 % af de 1.763 undersøgte indtag, hvoraf der i knap 20 % af indtagene var en overskridelse af kvalitetskravet 0,1 µg/l en eller flere gange. Opgørelsen viser, hvor stor en andel af indtagene, der er sårbare overfor de påviste pesticider. Fund af forbudte pesticider i en boring er ikke ensbetydende med, at nuværende regelrette anvendelse af godkendte pesticider kan forurene boringen.

GRUMO	Analysér	Antal indtag			Andel indtag med fund (%)		
	Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
2013	554	522	141	54	27,0	10,3	37,4
2012	691	685	205	81	29,9	11,8	41,8
2011	638	629	177	67	28,1	10,7	38,8
2010	506	504	143	77	28,4	15,3	43,7
2011-2013	1.882	836	249	106	29,8	12,7	42,5
1990-2013	16.480	1.763	555	333	31,5	18,9	50,4

Tabel 10. Pesticidfund i grundvandsovervågningen vist som hhv. antal og procentvis fordeling af analyserede indtag, opdelt på fund over og under kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Der er medtaget oplysninger om perioderne 2011-2013, hvor samme analyseprogram har været anvendt i hele perioden, den samlede periode 1990-2013 samt for de enkelte år, 2010, 2011, 2012 og 2013. Datasættene fra perioden 2011-13 er baseret på et analyseprogram, der omfatter 31 stoffer mod 21 stoffer i 2009-2010. De kumulative opgørelser for hele perioden, og for delperioden 2011-2013 viser, hvor stor en del af det overvågede grundvand, der er påvirket af denne forureningstype. Resultaterne for de enkelte år afhænger af hvilke indtag, der indgår det pågældende år, da ikke alle indtag prøvetages hver år.

Tabel 10 og Figur 29 viser også, at der i de tre seneste år (2011-2013), hvor der er analyseret for 31 stoffer (Tabel 9), på et eller andet tidspunkt er fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter i 43 % af de 836 undersøgte indtag, hvoraf kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 13 % af indtagene.



Figur 29. Pesticider i grundvand fra GRUMO vist som andel indtag med fund. De to første viser kumulative opgørelser for andel indtag med fund i perioderne hhv. 1990-2013 og 2011-2013. Andel indtag med fund de enkelte år i perioden 2007-2013 fremgår af de øvrige søjler. Resultaterne er på indtagniveau og opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1$ µg/l, $[0,01-0,1[$ µg/l, samt ND (under detektionsgrænsen typisk $< 0,01$ µg/l). Antal indtag i hver kategori er anført under de enkelte år og perioder.

10 "nye" stoffer i analyseprogrammet

Der er i 2011- 2013 undersøgt for 10 "nye" stoffer, der ikke tidligere har indgået i analyseprogrammet for GRUMO. Disse stoffer omfatter såvel gamle, forbudte stoffer samt relativt nyligt godkendte stoffer. Stofferne og deres administrative status 2011-2013 fremgår af Tabel 11, mens bilag 4 og 5 viser henholdsvis data fra 2013 og hele overvågningsperioden 1990 -2013.

Tabel 11 viser andel indtag med fund af de 10 stoffer for perioden 2011-2013. Tabel 11 viser, at de tre hyppigst fundne "nye" stoffer i 2011-2013 er nedbrydningsprodukter fra i dag forbudte triaziner, fx atrazin. To af stofferne har også fund over kvalitetskravet. Af disse er didealkylhydroxy-atrazin påvist i 7,4 % af de undersøgte indtag i 2011-2013 (0,8 % $\geq 0,1$ µg/l). Deisopropyl-hydroxyatrazin blev påvist i 4,1 % af indtagene (0,1 % $\geq 0,1$ µg/l).

Triazin nedbrydningsproduktet, 2-hydroxyterbutylazin, blev påvist i to indtag, begge gange under kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

Fire stoffer: 2-hydroxydesethylterbutylazin, CYPM (nedbrydningsprodukt fra azoxystrobin), det godkendte stof picolinafen og picolinafens nedbrydningsprodukt CI153815, er påvist én til to gange i koncentrationer under kvalitetskravet.

Nedbrydningsproduktet PPU, fra det forbudte pesticid, rimsulfuron, er påvist i syv ud af 834 undersøgte indtag svarede til 0,8 %, I alle tilfælde dog under kvalitetskravet. Et andet nedbrydningsprodukt fra rimsulfuron, PPU-desamino, var det eneste stof, der ikke blev påvist i nogen af prøverne i 2011-2013.

10 nye stoffer i 2011-2013	Status	Analyser	Antal indtag			Andel i %		
		Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
Deethyl-hydroxyatrazin*	forbudt	1.851	835	14	0	1,7	0,0	1,7
Deisopropyl-hydroxyatrazin*	forbudt	1.851	835	33	1	4,0	0,1	4,1
Didealkyl-hydroxyatrazin*	forbudt	1.851	835	55	7	6,6	0,8	7,4
2-hydroxyterbuthylazin*	forbudt	1.844	834	2	0	0,2	0,0	0,2
CyPM* (Azoxystrobin)	godkendt	1.844	834	1	0	0,1	0,0	0,1
Picolinafen	godkendt	1.844	834	1	0	0,1	0,0	0,1
CH53815* (Picolinafen)	godkendt	1.844	834	1	0	0,1	0,0	0,1
2-hydroxydesethylterbutylazine*	forbudt	1.844	834	2	0	0,2	0,0	0,2
PPU (rimsulfuron)*	forbudt	1.844	834	7	0	0,8	0,0	0,8
PPU-desamino* (rimsulfuron)	forbudt	1.844	834	0	0	0,0	0,0	0,0

Tabel 11. GRUMO. 10 nye stoffer i perioden 2011-2013. Der er i analyseperioden optalt antal analyser, antal indtag analyseret, indtag med fund i koncentrationsintervallerne 0,01-0,1 µg/l og ≥ 0,1 µg/l. * Stoffet er et nedbrydnings-produkt. Navne i (parentes) er moderstof til nedbrydnings-produktet, se Tabel 9.

Tabel 12 viser, at der er påvist mindst ét de 10 "nye" stoffer i ca. 11 % af de analyserede indtag i perioden 2011-2013, mens 0,8 % af de analyserede indtag overskred kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Af Tabel 11 fremgår, at særligt tre triazinnedbrydningsprodukter findes hyppigt, mens de øvrige stoffer alle er påvist i under 1 % af indtagene.

Triazin-nedbrydningsprodukterne, der ikke tidligere har indgået i programmet, har samme moderstoffer som mange andre triazinnedbrydningsprodukter fra de hidtidige analyseprogrammer. Derfor forekommer de sandsynligvis også hovedsageligt i de indtag, hvor der tidligere er fundet andre pesticider. Dette betyder, at andelen af indtag med fund af pesticider i 2011-2013 ikke er steget i forhold til tidligere monitoringsår, se Figur 29.

10 nye stoffer 2011- 2013	Analyser	Antal indtag			Andel indtag med fund i %		
	Antal	i alt	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	i alt
10 "nye" stoffer	1.851	835	82	7	9,8	0,8	10,7
Alle 31 stoffer 2011-2013	1.882	836	249	106	29,8	12,7	42,5

Tabel 12. GRUMO. Kumulativ opgørelse for 2011-2013 for de 10 nye stoffer. Tabellen viser samtidigt fund af alle de 31 analyserede pesticider i samme periode. De 10 stoffer er en delmængde af disse 31 stoffer.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer

Fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer er opgjort for perioden 2007-2013 samt for hvert enkelt år i samme periode, med udgangspunkt i den administrative status for stofferne i Tabel 9. I perioden er analyseprogrammet ændret, således der nu også analyseres for en række ekstra nedbrydningsprodukter fra såvel forbudte som godkendte pesticider. Fordelingen er ikke undersøgt i perioden før 2007, dels fordi analyseprogrammet ændres gennem tid med hensyn til prøvetagningsstrategi og antal stoffer, dels fordi en række pesticider løbende er fjernet fra markedet, og derfor ikke vil have samme administrative status i perioden. Det er således ikke muligt at gennemføre en meningsfuld sammenligning for perioden før 2007.

De godkendte og de regulerede pesticider anvendes stadig, mens forbudte pesticider ikke længere er i handlen. De regulerede er i denne sammenhæng stoffer, hvor der af hensyn til beskyttelsen af grundvandet er indført begrænsninger på anvendelsen efter den oprindelige godkendelse. Som det fremgår af Tabel 9 kan to nedbrydningsprodukter stamme fra såvel regulerede som forbudte pesticider. Disse er medtaget som regulerede stoffer.

2011-2013	Indtag			% af antal indtag			
	Antal	≥ 0,01 µg/l	≥ 0,1 µg/l	ND	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	Alle fund
Forbudte stoffer	836	326	90	61,0	28,2	10,8	39,0
Regulerede stoffer	836	49	15	94,1	4,1	1,8	5,9
Godkendte stoffer	835	17	5	98,0	1,4	0,6	2,0

Tabel 13. GRUMO: Fordelingen af fund i tre koncentrationsniveauer for perioden 2011-2013 opdelt på godkendte, regulerede og forbudte pesticider. Et indtag kan godt indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor godt optræde i flere af de tre kategorier. ND under detektionsgrænsen typisk, < 0,01 µg/l. Tabel 9 viser hvilke stoffer, der er godkendte, regulerede eller forbudte pr. 1 aug. 2014.

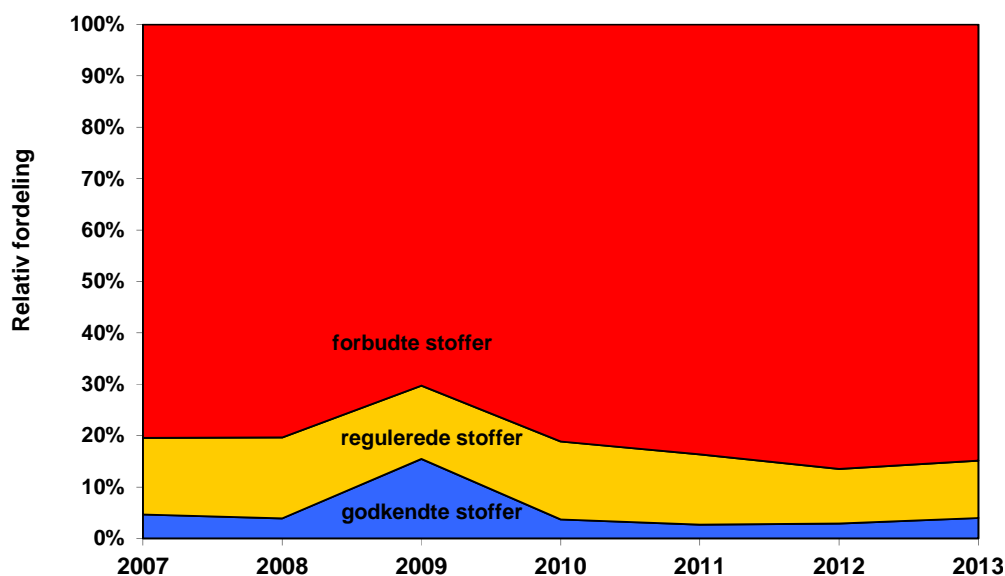
Tabel 13 viser, at der blev fundet godkendte pesticider eller nedbrydningsprodukter fra disse i 2011-2013 i 2 % af de analyserede indtag, mens kvalitetskravet på 0,1 µg/l var overskredet i 0,6 % af indtagene. Et indtag kan godt indeholde såvel forbudte som regulerede stoffer, og det enkelte indtag kan derfor godt optræde i flere af de tre kategorier.

De regulerede stoffer blev i perioden 2011-2013 fundet i ca. 6 % af de analyserede indtag, mens kvalitetskravet var overskredet i 1,8 %. Da mere end 75 % af det overvågede grundvand med kendt alder er ældre end 15 år (se kapitel 4, Figur 11) vil mange fund af de regulerede stoffer i grundvandet kunne stamme fra anvendelse af moderstofferne, før disse blev reguleret. Det fremgår af Tabel 13, at de forbudte pesticider, og nedbrydningsprodukter fra disse, er fundet langt hyppigere end de regulerede og godkendte pesticider, og at de forbudte pesticider er fundet i 39 % af indtagene, med en overskridelse af kvalitetskravet i 11 %.

Tabel 14 viser - opdelt på tilladte, regulerede stoffer og forbudte stoffer - fund og andelen af analyser, der overskrider kvalitetskravet opdelt på de enkelte år i perioden 2007-2013. Opgørelsen er baseret på analyser pr. år, fordi der kun i enkelte tilfælde i denne periode er udtaget mere end en vandprøve pr. år fra indtagene.

År		Antal Analyser			%		
		i alt	≥0,01 µg	≥ 0,1 µg	≥0,01 µg	0,01 - 0,1	≥0,1
Godkendte stoffer	2007	800	15	5	1,9	1,3	0,6
	2008	703	12	2	1,7	1,4	0,3
	2009	639	41	12	6,4	4,5	1,9
	2010	509	9	3	1,8	1,2	0,6
	2011	638	7	2	1,1	0,8	0,3
	2012	691	9	2	1,3	1,0	0,3
	2013	514	8	1	1,6	1,4	0,2
Regulerede stoffer	2007	802	48	16	6,0	4,0	2,0
	2008	709	49	14	6,9	4,9	2,0
	2009	641	38	14	5,9	3,7	2,2
	2010	509	37	16	7,3	4,1	3,1
	2011	639	36	12	5,6	3,8	1,9
	2012	691	33	9	4,8	3,5	1,3
	2013	514	23	10	4,5	2,5	1,9
Forbudte stoffer	2007	803	260	96	32,4	20,4	12,0
	2008	709	250	67	35,3	25,8	9,4
	2009	641	187	55	29,2	20,6	8,6
	2010	509	198	64	38,9	26,3	12,6
	2011	639	222	56	34,7	26,0	8,8
	2012	691	270	71	39,1	28,8	10,3
	2013	514	176	45	34,2	25,5	8,8

Tabel 14. Fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte stoffer i grundvandsovervågningen for perioden 2007-2013. Der er anvendt samme analyseprogram i hhv. 2007-2010 og 2011-2013. Den administrative status for stofferne fremgår af Tabel 9.



Figur 30. Relativ fordeling af fund af godkendte, regulerede og forbudte pesticider og nedbrydningsprodukter fra disse i perioden 2007-2013, beregnet som andel analyser med fund pr. år for de tre stofgrupper, se Tabel 14. Den administrative status pr. 1. aug 2014 ses i Tabel 9.

Figur 30 viser den relative fordeling af andel fund for godkendte, regulerede og forbudte stoffer pr. år i 2007-2013. Det ses, at et ellers stabilt kurveforløb løftes af relativt mange fund af glyphosat og AMPA i 2009, se også Tabel 15. En udredning gennemført i 2009-2010 kunne ikke fastslå, årsagen til de særligt mange fund i 2009.

Dybdeafhængighed for pesticider, GRUMO

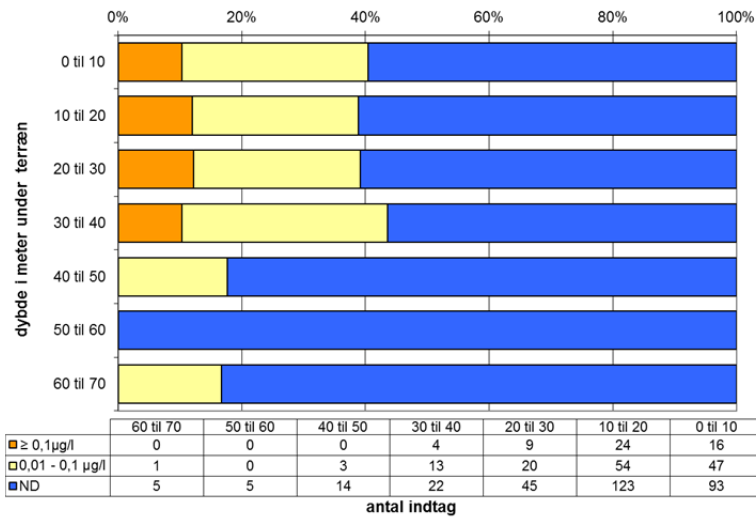
Figur 31 viser fordelingen af pesticider og nedbrydningsprodukter mod dybden udtrykt ved top af indtag. Der er kun set på indtag med en dybde indtil 70 m u.t for at sikre et tilstrækkeligt antal observationer i hvert dybdeinterval. Den øverste figur viser indtag prøvetaget i 2013. I midten er vist den kumulative status for perioden 2011-2013, hvor alle aktive indtag er analyseret mindst én gang. Den nederste figur viser den kumulative opgørelse for den samlede overvågningsperiode 1990-2013.

Figur 31 viser, at alle overskridelser af kvalitetskravet på 0,1 µg/l i 2013 optræder ned til 40 m u.t., og at der er fundet pesticider i koncentrationer over 0,01 µg/l i ca. 40 % af de undersøgte indtag ned til 40 m u.t. I 2013 er der ikke fundet så mange pesticider og nedbrydningsprodukter i dybere niveauer af magasinerne, hvilket bl.a. skyldes, at antallet af analyserede indtag i disse dybder er lavt.

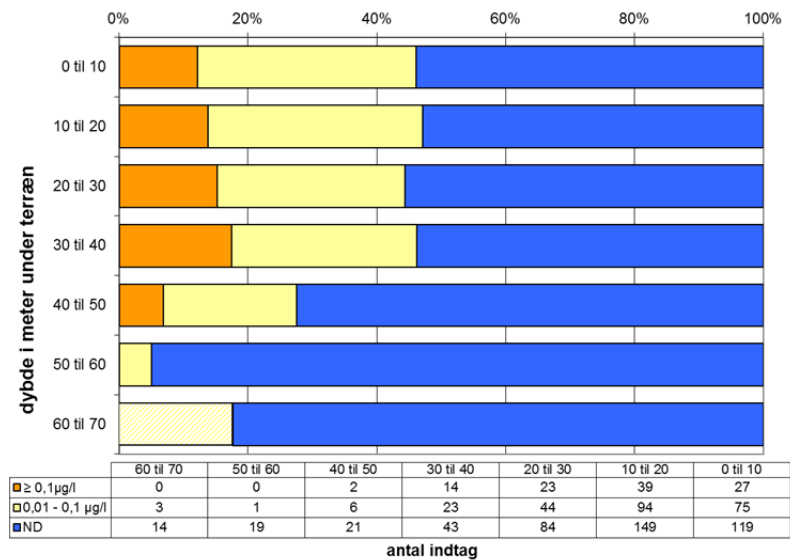
I perioden 2011-2013 ligger hyppigheden af pesticidfund omkring 45 % i intervallet 0-40 m u.t., herunder falder andelen af indtag med fund. I de øverste 40 m ses en tendes til, andelen af indtag med pesticidindhold over kvalitetskravet stiger med dybden. Dette mønster kan tyde på, at koncentrationerne er faldende for de pesticider og nedbrydningsprodukter, der udvaskes fra overfladen, se også Figur 32.

Den kumulative dybdemæssige fordeling fra hele overvågningsperioden 1990-2013 viser, at der er fundet pesticider eller nedbrydningsprodukter mindst én gang i næsten 60 % af indtagene i dybdeintervallet 0-20 m u.t., og at kvalitetskravet er overskredet i ca. 25 % af indtagene i dette dybdeinterval. Antallet af fund aftager med dybden til ca. 25 % i intervallet 60-70 m u.t., hvor der er fundet ca. 5 % indtag med mindst én overskridelse af kvalitetskravet. Der er også fundet pesticider i større dybder. Data fra hele perioden viser samlet set, at det mest sårbare grundvand ligger tættest ved terræn.

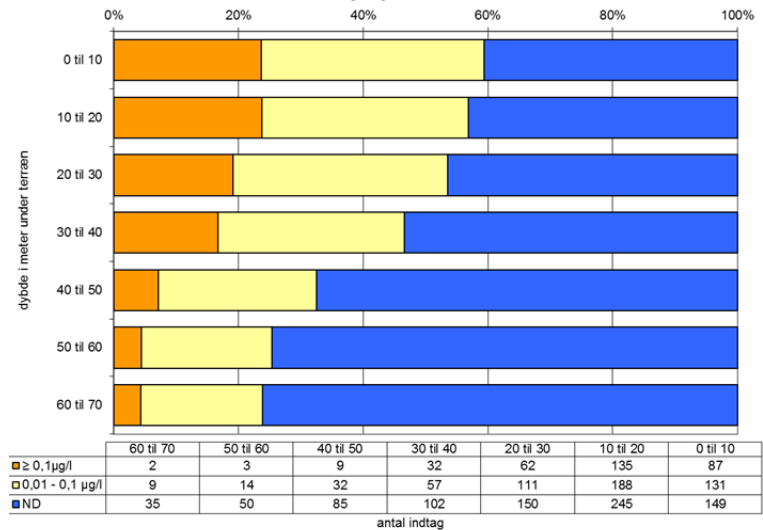
Dybdemæssig fordeling af pesticider og metabolitter
Grundvandsovervågning 2013



Grundvandsovervågning 2011 til 2013



Grundvandsovervågning 1990 til 2013



Figur 31. Dybdefordeling af pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO. De tre figurer viser: dybde fra terræn til top af indtag i 2013, i indeværende programperiode (2011-2013) samt i hele overvågningsperioden (1990-2013). Antal fund på indtagsniveau er vist i tabellerne under figurerne opdelt på tre koncentrationsniveauer: ND: ingen fund/ under detektionsgrænsen-typisk 0,01 µg/l; 0,01-0,1 µg/l og $\geq 0,1\mu\text{g/l}$. Antallet af analyserede indtag i 2013 og 2011-2013 er lavt i indtag under 50 m u.t.

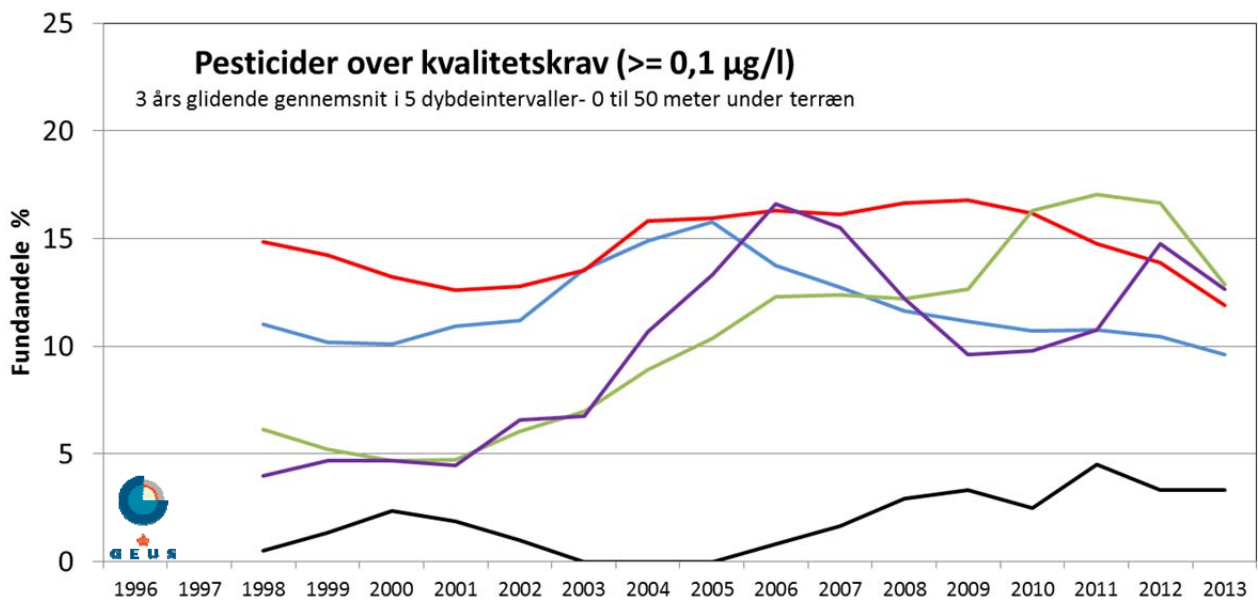
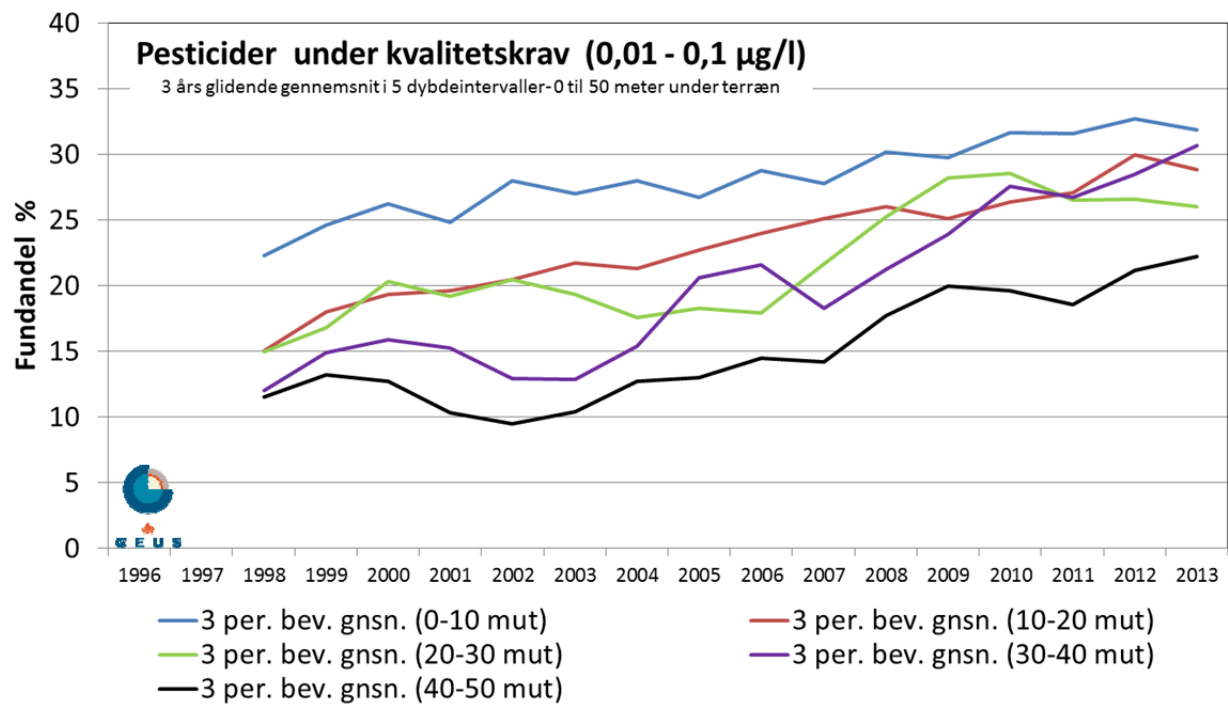
Figur 32 viser udviklingen af fundandele i fem dybdeintervaller for pesticider og nedbrydningsprodukter under og over kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Figur 32 øverst viser, at fundandelene for koncentrationer under kvalitetskravet stiger i alle fem dybdeintervaller gennem hele perioden.

Figur 32 nederst viser, at fundandelene over kvalitetskravet har udviklingstendenser, der går fra stigende til faldende, således at der først i det øverste interval fra ca. 2003 er et skrift fra stigende til faldende, hvorefter et skrift i udviklingstendensen indtræffer omkring 2008-2009 i intervallet 10-20 m u.t. Endeligt i det næste underliggende interval 20-30 m u.t. stiger fundandelene over kvalitetskravet frem til ca. 2012, og en optimistisk vurdering af resultaterne i 2013 kan være, at stigningen er ophørt også i dette dybdeinterval. Varierende andele af koncentrationer i intervallet 30-40 m.u.t gør det vanskeligt at vurdere, om der er en ændret påvirkningsgrad i denne dybde, og endeligt er der en fortsat generelt stigende tendens i det dybeste interval, der er medtaget her i 40-50 m u.t.

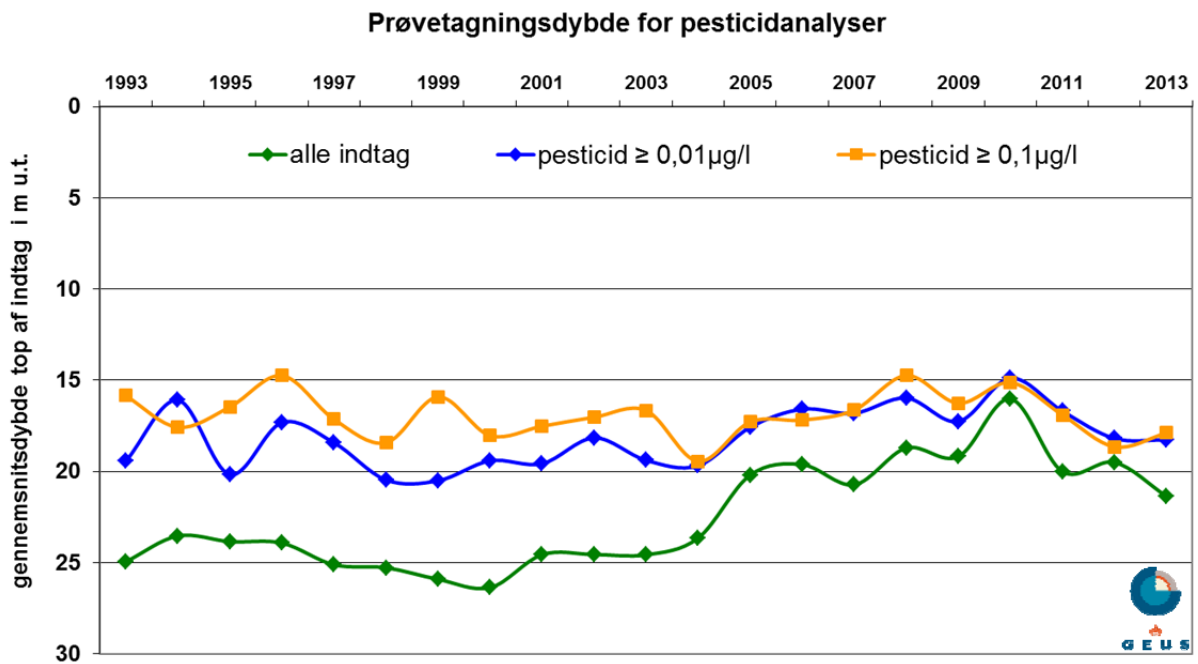
Dette mønster antyder, som før nævnt, at andelen af fund over kvalitetskravet falder i det øverste grundvand, hvilket kan betyde, at den samlede udvaskning af pesticider er ved at blive mindre, målt i andel indtag med koncentrationer større end 0,1µg/l. Det ses samtidig, at der gennem perioden er en stigende hyppighed af indtag med pesticider i koncentrationer, der er mindre end kvalitetskravet.

Dette viser, at en større del af grundvandet indeholder pesticider, men overvejende i koncentrationer under kvalitetskravet. Overvågningen er over tid i højere grad målrettet den mest sårbare del af grundvandet. Dette betyder, at man kunne forvente en stigende andel af pesticidfund for såvel høje koncentrationer som lave koncentrationer i det øverste grundvand, når overvågningen i højere grad målrettes den mest sårbare del af grundvandet. Dette ses ikke.

Figur 33 viser, hvordan udviklingen i den gennemsnitlige prøvetagningsdybde er ændret i perioden 1993 til 2013 for alle indtag, for indtag med fund og for indtag med fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$. Formålet med figuren er at vise, hvilken effekt den tidligere nævnte ændring i prøvetagningsstrategi, har haft på prøvetagningsdybden, se også kapitel 2, Figur 5. Det fremgår, at den gennemsnitlige dybde til toppen af indtagene er faldet fra 2003-2009, men også at den gennemsnitlige indtagsdybde er steget igen i 2011-13, hvilket er i overensstemmelse med inddragelse af nye dybere indtag i stationsnettet.



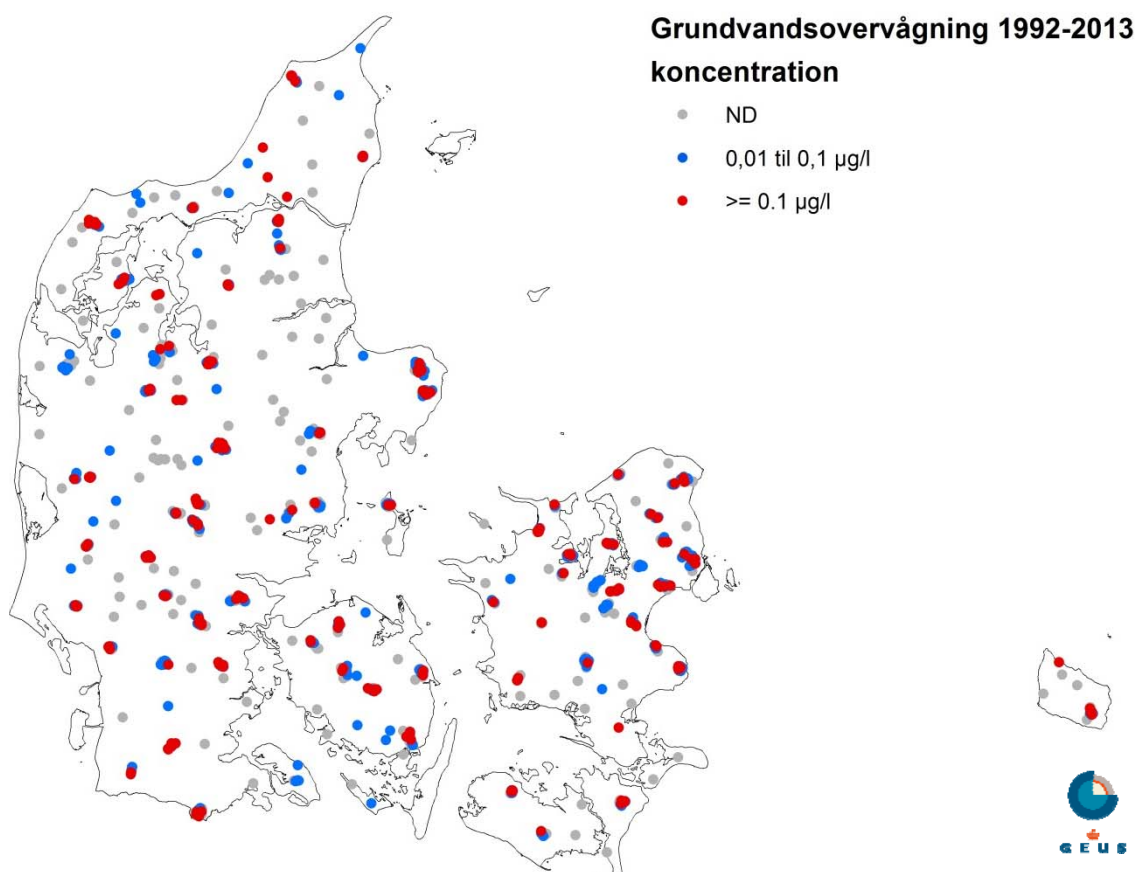
Figur 32. Tre års glidende gennemsnit (3 per. bev. gnsn.) i fem forskellige dybder for pesticider og nedbrydningsprodukter fra GRUMO i perioden 1996-2013. Øverst udviklingen for pesticider og nedbrydningsprodukter i koncentrationsintervallet 0,01-0,1µg/l, dvs. under kvalitetskravet. Nederst udviklingen for pesticider fundet i koncentrationer $\geq 0,1\mu\text{g/l}$, dvs. over kvalitetskravet.



Figur 33. Udvikling i gennemsnitlig dybde til "top af indtag" i monitoringsperioden 1993-2013. Gennemsnittet er beregnet som gennemsnit til top indtag pr. år for alle pesticidanalyser pr. år. Udviklingen vist for alle prøvetagede indtag, indtag med fund $\geq 0,01\mu\text{g/l}$ og fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$.

Geografisk fordeling pesticider, grundvandsovervågning

Figur 34 viser den geografiske fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i GRUMO-indtag med den højst målte koncentration i hele monitoringsperioden for hvert indtag. Kortet viser, at der er fundet pesticider jævnt fordelt i hele landet. Som det fremgår af Figur 31, er det især i det øvre grundvand, hvor der optræder fund. Da ikke alle indtag overvåges hvert år, er der ikke vist et kort for alene 2013. Kortet viser, at der ikke er nogen markant geografisk forskel på hvor i Danmark, der kan findes pesticider.



Figur 34. Geografisk fordeling af pesticidindholdet i grundvandet opdelt på tre koncentrationsniveauer: Ingen fund(ND)-under detektionsgrænsen-typisk 0,01 µg/l; 0,01-0,1 µg/l og på $\geq 0,1$ µg/l fra grundvandsovervågningsindtag i hele overvågningsperioden 1992-2013. Den største værdi i hele perioden er vist for hvert indtag.

Screening for metalaxyl-M efterår 2013.

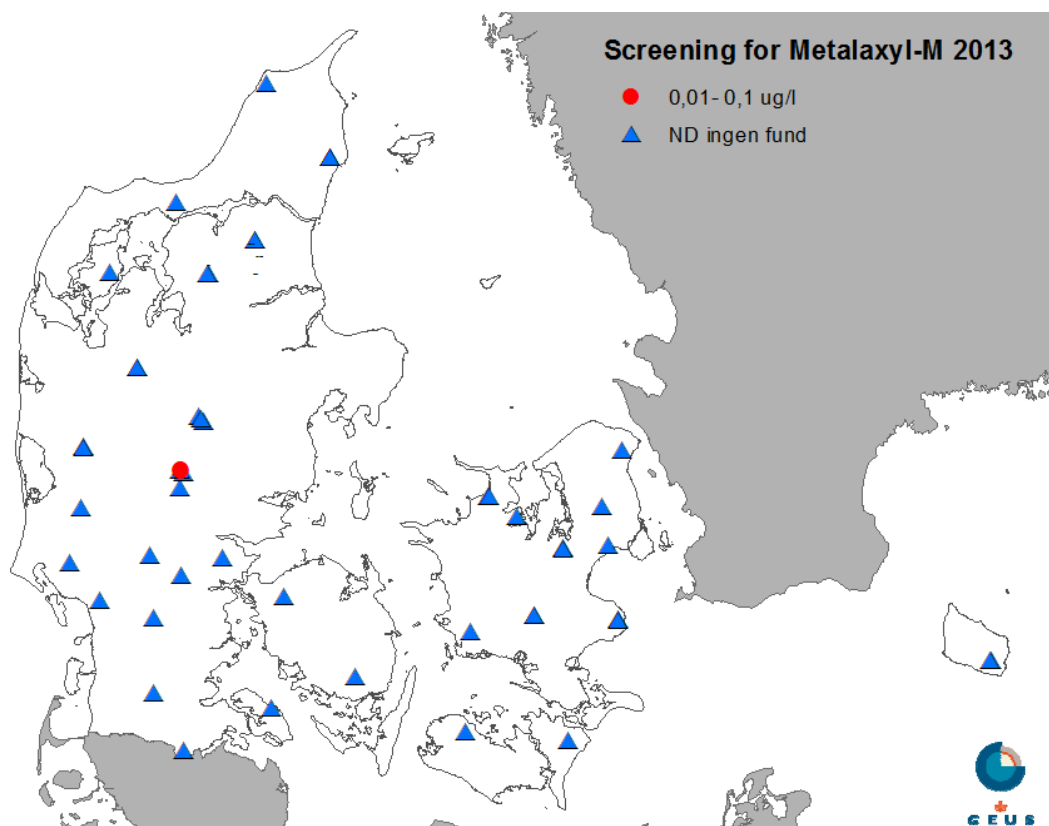
I efteråret 2013 blev der i 49 indtag fordelt over hele landet gennemført en screeningsundersøgelse for metalaxyl-M og to af dets nedbrydningsprodukter (CGA 108906 og CGA 62826). Denne screening blev iværksat, da data fra VAP viste, at disse stoffer kan udvaskes til grundvandet (se VAP hjemmesiden).

Metalaxyl-M har især været anvendt i forbindelse med dyrkning af kartofler. For at undersøge om stofferne optræder i andre dele af landet, blev screeningen tilrettelagt således, at der så vidt muligt ikke skulle være dyrket kartofler i oplandet til de indtag, der indgik i screeningen. Ved udvælgelsen af indtag til screeningen blev der prioriteret indtag fordelt over hele Dan-

mark, med indtag med en gennemsnitsdybde på 13 m u.t. og ikke dybere end 40 m u.t samt indtag, hvor dateringer viser opholdstider på max. 25 år.

Resultatet af screeningen resulterede i ét indtag med fund af Metalaxyl på 0,024 µg/l og CGA 62826 på 0,04 µg/l. Det viste sig efterfølgende, at der faktisk blev dyrket kartofler i oplandet til dette ene indtag.

Stofferne blev ikke påvist i andre indtag. Screeningsundersøgelsen giver derfor ikke anledning til en forventning om, at stoffet optræder andre steder i grundvandet end i områder med kartoffelavl. I det ene indtag med fund var ingen af stofferne tilstede i koncentrationer over kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Resultaterne herfra bidrager til beslutningen om, at stoffet fortsat vil indgå i boringskontrollen i kartoffeldyrkningsområder (MIM, 2014b).



Figur 35. Screeningsresultater for metalaxyl-M og to nedbrydningsprodukter heraf i efterår 2013 i 49 GRUMO indtag. På en lokalitet blev stofferne fundet under kvalitetskravene. Alle andre steder var indholdet under detektionsgrænsen (ND).

Udviklingstendenser, effektindikator for udvalgte stoffer

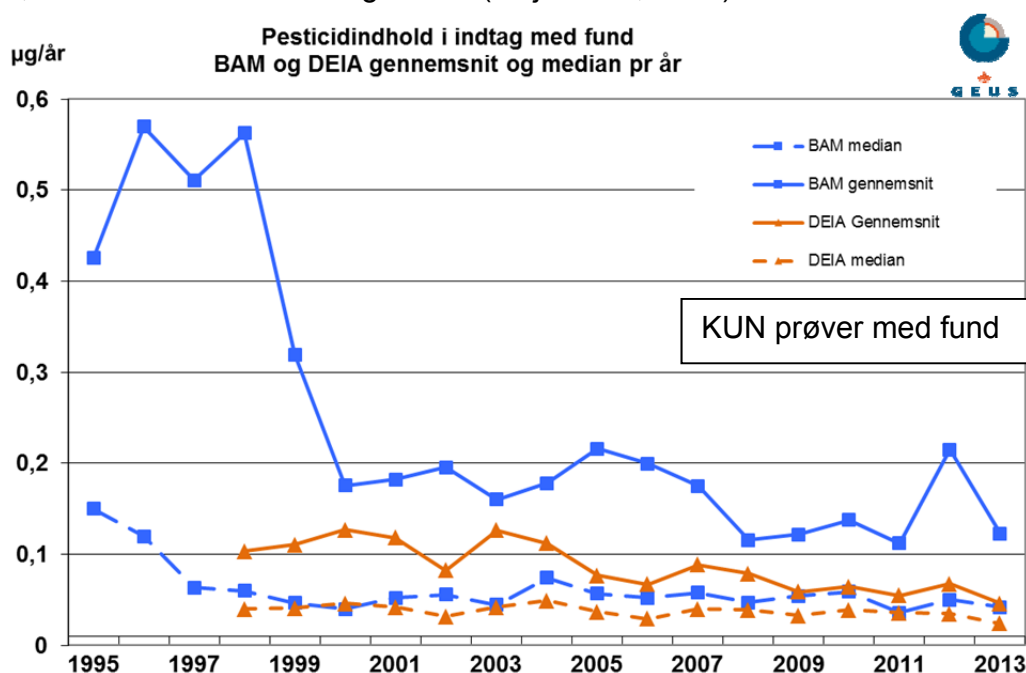
Figur 36, Figur 37 og Figur 38 viser en effektindikator for udviklingstendenser for udvalgte pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet. Der er kun anvendt analyser med koncentrationer > 0,01 µg/l for de seks udvalgte stoffer:

- to nedbrydningsprodukter, BAM og DEIA, hvis moderstoffer er forbudte
- to regulerede pesticider bentazon og dichlorprop
- Det godkendte pesticid glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA.

Analyser uden fund er således ikke medtaget, da formålet er at vurdere, hvorledes udviklingen er for den del af grundvandet, der har pesticidindhold over detektionsgrænsen.

Fundene kan stamme fra forskellige borer og dybder fra år til år. Det skal bemærkes, at repræsentativiteten er lav for de år og stoffer, hvor der er få fund, idet enkelte fund får stor betydning for tidsseriens udseende. Udviklingstendenserne siger ikke noget om det totale indhold eller grundvandets generelle indhold, men viser en tidsmæssig udvikling i koncentration i borer med fund. Tabel 15 viser for hvert stof antal analyser og analyser med fund og uden fund for hvert år.

Figur 36 viser, at gennemsnits- og mediankoncentrationen for analyser med fund af BAM er faldet siden moderstoffet diclobenil blev forbudt i 1996 bortset fra i 2012, hvor der var et enkelt fund med høj koncentration (7,7 µg/l) i et indtag, DGU nr. 238.900, der ikke tidligere er analyseret. Denne boring har 17 indtag, hvor der tidligere er udtaget prøver med fund fra skiftende indtag gennem årene. Alle 17 indtag har indeholdt BAM, men dog i mindre koncentrationer. De mange indtag med fund, og de høje koncentrationer i grundvandet, tyder på, at kilden til disse fund kan være en gårdsplads eller en lignende lokalitet, hvor moderstoffet, dichlobenil, har været anvendt som granulat (Elkjær mfl., 2002).



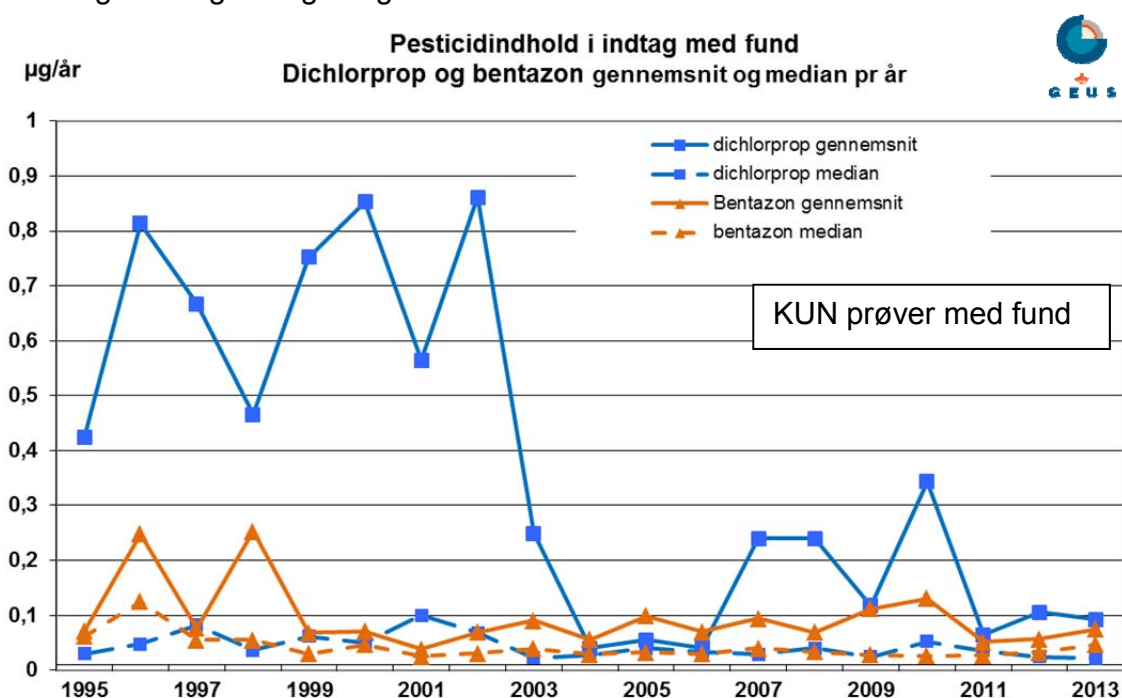
Figur 36. Gennemsnits- og mediankoncentrationer pr. år for analyser med fund af BAM og DEIA, der begge er nedbrydningsprodukter fra i dag forbudte stoffer. Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsovervågningen, mens analyser uden fund er udeladt. Det totale antal analyser med fund pr. år fremgår af Tabel 15.

For DEIA ses et mindre fald i koncentrationen efter ét af moderstofferne, terbuthylazin, blev reguleret i 2003 og forbudt i 2009. Da DEIA kan stamme fra en lang række triaziner, kan man ikke henføre faldet fra omkring 2003 og fremover til enkelte pesticider.

Figur 37 viser udviklingen for to regulerede pesticider i indtag med fund. Dichlorprop er siden 1997 kun anvendt i meget små mængder sammenholdt med det tidligere forbrug. Data fra et

enkelt opland i København er udeladt, da stofferne er fundet i meget høje koncentrationer. Dichlorprop's fundhyppighed i grundvand har gennem de senere år været faldende, og den lille stigning i 2012 i gennemsnitskoncentrationen skyldes et enkelt fund i St. Fuglede i Vest-Sjælland på 0,77 µg/l. I dette indtag er stoffet gennem de sidste dekader fundet i meget høje, men med aftagende koncentrationer, hvilket tyder på oprindelse fra en punktkilde (Tuxen, 2013).

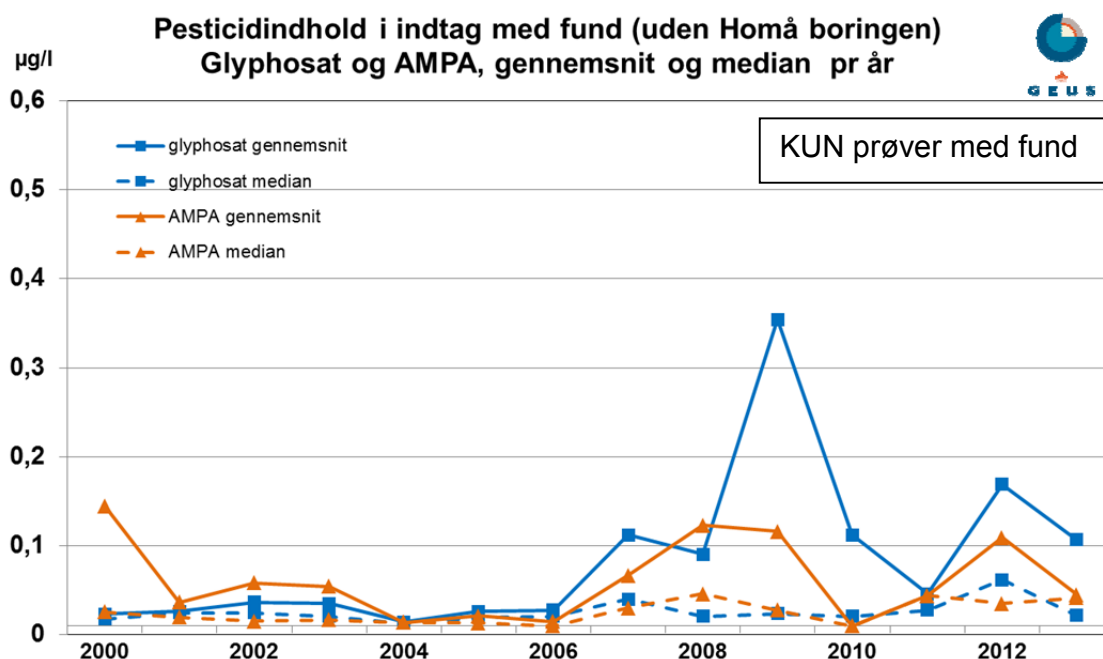
Bentazon blev reguleret i 1995-97. Dette reflekteres ikke i data, hvor der har været en fluktuerende gennemsnitskoncentration siden 1999. Forskellen på median- og gennemsnitskoncentration peger på, at der optræder enkelte høje koncentrationer samtidig med mange fund under kvalitetskravet (Christensen, 2013). Da dateringerne viser, at grundvandet i mange indtag er dannet før det tidspunkt reguleringen fandt sted, vil man vanskeligt kunne identificere eventuelle virkninger af reguleringen i grundvandet.



Figur 37. Gennemsnits- og mediankoncentrationer pr. år for dichlorprop og bentazon, der begge er regulerede aktivstoffer. Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsovervågningen. Analyser uden fund er udeladt. I figuren indgår heller ikke en række analyser af dichlorprop fra indtag under Nørrebroparken med høje koncentrationer, som formodentlig skyldes uheld eller behandling af befæstede arealer. Antal analyser og antal analyser med fund pr. år fremgår af Tabel 15.

Figur 38 viser udviklingen for glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, – uden fund fra to indtag i overvågningsboring DGU nr. 71.483, hvor der er rejst tvivl om de tekniske forhold, se Thorling et al, 2013. Der var syv fund af AMPA i 2012, heraf to over kvalitetskravet, mens glyphosat blev fundet i seks indtag, heraf to over kvalitetskravet på 0,1 µg/l, se Tabel 15. I begge disse indtag var stofferne tidligere påvist. Figur 38 viser fluktuerende koncentrationer omkring og under kvalitetskravet. Der er tale om meget få analyser med fund, se Tabel 15, og kurveforløbene er derfor ikke repræsentative for grundvandet som sådan. Figuren kan derfor

ikke anvendes til at vurdere det generelle udviklingsforløb i grundvandet for tilladte stoffer herunder glyphosat.



Figur 38. Gennemsnits- og mediankoncentrationer pr. år for analyser med fund for glyphosat og glyphosats nedbrydningsprodukt AMPA. Glyphosat er godkendt uden særlig regulering. Figuren viser ikke fund fra to indtag, i DGU 71.483. Alle koncentrationer er beregnet på grundlag af analyser med fund fra grundvandsover-vågningen. Analyser uden fund er udeladt. Se også Tabel 15.

Tabel 15 viser forekomsten af de seks udvalgte stoffer i perioden 1999-2013. Den samlede fundandel og fundandel større end 0,1 µg/l er vist, sammen med antal analyser, analyser > 0,01 µg/l (fund) og antal analyser med fund $\geq 0,1$ µg/l. Udviklingen i fundandelene er påvirket af, at der indgår stadig flere terrænnære indtag, og dermed mere sårbart vand frem til 2012, mens der i 2013, også blev inddraget flere dybere indtag i overvågningen, se også kapitel 2, Figur 7. Dette betyder, som før nævnt, at tidsserierne ikke kan give et repræsentativt og dækkende billede af grundvandets tilstand, dels fordi det ikke er de samme indtag, der er prøvetaget hvert år, dels fordi antallet af analyser med fund er lavt.

BAM kan findes i mange indtag, selv om det efterhånden er mere end 15 år siden moderstoffet, dichlobenil, blev forbudt på det danske marked. Ud fra stoffernes kemiske egenskaber kan det forventes, at der stadig er bundet en betydelig pulje af BAM og dichlobenil i rodzonen, som langsomt omdannes og udvaskes. Da grundvandets opholdstid er over 15 år i hovedparten af indtagene, kan mange fund stamme fra udvaskning i anvendelsesperioden, se kapitel 4.

DEIA forekommer i stadig flere indtag, hvilket kan skyldes, at stoffet kan stamme fra nedbrydning af en lang række i dag forbudte triaziner, hvoraf et (terbuthylazin) først for nyligt er taget af markedet. Af nedbrydningsprodukter ud over DEIA bliver der nu også hyppigt fundet didealkylhydroxyatrazin, der optræder i ca. 8% af indtagene.

GRUMO analyser		1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
BAM	Antal	113	430	527	830	833	853	801	798	795	644	828	860	800	709	641	509	639	691	514
	Med fund	27	70	94	130	126	123	124	105	116	93	120	147	125	127	110	103	121	119	87
	≥0,1	15	37	36	43	32	30	35	35	39	40	42	53	47	39	33	37	30	40	25
	Andel fund	23,9	16,3	17,8	15,7	15,1	14,4	15,5	13,2	14,6	14,4	14,5	17,1	15,6	17,9	17,2	20,2	18,9	17,2	16,9
	Andel ≥0,1	13,3	8,6	6,8	5,2	3,8	3,5	4,4	4,4	4,9	6,2	5,1	6,2	5,9	5,5	5,1	7,3	4,7	5,8	4,9
DEIA	Antal				166	626	823	776	785	762	625	811	847	800	704	640	509	638	691	514
	Med fund				13	29	32	47	55	42	66	88	96	115	112	84	82	70	97	67
	≥0,1				4	8	12	11	11	14	22	18	26	32	20	16	13	10	18	11
	Andel fund				7,8	4,6	3,9	6,1	7,0	5,5	10,6	10,9	11,3	14,4	15,9	13,1	16,1	11,0	14,0	13,0
	Andel ≥0,1				2,4	1,3	1,5	1,4	1,4	1,8	3,5	2,2	3,1	4,0	2,8	2,5	2,6	1,6	2,6	2,1
bentazon	Antal	103	301	517	824	829	853	797	796	787	645	827	860	799	709	641	509	639	691	514
	Medfund	7	12	18	23	10	12	16	20	14	12	23	29	25	27	25	25	22	24	14
	≥0,1	1	7	5	5	2	3	2	5	2	1	3	7	7	6	6	9	3	3	4
	Andel fund	6,8	4,0	3,5	2,8	1,2	1,4	2,0	2,5	1,8	1,9	2,8	3,4	3,1	3,8	3,9	4,9	3,4	3,5	2,7
	Andel ≥0,1	1,0	2,3	1,0	0,6	0,2	0,4	0,3	0,6	0,3	0,2	0,4	0,8	0,9	0,8	0,9	1,8	0,5	0,4	0,8
dichlorprop	Antal	716	704	686	824	829	853	797	794	787	643	827	860	799	709	640	509	639	691	514
	Med fund	14	28	25	25	18	13	18	19	20	15	9	16	20	14	12	8	15	10	10
	≥0,1	8	14	15	11	9	5	11	10	8	4	4	6	4	5	4	2	3	1	1
	Andel fund	2,0	4,0	3,6	3,0	2,2	1,5	2,3	2,4	2,5	2,3	1,1	1,9	2,5	2,0	1,9	1,6	2,3	1,4	1,9
	Andel ≥0,1	1,1	2,0	2,2	1,3	1,1	0,6	1,4	1,3	1,0	0,6	0,5	0,7	0,5	0,7	0,6	0,4	0,5	0,1	0,2
glyphosat	Antal			46	202	720	837	782	788	769	630	813	847	800	703	639	509	638	691	514
	med fund			0			8	5	6	9	3	13	9	14	10	27	8	5	6	5
	≥0,1						0		1	1				5	2	9	3	2	2	1
	Andel fund						1,0	0,6	0,8	1,2	0,5	1,6	1,1	1,8	1,4	4,2	1,6	0,8	0,9	1,0
	Andel ≥0,1						0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,6	0,3	1,4	0,6	0,3	0,3	0,2
AMPA	Antal			46	202	720	824	782	789	771	630	813	847	799	703	639	509	638	691	514
	Medfund						13	9	6	7	1	4	6	3	8	25	2	4	7	4
	≥0,1						3	1	2	1				1	2	7	1	2	2	0
	Andel fund						1,6	1,2	0,8	0,9	0,2	0,5	0,7	0,4	1,1	3,9	0,4	0,6	1,0	0,8
	Andel ≥0,1						0,4	0,1	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,1	0,2	0,3	0,3	0,0

Tabel 15. Udvikling i fund af nedbrydningsprodukter fra forbudte stoffer (BAM og DEIA), regulerede stoffer (bentazon og dichlorprop) samt det godkendte stof glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA. Opgørelse er baseret på **antal analyser** med fund og antal analyser $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$ for de enkelte år. Grundvandsovervågning 1995-2013.

7.2 Grundvand i vandværksboringer

Tilstanden i grundvandet fra vandværksboringerne illustrerer tilstanden i den del af grundvandet, der anvendes til drikkevand og dermed befolkningens risiko for eksponering for pesticider i drikkevandet. Her redegøres for hvor stor en andel af vandværksboringerne, der har indeholdt pesticider eller nedbrydningsprodukter heraf i perioden 1992-2013, fund i forhold til dybder samt den geografiske fordeling af fund.

Da vandværkerne løbende nedlægger og etablerer boringer, afspejler udviklingen i fund pr. år ikke effekten af handleplaner rettet mod at forbedre tilstanden i grundvandsmagasinerne, men vandværkernes håndtering af problemerne med pesticider i de boringer, hvorfra der indvindes grundvand. I dette afsnit indgår kun vandværksboringer på aktive vandværker.

Datagrundlag

Analyseprogrammet for grundvandet i vandværksboringerne skal som minimum indeholde de stoffer, der fremgår af drikkevandsbekendtgørelsen, se Tabel 16 (NST, 2014).

Analyseprogrammet er pr. 1. jan. 2012 blevet udbygget med 18 stoffer, der omfatter såvel nye som ældre pesticider samt godkendte, regulerede og forbudte stoffer. Blandt andet skal der nu analyseres for glyphosat og AMPA, se Tabel 16 og Tabel 19. Samtidig hermed blev der fjernet 8 andre stoffer fra listen, som meget sjældent eller aldrig påvises i prøverne. Af de 21 pesticider og nedbrydningsprodukter fra det hidtidige analyseprogram, indgår 13 stadig i analyseprogrammet. Det tidligere analyseprogram bestod indtil 1. jan. 2012 af 23 obligatoriske stoffer (heraf to klorfenoler).

Ud over de obligatoriske pesticider gennemfører en del vandværker frivilligt analyser for en lang række andre stoffer, en slags frivillig boringskontrol, se også kapitel 2 om Boringskontrollen og for kommunernes dataindberetning.

I dette afsnit afrapporteres pesticidanalyser fra vandværksboringer gennemført af almene vandværker for perioden 1992-2013.

Tilstand, grundvand i vandværksboringer

Tabel 17 og Figur 39 viser udviklingen i fund af pesticider og deres nedbrydningsprodukter i grundvand fra vandværksboringer i perioden 1992-2013. I 2011-2013 blev der fundet pesticider i 23-25 % af de analyserede boringer, mens der i hele undersøgelsesperioden blev fundet pesticider i ca. 27 % af boringerne.

Fra omkring år 2000 har andelen af pesticidpåvirkede vandværksboringer været faldende, og andelen har de sidste 5-6 år stabiliseret sig omkring 20 til 25 %. Der blev i 2013 fundet pesticider i 25 % af vandværksboringerne, mens 3,5 % var med overskridelse af kvalitetskravet.

Pesticid/nedbrydningsprodukt	Administrativ status
Glyphosat ^{nyt}	Godkendt
AMPA* ^{nyt}	Godkendt
Bentazon	Reguleret
Simazin	Forbudt
Hexazinon	Forbudt
Atrazin	Forbudt
Deethylatrazin*	Forbudt
Deethylhydroxyatrazin* ^{nyt}	Forbudt
DEIA, Deethyldeisopropylatrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deethylterbutylazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropylatrazin*	Forbudt
Didealkyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Deisopropyl-hydroxy-atrazin* ^{nyt}	Forbudt
Hydroxyatrazin*	Forbudt
Hydroxysimazin* ^{nyt}	Forbudt
MCPA	Reguleret
Mechlorprop (MCP)	Reguleret
Dichlorprop (2,4-DP)	Reguleret
2,4-D	Reguleret
2,6-DCPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte andre regulerede
4-CPP* ^{nyt}	Reguleret, forskellige kilder heraf er nogle forbudte andre regulerede
Dichlobenil	Forbudt
2,6-dichlorbenzoesyre* ^{nyt}	Forbudt
BAM, 2,6-dichlorbenzamid*	Forbudt
4-nitrophenol* ^{nyt}	Forbudt
Diuron ^{nyt}	Forbudt
Ethylthiourea (ETU)* ^{nyt}	Fra regulerede, nedbrydningsprodukt bl.a. fra maneb og mancozeb
Metribuzin ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-diketo* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino* ^{nyt}	Forbudt
Metribuzin-desamino-diketo* ^{nyt}	Forbudt

Tabel 16. Administrativ status pr. 1. aug. 2014 for de 31 pesticider som indgår i overvågningen af vandværksboringerne – ”Boringskontrollen” fra 2012 (NST, 2014). Ud over disse 31 stoffer indgår også to chlorphenoler, der dog også kan have andre oprindelser end pesticider. Disse er ikke medtaget her. De 18 stoffer markeret med ^{nyt} er pr. 1. jan 2012 nye obligatoriske stoffer i analyseprogrammet. Nedbrydningsprodukter er markeret med *.

Aktive vandværksboringer	Analyser	Antal boringer			Andel boringer i %		
		Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l
2013	1.986	1.717	371	60	21,6	3,5	25,1
2012	1.915	1.685	337	66	20,0	3,9	23,9
2011	2.026	1.789	338	69	18,9	3,9	22,8
1992-2013	30.985	6.188	1.362	326	22,0	5,3	27,3

Tabel 17. Pesticider i aktive vandværksboringer. Andel af boringer med hhv. 0,01-0,1µg/l, ≥0,1µg/l og med fund ialt i %.

Godkendte, regulerede og forbudte stoffer i grundvandet i vandværksboringer

Pesticiderne kan opdeles i tre grupper: Forbudte, godkendte og regulerede pesticider, efter den administrative status i Tabel 16, for analyserne udført i vandværksboringerne, på samme måde som det er gjort ovenfor i GRUMO-afsnittet, se Figur 30.

I hele perioden 1992–2013 er der samlet set blevet analyseret for 171 pesticider og nedbrydningsprodukter. Dette er et langt større antal stoffer end det obligatoriske antal i boringskontrollen, og skyldes mange vandværkers frivillige indsats. Ud af disse 171 stoffer, blev der fundet 51 stoffer, hvoraf 35 var forbudte, 13 regulerede og tre godkendte, se Tabel 18. Opgørelsen i forbudte, regulerede og godkendte stoffer omhandler de 51 stoffer, der er fundet i grundvandet i aktive vandværksboringer i 2013, og dermed ikke stoffer, der er fundet i lukkede vandværksboringer.

Status Vandværksboringer	Antal stoffer
Forbudte stoffer	35
Regulerede stoffer	13
Godkendte stoffer	3
I alt i antal påviste stoffer	51

Tabel 18. Antal forbudte, regulerede og godkendte pesticider eller nedbrydningsprodukter fundet i grundvandet i aktive vandværkers vandværksboringer i perioden 1992-2013. Den administrative tilstand er pr. 1. aug. 2014.

Tabel 19 viser en opgørelse over fordelingen af godkendte, regulerede og forbudte pesticider for perioden 1992-2013. Det fremgår, at de forbudte pesticider forekommer i 23,5 % af alle undersøgte vandværksboringer, og at 4,5 % af disse overskred kvalitetskravet på 0,1 µg/l. De regulerede stoffer forekommer i 7,0 % af de undersøgte boringer, mens kvalitetskravet er overskredet i 0,9 %. Det skal bemærkes, at fund af høje koncentrationer af regulerede stoffer kan stamme fra en mindre restriktiv anvendelse før reguleringen, men da opholdstiden af grundvand, der indvindes fra vandværksboringerne ikke er kendt, kan disse forhold ikke kvantificeres. Ofte er der tale om lange filtre, der opblander vand med meget forskellig alder fra forskellige dybder i magasinerne. De godkendte stoffer forekom i perioden i 0,6 % af de undersøgte boringer, mens der kun var tre fund over kvalitetskravet (0,1 %).

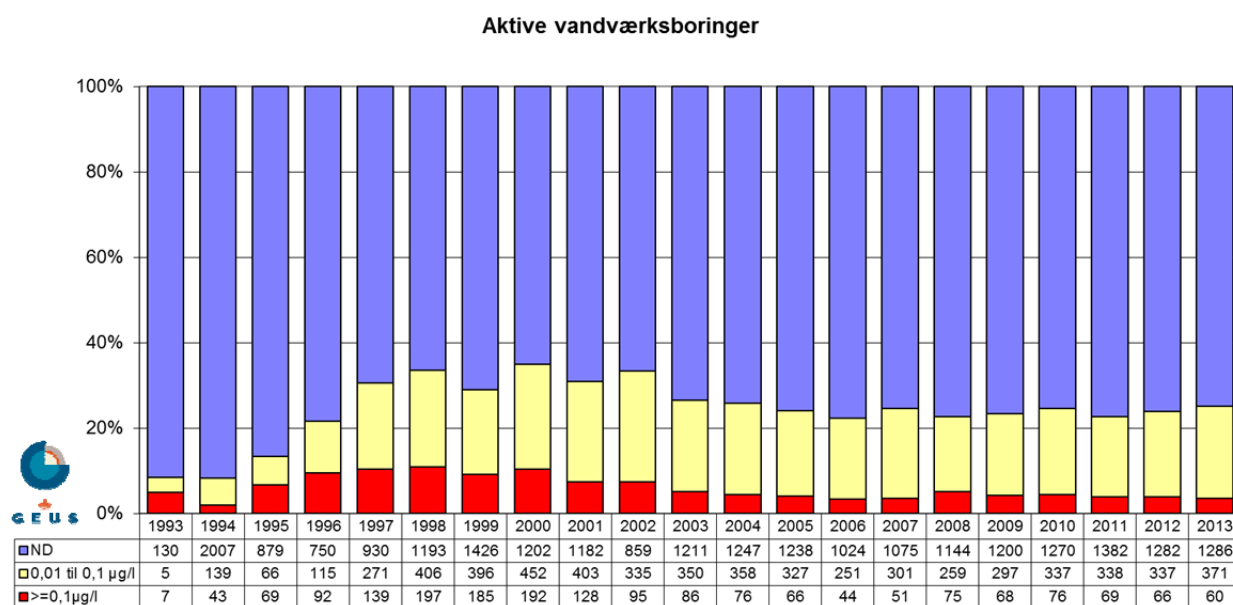
1992-2013	Antal vandværksboringer			% vandværksboringer			
	I alt	≥0,01 µg/	≥0,1 µg/l	ND	≥0,01 µg/	0,01-0,1µg/l	≥0,1 µg/
Forbudte stoffer	6186	1451	278	76,5	23,5	19,0	4,5
Regulerede stoffer	6176	433	54	93,0	7,0	6,1	0,9
Godkendte stoffer	3385	21	3	99,4	0,6	0,5	0,1

Tabel 19. Forekomst af godkendte, regulerede og forbudte pesticider for perioden 1992-2013 i grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker. Der er kun medtaget boringer, hvor der gennem de seneste 5 år er gennemført mindst en analyse for pesticider af vand udtaget fra boringerne. ND: under detektionsgrænsen typisk, < 0,01µg/l.

Da nogle vandværksboringer indeholder mere end ét stof, kan en boring være talt med flere gange i de tre kategorier. Denne opgørelse viser, at der er væsentlig færre fund i hver af de tre kategorier i vandværksboringerne sammenlignet med grundvandsovervågningen. JUPITER indeholder ikke historiske data om vandværksboringerne drift, så det er ikke muligt at opgøre, hvornår indvindingsboringerne har været aktive. Derfor er det ikke muligt at foretage et bagudrettet skøn over omfanget af forbudte, regulerede og godkendte stoffer.

Udvikling i grundvandet i vandværksboringer

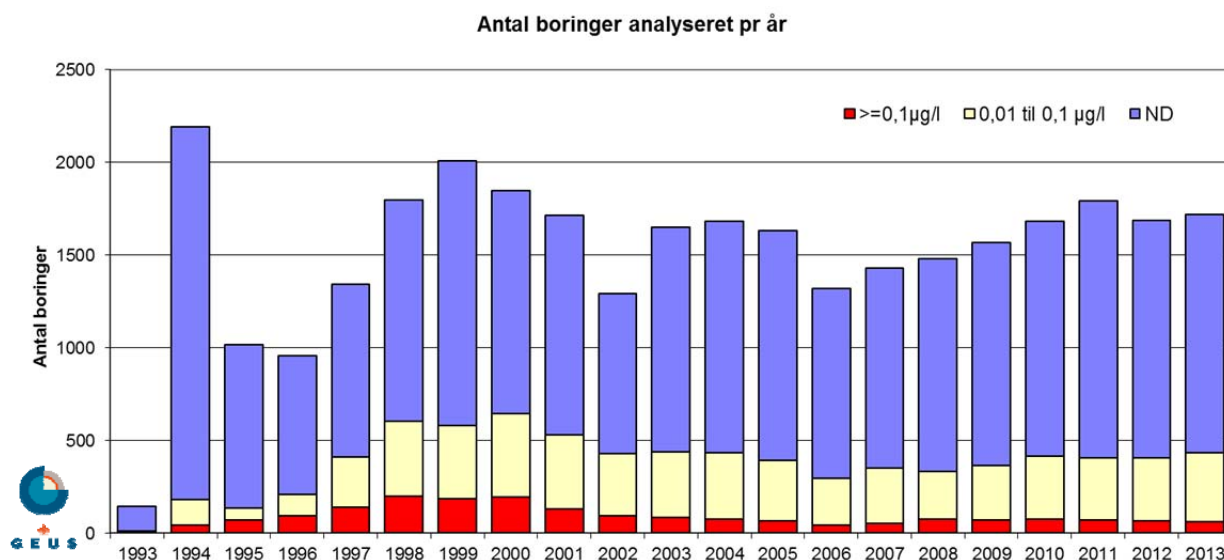
Figur 39 viser udviklingen i pesticidpåvirkningen af vandværksboringer hos aktive vandværker i perioden 1993-2013. For hvert år er påvirkningen angivet for de boringer, der var aktive i det pågældende år, og figuren viser således også data fra vandværker, der siden er lukket.



Figur 39. Fordeling af pesticidindholdet i grundvandet i vandværksboringer 1993-2013. Figuren viser status for de vandværker, der var aktive hvert af de viste år. Figuren indeholder ikke de samme boringer fra år til år, da disse analyseres i en turnus på op til 5 år, og der løbende lukkes eller etableres nye vandværksboringer. Resultater på indtagningsniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller: ≥0,1 µg/l, [0,01-0,1] µg/l, samt ND (under detektionsgrænsen typisk, < 0,01µg/l). Antal boringer i hver af de tre klasser er anført under de enkelte år. Hvert år viser data fra forskellige udtræk fra JUPITER, anvendt i den løbende rapportering.

Faldet omkring år 2000-2003 i andelen af boringer med fund over kvalitetskravet på 0,1 µg/l kan skyldes, at vandværkerne tager forurenede boringer ud af drift, idet data fra GRUMO viser, at fundhyppigheder som sådan ikke er faldet, skønt der er en tendens til lavere koncentrationer i det øverste grundvand, se Figur 31. Den stigende andel af boringer med fund op gennem 90'erne skyldes, at analyseprogrammerne gradvis omfattede flere og flere pesticider og nedbrydningsprodukter.

Figur 40 viser antal boringer undersøgt for pesticider i perioden 1993-2013, og viser de samme data, som er anvendt til Figur 39. Det ses, at antallet af boringer, der overstiger kvalitetskravet gennem de seneste fem år, er stabiliseret. De pesticider og nedbrydningsprodukter, der hyppigst findes i grundvandet i vandværksboringerne, er generelt stoffer, som er forbudte, og som ikke har været i handelen i 6 til 15 år, se Tabel 16, eller stoffer pålagt regulering i form af anvendelsesbegrænsninger i Danmark. Opholdstiden i grundvandsmagasinerne af det vand som vandværkerne indvinder til drikkevandsformål er ofte mere end 15 år, og det kan forventes, at pesticider fremover vil kunne påvirke grundvandet i vandværksboringerne, og dermed drikkevandet, i mange år.



Figur 40. Antal boringer med analyser af pesticider pr. år i vandværksboringer 1993-2013. Hvert år viser data fra forskellige udtræk fra JUPITER, anvendt i den løbende rapportering. Resultater på indtagniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $[0,01-0,1] \mu\text{g/l}$, samt ND (under detektionsgrænsen typisk, $< 0,01 \mu\text{g/l}$).

Udvidelse af analyseprogrammet for vandværksboringer med 18 stoffer

Det nye analyseprogram pr. 1. januar 2012 er i forhold til tidligere udbygget med 18 stoffer. Tabel 20 viser alle analyser af de 18 stoffer for året 2013. De 18 stoffer er fundet i 5,9 % og kvalitetskravet er overskredet i 0,6 % af de analyserede vandværksboringer.

De 18 stoffer er analyseret i 3.033 vandværksboringer i 2012-2013, mens der til sammenligning i perioden 1992-2013 er undersøgt 6.188 vandværksboringer, svarende til at ca. 50 % af vandværksboringerne nu er analyseret for de nye stoffer.

18 nye stoffer	Analysér	Antal boringer			Andel boringer i %		
	Antal	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	0,01 - 0,1 µg/l	≥0,1 µg/l	I alt
2013, 18 nye stoffer	1.643	1.564	84	9	5,4	0,6	5,9
2012, 18 nye stoffer	1.614	1.533	88	9	5,7	0,6	6,3
2012-13, 18 nye stoffer	3.438	3.033	153	18	5,0	0,6	5,6
Alle aktive boringer 1992- 2013, alle stoffer	30.985	6.188	1.362	326	22,0	5,3	27,3

Tabel 20. Forekomst af de 18 nye stoffer i 2012-2013 i grundvandet i vandværksboringer, Antal analyser og boringer analyseret, med fund af i koncentrationsintervallet 0,01-0,1 µg/l og ≥ 0,1 µg/l. Tabellen har også medtaget alle vandværksboringer hos aktive vandværker analyseret i 1992-2013.

Grundvand i vandværksboringer	Antal analyser			Antal Boringer			Andel i %		
	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	I alt	0,01 - 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	≥ 0,01 µg/l
1992- 2013: Resultater fra gamle analyseprogram									
2,6-Dichlorbenzamid*	27.737	6485	1169	6177	1202	241	15,6	3,9	19,5
Mechlorprop**	25.797	534	26	6175	145	11	2,2	0,2	2,3
Bentazon	23.080	388	44	6163	179	22	2,5	0,4	2,9
Dichlorprop	25.752	394	47	6175	124	11	1,8	0,2	2,0
Hexazinon	23.086	347	61	6163	89	8	1,3	0,1	1,4
Atrazin, desethyl-*	23.008	256	21	6163	94	5	1,4	0,1	1,5
Atrazin	25.294	259	9	6172	108	9	1,6	0,1	1,7
Atrazin, desisopropy*	22.898	207	3	6163	87	2	1,4	0,03	1,4
MCPA	25.386	99	15	6174	45	8	0,6	0,1	0,7
Atrazin, hydroxy-*	21.611	80	5	6152	35	4	0,5	0,1	0,6
Simazin	25.286	84	6	6174	46	2	0,7	0,03	0,7
Dichlobenil	18.197	44	3	6024	43	3	0,7	0,05	0,7
2,4_D	25.106	13	1	6174	13	1	0,2	0,02	0,2

Grundvand i vandværksboringer	Antal analyser			Antal Boringer			Andel i %		
	I alt	≥ 0,01 µg/l	≥ 0,1 µg/l	I alt	≥ 0,01 µg/l	≥ 0,1 µg/l	0,01- 0,1 µg/l	≥ 0,1 µg/l	≥ 0,01 µg/l
2012- 2013: Resultater fra nye analyseprogram, 18 supplerende stoffer									
DEIA*	3.778	88	6	3233	63	6	1,8	0,2	1,9
4CPP*	6.448	124	25	3786	40	8	0,8	0,2	1,1
Metribuzin-desamino-*	3.327	35	1	2850	25	1	0,8	0,04	0,9
2,6-dichlorebenzoesyre*	3.617	35	0	3053	30	0	1,0	0	1,0
hydroxysimazin*	4.040	36	9	3266	4	2	0,1	0,1	0,1
2,6-DCPP*	5.397	33	0	3632	16	0	0,4	0	0,4
4-Nitrophenol*	3.957	23	0	3266	22	0	0,7	0	0,7
Didealkyl-hydroxy-atrazin*	3.245	14	1	2956	12	1	0,4	0,03	0,4
Glyphosat	4.603	14	2	3373	14	2	0,4	0,1	0,4

Grundvand i vandværksboringer	Antal analyser			Antal Boringer			Andel i %		
	I alt	≥ 0,01 µg/l	≥ 0,1	I alt	≥ 0,01 µg/l	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	≥ 0,01 µg/l
Diuron	10.202	28	2	4727	18	2	0,3	0,04	0,4
Ethylentiurea*	3.370	7	1	3052	5	1	0,1	0,03	0,2
Deisopropyl-hydroxyatrazin*	3.257	5	0	2970	5	0	0,2		0,2
AMPA*	4.603	7	1	3378	7	1	0,2	0,03	0,2
Deethyl-hydroxyatrazin*	3.254	4	0	2967	3	0	0,1	0	0,1
Deethylterbutylazin*	4.861	2	0	3469	2	0	0,1	0	0,1
Metribuzin**	4.310	0	0	3272	0	0	0	0	0
Metribuzin-desamino*	3.064	0	0	2789	0	0	0	0	0
Metribuzin-diketo*	3.316	0	0	2847	0	0	0	0	0

Tabel 21. Pesticider i grundvandet i vandværksboringer. Tabellen viser antal analyser og boringer, og de tilhørende antal fund og fund $\geq 0,1$ µg/l. Øverste deltabel viser de 18 stoffer, der har været obligatoriske siden 2012. Nederste deltabel viser de hidtidige 31 obligatoriske stoffer for perioden 1992-2013. Der indgår også to chlorphenoler, der ikke er medtaget. Nedbrydningsprodukter har markeringen*

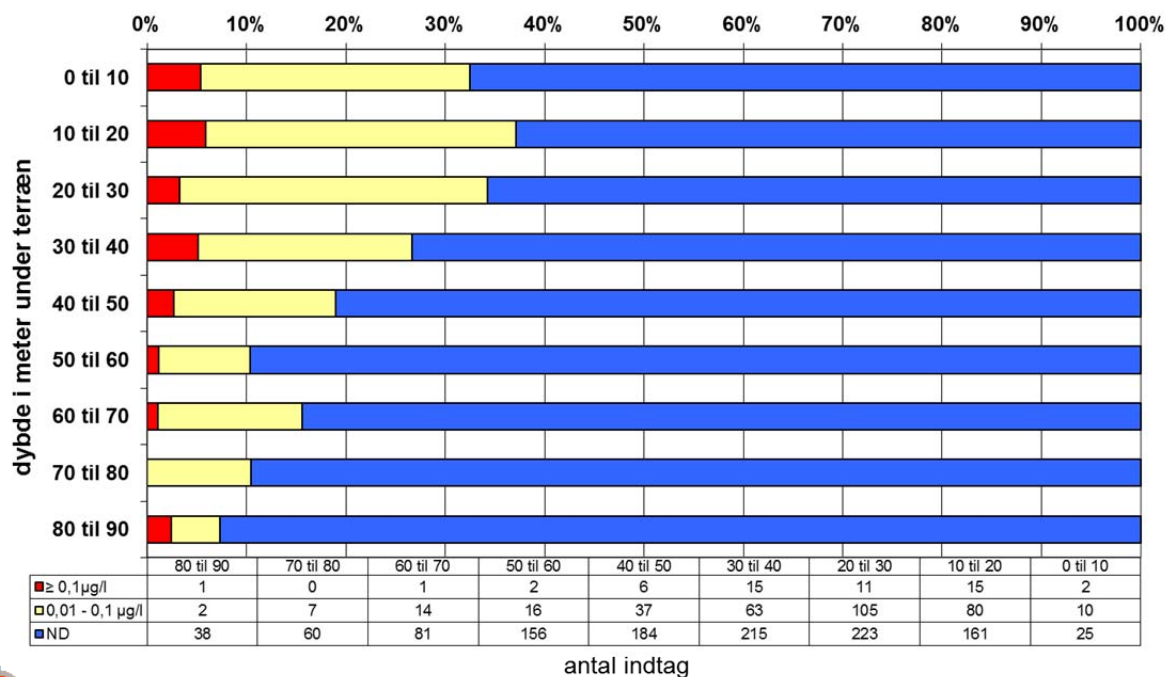
Tabel 21 viser de fundne stoffer i grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker. Det fremgår, at DEIA er fundet i 1,9 % af de analyserede boringer i 2012-2013, mens de øvrige nye stoffer alle er fundet i ca. 1% eller færre af de undersøgte boringer. Der er kun få fund over kvalitetskravet.

Vandværkernes indvindingsdybde og fund af pesticider

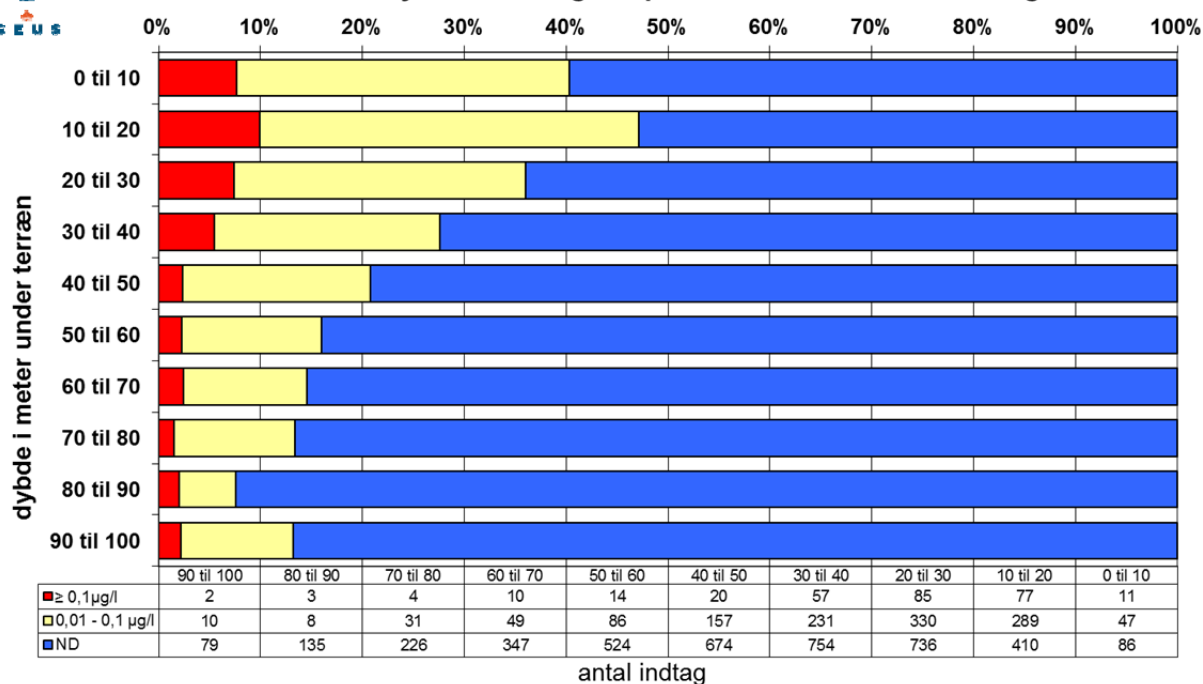
Figur 41 viser, hvorledes andelen af pesticidfund falder med dybden, målt som afstanden fra terræn til toppen af boringernes indtag. Det fremgår, at der i 2013 blev fundet pesticider i grundvandet i ca. 35 % af de aktive vandværksboringer, der indvandt grundvand fra intervallet 0 til 30 m u.t. Her af var der i ca. 5 % af boringerne et pesticidindhold over kvalitetskravet. De fleste undersøgte boringer har top af indtag mellem 20 og 50 m u.t., mens antallet af analyserede indtag i intervallet 0 til 10 m er lavt, se kap.2, Figur 6.

Fund af pesticider i vandværksboringer, der har været aktive i hele perioden 1992-2013, viser, at der er fundet pesticider mindst én gang i ca. 40 % af det øverste grundvand i intervallet 0 til 30 m u.t., heraf 8-10 % med et pesticidindhold over kvalitetskravet. Bemærk, at sammenlignet med overvågningsboringerne, se Figur 31, er der samlet set en mindre andel af grundvandet, der er påvirket, men i de dybere lag er der en større påvirkning, som kan skyldes at indvinding af vand trækker mere overfaldenært grundvand ned i større dybde, mens overvågningsboringer i højere grad viser repræsentative data for den dybde, hvor boringernes indtag er placeret.

Dybdefordeling for pesticider i vandværksboringer 2013



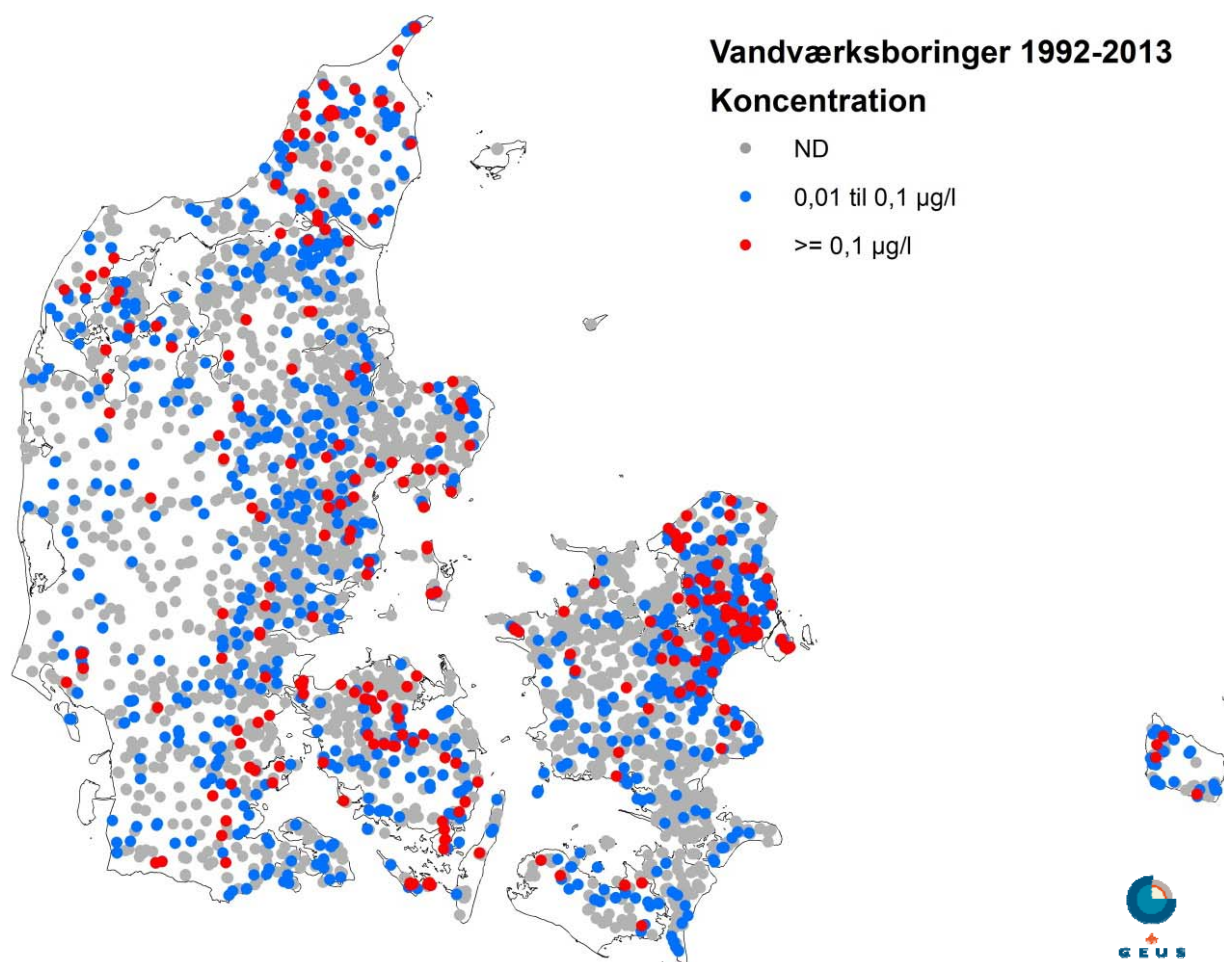
Dybdefordeling for pesticider i vandværksboringer 1992-2012



Figur 41. Dybdemæssig fordeling af pesticider i vandværksboringer vist som funktion af dybden til overkanten af indtaget. Øverst år 2013, nederst hele perioden 1992-2013. Kun boringer med oplysninger om dybde er medtaget: 1.593 boringer i 2013 og 5.703 boringer i 1992-2013. Der er kun data fra aktive vandværker. Resultater på indtagsniveau er opdelt i tre koncentrationsintervaller: $\geq 0,1 \mu\text{g/l}$, $[0,01-0,1] \mu\text{g/l}$, samt ND (under detektionsgrænsen typisk, $< 0,01 \mu\text{g/l}$).

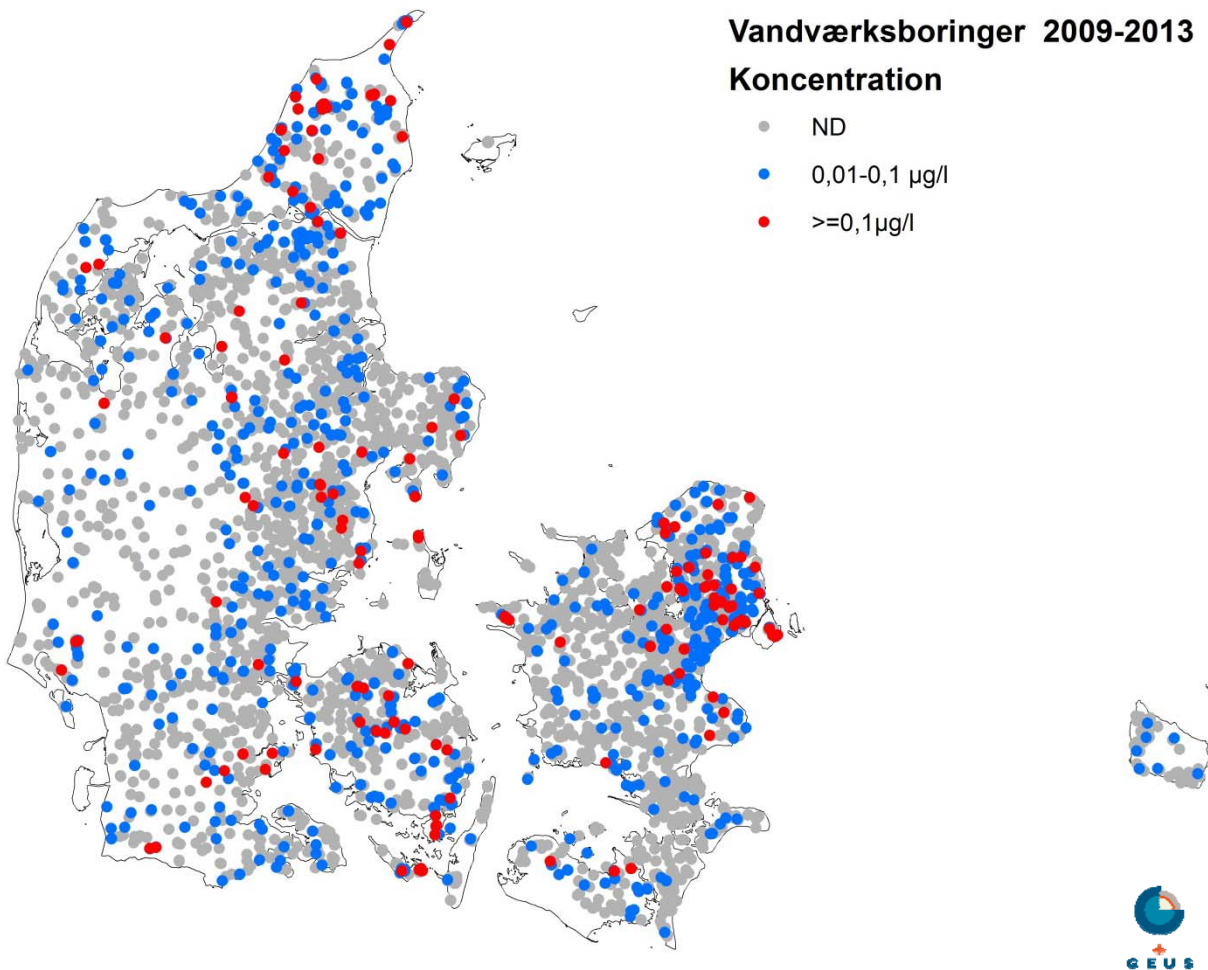
Geografisk fordeling af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter

Figur 42 og Figur 43 viser fordelingen på landsplan af pesticidindholdet i grundvandet i vandværksboringer på aktive vandværker i henholdsvis hele monitoringsperioden 1992-2013, samt i den seneste fem årsperiode, 2009-2013, hvor alle vandværksboringer skal være analyseret mindst én gang. Der foreligger ikke oplysninger om koordinater for alle boringer, og kortene viser derfor ikke alle analyserede boringer. De to kort viser, at der ved nogle større byer findes mange pesticider og nedbrydningsprodukter (fortrinsvis BAM, der stammer fra det forbudte pesticid dichlobenil), men også, at der er en overrepræsentation af fund af pesticider og nedbrydningsprodukter i lerede områder i den østlige del af Danmark, hvor der også findes den største befolkningstæthed (Brusch og Villholth, 2011).



Figur 42. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i vandværksboringer for aktive vandværker i perioden 1992-2013 (6.187 boringer). Resultaterne er opdelt i boringer uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

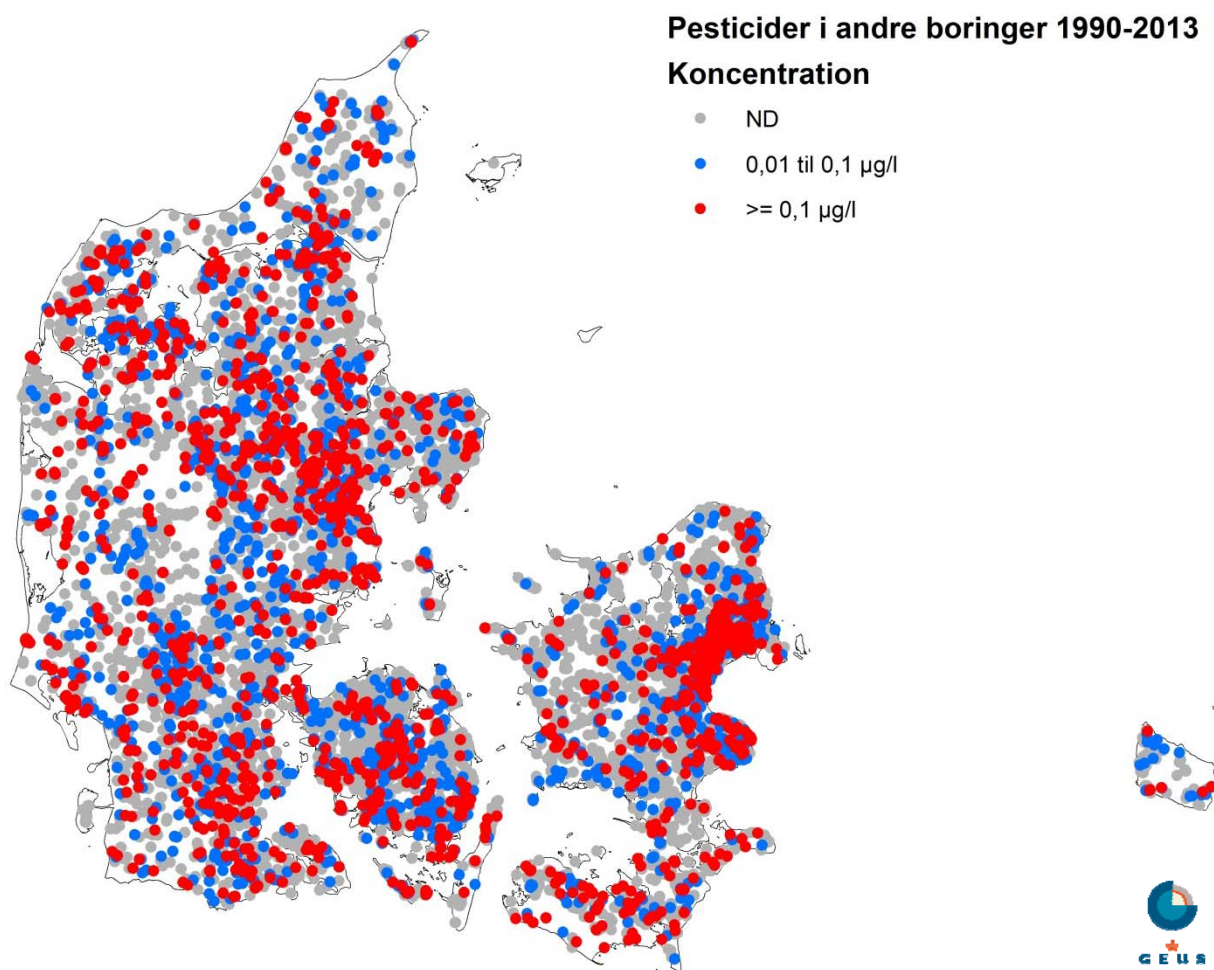
Der er ret få fund af pesticider og nedbrydningsprodukter på de sandede jyske hedesletter og bakkeøer, hvor vandværkerne generelt indvinder grundvand fra større dybder end i resten af landet. Samtidig er tætheden af vandværksboringer lav i disse områder på grund af den lavere befolkningstæthed.



Figur 43. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter i grundvandet i vandværksboringer for aktive vandværker i fem årsperioden 2009-2013, (5.956 boringer). Resultaterne er opdelt i boringer uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

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

Figur 44 viser den geografiske fordeling af 10.822 boringer med kendte koordinater fra gruppen "Andre boringer". Der er fundet pesticider i 4.148 boringer, hvoraf 1.989 boringer én eller flere gange har overskredet kvalitetskravet på 0,1 µg/l. Figuren viser i hovedtræk samme fordeling som i Figur 42 og Figur 43, men det ses dog, at der i denne gruppe af boringer, som bl.a. rummer nedlagte vandværksboringer er en større udbredelse af pesticider i Vestjylland.



Figur 44. Højeste koncentration for pesticider og nedbrydningsprodukter fundet i datasættet "Andre boreriger" i perioden 1990-2013 (10.822 boreriger). Resultaterne er opdelt i boreriger uden fund (ND, under detektionsgrænsen, typisk 0,01 µg/l), fund af pesticider mellem 0,01 og 0,1 µg/l samt fund, der overstiger kvalitetskravet på 0,1 µg/l.

7.3 Pesticider fundet ved forskellige typer af overvågninger af grundvandet

Tabel 22 viser hvilke stoffer, der gennem de sidste ca. 20 år er fundet hyppigst i henholdsvis grundvandsovervågningen, vandværksboringer og gruppen "Andre boreriger". "Andre boreriger" omfatter bl.a. nedlagte vandværksboringer, små private vandforsyningsanlæg, der ofte forsyner enkeltliggende husstande i det åbne land, samt andre boreriger. Tabellen omfatter hele overvågningsperioden, og stofferne er listet med faldende relativ hyppighed inden for hvert program.

BAM findes hyppigst i alle typer pesticidundersøgelser af dansk grundvand, men også de i dag forbudte triaziner og de tilhørende nedbrydningsprodukter forekommer med stor hyppighed i forhold til tidligere opgørelser, fx DEIA, der forekommer i næsten 15 % af indtagene i grundvandsovervågningen samt deiso-propylatrazin, deethylatrazin, didealkylhydroxyatrazin og atrazin.

Nedbrydningsproduktet desam(ino)-diketo-metribuzin fra pesticidet metribuzin (forbudt aktivstof i tidligere anvendte svampemidler til kartoffelplanter) er fundet i 5,1 % af indtagene i grundvandsovervågningen, Tabel 22, mens stoffet er fundet i ca. 1% i vandværksboringerne.

Det mest anvendte pesticid i Danmark, glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, er fundet i GRUMO, og i flere boringer er der tale om genfund. Tabel 23 viser, at der i 2013 blev fundet glyphosat i 1 % af de undersøgte indtag. De ret høje fundandele for glyphosat og AMPA i gruppen "Andre boringer" i Tabel 22 stammer bl.a. fra en undersøgelse af små private vandforsyningsanlæg, (Brüsch og Rosenberg, 2008), hvor stoffet blev fundet i drikkevandsanlæg (bl.a. gravede brønde og boringer i bunden af gravede brønde), der indvinder grundvand fra højtliggende grundvand i lerede områder.

Tabel 23 viser for år 2013 de 20 hyppigst fundne pesticider opdelt på forskellige grupper af boringer. Azoxystrobin, som ikke er omfattet af den obligatoriske liste (tabel 17), men er fundet i en frivillig boringskontrol, er på denne liste det næst hyppigst fundne pesticid i boringskontrollen. Stoffet er forholdsvis nyt i Danmark og indgår ikke i gamle eller nye analysepakker i boringskontrollen.

Nedbrydningsproduktet CYPM (fra Azoxystrobin) indgår i GRUMO-programmet, se Tabel 9. Stoffet er fundet i to ud af 62 undersøgte indvindingsboringer. Begge fund er under kvalitetskravet.

Glyphosat er fundet i to vandværksboringer, mens AMPA er fundet i én vandværksboring i 2013, se bilag 5 og 7. I de aktive vandværksboringer er der i hele monitoringsperioden 1990-2013 fundet glyphosat i 0,4 % af de vandværksboringer, hvor der er analyseret for stoffet. I Bilag 10, er alle pesticidanalyser i JUPITER fra de standardiserede udtræksmoduler samlet, så man for hvert stof kan se hvor mange analyser, der er udført og hvor hyppigt, det er fundet. Alle analyserede stoffer er vist, også stoffer uden fund.

Tabel 23 viser, at langt de fleste pesticider og nedbrydningsprodukter bliver fundet i færre boringer i grundvandet i vandværksboringer, end i GRUMO og "Andre boringer".

Mechlorprop og dichlorprop forekommer i 2013 relativt sjældent i både vandværksboringer og i grundvandsovervågningen, mens begge stoffer findes hyppigt i "Andre boringer". Dette kan skyldes det forhold, at der netop i denne gruppe boringer ofte findes vandprøver, der er præget af punktkilder, mens man i grundvandsovervågningen oftere finder vandprøver, der er præget af fladebelastning (Tuxen, 2013). Da vandværkerne ofte indvinder store mængde vand fra de enkelte boringer, kan små koncentrationer fra fladebelastning blive fortyndet ved blanding af gammelt, rent grundvand med højtliggende forurenede grundvand, og andelen af fund i indvindingsboringerne vil derfor ofte være små.

Grundvandsovervågning 1990-2013			Vandværksboringer 1992-2013			Andre boringer 1990-2013		
Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l
BAM	20,6	8,1	BAM	19,5	3,9	BAM	29,1	0,30
DEIA	14,3	3,8	Bentazon	2,9	0,4	DEIA	7,0	0,30
Atrazin, desisopropyl	10,9	1,7	Mechlorprop	2,3	0,2	Atrazin, desethyl	6,7	0,07
4-Nitrophenol	8,7	0,6	Dichlorprop	2,0	0,2	Atrazin, desisopropy	6,6	0,07
Atrazin, desethyl-	7,6	1,4	DEIA	1,9	0,2	Atrazin	6,2	0,06
Didealk.-hydr.atraz.	7,3	1,0	Atrazin	1,7	0,1	4CPP,	5,0	0,13
Bentazon	6,9	2,0	Atrazin, desethyl-	1,5	0,1	4-Nitrophenol	5,0	0,20
Glyphosat	6,4	1,4	Hexazinon	1,4	0,1	AMPA	5,0	0,13
Atrazin	5,3	1,2	Atrazin, desisopropy	1,4	0,0	Simazin	4,8	0,05
Metribuz-desam- diketo	5,1	1,9	4CPP	1,1	0,2	Bentazon	4,3	0,05
Trikloreddikesyre	4,9	1,2	2,6-dichlorebenzoyre	1,0		Mechlorprop	4,2	0,04
Dichlorprop	4,7	1,4	Metribuzin-desamino-	0,9	0,0	Dichlorprop	3,9	0,04
AMPA	4,3	1,1	Simazin	0,7	0,0	Glyphosat	3,7	0,10
Deisopr.-hydr.atraz.	4,2	0,2	MCPA	0,7	0,1	2,6-DCPP	3,0	0,11
Mechlorprop	4,1	1,0	Dichlobenil	0,7	0,0	Trikloreddikesyre	2,8	0,55
Metribuzin-diketo	3,6	1,0	4-Nitrophenol	0,7		Lenacil	2,7	0,38
Simazin	2,8	0,5	Atrazin, hydroxy-	0,6	0,1	Metribuzin-desamino-	2,7	0,19
4CPP	2,6	0,9	2,6-DCPP	0,4		Atrazin, hydroxy-	2,5	0,03
2,6-dichlorebnzoyre	2,4	0,4	Glyphosat	0,4	0,1	Desethylterbutylazin	2,4	0,07
MCPA	2,4	0,4	Didealkyl-hydroxy-atrazin	0,4	0,0	Hexazinon	2,2	0,02

Tabel 22. De 20 hyppigst fundne stoffer i GRUMO (1990-2013), aktive vandværkers boringer (1992-2013) og i "Andre boringer" (1990-2013), der omfatter nedlagte vandværksboringer, vandværkernes egne overvågningsboringer og andre analyser fra fx små private vandforsyninger. De viste andele er beregnet med antal analyserede indtag/boringer, boringer med fund og fund $\geq 0,1\mu\text{g/l}$. Der er kun medtaget stoffer, analyseret i mere end 200 boringer fra GRUMO og vandværksboringer, mens der kun er medtaget stoffer, analyseret i mere end 500 boringer for "Andre boringer" for at undgå resultater fra forureningsundersøgelser af større special depoter. Se bilag 4-11 med oplysninger om antal analyser, antal boringer og koncentrationsintervaller. I opgørelsen for "Andre boringer" er fx parathion udeladt. Alle fund er dog medtaget i bilag 4-11. De beregnede fundandele for GRUMO viser, hvor stor en andel af indtagene, der én eller flere gange har indeholdt det enkelte stof i hele perioden 1990-2013. Andelen opgjort for hele perioden kan derfor ikke sammenholdes med fundandelen pr. år.

Grundvandsovervågning 2013			Vandværksboringer 2013			Andre boringer 2013		
Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l	Stofnavn	% ≥0,01 µg/l	% ≥0,1 µg/l
BAM	16,9	4,9	BAM	18,5	2,4	BAM	24,0	10,1
DEIA	13,0	2,1	Azoxystrobin	2,8		Desphenyl- chloridazon	15,3	6,2
Atrazin, desisopro- pyl	6,8		DEIA	2,1	0,3	DEIA	6,0	1,0
Metribuz-desam- diket	4,3	1,4	Bentazon	2,0	0,1	AMPA	5,8	1,1
CGA 62826	4,2		Mechlorprop	1,7		Bentazon	5,1	2,2
Atrazin, desethyl-	4,1	0,6	Hexazinon	1,6	0,2	Mechlorprop	4,8	1,9
Bentazon	2,7	0,8	Dichlorprop	1,5	0,3	Atrazin, desisopro- pyl	4,7	0,3
Atrazin	2,7	0,4	2,6-dichlore- benzosyre	1,2		Atrazin, hydroxy-	4,6	1,0
2,6- dichlorebnzosyre	2,1		Hydroxyter- buthylazin	1,0		Glyphosat	4,5	0,9
Metalaxyl-M	2,1		Metribuzin- desamino-	0,8		Atrazin, desethyl-	4,4	0,8
Mechlorprop	1,9	1,0	Atrazin, desiso- propyl	0,8		Dichlorprop	4,4	1,7
Metribuzin-diketo	1,9	0,4	4CPP	0,7	0,1	Atrazin	4,0	0,9
Dichlorprop	1,9	0,2	Atrazin, desethyl-	0,5	0,1	Isoproturon	3,5	1,5
Didealk.-hydr.atraz.	1,6	0,4	2,6-DCPP	0,4		Simazin	3,4	0,3
Hexazinon	1,6	0,2	Atrazin, hydro- xy-	0,3		Metribuzin- desamino-	3,4	0,7
Simazin	1,4	0,4	4-Nitrophenol	0,3		4CPP	3,2	1,9
2,6-DCPP	1,2		Glyphosat	0,3	0,1	4-Nitrophenol	2,9	0,3
Glyphosat	1,0	0,2	hydroxysimazin	0,2		Hexazinon	2,4	0,6
PPU (IN70941)	1,0		Deethyl- hydroxy-atrazin	0,1		Dinoseb	2,3	1,9
4CPP	0,8	0,4	Diuron	0,1		2,6-DCPP	1,8	0,7

Tabel 23. Status 2013 for de 20 hyppigst fundne stoffer i analyseindsatsen 2013 for grundvands-
overvågningen, aktive vandværkers boringer og ”Andre boringer”. Der er kun medtaget stoffer, der
er analyseret i mere end 100 boringer fra ”Andre boringer”. Se også bilag 4-11 med oplysninger om
antal analyser, antal boringer og koncentrationsintervaller. Bemærk, at stoffet Azoxystrobin, der
ikke indgår i nogen af de obligatoriske analysepakker er analyseret i blot 72 vandværksboringer,
med fund i de to, se bilag 6.

Referencer, Pesticider

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

Miljøministeriet 2011: Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 1024 af 31. oktober 2011. (Drikkevandsbekendtgørelsen)

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

EU- direktiver

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

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

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

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

Andre referencer

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

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

Christensen L., S. Marcher, V. Møller, W. Brüsch, A. Rosenbom, A. Duer, M. Bach Madsen & M. Skriver, 2013: Bentazon. Anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.

Elkjær, Lars, Hans Ole Hansen, Liselotte Ludvigsen, Marianne Marcher Juhl, Mette Skougaard, Claus Kirkegaard, John Bastrup, Jens Baumann, Flemming Larsen, Liselotte Clausen, Niels P. Arildskov, Peter R. Jørgensen, Jens Kistrup & Niels Henrik Spliid, 2002: Pesticider og vandværker. Udredningsprojekt om BAM forurening. Hovedrapport. Miljøprojekt Nr. 732, 2002.

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R. og Mielby, S., 2012: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2011. Teknisk rapport, GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2011.htm (5-11-13)

Thorling, L., Brüsch, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (25-08-14)

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

Links:

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

8 Vandindvinding

Sammenfatning og konklusion

Den samlede oppumpede vandmængde i Danmark (uden markvanding) er på knap 500 mio. m³/år, og fra 2006 og frem har den været stabil eller svagt faldende.

Set under et har kommunerne det forløbne år gjort en markant indsats for at indberette rettidigt d. 1. april og rettet op på tidligere års fejlindberetninger.

Indvinding af grundvand til erhvervsvanding (markvanding, gartneri og dambrug) varierer markant fra år til år som følge af variationer i nedbørsmønstret. I 2011 nåede denne del af indvindingen over 300 mio. m³, hvilket svarer til over 40 % af den samlede grundvandsindvinding i Danmark, mens den for 2012 blot var på 166 mio. m³. Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding er relativt konstant og har de seneste fire år ligget på mellem 42 og 44 mio. m³ om året dog med et svagt fald siden 2012.

Den samlede indvinding af overfladevand i Danmark ligger på blot ca. 10 mio. m³/år. Overfladevand anvendes ikke til drikkevand i Danmark, men bliver overvejende anvendt til erhvervsformål, grusvask indenfor råstofindustrien og til vanding.

De oppumpede vandmængder er en vigtig parameter i den nationale vandbalanceopgørelse, og uundværlige data som grundlag for vurderingen af grundvandsforekomsternes kvantitative tilstand i forbindelse med vandplanarbejdet. For at muliggøre en optimal vurdering af presset på den tilgængelige vandressource er der behov for, at kommunerne fortsat sikrer, indberetningen af de oppumpede vandmængder til den fælles offentlige database JUPITER til den fastsatte tidsfrist jf. Drikkevandsbekendtgørelsen (NST, 2014). Der sker løbende forbedringer i kommunernes indberetning, men der er fortsat behov for at enkelte kommuner kvalitetssikrer data og følger op på indberetningerne.

Indledning

Drikkevandsforsyningen i Danmark er udelukkende baseret på oppumpning af grundvand. Kun på Christiansø, er dette ikke muligt, og forsyningen der sker med afsaltet havvand. Drikkevandsforsyningen i Danmark er bygget op omkring en decentral struktur med godt 2.600 almene vandværker (jf. indberetningerne af oppumpede vandmængder), hvoraf ca. 330 var offentligt ejede pr. 1. jan 2010. De offentligt ejede almene vandforsyninger står for cirka 55 % af indvindingen, mens de privat ejede almene vandforsyninger står for cirka 45 %.

Kommunalbestyrelsen kan beslutte, at et ikke alment anlæg skal registrere indvindingen og indberette denne til kommunen i forbindelse med anlæggets indvindingstilladelse. De ikke almene anlæg omfatter institutioner og private virksomheder samt anlæg, der forsyner op til 9 husstande. Fælles for disse er, at der kun er indberetningspligt, hvis kommunalbestyrelsen beslutter det, hvilket der ikke er noget samlet nationalt overblik over. De indgår derfor ikke i opgørelsen.

I Danmark anvendes den største andel af de oppumpede vandmængder til drikkevandsforsyning, men der bruges også betragtelige mængder til andre formål, hvoraf markvandingen ud-

gør den største andel. Herudover anvendes grundvandet til en lang række forskellige formål indenfor industri, institutioner, gartneri og dambrug.

Den største indvinding af overfladevand, sker ved Kalundborg Forsyning, der indvinder små 4 mio. m³/år overfladevand, der oparbejdes til drikkevandskvalitet og leveres til lokale virksomheder.

Med det stigende fokus på klimaets betydning for den fremtidige vandindvinding er det af hensyn til forsyningssikkerhed og miljøpåvirkninger væsentligt, at man kender mængden og udviklingen af de vandmængder, der årligt oppumpes. Det skyldes, at grundvandet indgår som en vigtig del af vandets kredsløb. Når nedbørsmængden ændres som følge af klimaændringer eller markante vejrbegebenheder ændres den mængde grundvand, der er til rådighed til indvinding. Derved kan der blive behov for en ny afvejning af de oppumpede vandmængder i forhold til behovet for vandføring i vandløb, vandstanden i moser og søer mv. Lokalt og regionalt kan indvindingen have et omfang, der ikke er bæredygtig. For at kunne sikre en optimal udnyttelse af det til rådighed værende grundvand, er det nødvendigt at kende de samlede indvindinger lokalt, regionalt og på landsplan.

Miljømål

Efter Vandrammedirektivet (EU, 2000) er det en forudsætning for god kvantitativ tilstand i en grundvandsforekomst, at forekomsten ikke er udsat for menneskeskabte ændringer – fx ved indvinding af vand – der medfører sådanne påvirkninger af overfladevand og grundvandsafhængige økosystemer, at miljømålene for disse ikke kan nås. Indvinding kan også forårsage indtrængen af fx havvand, der gør grundvandet uegnet til drikkevand. Det er derfor nødvendigt at kunne dokumentere såvel den absolutte størrelse som ændringerne i den oppumpede grundvands- og overfladevandsmængde på såvel lokal som regional og national skala.

Datagrundlag

Til denne rapport er der pr. 20. maj 2014 foretaget et udtræk af indvindingsdata for grundvand og overfladevand. Udtrækket omfatter data for de vandmængder som kommunerne (tidligere, amterne) har indberettet til JUPITER for perioden 1989 frem til og med 2013.

I forbindelse med udtræk af data efter tidsfristens udløb har det igen i år vist sig, at flere af kommunerne ikke har indberettet data inden tidsfristen den 1. april 2014. Fem kommuner har ikke indberettet vandværkernes indvindingsdata for 2013 rettidigt. Samlet set vurderes der på den baggrund alene at mangle indberetning af omkring 21 mio. m³ for 2013. Det bemærkes også, at to kommuner fortsat mangler at indberette indvindingsdata for vandværkerne for 2006. I alt skønnes dette at udgøre 3,5 mio. m³.

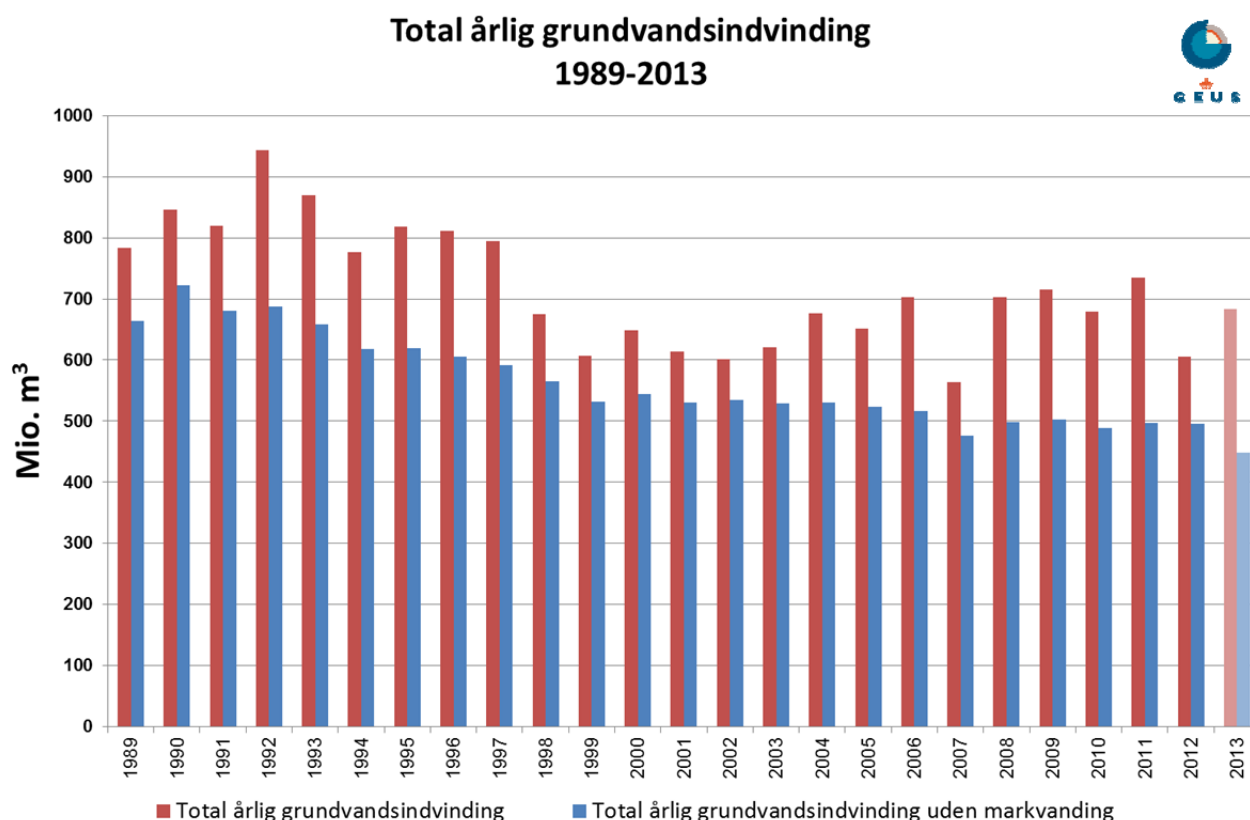
En række kommuner har det forløbne år rettet ældre forkerte data. Der har især været korrektioner af for store indberetninger. GEUS har derfor ikke i samme omfang som de seneste par år haft særlig fokus på at korrigere indberetningerne. På trods heraf mangler der som nævnt ved deadline formentlig stadig ca. 21 mio. m³ fra de almene vandværker.

Det vurderes, at datakvaliteten i år er blevet væsentligt forbedret.

Status og udvikling

Figur 45 viser den totale årlige oppumpede vandmængde for perioden 1989-2013 med røde søjler, mens de blå søjler viser de totale oppumpede vandmængder uden markvanding. Markvandingen er stærkt varierende og er især påvirket af variationer i vejret fra år til år.

Markvandingen i 2007 er lavere end i de andre år, men beregninger (Kolind, 2011, se også Thorling mfl., 2011) viser, at der var et markant mindre vandingsbehov i 2007 end i årene før og efter. Beregningerne illustrerer, at vandingsbehovet kan variere med flere hundrede procent fra år til år og udgøre meget betragtelige andele af oppumpningen på såvel lokal som national skala.



Figur 45. Den totale årlige grundvandsindvinding med og uden markvanding i perioden 1989-2013. Data fra 2013 vurderes at være ufuldstændige.

Udviklingen i de oppumpede vandmængder i Danmark (uden markvanding) viser fra 2006 og frem en svagt faldende tendens, tenderende til at være konstant efter 2009. Fra 1990 og frem til og med 1999 oppumpes der markant mindre og mindre grundvand, mens der fra 1999 og frem er en relativ konstant oppumpning, dog med en svag om end støt faldende tendens. Fra 1999 til 2012 er forskellen på største og mindste oppumpning opgjort uden markvanding 69 mio. m³.

Markvandingen udgør 25-30 % af de samlede oppumpede vandmængder i Danmark. Hvis den medregnes i den samlede indvinding slører det eventuelle udviklingstendenser i det øvrige vandforbrug betinget af konjunkturer og miljøpolitiske tiltag.

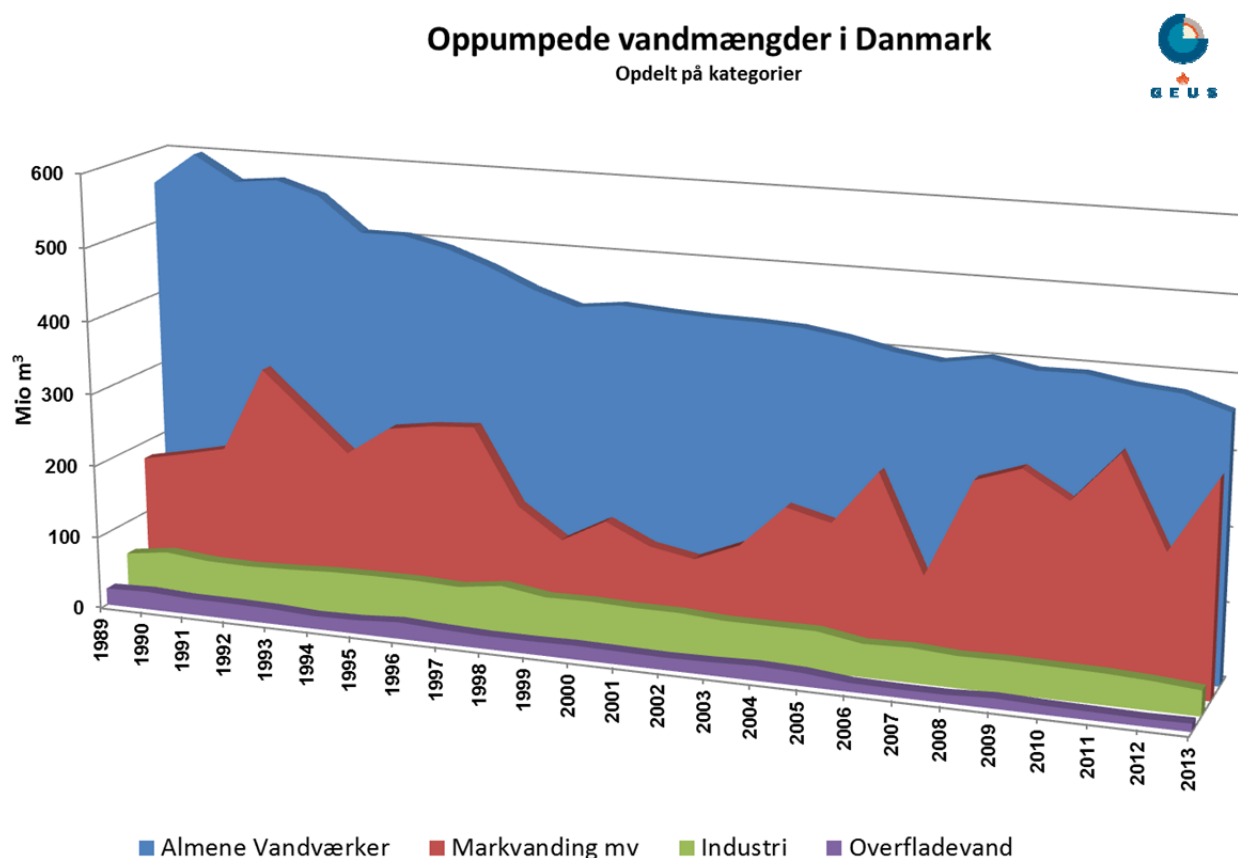
Der er som nævnt størst usikkerhed på 2013 data, og de er derfor vist med nedtonede farver i Figur 45. Med de ovenstående forbehold in mente kan det konkluderes, at den totale årlige oppumpning forsat ligger på et stabilt niveau omkring 500 mio. m³/år, hvis man ser bort fra markvandingen.

Indvindingen indenfor de enkelte kategorier

Figur 46 viser vandindvindingen for hele landet fordelt på fire hovedkategorier for perioden 1989-2013.

Kategorierne er:

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



Figur 46. Vandindvinding i Danmark i perioden 1989-2013 er opdelt på almene vandværker, erhvervsvanding, industri og overfladevand. Opførelsen af indvinding af overfladevand fra før 1997 er upålidelig.

For kategorien almene vandværker ligger oppumpningen på et ret konstant niveau omkring 400 mio. m³. I 2008 er der en lidt højere værdi end for de nærmeste andre år, hvilket sandsynligvis skyldes fejlbehæftet indberetning. Indvindingen af overfladevand på 11 mio. m³ er vanskelig at erkende i figuren, og er ikke meget forskellig fra de foregående år. Overfladevand anvendt i dambrug indgår ikke i opgørelser over indvindinger. Det skyldes at dambrugenes anvendelse af overfladevandet praktisk taget ikke ændrer på vandføringen i vandløbene, idet vandet ledes tilbage til vandløbet efter gennemløb i dambruget. Det giver derfor en mere præcis opgørelse på opgørelser over indvinding af overfladevand at udelade dambrugene.

Indvinding af grundvand til markvanding, gartneri og dambrug (kategorien "erhvervsvanding") ligger tæt på normalen for perioden 2008-2013.

Vandforbruget for virksomheder med egen indvinding er relativt konstant, men ser ud til at være faldet en anelse de sidste par år.

De tre nævnte kategorier: almene vandværker, virksomheder med egen indvinding og overfladevand til alle formål har været ret konstante siden 2006 med værdier på knap 500 mio. m³. Variationen på ca. 10 mio. m³/år for de tre kategorier vurderes at ligge inden for de udsving, man kan forvente fra år til år pga. variationer i klima og forbrug.

Referencer, Vandindvinding

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

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

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

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

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

Andre referencer:

Hvid, S. Kolind, 2011, Videnscentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx, (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (5-11-13)

Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L. 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (5-11-13)

Links:

Vandplanernes hjemmeside: www.naturstyrelsen.dk/Vandet/Vandplaner (26-08-2014)

9 Det Nationale Pejleprogram

Sammenfatning og konklusion

På baggrund af de 151 pejlestationer, som udgjorde Det Nationale Pejleprogram i 2013, overvåges og følges grundvandsstanden over hele landet i indtag med forskellige dybder.

Stationsnettet bliver i denne programperiode (2011-2015) revideret og udbygget, således at stationsnettet fremover bedre kan repræsentere og dække relevante grundvandsforekomster og dermed dække kravene til den kvantitative overvågning i Vandrammedirektivet (EU, 2000).

De seneste 100 år har nedbørsmængderne i Danmark været stigende, hvilket må forventes at afspejles i grundvandsstanden dels som en øget grundvandsressource, dels som forsumpning i lavbundsområder. Den gennemsnitlige nedbør er steget 4,4 % fra 1961-1990 frem til perioden 1991-2010, hvilket er en forøgelse af den gennemsnitlige årsnedbør på 33 mm/år på 30 år.

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

Langsigtet udvikling. Flere, men ikke alle lange pejletidsserier, viser en svag stigning i grundvandsstand, i overensstemmelse med en generelt stigende nedbør.

Årsvariation. Tidsserierne viser en årsvariation i grundvandsstanden på op til 6 m.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som et op til 2 m højere beliggende vandspejl.

Påvirkning fra tørre perioder. I den observerede periode har der været to nedbørsfattede hændelser i 1975-76 og 1996, som afstedkom øgede markvandingsbehov. Disse hændelser slår i flere tidsserier tydeligst igennem i de følgende 3-4 år for de regionale og dybe grundvandsforekomster, hvor grundvandsstanden nogle steder falder op til 3 m og andre steder ikke - som normalt - stiger i den efterfølgende vinterperiode.

Datakvaliteten i Det Nationale Pejleprogram er fortsat ikke tilfredsstillende, idet kun godt halvdelen af pejletidsserierne fra det nuværende pejlestationsnet vurderes at være af en god kvalitet. Der er konstateret mange fejl ved indberetningen af data. Naturstyrelsen og GEUS har haft og vil fortsat have fokus på datakvalitet og søge at strømline procedurer for indberetning, kvalitetskontrol for fremadrettet at få bedre udnyttelse af de indsamlede peyledata, blandt andet gennem en ny teknisk anvisning for dataarbejdet (Thorling mfl., 2014). I det omfang der foreligger viden og grunddata, vil der blive søgt rettet i tidligere indberetninger, så flest mulige data fra Det Nationale Pejleprogram kan anvendes til overvågningsopgaven fremover.

Indledning

I 2007 blev der etableret et Nationalt Pejleprogram med det formål at overvåge grundvandets kvantitative tilstand gennem målinger af kort- og langsigtede variationer i grundvandsstanden.

Variationer i grundvandsstanden kan skyldes flere faktorer. De kan skyldes kort- og langtidsændringer i nettonedbøren og ændringer i indvindingen på lokal eller regional skala. Omfanget og typen af variationer i grundvandsstanden overvåges i Det Nationale Pejleprogram, hvor beligheden af grundvandsstanden i dag registreres dagligt i de fuldt udbyggede overvågningspunkter.

Det Nationale Pejleprogram skal kunne fungere som grundlag for fortolkning af andre pejleserier og enkeltmålinger af vandstanden og skal således afspejle repræsentative størrelser for reelle variationer i grundvandsstanden. Pejledata af god kvalitet er af stor betydning i vurderinger af vandstanden og til den langsigtede anvendelse til grundvandsmodeller i forbindelse med vurderinger af vandbalance, den tilgængelige mængde grundvand til vandforsyningsformål samt påvirkningen af grundvand og økosystemer.

Miljømål

Vandrammedirektivet (EU, 2000) foreskriver, at der skal være en overvågning af grundvandsstanden i tilknytning til vandplanarbejdet. "Overvågningsnettet udformes således, at det giver en pålidelig vurdering af den kvantitative tilstand for alle grundvandsforekomster eller grupper af grundvandsforekomster, herunder vurdering af den tilgængelige grundvandsressource."

Pejledata er en indikator for udviklingen i grundvandsressourcens størrelse. Ændringer i ressourcens størrelse har afgørende betydning for den mængde grundvand, der kan indvindes til drikkevandsforsyning, markvanding og andre humane behov samt for den økologiske tilstand i enge, moser, vandløb og søer mv. Derudover anvendes pejledata i forbindelse med risikovurderinger og planlægningsformål for fx oversvømmelser i bebyggede områder.

Det nationale pejlestationsnet

Naturstyrelsen overtog i forbindelse med kommunalreformen i 2007 ansvaret for det Nationale pejlestationsnet, som på det tidspunkt blev etableret på basis af amternes meget uensartede pejleprogrammer. Det nuværende Nationale Pejlestationsnet bygger på pejleboringer fra amterne suppleret med nye boringer, se kapitel 2, og ældre pejleboringer fra GEUS. Indtil 2007 var der ingen fælles national strategi for pejleprogrammerne, og stationsnettet var derfor i udgangspunktet afhængigt af de enkelte amters prioritering af opgaven.

Mange tidsserier går tilbage til 1980'erne, hvor amterne etablerede pejlestationer i forbindelse med grundvandsovervågningen. Enkelte tidsserier går helt tilbage til 1950'erne eller endnu tidligere. Naturstyrelsen har i de senere år nedlagt en del pejleboringer med dårlig/ukendt konstruktion eller med åbenlys påvirkning fra, fx nærliggende markvanding. Disse er erstattet med nye stationer, hvorfra tidsserierne selvsagt stadig er meget korte.

I 2013 indgik i alt 151 pejlestationer/indtag i Det Nationale Pejleprogram. I forhold til afrapporteringen i 2012 er der således sket en reduktion af nettet med 60 indtag, hvilket dækker både en tilgang og afgang af stationer, se kap.2, Figur 1.

Datagrundlag

I de fleste af pejlestationerne findes der nu dataloggere, som dagligt registrerer grundvandsstanden. Stationsnettet blev i 2012 suppleret med en række nye undersøgelsesboringer af høj kvalitet. Disse er etableret i forbindelse med den nationale grundvandskortlægning. Der er desuden kommet andre undersøgelsesboringer til med længere pejleserier.

Det er en udfordring at fastholde en ensartet og sammenlignelig indsamling af data til pejletidsserier i hele overvågningsperioden. Måleaktiviteterne og pejlingerne finder sted gennem mange årtier og kvaliteten af de indsamlede data er meget følsom over for ændringer i fx målepunkter, personale og måleteknologier.

Flere af tidsserierne i Det Nationale Pejlenet har et forløb, der indikerer, at fejl i data er opstået ved fx ændringer i boringens indmåling, skift i målepunkt uden efterfølgende konsekvensretelse af pejleserien eller fejl i indrapportering til JUPITER. Derudover er der i nogle helt specielle tilfælde situationer, hvor JUPITER beregner forkerte værdier for grundvandskote og nedstik (i forbindelse med ændring og/eller nyindmåling af målepunktet).

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

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

Datagrundlag for afrapportering

Pejlingerne fra det Nationale Pejleprogram i JUPITER danner udgangspunkt for afrapporteringen for 2013. På grund af den store mængde data, der genereres fra stationer med dataloggere, er dataene i pejleserierne i den årlige afrapportering blevet reduceret til én pejling per døgn ved beregning af en gennemsnitlig døgnværdi.

Kvalitetsvurdering af pejletidsserier

Da pejletidsserierne er indsamlet over en lang periode og af forskellige instanser, er det nødvendigt at foretage en vurdering af deres kvalitet, inden de benyttes i afrapporteringen.

Kvaliteten og værdien af en tidsserie kan med fordel vurderes efter:

- længden af tidsserien
- hyppigheden af målinger
- aktualitet fx målinger i 2013
- dokumentation: lokalisering, beskrivelse af indretning, indmåling
- konsistens mellem geologisk og hydrologisk indmåling, jordlag og vandstand
- konsistens mellem dataene i pejletidsserien

I de senere år er der i forbindelse med afrapporteringen udført en kvalitetsvurdering af samtlige pejleserier ud fra en optegning af samtlige tidsserier. Denne vurdering danner basis for en

systematisk visuel kontrol af, om der i tidsserien er data fra afrapporteringsåret, om der er åbenbare datafejl, der bør rettes op, og om tidsserien er konsistent.

Pejletidsserierne skal kunne anvendes som en konsistent reference, hvorfra man kan vurdere udviklingstendenser uden meningsforstyrrende fejl. I den visuelle vurdering af kvaliteten er hver pejleserie derfor klassificeret som "usikker", hvis serien indeholder spring eller "outliers", som gør, at der ikke direkte kan estimeres en retvisende udvikling, eller "med datafejl", hvis serien indeholder enkelte meningsforstyrrende datapunkter.

I denne rapport er der foretaget en vurdering af kvaliteten af pejleserierne efter tre aldersgrupper. Der er pejleserier med pejledata målt i perioden 2007-2013, der er pejleserier med pejledata målt i en væsentlig del af overvågningsperioden fra før år 2000 og endelig er lange pejleserier defineret ved, at der indgår pejledata fra før år 1980.

Den geografiske fordeling af stationerne og vurderingen af deres kvalitet er sammenfattet på Figur 47, Figur 48, og Figur 49.

Af vurderingen fremgår, at:

- Næsten alle, dvs. 141 af de 151 pejlestationer indeholder målinger i 2013
- Der findes 147 pejleserier med målinger i perioden fra 2007-2013, og af disse vurderes 92 af høj kvalitet, svarende til godt 62 %
- Der findes 94 pejleserier med målinger fra før år 2000, og af disse vurderes 36 af høj kvalitet, svarende til godt 38 %
- Der findes 56 pejleserier med målinger fra før år 1980, og af disse vurderes 16 af høj kvalitet, svarende til godt 28 %.

I forhold til år 2012 spores der en lille procentvis fremgang i kvaliteten af pejleserierne (jf. ovenstående definition), hvilket især tilskrives opretning af de midtjyske serier.

Luftrykkets betydning

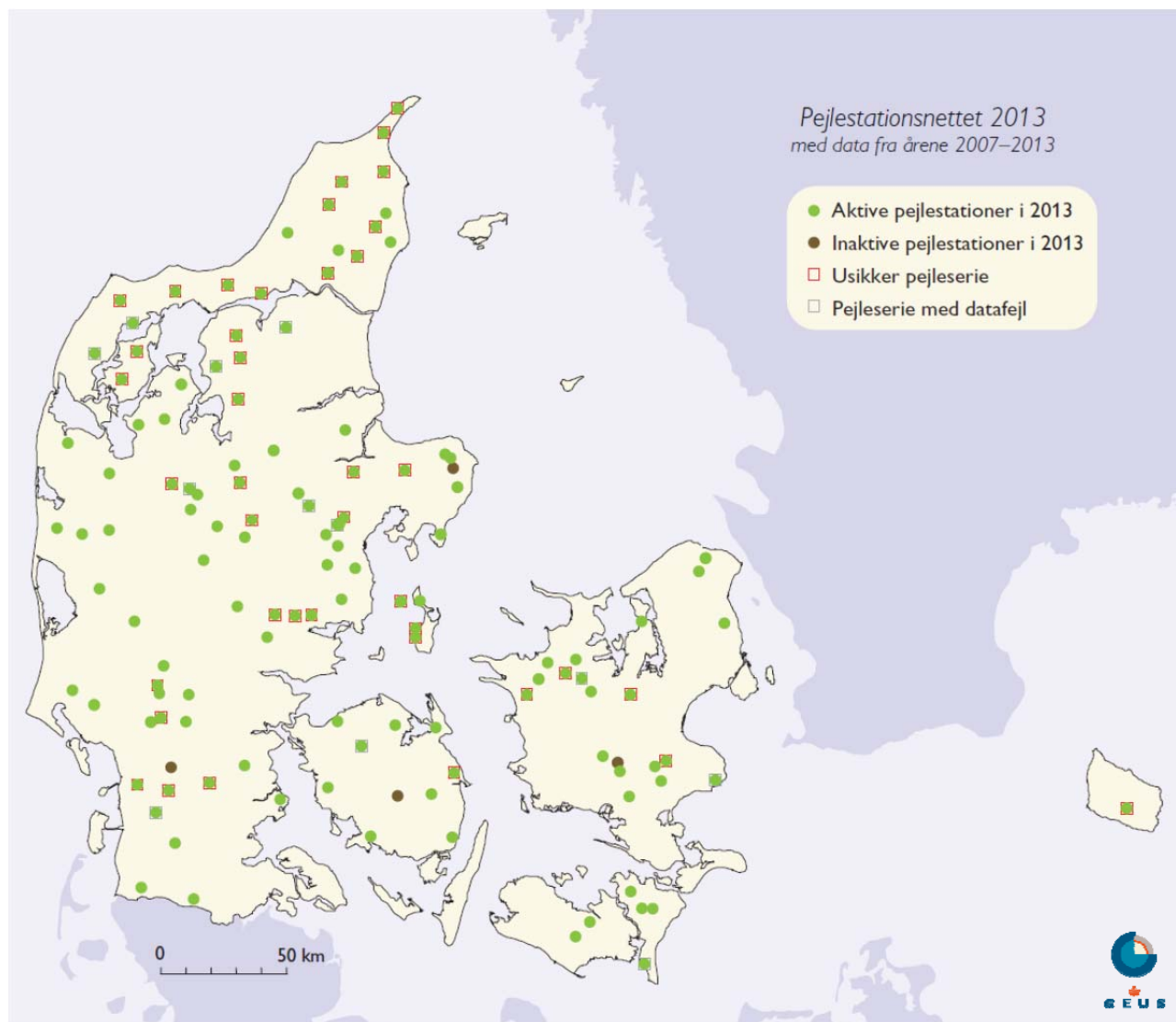
Grundvandsstanden i spændte/artesiske magasiner er meget følsom over for ændringer i det atmosfæriske luftryk. Dette reflekteres i pejledata på to forskellige måder. For det første ændres det faktiske grundvandsspejl i boringerne, hvilket kaldes barometereffekten. For det andet bliver selve målingen påvirket af det atmosfæriske tryk, når der anvendes en tryktransducer, da den måler det samlede tryk af grundvand og atmosfære over transducere.

For at kunne afgøre om der er tale om en reel effekt på selve grundvandsspejlet er det vigtigt, at alle målte data korrigeres for den effekt atmosfæretrykket har på selve målingen. Kun derved kan effekten på ændringer i grundvandets trykniveau skelnes fra de måletekniske effekter (Thorling, mfl. 2014). Det er en forudsætning, for at korrektionen kan udføres, at der er registreret og indberettet samtidige værdier af atmosfæretrykket og pejlningen, hvilket ikke altid er tilfældet.

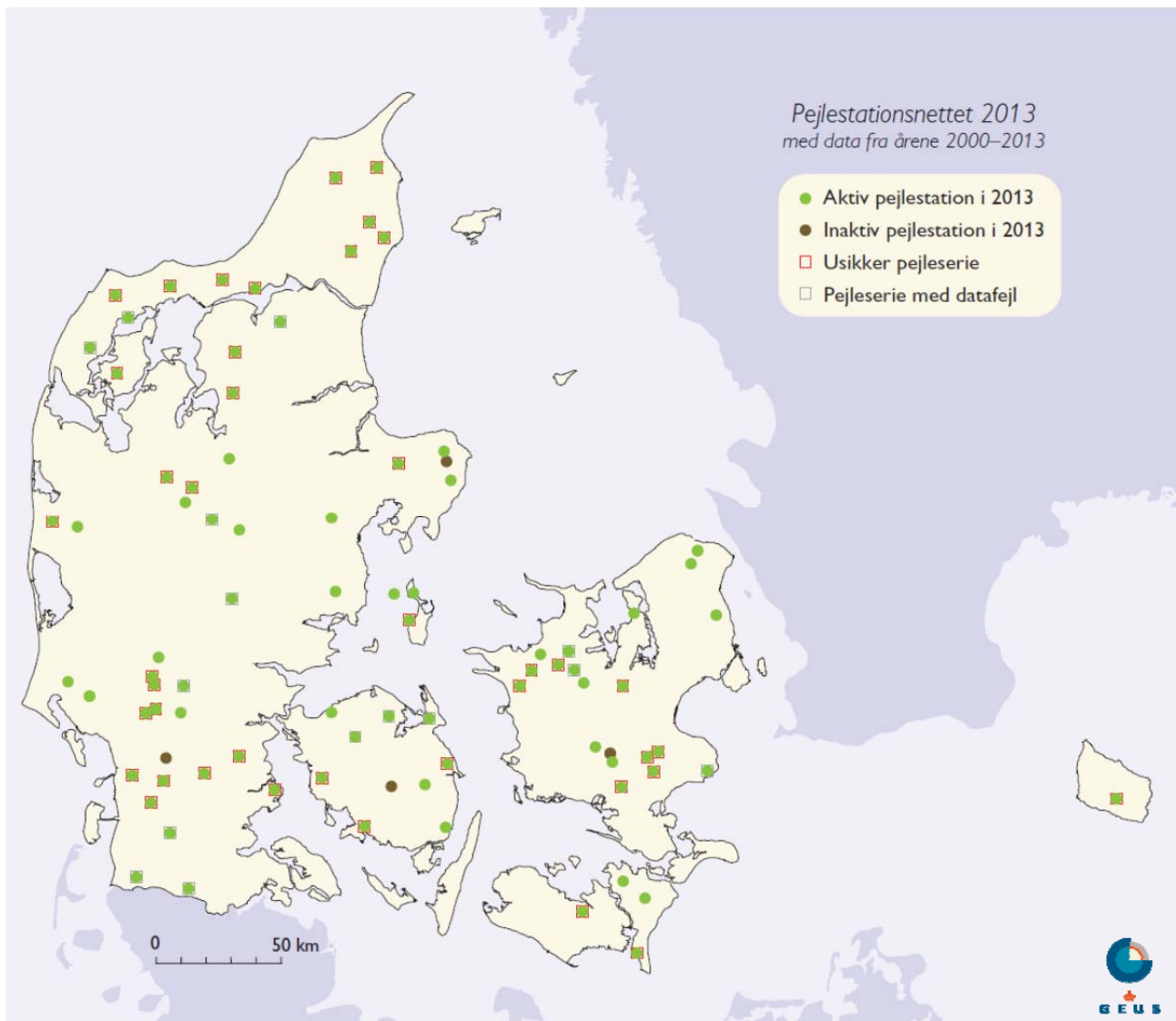
I 2012 blev det i udvalgte pejlestationer undersøgt, hvorledes luftrykket har påvirket pejletidsserier, der er målt med dataloggere. Det viste sig, at flere pejletidsserier var påvirket af æn-

dringer i det atmosfæriske tryk, og at der var tale om reelle påvirkninger og ikke måletekniske forhold.

I 2013 er der i forbindelse med stormhændelserne Allan (28. oktober 2013) og Bodil (5. december 2013) indrapporteret kortvarige ændringer i potentiale og saltholdighed i kystnære indtag. En nærmere analyse af konsekvensen af disse trykændringer i relevante indtag udestår endnu. Det illustrerer dog værdien af det nationale pejleprogram, at det kan opfange denne type begivenheder og sikre data til kvantificering af denne type påvirkning.



Figur 47. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier fra 2007-2013 er angivet med aktuell status for aktive og inaktive stationer i 2013. Signaturer med firkant viser pejleserier af lavere kvalitet.



Figur 48. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier med pejledata fra år 2000 er angivet med aktive og inaktive stationer i 2013. Signaturerne med firkant viser, hvor der er pejleserier af lavere kvalitet.

Nedbørens betydning

Viden om den geografiske fordeling og tidslige udvikling af nedbørens størrelse, er nødvendig for at vurdere, om der sker klimatiske ændringer, der kan forventes at påvirke størrelsen af grundvandsdannelsen i de overvågede grundvandsmagasiner. Hvis der er god hydraulisk kontakt fra overfladen og ned til et grundvandsmagasin, vil magasinet reagere hurtigt på en nedbørsbegivenhed. Det modsatte vil gælde for et dybere magasin, hvor der er dårligere hydraulisk kontakt.

Af DMI's hjemmeside (DMI, 2014) fremgår, at den gennemsnitlige nedbør de sidste ca. 20 år i det centrale Jylland er over 900 mm/år, mens den over Kattegat og Bornholm er blot ca. 500 mm/år. Figur 50 viser, at nedbørsmængden i Danmark har været stigende de sidste 100 år. Den gennemsnitlige årsnedbør for klimanormalperioden 1961-1990 er beregnet til 712 mm. I perioden fra 1990-2013 har årsnedbøren ligget omkring 745 mm, dvs. der har været en stig-

ning på 33 mm svarende til 4,4 %. Temperaturen og antallet af solskinstimer er ligeledes steget i perioden.

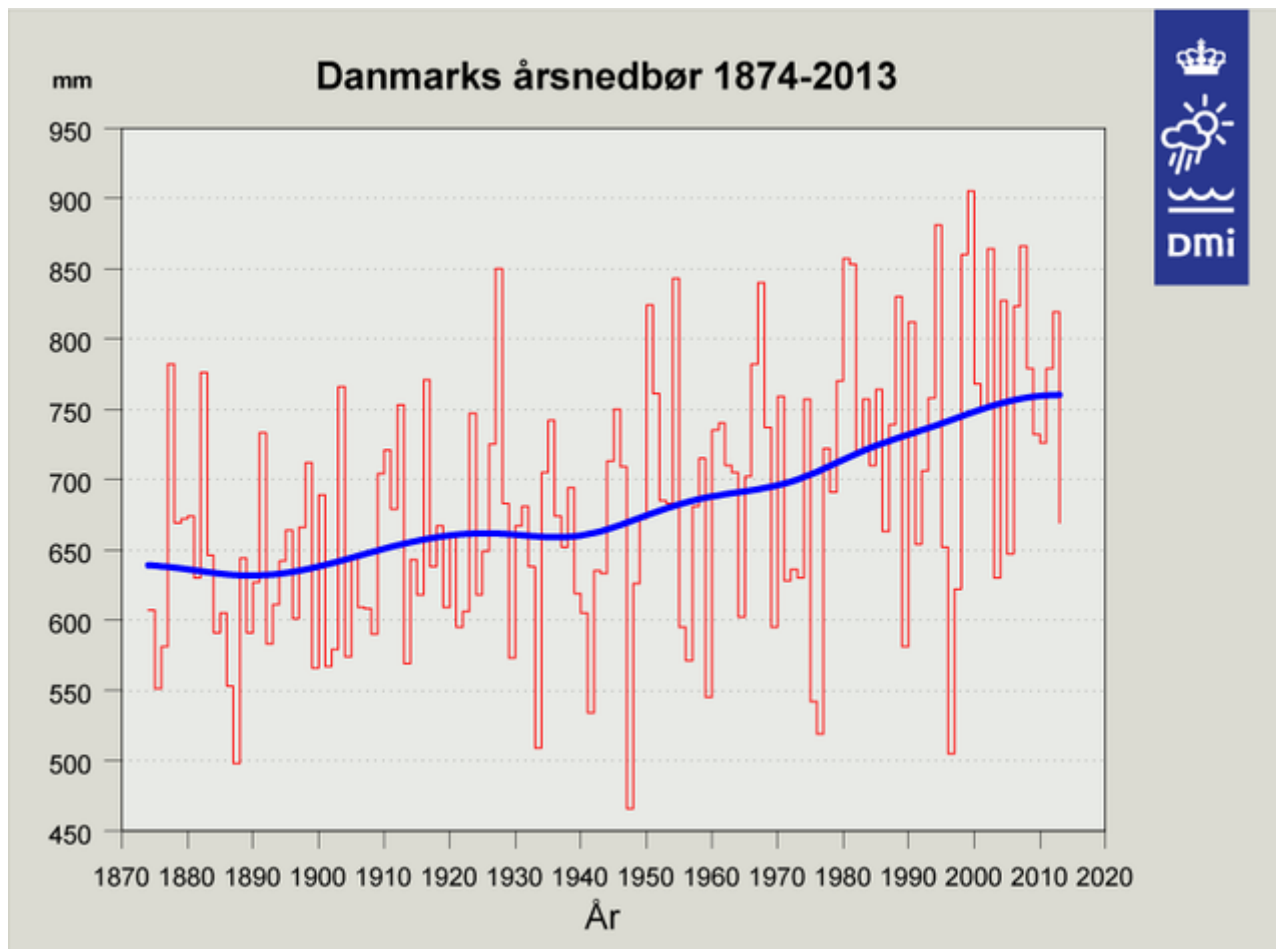


Figur 49. Det Nationale Pejleprogram, tidsserier med pejledata siden 1980 er opdelt i aktive og inaktive stationer i 2013. Signaturerne med firkant viser, hvor der er pejleserier af lavere kvalitet.

På trods af stigningen i årsnedbør kan det være vanskeligt på landsplan direkte at se, hvordan ændringerne i nedbøren udmønter sig i pejleserierne. Det skyldes, at noget af den ekstra nedbør strømmer af overfladisk (især om vinteren), og noget fordampes som følge af højere temperaturer (især om sommeren), hvorfor kun en del af nedbøren siver ned til grundvandet, som nettonedbør, se kapitel 4, Figur 9.

Stigningen i grundvandsstanden som følge af 100 mm ekstra nedbør kan skønsmæssigt beregnes til 0,5 m, forudsat der er et porevolumen på 30 % i sedimentet. En sådan stigning vil typisk forekomme, hvor der er frie magasiner i nedsivningsområderne. Derimod er det vanske-

ligere at beregne effekten i udstrømningsområderne, fordi der lokalt kan ske opstuvning og således forekomme meget højere vandstand, eller der omvendt lokalt kan forekomme dræn, vandløb mv., som fastholder grundvandstanden i det eksisterende niveau.



Figur 50. Danmarks årsnedbør siden 1874. Landsgennemsnit beregnet på basis af et antal udvalgte stationer. Den blå kurve er ni års Gaussfiltrerede værdier (DMI's hjemmeside, 2014).

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

I 1980'erne konstateredes øget nedbør i en længere årrække, og der har omvendt været to markante nedbørsfattede hændelser siden pejleserierne påbegyndtes, hvor årsnedbøren var under 2/3 af det normale, nemlig i 1975-1976 og i 1996. Den første tørre periode resulterede i øgede investeringer i markvandingsanlæg, som også efterfølgende gav sig udslag i planlægningsmæssige tiltag for at undgå uønskede effekter på grundvand og vådområder.

Som følge heraf er det i de følgende afsnit analyseret, hvordan udvalgte repræsentative pejle-tidsserier reagerer over tid. I de viste tidsserier over grundvandsstanden er det relevant at kigge efter den landsdækkende konsekvens af stigende nedbør generelt og i 1980'erne, og den landsdækkende konsekvens af de ekstremt tørre perioder i 1975-1976 og i 1996.

Betydning af vandindvinding

Udviklingen i vandindvindingen er beskrevet kapitel 8. Det generelle fald i den samlede indvinding må her forventes at give anledning til en stigende vandstand. Tørre forår og somre, hvor der pågår markvanding, vil kunne medføre, at grundvandsstanden sænkes om sommeren og vise sig som større forskel mellem sommer- og vintervandstand.

Det er i en tidligere GRUMO-rapport (Thorling, mfl., 2011) vist, at der er en tydelig påvirkning af grundvandsstanden fra vandindvinding i en pejleboring på Sjælland. Denne pejleboring er oprindeligt etableret af et af de større vandselskaber, og forløbet af vandspejlet er et tydeligt eksempel på konsekvensen af udviklingen af det danske vandforbrug fra starten af 1970'erne frem til den efterfølgende reduktion i 1990'erne - som følge af øget miljøbevidsthed og indførelse af vandafgifter.

Udvikling af grundvandsstand i udvalgte terrænnære indtag

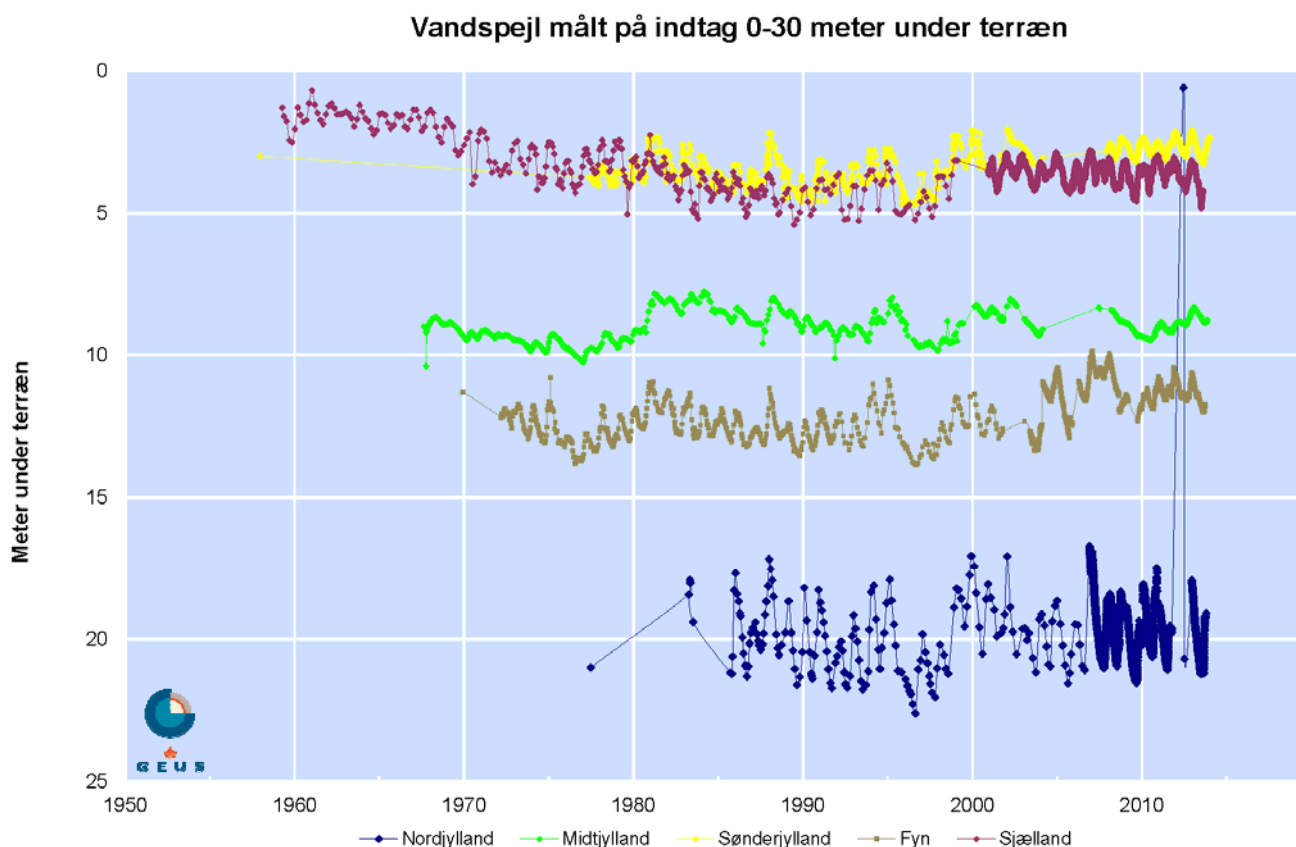
På baggrund af analysen af pejleseriernes kvalitet er der i 2013 udpeget en lang repræsentativ tidsserie for terrænnære indtag. Udviklingen i dybden til grundvandspejlet i boringer med indtag beliggende relativt terrænnært (0-30 m u.t.) er præsenteret ved følgende fem pejleserier:

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

Figur 51 viser pejleserier for perioden 1950-2013. De viste pejleserier er målt i såvel kvartære som prækvartære magasiner. Grundvandsstanden ligger ned til 22 m u.t. Den fynske og sjællandske boring er sat i spændte magasiner.

Figur 52 indeholder et udsnit af pejleserierne (måleperiode 1990-2006), der illustrerer effekten af tørkeperioden i 1996.

Disse pejletidsserier anvendes i det efterfølgende til at vurdere tendenser i udviklingen af grundvandsstanden samt størrelsesordener på konsekvenser af påvirkninger fra klimaudvikling, større vejrmæssige hændelser og udefrakommende faktorer.



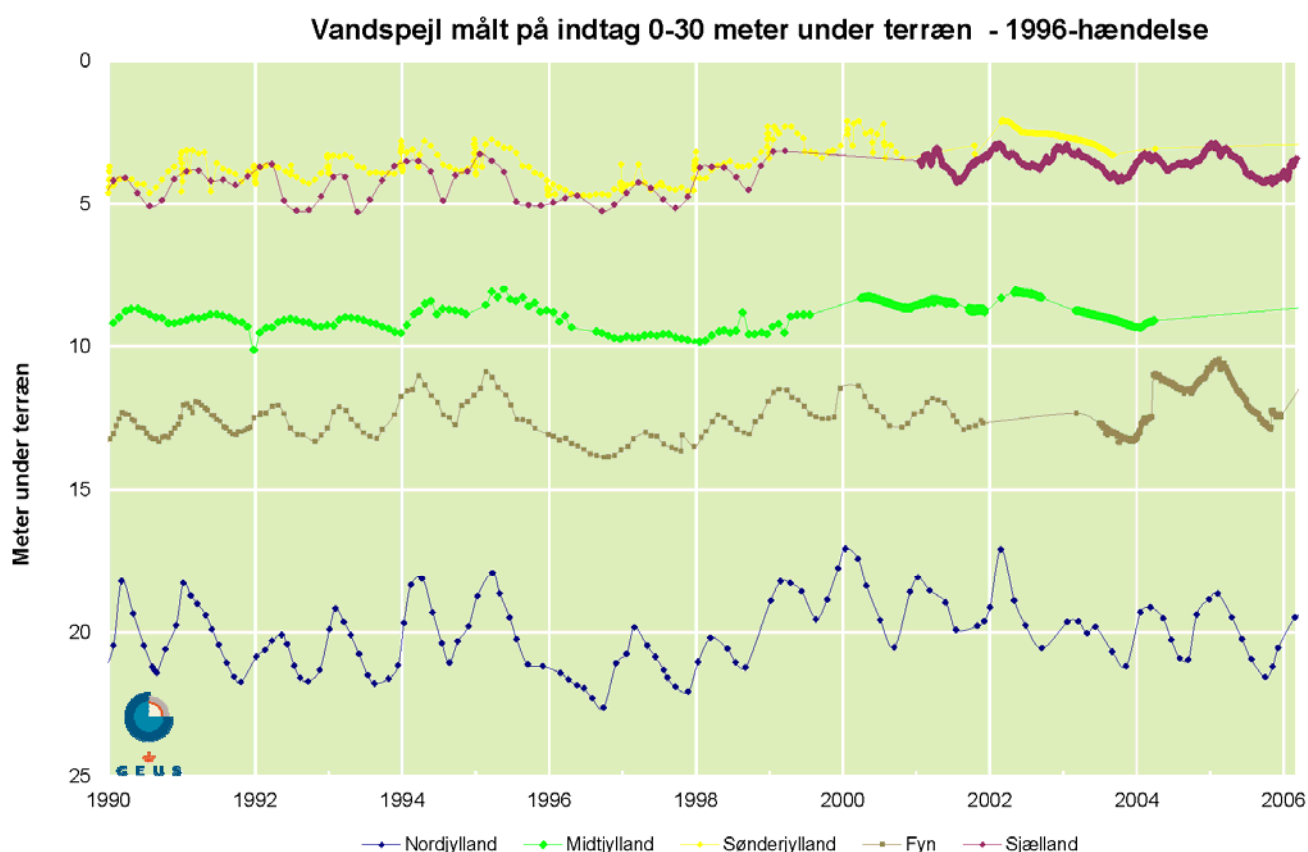
Figur 51. Pejletidsserier for terrænnære indtag, med top af indtag 0- 30 m u.t. (Grundvandsstand i m u.t.)

Langsigtet udvikling. Den midtjyske, sønderjyske og fynske pejletidsserie viser samme overordnede forløb og stor overensstemmelse. Den sjællandske pejleserie har faldende vandstand frem til midten af 1990'erne. Den nordjyske pejleserie har stor amplitude/udsving hen over året. Niveaueet på grundvandsstanden varierer inden for 2-3 m i perioden.

Årsvariationen for den nordjyske serie har et udsving på op til 6 m, mens de øvrige serier typisk ligger inden for 2 m.

Påvirkning fra den stigende nedbør i 1980'erne viser sig som en hævnning af grundvandsstanden på op til 1-2 m undtagen den sjællandske serie.

Påvirkning fra tørre perioder ses i 1975-1976 og i 1996 ved et fald i vandstanden på 1-2 m 3-4 år efter hændelsen. I den nordjyske pejleserie iagttages der kun et fald i vandstanden i den efterfølgende vinter (årsudsvinget).



Figur 52. Pejletidsserier (vandstand m u. t.) for terrænnære indtag. Figuren er et udsnit (1990-2006) af Figur 51 og fremhæver påvirkningen fra den tørre periode i 1996.

Referencer. Det Nationale Pejlenet

Dansk og EU lovgivning, vejledninger mv.

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

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

Andre referencer

DMI, 2014: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (5.08.14)

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

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

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014: Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/dTA-PEJL-endelig.pdf>

Links:

NOVANA hjemmeside:

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

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

10 Referencer

Dansk lovgivning, vejledninger mv.

- By og landskabsstyrelsen, 2010: Vejledning om indberetning og godkendelse af vandforsyningsdata. November 2010
- Miljøministeriet, Danske regioner og KL, 2007: Dataansvarsaftalen, <http://internet.miljoeportal.dk/Dokumenter%20alle/Dataansvarsaftalen%20Bilag%203%20Grundvand.pdf> (26-08-2014)
- Miljøministeriet, 2009: LBK nr. 932 af 24/09/2009. Lov om miljømål m.v. for vandforekomster og internationale naturbeskyttelsesområder (Miljømålsloven)
- Miljøministeriet, 2009a: LBK nr. 1427 af 04/12/2009. Bekendtgørelse af lov om forurenede jord (Jordforureningsloven)
- Miljøministeriet, 2010: Bekendtgørelse nr. 1022 af 25. august 2010 om miljøkvalitetskrav for vandområder og krav til udledning af forurenende stoffer til vandløb, søer eller havet.
- Miljøministeriet, 2011: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 900, 17. august 2011. (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2013: LBK nr. 1199 af 30/09/2013 om vandforsyning mv. (Vandforsyningsloven)
- Miljøministeriet, 2013a: LBK nr. 1606 af 26/12/2013. Lov om vandplanlægning (Miljømålsloven)
- Miljøministeriet, 2014. Naturstyrelsen database for kvalitetskrav for overfladevand. <http://naturstyrelsen.dk/vandmiljoe/havet/havmiljoe/kvalitetskrav-for-overfladevand/database/> (26-08-2014)
- Miljøministeriet, 2014a: Bekendtgørelse om kvalitetskrav til miljømålinger. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 231, 5 marts 2014 (Analysekvalitetsbekendtgørelsen)
- Miljøministeriet, 2014b: Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. – Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 292 af 26. marts 2014. (Drikkevandsbekendtgørelsen)
- Miljøstyrelsen, 1988: Sammenstilling af det totale overvågningsprogram i henhold til vandmiljøplanen, okt. 1988.
- Miljøstyrelsen, 1990: Vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 1990.
- Miljøstyrelsen, 1997: Boringskontrol på vandværker. – Vejledning fra Miljøstyrelsen 2/1997.
- Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6.
- Miljøstyrelsen, 1999: Fjernelse af metaller fra grundvand ved traditionel vandbehandling på danske vandværker. Vandfonden. – Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 17/1999.
- Miljøstyrelsen, 2005: Vejledning om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Vejledning fra Miljøstyrelsen, Nr. 3, 2005.
- Miljøstyrelsen, 2010a: "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". (5-11-13) www.mst.dk/NR/rdonlyres/95E72216-4024-4881-AE3A-5FA05E2A486F/84000/MaSt01forsuringkvGATbladudenkor.pdf
- Miljøstyrelsen, 2013: Status and Trends of Aquatic Environment and Agricultural Practice in Denmark. Report to the European Commission for the periode 2008-20011. (83 pp)
- Miljøstyrelsen, 2014: Redegørelse om jordforurening 2012. Redegørelser fra Miljøstyrelsen nr. 2, 2014.
- Miljøstyrelsen, 1998. Oprydning på forurenede lokaliteter – Hovedbind. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 6.
- Miljøstyrelsen, 2014a. "Liste over kvalitetskriterier i relation til forurenede jord og kvalitetskriterier for drikkevand". Opdateret maj 2014.
- Naturstyrelsen, DMU og GEUS, 2011: Det nationale overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-15. Programbeskrivelse www.naturstyrelsen.dk/naturbeskyttelse/national-naturbeskyttelse/overvaagning-af-vand-og-natur/novana-program (26-08-2014)

EU- direktiver

- EU, 1980: Rådets direktiv 80/778/EØF af 15. juli 1980. (1. version af Drikkevandsdirektivet)
- EU, 1991: Europaparlamentet og Rådets direktiv 91/676/EOEF af 12. december 1991 om beskyttelse af vand mod forurening forårsaget af nitrater, de stammer fra landbruget. (Nitratdirektivet)
- EU, 1998: Europaparlamentets og Rådets direktiv nr. 98/83/EF om kvaliteten af vand til drikkevand. (Drikkevandsdirektivet)
- EU, 2000: Europaparlamentets og Rådets Direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000 om fastsættelse af en ramme for fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. EFT L 327 af 22.12.2000. p. 1-72 og 10 bilag. (Vandrammedirektivet)

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

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

Andre referencer

Adriano, D. C., 2001: Trace elements in terrestrial environments (2. edition). Springer Verlag.

Blicher-Mathiesen, G., Rasmussen, A., Andersen, H.E., Timmermann, A., Jensen, P.G., Hansen, B. & Thorling, L., 2015: Landovervågningsoplande 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 154 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. XX

DMU, 2007: NOVANA – det nationale program for overvågning af vandmiljøet og naturen. Programbeskrivelse del 1, 2 og 3. Faglig rapport fra Danmarks Miljøundersøgelser nr. 495 og 508

Bonnesen, E., Larsen, F., Sonnenborg, T., Klitten, K., og Stemmerik, L. 2009. Deep saltwater in chalk of north-west Europe origin, interface characteristics and development over glacial time. Hydrogeology Journal 17:1643-1663.

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

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

Christensen L., S. Marcher, V. Møller, W. Brüsch, A. Rosenbom, A. Duer, M. Bach Madsen & M. Skriver, 2013: Bentazon. Anvendelse, regulering og fund i danske monitoringsundersøgelser. Orientering fra Miljøstyrelsen 1, 2013.

DANVA, 2006: Vandstatistik. Drikkevand og spildevand 2005.

DMI, 2014: Klimaudviklingen frem til i dag. www.dmi.dk (26-08-2014)

DMU, 2009: Kvalitetssikring af kemiske analyser i NOVANA.

Elkjær, Lars, Hans Ole Hansen, Liselotte Ludvigsen, Marianne Marcher Juhl, Mette Skougaard, Claus Kirkegaard, John Bastrup, Jens Baumann, Flemming Larsen, Liselotte Clausen, Niels P. Arildskov, Peter R. Jørgensen, Jens Kistrup & Niels Henrik Spliid, 2002: Pesticider og vandværker. Udredningsprojekt om BAM forurening. Hovedrapport. Miljøprojekt Nr. 732, 2002.

Flyvbjerg, J. og Terkelsen, M. 2006. Bor i grundvand og drikkevand i Roskilde Amt. Roskilde Amt.

Fredericia, J., Larsen, F. og Madsen, B., 1992: Grundvandsforurening i områder med moræneler. Vand og Jord, Nr. 3, 1992.

Freeze, R.A. og Cherry, J.A., 1979: Groundwater Printice-Hall Inc. 604 sider.

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

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

Hansen, B., Thorling, L., Dalgaard, T. & Erlandsen, M., 2011: Trend Reversal of Nitrate in Danish Groundwater – a Reflection of Agricultural Practices and Nitrogen Surpluses since 1950. Environmental Science and Technology, vol. 45 nr. 1 pp 228-234.

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

Henriksen, H.J., Rasmussen, J., Olsen, M. og Troldborg L., 2014: Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: "Effekt af vandindvinding". Udkast Version Juni 2014 – Leverance I udarbejdet for Miljøministeriet

Hensel D.R., 2006: Fabricating data: How substituting values for nondetects can ruin results, and what can be done about it. Chemosphere 65, 2006, 2434 – 2439.

Hinsby, K., Harrar, W.G., Nyegaard, P., Konradi, P., Rasmussen, E.S., Bidstrup, T., Gregersen, U. & Boaretto, E. 2001: The Ribe Formation in western Denmark: Holocene and Pleistocene groundwaters in a coastal Miocene sand aquifer. In: Edmunds and Milne (Eds.): Palaeowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene. Geol. Soc. Spec. Publ., 189, 29-48.

- Hinsby, K., Højberg, A.L., Engesgaard, P., Jensen, K.H., Larsen, F., Plummer, N.L., and Busenberg, E., 2007: Transport and degradation of Chlorofluorocarbons (CFCs) in the pyritic Rabis Creek aquifer, Denmark. *Water Resources Research*, vol. 43, W10423, doi: 10.1029/2006WR005854.
- Hinsby, K., Purtschert, R., Edmunds, W.M., 2008: Groundwater age and quality. In P. Quevauviller (ed.), *Groundwater Science and Policy - an International Overview*. RSC Publishing, The Royal Society of Chemistry, Cambridge. pp. 217-39.
- Hvid, S. Kolind, 2011., Vindencentret for Landbrug. Markvandingsbehov 1987-2010, www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Vanding/Sider/pl_11_616.aspx (5.11.13)
- Håkansson, E. og Schack Pedersen, S.A., 1992: Varv, Prækvartære Varv-kort.
- Jensen, T.F., Larsen, F., Kjøller, C., Larsen, J.W. 2003. Nikkefrigivelse ved pyritoxidation forårsaget af barometerænding-pumpning. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 5.
- Knudsen, C., 1999: Nikkel i grundvand. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse, Rapport 1999/57.
- Kudsk, P., 1999: Danmarks Jordbrugsforskning, Flakkebjerg. <http://www.fsp.dk/planteavl/Additivers%20indflydelse.htm>
- Laier, T. og Thorling, L., 2005: Tidsserier og datering, anvendelse af overvågningsdata. ATV møde 5. okt. 2005; Grundvandsmonitoring, teori, metoder og cases.
- Laier, T., 2014: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer -pilotprojekt. GEUS-notat 05-VA-14-01
- Laier, T., 2014a: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat 05-VA-14-04
- Larsen, F., Kjøller, C. og Gram, M. 2009. Arsen i dansk grundvand og drikkevand. Bind 1: Arsen i dansk grundvand. By- og Landskabsstyrelsen.
- Larsen, C.L. og Larsen, F. 2003. Arsen i danske sedimenter og grundvand. *Vand og Jord*, 10. årgang nr. 4, side 147-151.
- Mielby, S., Ditlefsen, C. og Olesen, H., 2009: "Geovejledning 4. Potentialekortlægning. Vejledning i udarbejdelse af potentialekort". GEUS, 2009:
- Nielsen, A.M., Hansen, B, Ernsten, V., Blicher-Mathiesen, G., & Greve, M.H., 2014. Odder Bæk – LOOP 2. Lokalitet 03, renovering og etablering af sugeceller og horisontal boring. GEUS rapport, in prep.
- Post, V.E.A. og von Asmuth, J.R., 2013: Hydraulic head measurements – new technologies, classic pitfalls. *Hydrogeology Journal* nr 21 , 2013, p. 737-750.
- Postma, D., Boesen, C., Kristiansen, H. & Larsen, F. (1991): Nitrate Reduction in An Unconfined Sandy Aquifer - Water Chemistry, Reduction Processes, and Geochemical Modeling. *Water Resour.Res.* 1991, 27 (8), 2027–2045.
- Qevauviller, P., 2005: Groundwater monitoring in the context of EU legislation: reality and integration needs. *J. environmental monitoring*, 2005, vol 7 pp89-102.
- Schullehner, J. & Hansen, B. (2014): Nitrate exposure from drinking water in Denmark over the last 35 years. *Environmental Research Letters* 9 095001 [doi:10.1088/1748-9326/9/9/095001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/9/095001)
- Stockmarr, J. (red) 2001: Grundvandsovervågning 2001, Teknisk rapport, GEUS 2001. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/g-o-2001-indl.pdf>
- Thorling, L., 2012a: Pejling af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. GEUS, 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g03_pejlinger.pdf (25.08.2014)
- Thorling, L., 2012b: Prøvetagning af grundvand i felten. Teknisk anvisning. GEUS 2012. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/g02_provetagning.pdf (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2009: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2007. Teknisk rapport, GEUS 2009. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2007.htm (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Iversen, C.H. og Højberg, A.L., 2010a: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2008. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2008.htm (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2010b: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2009. Teknisk rapport, GEUS 2010. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2009.htm (25.08.2014)
- Thorling, L., Hansen, B., Langtofte, C., Brüsch, W., Møller, R.R., Mielby, S. og Højberg, A.L., 2011: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2010. Teknisk rapport, GEUS 2011. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2010.htm (25.08.2014)

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

Thorling, L., Brüsich, W., Hansen, B., Langtofte, C., Mielby, S., Trolborg, L., og Sørensen, B.L., 2013: Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2012. Teknisk rapport, GEUS 2013. www.geus.dk/publications/grundvandsovervaagning/1989_2012.htm (25.08.14)

Thorling, L., Thomsen, C. T., Sørensen, E. N. og Wandall, T., 2014 : Datateknisk anvisning for pejledata. Teknisk rapport GEUS. <http://www.geus.dk/DK/water-soil/monitoring/groundwater-monitoring/Documents/dTA-PEJL-endelig.pdf>

Thorling, L. & Sørensen, B.L., 2014: Grundvandets kemiske tilstandsvurdering Vandområdeplan 2015-2021, data og metodevalg. GEUS rapport 2014/78. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Sider/grundvand_kemiske_tilstand.aspx (19.3.15)

Trolborg, L., Sørensen, B.L., Kristnensen, M. & Mielby, S., 2014: Afgrensning af grundvandsforekomster. Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark. GUES rapport 2014/58. http://www.geus.dk/DK/water-soil/water-management/Documents/GEUS_Rapport_58_2014_Final_web.pdf (19.3.15)

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

Links og hjemmesider:

BRIDGE-Background Criteria for the Identification of Groundwater Thresholds (<http://nfp-at.eionet.europa.eu/irc/eionet-circle/bridge/info/data/en/index.htm>) (25.08.2014)

DMI, Dansk meteorologisk institut, hjemmeside: www.dmi.dk (25.08.2014)

EEA hjemmeside: <http://www.eea.europa.eu/> (19.8.2014)

GEUS, 1998 : Viden om grundvand. Vandets kredsløb. www.geus.dk/viden_om/gv02-dk.html (25.08.2014)

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

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

Grundvandsovervågningens hjemmeside: www.grundvandsovervaagning.dk (19.08.2014)

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

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

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

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

STANDAT hjemmesiden, DCE, 2014: <http://dce.au.dk/overvaagning/standat/> (25.08.2014)

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

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