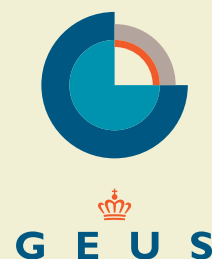


Faglig vurdering af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof i 2016-18

Birgitte Hansen & Flemming Larsen

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
ENERGI-, FORSYNINGS- OG KLIMAMINISTERIET



Faglig vurdering af nitratpåvirkningen i iltet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof i 2016-18

Birgitte Hansen & Flemming Larsen

Indhold

Indhold	2
1. Indledning	3
2. Datagrundlag	4
2.1 Definitioner	4
2.2 Nitratmålinger og aldersdateringer.....	4
2.3 N tilførsel i landbruget	5
2.4 Estimering af mertilførsel af N i 2016-2018.	5
2.5 Vurdering af den kvantitative grundvandsressource	6
3. N respons i iltet grundvand	8
3.1 Grundvandets infiltrationstid.....	8
3.2 Historisk udvikling i nitrat i iltet grundvand.....	9
3.3 Sammenhæng mellem nitrat i iltet grundvand og N tilførsel til landbruget.....	12
3.4 Prognose for nitratudvikling i grundvandet ved udfasning af normreduktion fra 2016-2018.....	15
3.5 Vurdering af den volumenmæssige og tidlige påvirkning af grundvandsmagasinerne	16
4. Vurdering af usikkerhed og repræsentativitet	18
Litteraturliste	19
Bilag 1: Geografisk fordeling af 340 overvågningsindtag i iltet grundvand i forhold til grundvandets alder	20

1. Indledning

Naturstyrelsen bad den 11. november 2015 GEUS om en faglig vurdering af den forventede betydning af en udfasning af normreduktionen for kvælstof i 2016-2018 med hensyn til nitratkoncentrationer i grundvandet i grundvandsforekomsterne.

GEUS vurderede, at det på grund af manglende data ikke ville være muligt at gennemføre en sådan vurdering for de enkelte grundvandsforekomster, og foreslog i stedet en overordnet, national vurdering baseret på nitratanalyser fra iltet grundvand i indtag fra grundvandsovervågningen. Der udføres en analyse af sammenhængen mellem årlig gennemsnitlig nitratindhold i nitratpåvirket iltet nitratindholdigt grundvand og gødningstilførsel af kvælstof i landbruget. På baggrund af denne analyse opstilles en korrelation mellem nitratindholdet i iltet grundvand og gødningstilførsel til landbruget. Dernæst estimeres, på det nationale niveau, ændringen i nitratindholdet i iltet grundvand ved udfasning af normreduktion for kvælstof og mergødsning i 2016-18. Den geografiske fordeling af alderen af iltet grundvand i indtag i grundvandsovervågningen bruges til at vurdere tidspunkt for merpåvirkningen. Desuden gives en vurdering af de kvantitative forhold, idet den estimerede grundvandsdannelse over den aktuelle 3-års periode (2016-2018) relateres til vurderinger af det samlede grundvandsvolumen. Der gives en vurdering af usikkerhed og repræsentativitet af analyseresultaterne.

Analysen baserer sig på data fra et SAS-dataudtræk af Jupiter-databasen den 22. april 2015 indeholdende data fra 1988 og frem til 2014 (inklusiv), som anvendes til den årlige rapportering fra grundvandsovervågningen i 2015 (Thorling m.fl., 2015a). Analysen er en viderebearbejdning af data, der også præsenteres i den årlige rapport fra grundvandsovervågningen i 2015, og som er under bearbejdning i dNmark forskningsalliancen (<http://dnmark.org/>).

2. Datagrundlag

2.1 Definitioner

Der anvendes i analysen to centrale begreber. Begrebet "grundvandets alder" er grundvandets infiltrationstid, det vil sige den tid det tager vandet at infiltrere fra jordoverfladen til et givet indtag i en grundvandsboring. Begrebet "grundvandets dannelsesår" er grundvandets infiltrationsår, det vil sige det år som vandet infiltrerede fra rodzonen.

Grundvandets dannelsesår beregnes ud fra dateringen, under den antagelse at grundvandets alder er konstant i et givet indtag, ved følgende formel:

$$\text{Grundvandets dannelsesår} = \text{Prøvetagningsåret} \div \text{Grundvandets alder} \quad (\text{formel 1})$$

2.2 Nitratmålinger og aldersdateringer

Nitratanalyserne stammer fra indtag i grundvandsovervågningen med 1) iltet grundvand, 2) aldersdateret grundvand og 3) analyser fra mere end otte år pr. indtag.

Med iltet grundvand menes nitratpåvirket iltet grundvand. Det er valgt kun at medtage analyser fra iltet grundvand, da nitratindholdet her er en indikator for nitratudvaskningen. Dette skyldes, at der er en minimal omsætning af nitrat under rodzonen i et iltholdigt geokemisk miljø. Iltet grundvand defineres som vandtype A jf. Zoneringsvejledningen, og er fundet ved hjælp af algoritmen i Hansen m.fl. (2009), hvilket sikrer en systematisk bestemmelse ved brug af både nitrat (> 1 mg/l), jern (<0,2 mg/l) og ilt (> 1 mg/l) målinger.

Det er også valgt kun at medtage analyser fra indtag som er aldersdateret, hvilket giver mulighed for beregning af grundvandets dannelsesår, og dermed en direkte årlig sammenligning af nitrat i grundvandet med kvælstoftilførslen i landbruget.

Det tredje kriterie, med analyser fra mere end otte år pr. indtag, er valgt for at sikre en høj datakvalitet og en nogenlunde ensartet repræsentativitet af de enkelte indtag i tidsserieanalysen jf. Guidance Document No. 18 (European Communities, 2009).

Grundvandets alder er enten dateret med CFC-metoden eller tritium/helium-metoden. CFC-metoden er brugt til datering af grundvand dannet før 2000, idet Montreal Protokollen fra 1987, om beskyttelse af ozonlaget fra kemiske stoffer som CFC, har medført en reduktion af CFC i atmosfæren, så stoffet ikke længere kan anvendes som aldersindikator (Thorling m.fl., 2015a). I stedet er der i grundvandsovervågningen indført tritium/helium-metoden til datering af grundvand yngre end 15 år (Thorling m.fl., 2015b).

Analysen baserer sig dermed på 5506 nitratanalyser fra i alt 340 indtag med iltholdigt grundvand som er prøvetaget fra 1988 – 2014, og som repræsenterer grundvand, der er dannet fra perioden 1944 – 2014.

Af de 340 indtag med iltholdigt grundvand er 312 dateret med CFC metoden i perioden fra perioden 1997 – 2013, mens 28 er dateret med tritium/helium-metoden i 2013. Grundvandets alder varierer fra 0,3 til 46 år.

2.3 N tilførsel i landbruget

Det er valgt at anvende data fra Danmarks Statistik om kvælstof (N) tilførsel til landbruget, da formålet er at opnå så lang en tidsserie som muligt til sammenligning med nitratkoncentrationer i iltet grundvand tilbage fra 1940'erne.

Information om N tilførsel (input) og N fjernelse (output) fra den primære produktion i dansk landbrug er baseret på tal fra Danmarks Statistisk præsenteret i Dalgaard m.fl. (2014). N tilførsel inkluderer importeret handelsgødning og foderstoffer samt N fiksering (bakteriel optagelse af atmosfærisk N_2 i bælgplanter), atmosfærisk deposition og import af organiske affaldsprodukter, mens N fjernelse inkluderer vegetabiliske og animalske produkter samt ændringer i dyrehold (Hansen m.fl., 2011; Dalgaard m.fl., 2014).

I analysen er der således anvendt data fra perioden 1941 – 2012 om N tilførsel til landbruget baseret på en national årlig balance.

2.4 Estimering af mertilførsel af N i 2016-2018.

Vurdering af effekten af en udfasning af de reducerede gødningsnormer på grundvandskvaliteten er foretaget ud fra fremskrevne gødningsmængder fra Teknisk rapport fra DCE: Revurdering af baseline (Jensen m.fl., 2016). Mergøds-kningen er beregnet som forskellen på gødningstildelingen ved økonomisk optimale normer og det nuværende gødningsniveau. Ved fremskrivningen i Jensen m. fl. (2016) er der taget højde for, at landbrugsarealet løbende reduceres (såkaldt teknisk justering), idet noget landbrugsareal overgår til veje, byudvikling mv. Den beregnede mergøds-kning er således lavere end den vil være, hvis der ikke var taget højde for denne nedgang i det dyrkede areal.

Der er andre forhold end ændret gødningsmængde, der kan påvirke udvaskningen af kvælstof til grundvandet. I fremskrivningen af N belastningen til kyst frem til 2021 er inddraget en række baselineelementer og forhold, der forventes at påvirke N udvaskningen. Det drejer sig om følgende: flere energiafgrøder, øget økologisk areal, bioforgasning af gylle, miljøgodkendelse af husdyrbrug, fald i kvælstofdeposition, slæt i stedet for afgræsning, udvikling i afgrødeudbytter, der alle vil bidrage til at reducere udvaskningen. Effekten af mergøds-kningen og baselineelementerne på nitratudvaskningen fremgår af Teknisk rapport fra DCE: Revurdering af baseline (Jensen m.fl., 2016). I nærværende analyse er der ikke taget højde for baselineelementerne.

Ifølge Naturstyrelsen skal nærværende analyse tage afsæt i en politisk målsætning om, at der vil være implementeret en målrettet kvælstofregulering fra 2019, som vil have indbygget nødvendige foranstaltninger med henblik på at sikre den fremadrettede beskyttelse af

grundvandet. Merbelastningen med kvælstof antages således kun at forekomme i 2016-2018.

I Teknisk rapport fra DCE: Revurdering af baseline (Jensen m.fl., 2016) er mergødsningen som følge af udfasningen af normreduktionen for kvælstof estimeret for hele perioden 2013-2021, men i nærværende vurdering er der fokus på årene 2016-2018. I rapporten vurderes det, at mergødsningen vil komme fra et øget forbrug af handelsgødning.

I nærværende analyse anvendes gennemsnittet af den estimerede mergødsning for 2016-2018 for såkaldt "Fastholdt norm 2017" og "Tilpasset norm" (se tabel 1 og Jensen m.fl., 2016). "Fastholdt norm 2017" er et scenarie hvor den økonomiske optimale kvælstofnorm fastholdes på niveauet for høståret 2017. "Tilpasset norm" er et scenarie hvor den økonomiske optimale kvælstofnorm årligt tilpasses afgrødefordelingen samt priser på gødning, rå protein og afgrøder.

År	Mergødsning (1.000 t N)		
	Fastholdt norm 2017	Tilpasset norm	Gennemsnit
2016	72,3	72,3	72,3
2017	72,6	72,6	72,6
2018	70,4	72,8	71,6

Tabel 1. Mergødsning (1.000 t N) som følge af udfasning af normreduktion for kvælstof estimeret for 2016-2018 (Jensen m.fl., 2016).

2.5 Vurdering af den kvantitative grundvandsressource

Der er lavet overslagsberegninger af det samlede danske grundvandsvolumen og den samlede danske grundvandsdannelse til vurdering af den andel af grundvandsressourcen som vil blive påvirket af en tidsbegrænset udfasning af kvælstofnormen og mergødsning.

Det samlede volumen (fersk) grundvand i undergrunden er estimeret ud fra afgrænsningen af grundvandsforekomster og et estimat for den effektive porøsitet i de geologiske lag. Der er i den seneste revision af grundvandsforekomster (Troldborg m.fl., 2014) afgrænset 2771 grundvandsmagasiner som er grupperet til 402 grundvandsforekomster. Det samlede volumen grundvand i disse forekomster afhænger af: 1) den effektive porøsitet, 2) den aktuelle vandstand i de terrænnære grundvandsmagasiner og 3) i hvilken dybde den nedre afgrænsning fastsættes i grundvandsmagasinerne. I DK-model arbejdet antages der en vandførende dybde på 50 meter, hvorved det samlede volumen af afgrænsede grundvandsforekomster er $2,28 \cdot 10^{12}$ m³ (2280 milliard m³). Antages det, at vandstanden i gennemsnit ligger på 5 meter under terræn, og at den effektive porøsitet er 0,3, så giver det et samlet fersk grundvandsvolumen, i DK-modellens udpegede grundvandsforekomster, på $6,05 \cdot 10^{11}$ m³ (**605 milliard m³**).

Den samlede grundvandsdannelse til de afgrænsede magasiner er opgjort til ca. $1,03 \cdot 10^{10}$ m³/år (**10,3 milliard m³/år**) som gennemsnit for perioden 2005-2010 i forbindelse med Na-

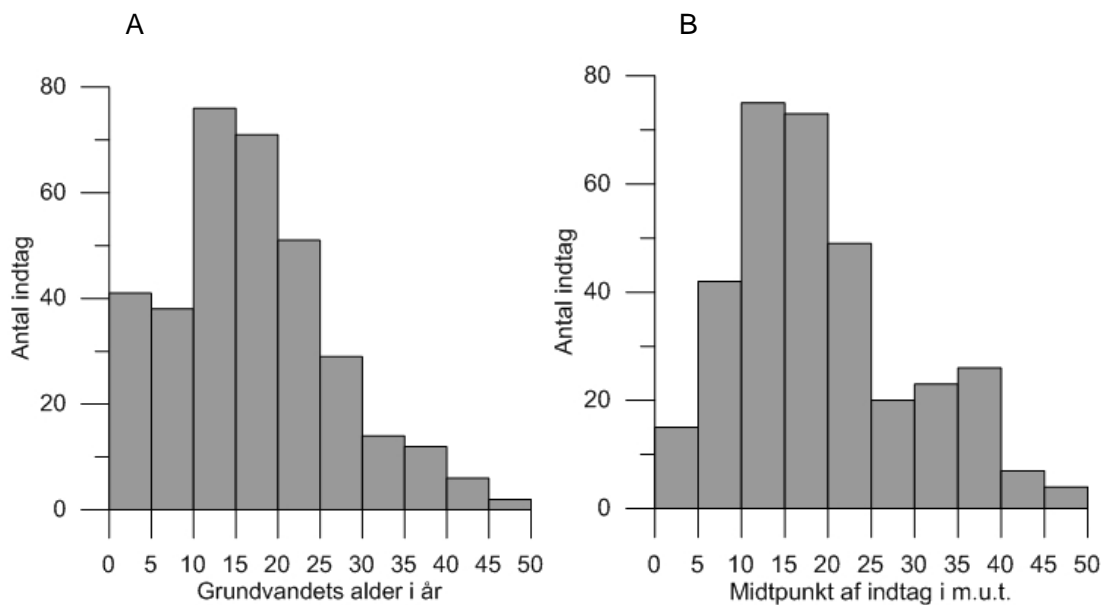
turstyrelsens projekt om "Implementering af modeller til brug for vandforvaltning" (Henriksen m.fl., 2014).

3. N respons i iltet grundvand

3.1 Grundvandets infiltrationstid

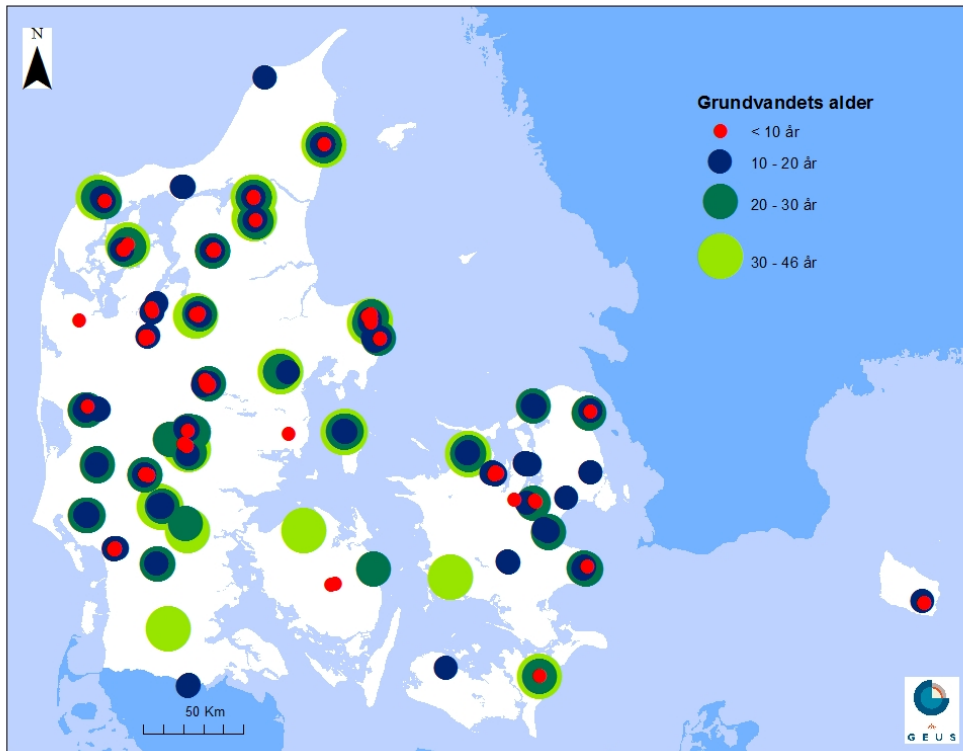
Der indgår i alt 340 indtag fra iltet grundvand, hvor grundvandets alder varierer fra 0,3 til 46 år. Middel- og medianværdien for alderen er ca. 17 år. Andelen af indtag som monitorer iltholdigt grundvand har en fordeling i forhold til alderen af grundvandet som vist i figur 1, A. Ca. 23 % har en alder < 10 år, ca. 44 % en alder fra 10 – 20 år, ca. 23 % en alder fra 20 – 30 år og kun ca. 10 % en alder fra 30 – 50 år. Det vil sige, at den største andel af det iltede grundvand har en alder på 10 – 30 år.

Andelen af indtag som monitorer iltholdigt grundvand, er ikke jævnt fordelt i forhold til dybden fra terræn til indtaget, hvor hovedparten (ca. 44 %) af indtagene er etableret 10 – 20 m u.t. i forhold til midtpunkt af indtagene. Middelværdien for dybden til midtpunkt af indtagene er på ca. 20 m u.t., mens medianværdien er på ca. 18 m u.t.



Figur 1. Fordelingen af A) grundvandets alder og B) midtpunkt af indtag i de 340 indtag i iltet grundvand.

I figur 2 vises den geografiske placering af de 340 indtag i iltet grundvand i forhold til alderen af grundvandet. I bilag 1 findes fire kort, hvor de fire aldersinddelinger vises enkeltvis. Det fremgår af figur 2 at der ikke er den samme geografiske fordeling af indtag med henholdsvis en alder af grundvandet på <10 år, 10 – 20 år, 20 – 30 år og 30 – 46 år, men at landet som helhed er rimeligt dækket med data fra alle aldersgrupper.

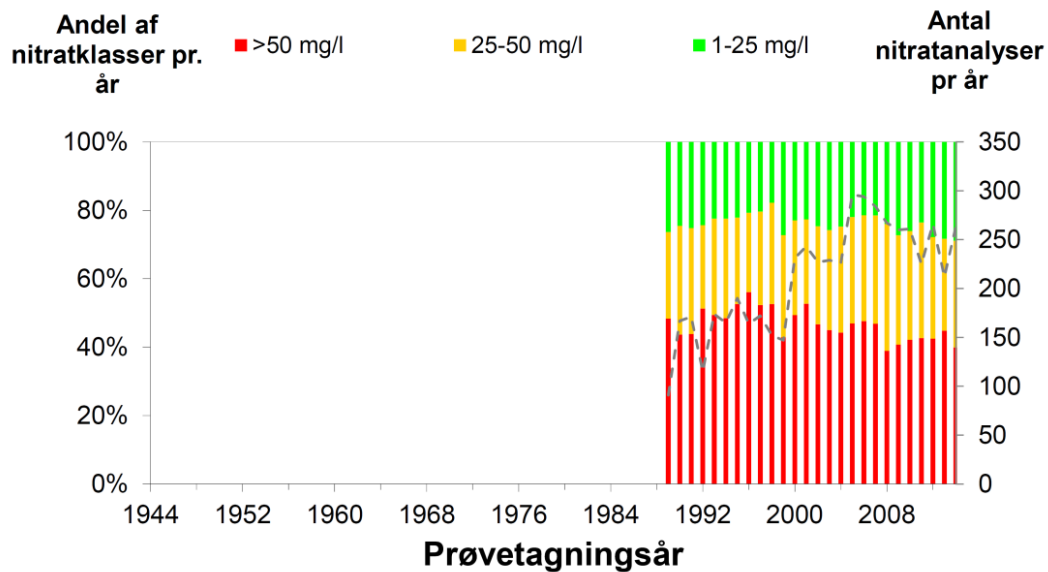


Figur 2. Geografisk placering af 340 indtag i iltet grundvand i forhold til alderen af grundvandet, som anvendes i denne analyse.

3.2 Historisk udvikling i nitrat i iltet grundvand

Figur 3 viser andelen af analyser i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) pr. prøvetagningsår. Antallet af nitratanalyser pr. prøvetagningsår varierer fra ca. 90 i begyndelsen af overvågningsperioden til omkring 250 i de seneste prøvetagningsår.

Udviklingen i nitrat i iltet grundvand i forhold til prøvetagningsåret viser en tendens til, at andelen af analyser med nitratkoncentrationer over 50 mg/l i det iltholdige grundvand fra de 340 GRUMO indtag er aftaget siden 1996-98. Dog er der en tendens til stagnation de seneste syv prøvetagningsår, hvor omkring 40 % af indtagene har mere end 50 mg/l nitrat (se figur 3).

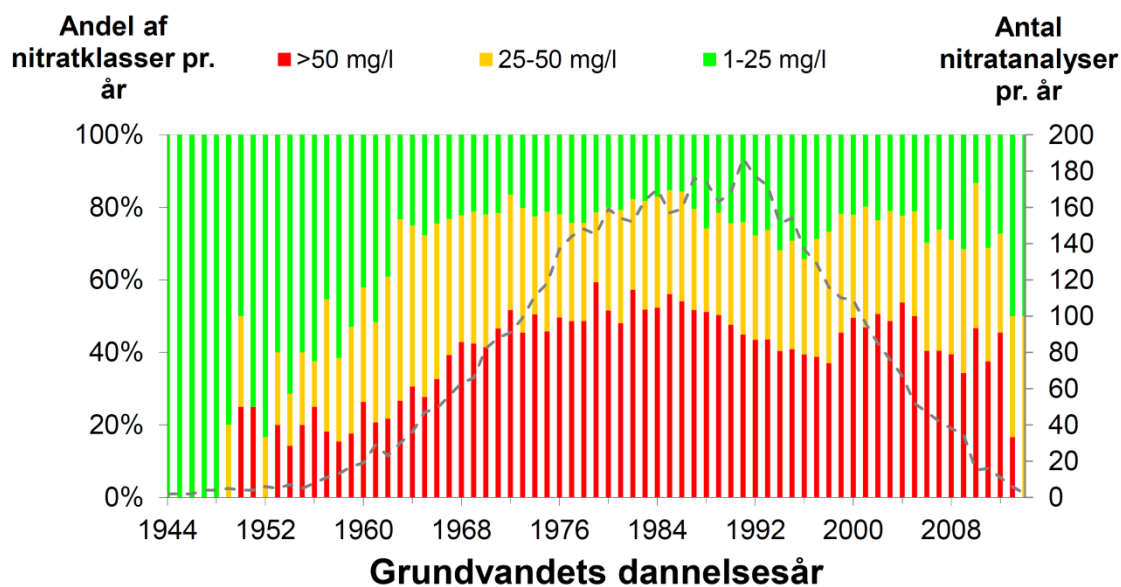


Figur 3. Andel af analyser i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) pr. prøvetagningsår. Baseret på 5506 nitratanalyser fra 340 iltede daterede indtag i grundvandsovervågningen. Stiplet linje viser antal nitratanalyser pr. prøvetagningsår.

I figur 4 er data afbilledet i forhold til grundvandets dannelsesår, idet prøvetagningsåret er omregnet til grundvandets dannelsesår vha. formel 1.

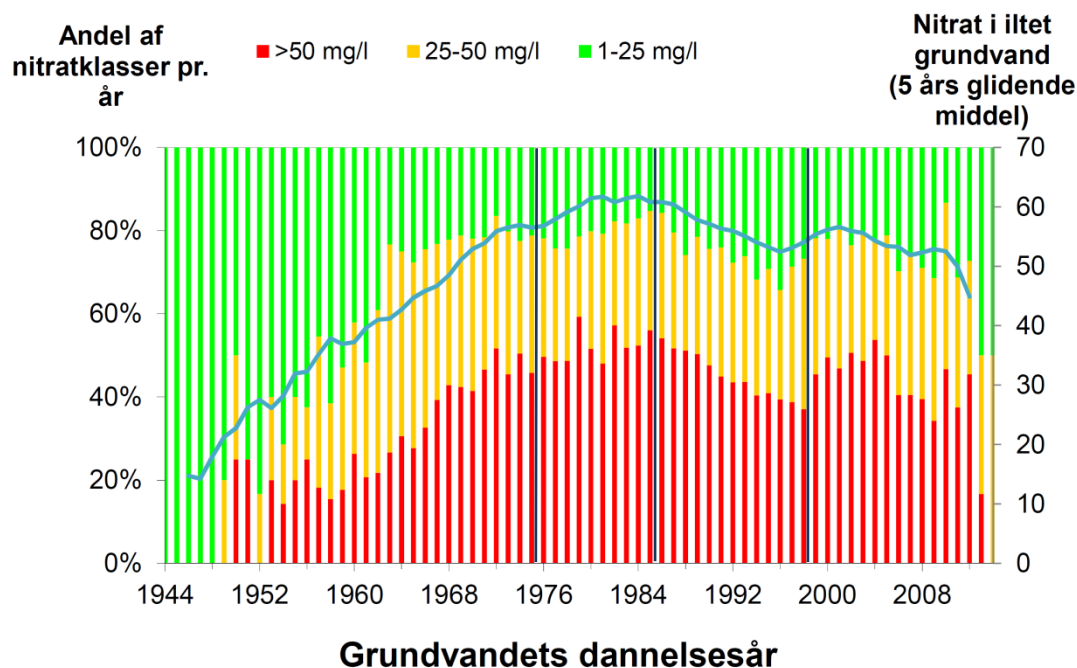
Figur 4 viser andelen af analyser i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) for det år, som grundvandet er dannet. Antallet af nitratanalyser pr. år varierer fra nogle få analyser pr. år i begyndelsen og slutningen af perioden til et relativt højt niveau på omkring 160 – 190 analyser pr. år i den midterste del fra ca. 1980-1995.

Der iagttages en stigning i grundvandets nitratindhold fra 1944 til ca. 1975, dernæst en stagnation omkring 1975-1985, et tydeligt fald i koncentrationerne fra ca. 1985 – 1998 og til sidst et spring i nitratindhold og et faldende niveau frem til 2012. Springet og stigningen i nitratindholdet fra 1998 til 1999 vurderes at hænge sammen med udbygningen af stationsnettet i grundvandsovervågningen, og det forhold at iltet grundvand med en alder mindre end 10 år ikke monitoreres på alle grundvandsovervågningslokaliteter (se figur 2 og bilag 1).



Figur 4. Andel af analyser i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5506 nitratanalyser fra 340 iltede daterede indtag i grundvandsovervågningen. Stiplet linje viser antal nitratanalyser pr. år, hvor år er grundvandets dannelsesår.

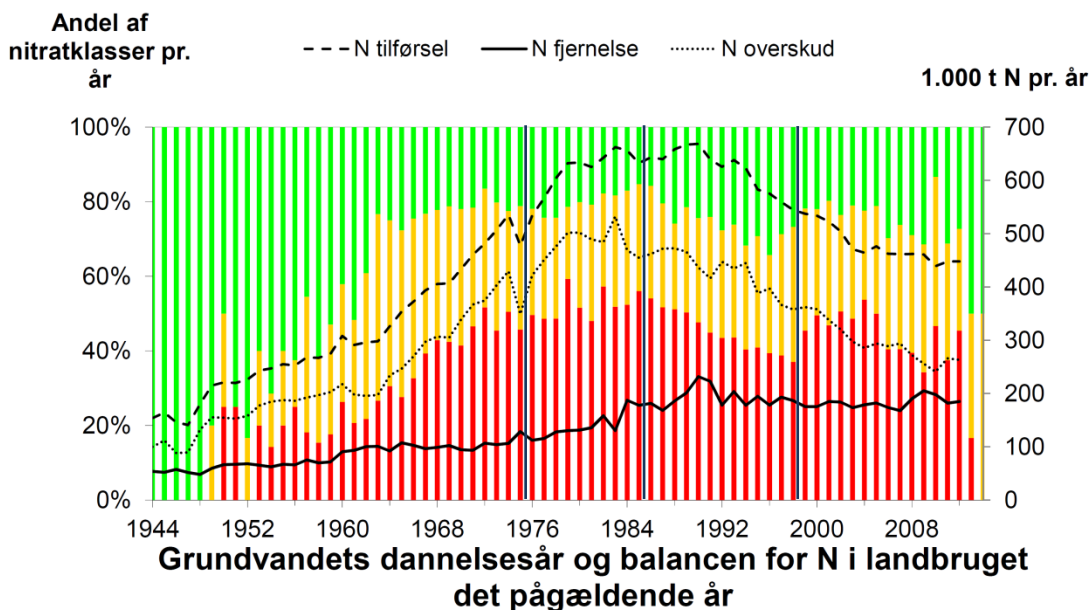
I figur 5 vises 5-års glidende middel for nitratindholdet i iltet grundvand baseret på de 5506 nitratanalyser fra 340 indtag. Det 5-års glidende middel af nitratkoncentrationerne i iltet grundvand inddeles i fire perioder: 1. periode 1944-1975, 2. periode 1975-1985, 3. periode 1985-1998 og 4. periode 1998-2012. Perioderne er fastlagt på baggrund af den overordnede udvikling i nitratindholdet i iltet grundvand og tidspunktet for igangsættelse af de forskellige miljøhandlingsplaner. I 1. periode er nitratindholdet kraftig stigende og i 2. periode nås et maksimum omkring det tidligere fundne knæpunkt i 1980 (Hansen m.fl., 2011; Hansen m.fl., 2012). I 3. periode blev NPo (1985), VMP I (1987) og Handlingsplan for bæredygtig landbrug (1991) igangsat, mens VMP II (1998), Ammoniak handlingsplanen (2001), VMP III (2004) og Grøn vækst (2009) er initialiseret i 4. periode.



Figur 5. 5-års glidende middel af nitrat i iltet grundvand (blå linje). Andel af analyser i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5506 nitratanalyser fra 340 iltede daterede indtag i grundvandsovervågningen. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten.

3.3 Sammenhæng mellem nitrat i iltet grundvand og N tilførsel til landbruget

I figur 6 vises N tilførsel, N fjernelse og N overskud for dansk landbrug baseret på data fra Danmarks Statistik (modificeret efter Dalgaard m.fl., 2014) sammen med andelen af analyser i de tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår.



Figur 6. Kvælstofbalance for dansk landbrug baseret på data fra Danmarks Statistik (modificeret efter Dalgaard m.fl., 2014). Andel af indtag i tre nitratklasser (> 50 mg/l, 25-50 mg/l og 1-25 mg/l) i forhold til grundvandets dannelsesår. Baseret på 5506 nitratanalyser fra 340 iltede daterede indtag i grundvandsovervågningen. Lodrette mørke linjer markerer inddelingen i de fire perioder nævnt i teksten.

N tilførsel til dansk landbrug har været stigende fra 1940'erne og frem til ca. 1990 fra omkring 150.000 t N til 670.000 t N, hvorefter der iagttages et fald frem til 2012, hvor niveauet var på omkring 450.000 t N pr. år. Dette fald skyldes hovedsagelig et faldende forbrug af importeret handelsgødning. Der ses også en stigende N fjernelse fra 1940'erne til 1990 fra omkring 50.000 til knap 200.000 t N pr. år, som skyldes den stigende landbrugsproduktion. Siden 1990 har N fjernelse været nær konstant på ca. 200.000 t N pr. år.

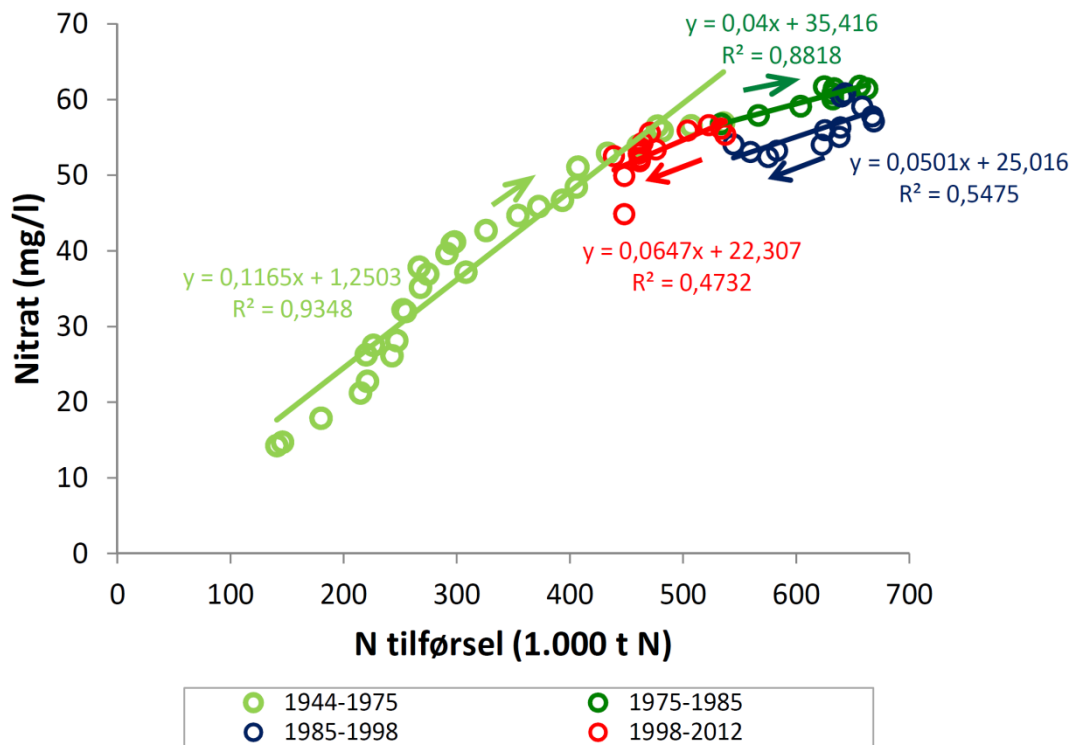
N overskuddet, der er den mængde kvælstof der ikke udnyttes i landbruget, kan potentielt tabes til miljøet f.eks. i form af nitratudvaskning til grundvandet. Det ses, at kvælstofoverskuddet har været stigende fra 1940'erne og frem til ca. 1983, hvorefter det har været faldende frem til 2012 til et niveau på omkring 260.000 t N pr. år. Til trods for at N tilførsel og N overskuddet i landbruget er reduceret de sidste ca. 25 år, så har N fjernelse (landbrugsproduktionen) været nær konstant. Dette skyldes, at kvælstofudnyttelsen (N fjernelse/N tilførsel) i landbruget er steget fra ca. 20 % i 1975-85 til ca. 40 % i 2012.

Figur 7 viser sammenhængen mellem nitratindholdet i iltet grundvand (5-års glidende middel, figur 5) og N tilførsel i dansk landbrug (figur 6, Dalgaard m.fl., 2014) baseret på årlige nationale værdier fra 1944 til 2012.

Der er udført lineær regression for hver af de fire delperioder: 1944-1975, 1975-1985, 1985-1998 og 1998-2012. Sammenhængen mellem nitratindholdet i iltet grundvand (5-års glidende middel) og N tilførsel i landbruget er signifikante for alle fire delperioder ($p < 0,05$), hvilket vil sige at hældningskoefficienterne er signifikant forskellige fra nul på 95 % konfidensniveau.

Hældningskoefficienten for de fire korrelationer vist i figur 7 defineres som en stigningsrate for de to første perioder (1944-1985) og en faldrate for de to sidste perioder (1985-2012).

I første periode fra 1944 – 1975 stiger nitratindholdet (mg/l) i iltet grundvand med en stigningsrate på ca. 0,1165 pr. 1.000 t N tilførsel til landbruget. I anden periode fra 1975 – 1985 er stigningsrate 0,04 og i tredje periode fra 1985 – 1998 er der en aftagende rate på 0,0501 pr. 1.000 t N. Vendepunktet optræder omkring 1983, og er sammenfaldende med det tidligere fundne knæpunkt omkring 1980 (Hansen m.fl., 2011; Hansen m.fl., 2012). I sidste periode fra 1998 – 2012 er der fundet en aftagende rate for nitrat (mg/l) i iltet grundvand på ca. 0,0647 pr. 1.000 t N tilførsel i landbruget.



Figur 7. Sammenhæng mellem nitratindhold i iltet grundvand (5-års glidende middel, figur 5) og N tilførsel i dansk landbrug (figur 6, Dalgaard m.fl., 2014) baseret på årlige nationale værdier. Lineær regression er udført for fire delperioder: 1944-1975, 1975-1985, 1985-1998 og 1998-2012. Alle fire korrelationer er signifikante, $p < 0,05$. Pile angiver den kronologiske udvikling fra 1944 til 2012.

I forhold til at estimere effekten af en mergødsning som følge af udfasning af kvælstofnormen i 2016-18, vurderes korrelationen fra den seneste periode (1998-2012, figur 7) at være mest brugbar, da denne bedst afspejler nutidigt landbrug i forhold til effektivitet og udnyttelse af kvælstof. Det forudsættes dermed at faldraten for den seneste periode (1998-2012) er reversibel.

Det antages, at den generelle nationale stigningsrate for nitrat i iltet grundvand for 2016-18 kan beregnes vha. følgende formel:

Stigningsrate for nitrat i iltet grundvand = 0,065 × N tilførsel til landbruget (formel 2)

hvor stigningsraten har enheden mg nitrat pr. l pr. år og N tilførsel i landbruget har enheden 1.000 t N pr. år. Usikkerheden på denne stigningsrate estimeres til ± 0,043 mg nitrat pr. l pr. år (± 66 %), som er 95 % konfidensintervallet af hædningskoefficienten for perioden 1998 – 2012.

3.4 Prognose for nitratudvikling i grundvandet ved udfasning af normreduktion fra 2016-2018

I tabel 2 ses den estimerede mergødskning i 2016 – 2018 for de to scenarier opstillet af Naturstyrelsen samt et scenarie med fuld implementering fra 2016:

Scenarie 1: Bortfald af normreduktion med 2/3 i 2016 og 1/3 i 2017

Scenarie 2: Bortfald af normreduktion med 1/3 i hvert af årene 2016-2018

Scenarie 3: Fuld implementering og bortfald af normreduktion fra 2016

År	Mergødskning (1.000 t N)		
	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3
2016	48,2	24,1	72,3
2017	72,6	48,4	72,6
2018	71,6	71,6	71,6

Tabel 2. Mergødskning (1.000 t N) som følge af udfasning af normreduktion for kvælstof estimeret for 2016-2018 (beregnet i tabel 1; Jensen m.fl., 2016) for de to scenarier opstillet af Naturstyrelsen samt scenarie 3 som er fuld implementering og bortfald af normreduktion fra 2016.

Mergødsknningen er beregnet som forskellen på gødskningstildelingen ved økonomiske optimale N normer og det nuværende gødskningsniveau, hvor der er taget hensyn til at landbrugsarealet løbende reduceres. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 2.4 og i Jensen m.fl. (2016).

I tabel 3 er ændringen i nitratindholdet i iltet grundvand som følge af udfasning af normreduktionen med de tre scenarier (vist i tabel 2) estimeret ved hjælp af stigningsraten for nitrat som fremgår af formel 2. Usikkerheden er angivet ved 95 % konfidensniveauet for den hædningskoefficient.

Estimeret ændring i nitrat i iltet grundvand (mg/l)			
År	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3
2016	3,1 ± 2,1	1,6 ± 1,0	4,7 ± 3,1
2017	4,7 ± 3,1	3,1 ± 2,1	4,7 ± 3,1
2018	4,7 ± 3,1	4,7 ± 3,1	4,7 ± 3,1

Tabel 3. Estimeret ændring i nitrat (mg/l) i iltet grundvand pga. mergødsningen ved udfasning af normreduktion for kvælstof estimeret for 2016-2018 for de tre scenarier vist i tabel 2. Stigningsrate for nitrat er estimeret vha. formel 2 og usikkerheden er angivet ved 95 % konfidensniveauet for denne hældningskoefficient.

De prædikterede ændringer i nitratinholdet i iltet grundvand vil blive vurderet i forhold til de årlige 5-års glidende middelværdier for nitrat i iltet dansk grundvand på ca. 45 – 53 mg/l i perioden fra 2010 – 2012 (figur 5). Det er valgt at relatere stigningen i nitratinholdet til perioden 2010 – 2012 på grund af de relative få nitratanalyser specielt i 2011 og 2012 (figur 4).

Som følge af bortfald af normreduktion med 2/3 i 2016 og 1/3 i 2017 (scenarie 1) vil nitratinholdet i iltet grundvand gradvis stige fra 3,1 ± 2,1 mg/l i 2016 til 4,7 ± 3,1 mg/l i 2017-2018. Dette svarer til en stigning på 6 – 10 % i forhold til koncentrationsniveauet i iltet grundvand i 2010 – 2012 med en usikkerhed på 66 %. Når usikkerheden indregnes giver det en stigning på 2 – 17 %.

Ved implementering af scenarie 2 (bortfald af normreduktion med 1/3 i hvert af årene 2016 – 2018) vil nitratinholdet i iltet grundvand gradvis stige fra 1,6 ± 1,0 mg/l i 2016 til 3,1 ± 2,1 mg/l i 2017 til 4,7 ± 3,1 mg/l i 2018. Dette svarer til en stigning på 3 – 10 % i forhold til koncentrationsniveauet i iltet grundvand i 2010 – 2012 med en usikkerhed på 66 %. Når usikkerheden indregnes giver det en usikkerhed på 1 – 17 %.

Analysen viser, at ved fuld implementering af normreduktionen fra 2016 (scenarie 3), vil nitratinholdet i iltet grundvand stige med 4,7 ± 3,1 mg/l i 2016 – 2018. Dette svarer til en stigning på 9 – 10 % i forhold til koncentrationsniveauet i iltet grundvand i 2010 – 2012 med en usikkerhed på 66 %. Når usikkerheden indregnes giver det en stigning på 3 – 17 %.

3.5 Vurdering af den volumenmæssige og tidslige påvirkning af grundvandsmagasinerne

Det samlede grundvandsvolumen for de udpegede danske grundvandsforekomster er opgjort til 605 milliard m³, og den årlige grundvandsdannelse er opgjort til 10,3 milliard m³ (2005 – 2010, se afsnit 2.5). Heraf kan estimeres, at det samlede grundvandsvolumen fornyes med 1,7 % pr. år. For 3-års perioden fra 2016-2018 kan det samlede grundvandsvolumen dermed estimeres til at fornyes med ca. 5 %. Dernæst kan det estimeres at ved udfasning af normreduktionen, vil det iltede grundvands nitratinhold stige med ca. 1 – 17 % i omkring 5 % af grundvandsressourcen. Såfremt denne mertilførsel af kvælstof fortsættes,

vil det infiltrerende iltede grundvand også fremover indeholde nitrat på det estimerede koncentrationsniveau.

Fanen af grundvand, med et forhøjet indhold af nitrat som følge af mergødsningen i 2016 – 2018, vil enten strømme direkte til recipienter via den iltholdige del af grundvandsressourcen, eller via den reducerede zone, hvor nitraten fjernes ved nitratreduktion. Aldersdateringer i de 340 grundvandsindtag, der ligger til grund for denne analyse, viser en alder fra 0,3 til 46 år af det iltede grundvand. Udfasning af kvælstofnormen fra 2016 – 2018 kan dermed estimeres til at påvirke og øge grundvandets nitratindhold fra 2016 – 2064 i de dybe iltede grundvandsmagasiner med infiltrationstid på op til 46 år.

4. Vurdering af usikkerhed og repræsentativitet

Denne nationale analyse af den forventede betydning af en midlertidig merpåvirkning af grundvandsforekomster med nitrat som følge af en udfasning af normreduktionen for kvælstof i 2016-2018 er baseret på en overordnet, systemisk analyse. Resultaterne er derfor ikke gældende for det lokale niveau, da forskelle i N tilførsel, dyrkningsforhold, jordbundsforhold, klima, hydrogeologi, geokemi mv. kan give et helt andet resultat med stor variation i den lokale resulterende koncentration af nitrat i iltet grundvand. En vurdering af den forventede betydning af en midlertidig merpåvirkning af grundvandsforekomster med nitrat som følge af en udfasning af normreduktionen for kvælstof i 2016-2018 på et geografisk distribueret niveau kræver en nærmere analyse af de lokale forhold f.eks. ved brug af modelleringsværktøjer og lokale målinger af nitrat i iltet grundvand.

Analysen forudsætter, at nitratanalyserne og aldersdateringerne fra iltet grundvand i grundvandsovervågningen er repræsentative for landet som helhed i forhold til landbrugspraksis, jordbundsforhold, klima og hydrogeologi mv. Det pointeres, at der er en betydelig usikkerhed forbundet med opgørelsen af det samlede grundvandsvolumen samt den prædikterede grundvandsdannelse for 2016-2018.

Der er udført lineær regression for hver af de fire delperioder: 1944-1975, 1975-1985, 1985-1998 og 1998-2012 mellem nitratindholdet i iltet grundvand (5-års glidende middel) og N tilførsel i landbruget. Der er fundet statistisk signifikante relationer for alle fire delperioder ($p < 0,05$), hvor relationerne dog er bedre jo ældre periode.

Analysen forudsætter, at stigningsraten for nitrat i iltet grundvand ved mergødsningen i 2016-18 vil følge faldraten beregnet på baggrund af målinger, som repræsenterer grundvand dannet i den seneste periode fra 1998-2012. Denne prædikterede stigningsrate for 2016-18 er estimeret til at have en usikkerhed på 66 %, som er beregnet ved 95 % konfidensniveauet af faldraten (hældningskoefficienten) for perioden 1998-2012. Denne usikkerhed inkluderer bl.a. usikkerheden i de anvendte metoder, repræsentativitet af grundvandsdata i forhold til geografiske forhold og varierende udnyttelsesgrad af N i landbruget indenfor den anvendte periode. Landbrugsmæssige og klimatiske ændringer i 2016-2018 vil også kunne påvirke den fremtidige stigningsrate i forhold til den historiske, bl.a. på grund af ændrede dyrkningsbetingelser og teknikker, udnyttelsesgrader af kvælstof, temperatur- og nedbørsforhold mm.

Litteraturliste

Jensen, P.N., Blicher-Mathiesen, G., Rolighed, J., Børgesen, C.D., Olesen, J.E., Thomsen, I.K., Kristensen, T., Sørensen, P. & Vinther, F.P., 2016. Revurdering af baseline. Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 67, 60 p.

Dalgaard, T., Hansen, B., Hasler, B., Hertel, O., Hutchings, N.J., Jacobsen, B.H., Stoumann Jensen, L., Kronvang, B., Olesen, J.E., Schjørring, J.K., Silkeborg Kristensen, I., Graversgaard, M., Termansen, M., & Vejre, H., 2014. Policies for agricultural nitrogen management—trends, challenges and prospects for improved efficiency in Denmark. Environ. Res. Lett. 9, 115002.

European Communities, 2009. Common implementation strategy for the water framework directive (2000/60/EC). Quidance Dokument No. 18. Guidance on groundwater status and trend assessment.

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

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

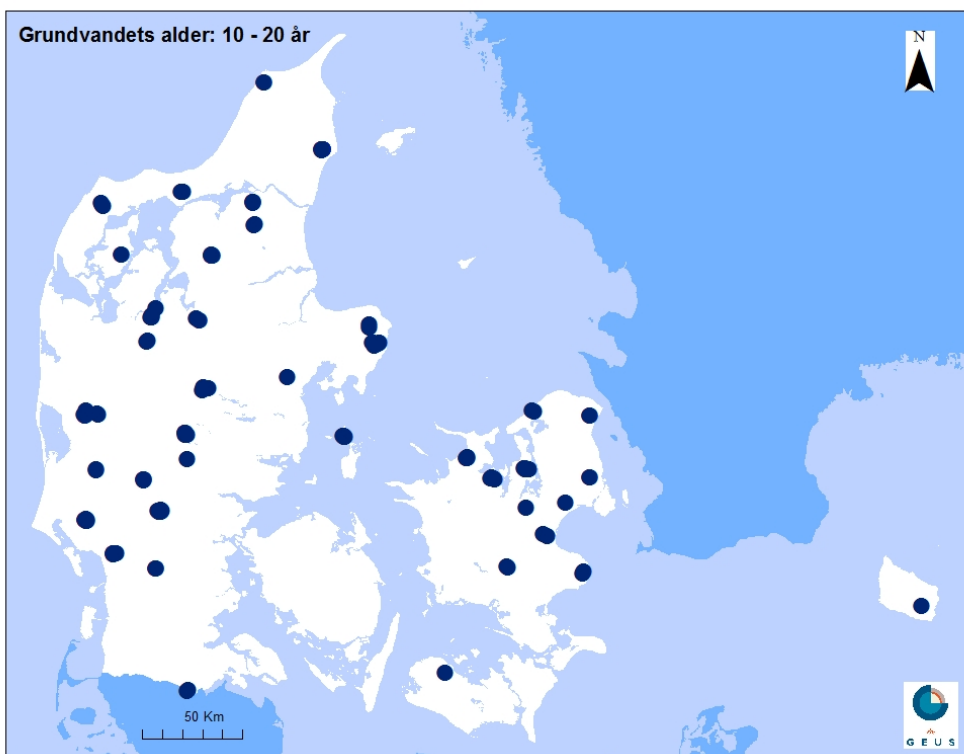
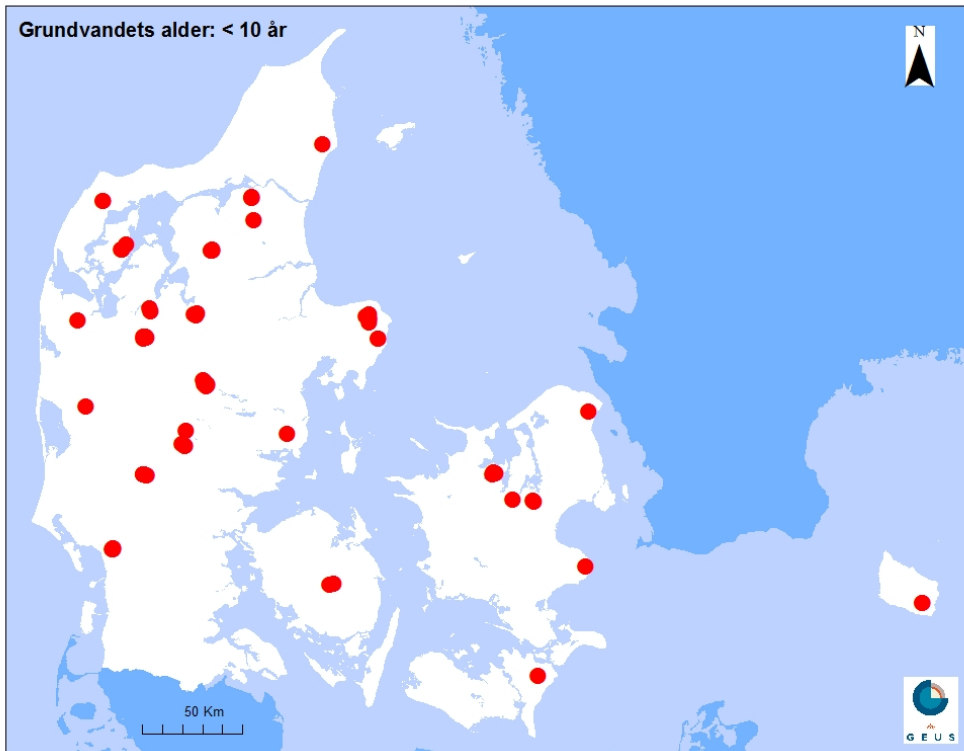
Henriksen, H.J., Rasmussen, J., Olsen, M., He, X., Jørgensen, L.F. & Troldborg, L., 2014. "Implementering af modeller til brug for vandforvaltning. Delprojekt: Effekt af vandindvinding - Konceptuel tilgang og validering samt tilstandsvurdering af grundvandsforekomster Udarbejdet for Naturstyrelsen". GEUS rapport 2014/74, København

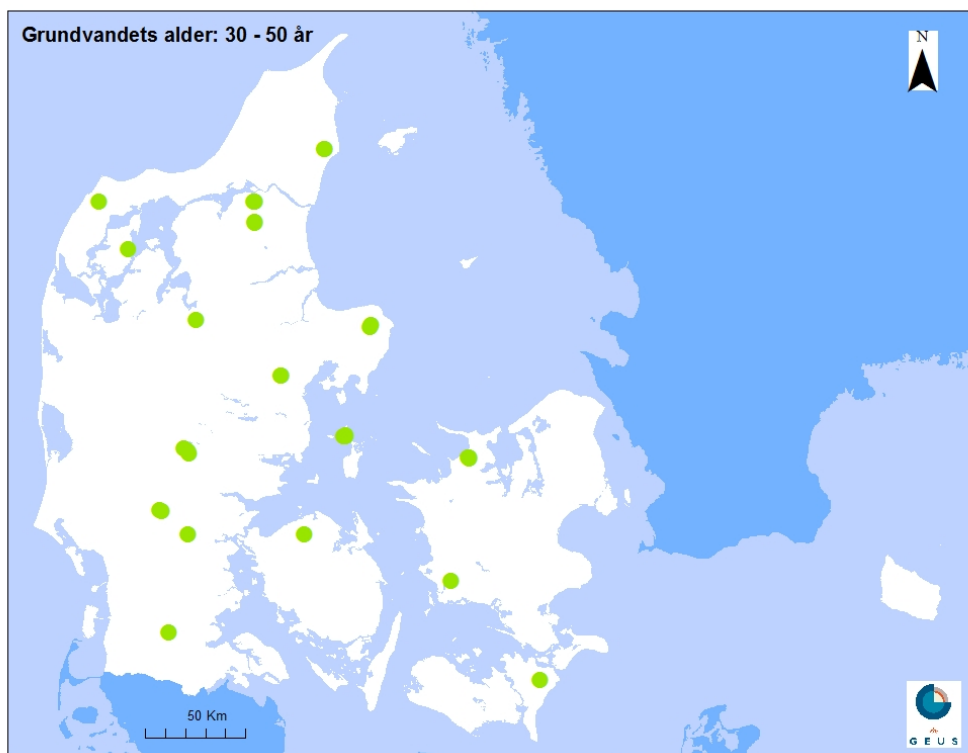
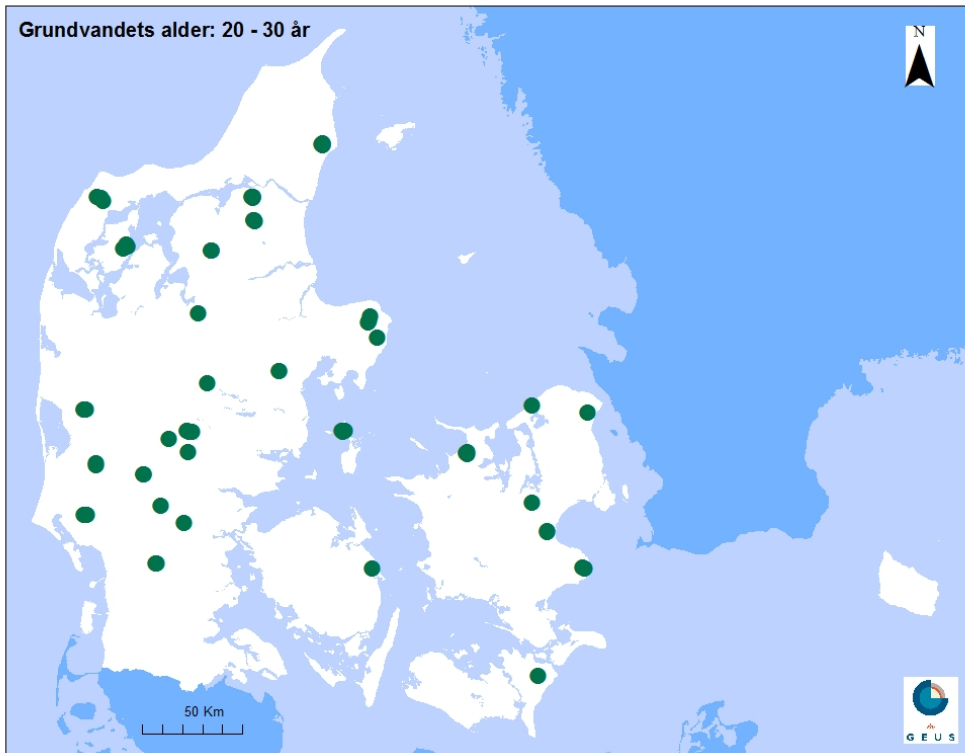
Thorling, L., Ernstsen, V., Hansen, B., Johnsen, A.R., Larsen, F., Mielby, S. & Troldborg, L., 2015a. Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2014. GEUS 2015.

Thorling, L., Brusch, W., Ernstsen, V., Hansen, B., Laier, T., Larsen, F., Mielby, S. & Sørensen, B.L., 2015b. Grundvand. Status og udvikling 1989 – 2013. GEUS 2015.

Troldborg, L., Sørensen, B.L., Kristensen, M. & Mielby, S., 2014. "Afgrensning af grundvandsforekomster - Tredje revision af grundvandsforekomster i Danmark". GEUS rapport 2014/58, København.

Bilag 1: Geografisk fordeling af 340 overvågningsindtag i iltet grundvand i forhold til grundvandets alder





De Nationale Geologiske Undersøgelser
for Danmark og Grønland (GEUS)
Geological Survey of Denmark and Greenland

Øster Voldgade 10
DK-1350 København K
Danmark / *Denmark*

Telefon / *Phone*
Fax
E-post / *E-mail*
Internet

+45 38 14 20 00
+45 38 14 20 50
geus@geus.dk
www.geus.dk