

BILAG:

Grundvand Status og udvikling 1989 – 2013

GEUS 2014

Redaktør: Lærke Thorling

Forfattere:

Lærke Thorling

Walter Brusch

Troels Laier

25. marts 2015

bilagene kan hentes på nettet på: www.grundvandsovervaagning.dk

Indholdsfortegnelse:

Indhold

Indholdsfortegnelse:	2
Bilag 1	3
Datering af grundvand 2012-2013, resultater og diskussion	3
Bilag 2	12
Datering Grundvandsovervågning 2013	12
GEUS notat 05-VA-14-01: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer – pilotprojekt	12
Bilag 3	26
Datering Grundvandsovervågning 2014	26
GEUS notat 05-VA-14-04: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He-metoden	26
Bilag 4	59
GRUMO - Pesticider og nedbrydningsprodukter, 2013	59
Bilag 5	60
GRUMO - Pesticider og nedbrydningsprodukter, 1990 til 2013	60
Bilag 6, Vandværksboringer på aktive vandværker i 2013	64
Antal analyser og antal indtag analyseret for pesticider og metabolitter	64
Bilag 7	66
Vandværksboringer på aktive vandværker, hele monitoringsperioden	66
Bilag 8	70
Andre Analyser, 2013	70
Bilag 9	73
Andre Analyser, hele monitoringsperioden	73
Bilag 10	80
Pesticidfund i 2013 for alle udførte analyser fra alle datakilder, dvs GRUMO, vandværksboringer og "andre analyser"	80
Bilag 11	83
Afrapportering af NOVANA screeningsundersøgelse: Afklaring af mulig forekomst af PFOS, PFOA og lignende PFCforbindelser i grundvand	83

Bilag 1

Datering af grundvand 2012-2013, resultater og diskussion

Relevans af datering

I forbindelse med udbygning af det distribuerede stationsnet, se kapitel 2, er der et fornyet behov for datering af de enkelte indtag. Ligeledes er der behov for en gentagen datering i specielt de iltede indtag, se kapitel 4. De nye dateringer foretages med tritium/helium metoden, da CFC-metoden ikke længere er anvendelig til datering af ungt grundvand, idet CFC indholdet i atmosfæren nu falder, se kapitel 3, som følge af Montreal Protokollen i 1987, om beskyttelse af ozonlaget gennem reduktion af CFC-udslip. De første 45 prøver til tritium/helium datering blev udtaget i 2012, og yderlige 92 blev udtaget i 2013. Resultaterne herfra præsenteres samlet i dette års rapport nedenfor.

Tritium/helium (^3H - ^3He) datering

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

^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). Tritiumindholdet i atmosfæren havde et maksimum i 1963 pga. brintbombe sprængningerne, men er nu 50 år senere (fire halveringstider) faldet tilbage til nær det naturlige niveau, se Figur 1.

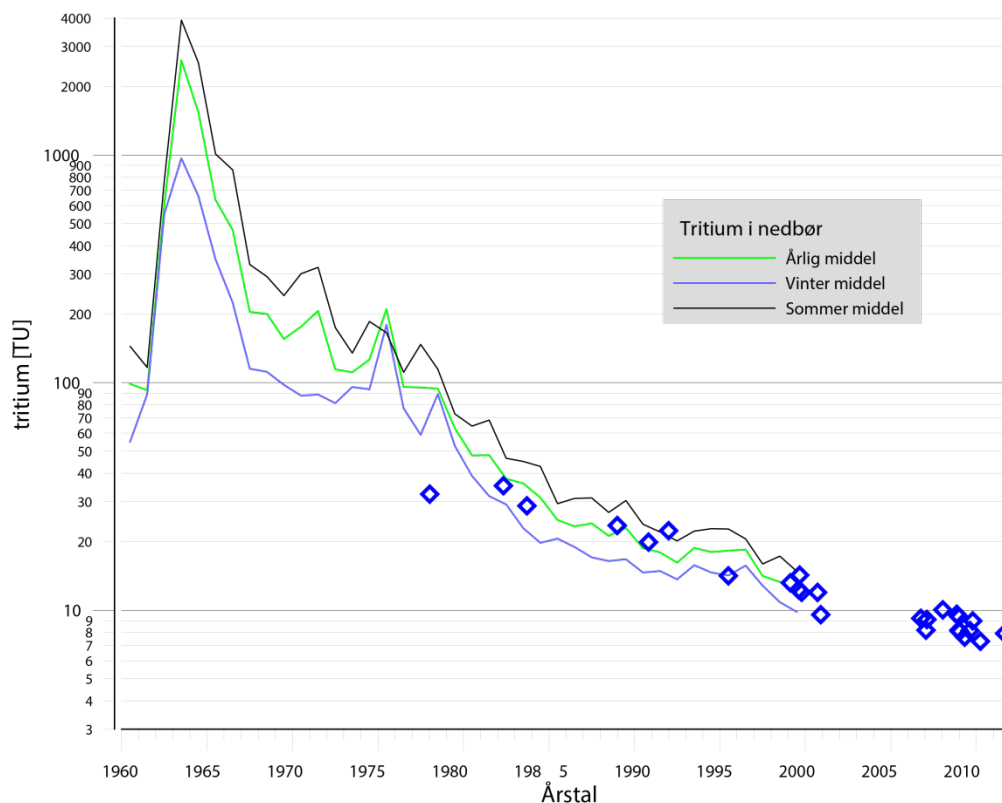
Aldersbestemmelse ved hjælp af ^3H / ^3He metoden er ikke begrænset til perioden kendetegnet ved et kraftigt forøget ^3H indhold fra brintbombe sprængningerne, men kan anvendes til alle tider, så længe der er et målbart tritiumindhold tilbage i vandet. Med de detektionsgrænser, der arbejdes, med er metoden begrænset til datering af grundvand yngre end 50-75 år.

En direkte måling af tritiumindholdet ved analyse med scintillationstælling, der benyttedes ved dateringerne med forhøjet tritium fra brintbombsprængningerne (især i 1990'erne), er i mange tilfælde ikke nøjagtig nok til analyse af det naturlige tritiumindhold i grundvandet. I stedet foretages en indirekte måling, vha. den dannede ^3He mængde efter 6 måneder. Det betyder, at en analyse af ^3H er tidskrævende og tager minimum et halvt år.

Udtagning af vandprøver til ^3H analyser er enkel, idet én liter vand i en tætsluttende flaske er tilstrækkelig. Vandprøver til ^3He analyser skal derimod forsegles i kobberrør, der lukkes hermetisk. Opsamling i kobberrør kræver, at boringen pumpes kontinuerligt med en minimumsydelse, hvilket ikke var muligt for en række lavt ydende borer i GRUMO-stations-nettet. For en del af disse borer blev der forsøgsvis udtaget prøver for ^3He analyse af de i vandet opløste gasser vha. en såkaldt diffusions sampler, der anbragtes i boringen i niveau med filter og udtaget efter minimum to døgn.

Resultaterne fra dateringsindsatsen 2012-13, fremgår af bilag 1 og 2, der viser hvilke borer, der er undersøgt og resultaterne herfra.

Figur 1 viser, at tritiumindholdet i atmosfæren (^3H typisk bundet i vandmolekyler), nåede et maksimum i 1963 pga. brintbombe sprængningerne, men er nu, 50 år senere (fire halverings-tider, svarende til $1/16$), faldet til nær det naturlige niveau. Faldet skyldes således ikke alene henfald, men også den løbende udskiftning af vandindholdet i atmosfæren.



Figur 1. Tritium, ^3H i nedbør og det oprindelige tritiumindhold i grundvand (\diamond), som funktion af det beregnede infiltrationsår, for prøver udtaget under pilotprojektet i 2012. Bemærk logaritmisk y-akse.

Beregning af grundvandets oprindelige tritium indhold (summen af ^3H og ^3He) viser en stigende påvirkning fra de forhøjede tritiumindhold, jo ældre grundvandet er. Der er en god overensstemmelse med de fundne opholdstider, og dermed de beregnede infiltrationsår, og det tritium indhold man havde i atmosfæren på infiltrationstidspunktet, se Figur 1.

Pilotprojekt: 45 Dateringer i 2012

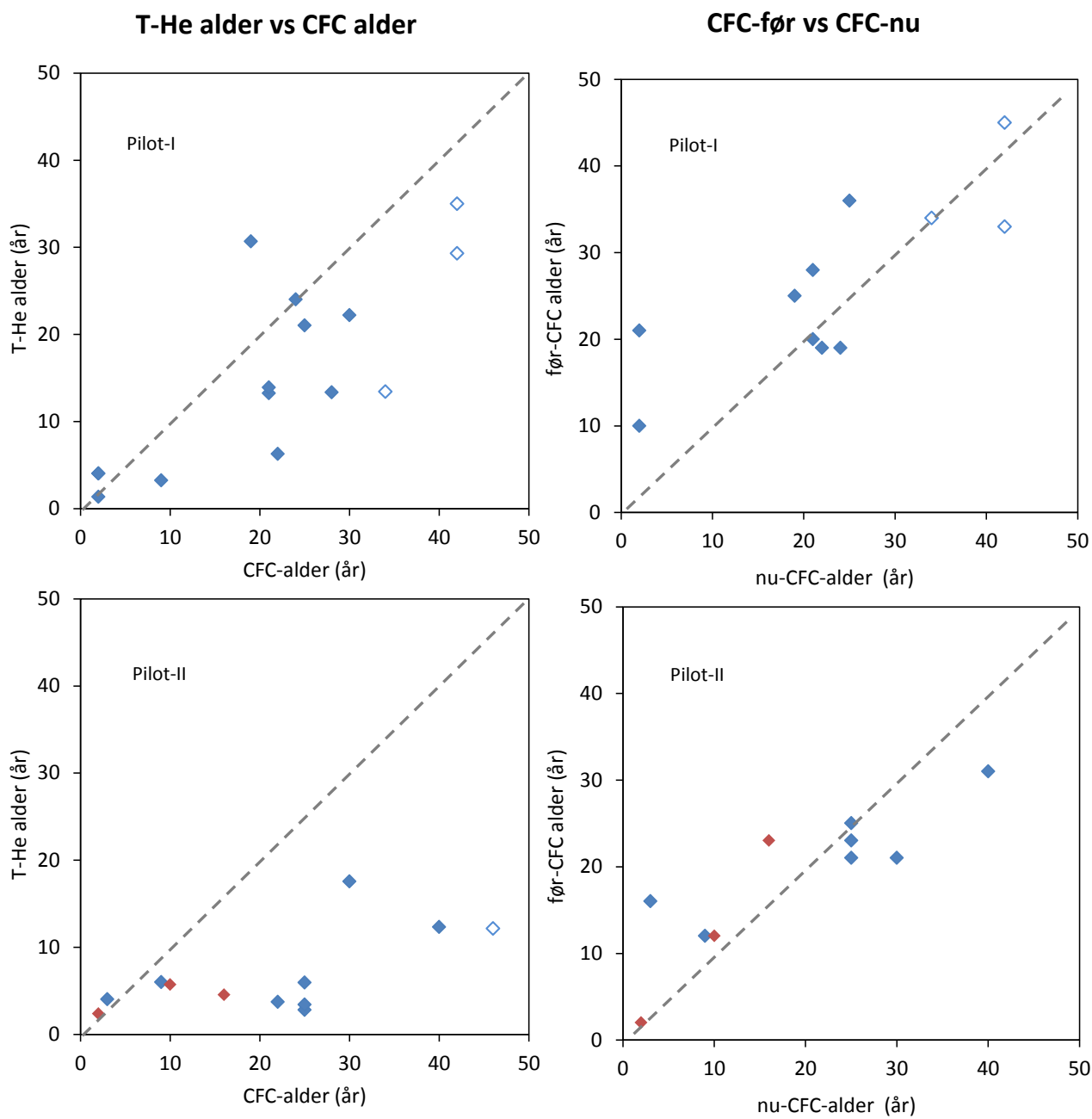
Pilotprojektet i 2012 omfattede 45 indtag i overvågningsområderne, Homå, Havdal, Fillerup og Hvinningdal i Øst- og Midtjylland. Undersøgelsen omfattede både nye og gamle borer med såvel som lavt ydende og højt ydende indtag, men fortrinsvis indtag med iltholdigt grundvand. I de lavt ydende borer anvendtes diffusionssamlere til prøvetagning af ^3He , mens såvel diffusionssamlere som kobberrør blev anvendt til prøvetagning af ^3He i de højt ydende borer. I 1997-1998 var de fleste (30) af de gamle overvågningsboringer dateret med CFC, dengang CFC-metoden endnu var anvendelig for helt ungt grundvand. Det gav gode muligheder for sammenligning af de nye dateringer med ^3H - ^3He og CFC.

Konklusionerne af undersøgelserne var, at ^3H - ^3He metoden fungerede tilfredsstillende, når prøverne for ^3He blev udtaget i kobberrør, mens resultaterne for diffusion sampler teknikken var knap så tilfredsstillende, fordi ^3He enten ikke kunne bestemmes eller gav usikre data for halvdelen (12) af de undersøgte (24) indtag.

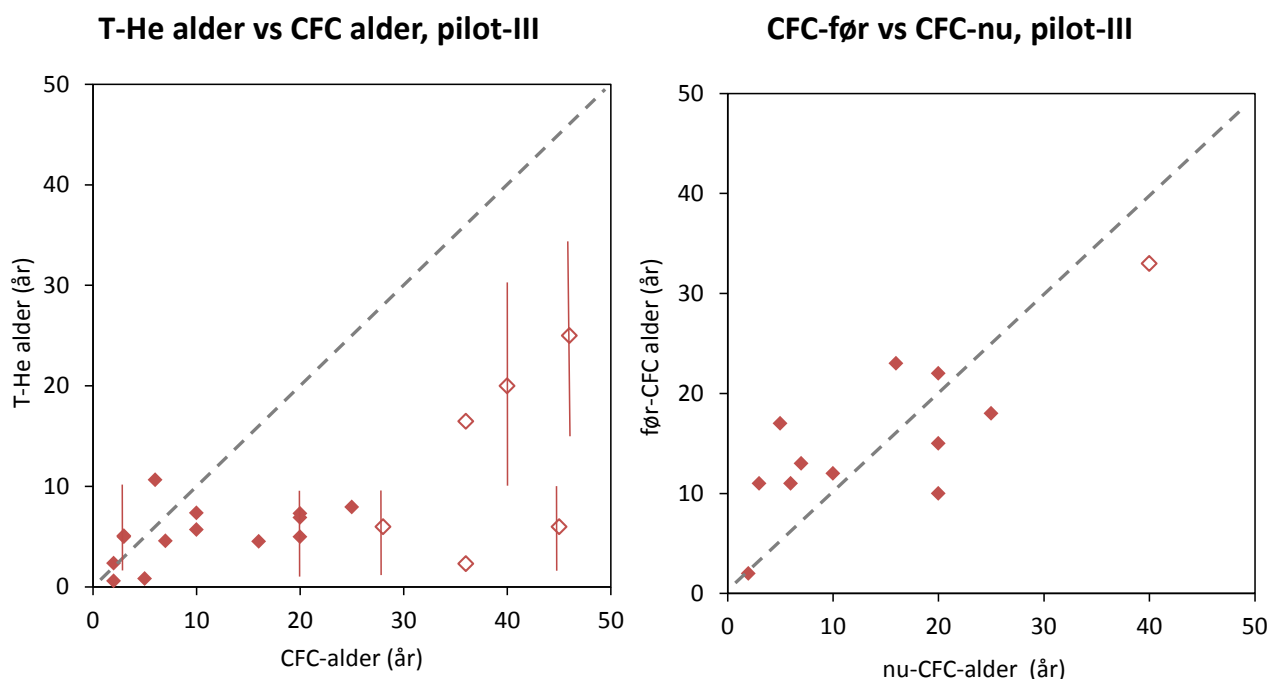
Årsagerne skønnedes at være lige dele tekniske vanskeligheder ved metoden, som problematiske forhold i selve de lavtydende borer. Derfor vises resultaterne for de to dateringsmetoder hver for sig Figur 2 viser den fundne alder ved CFC metoden x akse og ved ^3H - ^3He metoden på y akse. For de 26 prøver udtaget med kobberrør, viste sammenligningen af CFC og ^3H - ^3He resultaterne for Hvinningdalområdet (pilot-II) signifikant dårligere overensstemmelse end for de tre andre overvågningsområder (pilot-I). For borerne i Hvinningdal var der en klar forskel på indtag, der var placeret i et rent sandprofil og indtag placeret under lerlag, idet førstnævnte gav væsentlig bedre overensstemmelse mellem ^3H - ^3He og CFC dateringer.

Indtagene under lerlaget ligger nedstrøms i forhold til det rene sandområde, så forklaringen på den dårlige overensstemmelse mellem ^3H - ^3He og CFC alder kan være opblanding af vand med forskellig alder. Opblanding af meget gammelt vand fra lerlag med relativt ung vand i sandlag eller opblanding som følge af en delvis opadrettet gradient i ådalen, vil resultere i en forskellig alder afhængig af dateringsmetoden, idet ^3H - ^3He metoden vil give alderen af den unge komponent, mens CFC pga. fortyndingen vil give en markant højere alder. En nøjere tolkning af andre grundvandsparametre vil sandsynligvis kunne afgøre i hvilket omfang den dårlige overensstemmelse mellem ^3H - ^3He og CFC alderen i det pågældende område skyldes opblanding af forskellige vandtyper.

I seks af prøverne udtaget med diffusionssamplers var det ikke muligt at bestemme ^3He indholdet og dermed få en nøjagtig bestemmelse af alderen af grundvandet. Tritiumindholdet for disse indtag varierede mellem 4,2 og 7,9 TU, og ved at sammenholde disse tritiumværdier med tritium i nedbør, Figur 1, og tritiums halveringstid har vi skønnet et aldersinterval for grundvandet fra de nævnte indtag, Figur 3. Blandt de øvrige diffusions samplers prøver havde laboratoriet knyttet kommentarer til seks af prøverne, som man skønnede var blevet påvirket af delvis afgang. Det resulterede i for lave ^3He værdier, og dermed for lave aldre. Det kunne ikke med sikkerhed afgøres om afgang skyldtes tekniske vanskeligheder eller afgang under naturlige forhold. Naturlig afgang af grundvand forekommer tæt under vandspejl i områder med høj N_2 dannelse pga. denitrifikation.



Figur 2. Krydsplot af ^3H - ^3He og CFC alder og CFC "før og nu" alder se tekst. Pilot-I (Havdal, Homå, Fillerup), Pilot-II (Hvinningdal). Rød signatur for diffusions sampler metode. Bemærk gentagen CFC datering med 15 års mellemrum giver sammenlignelige dateringer, mens der specielt i pilotområde II er forskel på dateringen med de to metoder.



Figur 3. Pilot-III diffusionssampler metoden. Krydsplot af ^3H - ^3He og CFC alder og CFC "før og nu" alder (se tekst). Lodret streg markerer interval for prøver hvor kun tritium er bestemt (se tekst). Bemærk CFC dateringen med 15 års mellemrum, giver sammenlignelige resultater, mens CFC ikke har en tilfredsstillende overensstemmelse med datering med ^3H - ^3He , når prøverne er udtaget med diffusionssampler.

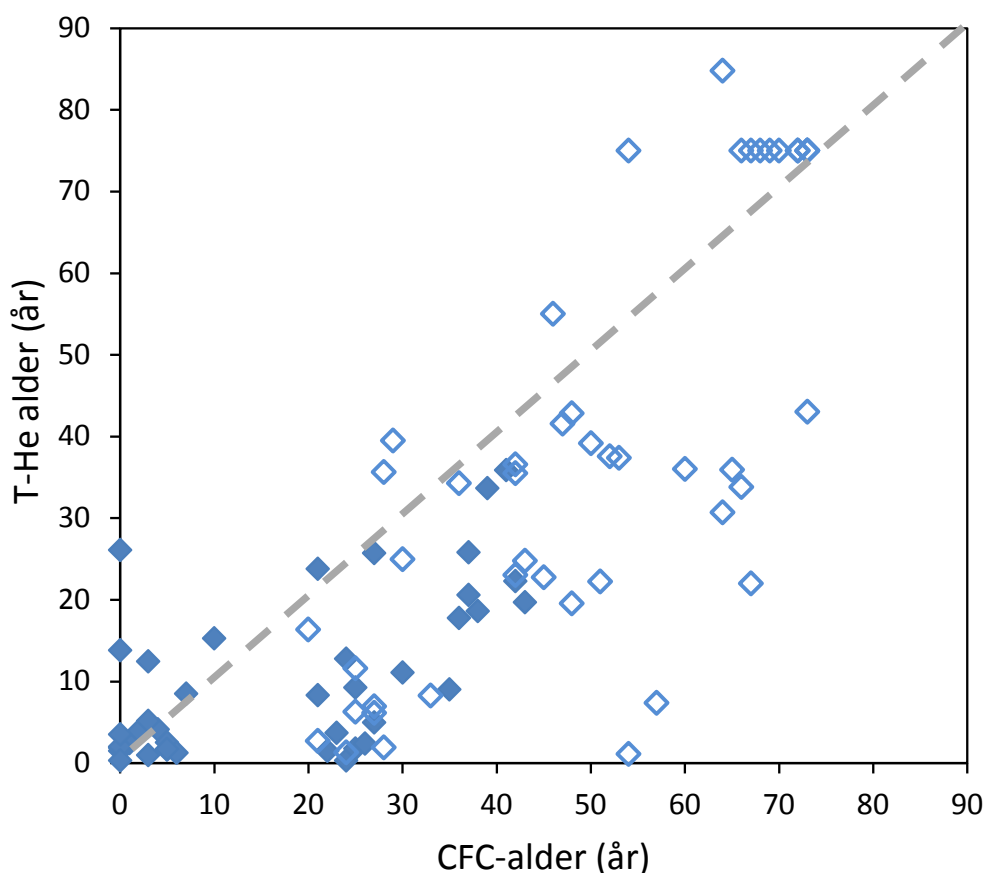
92 dateringer i 2013

I 2013 blev 92 indtag dateret med såvel ^3H - ^3He som CFC. Efter pilotprojektet i 2013 skulle alle nye indtag der var inddraget i overvågningsprogrammet de seneste 8 år så vidt muligt dateres, og derudover skulle der i fornødent omfang dateres alle indtag med nitrat og ilt, til at understøtte tidsserieanalyserne for udviklingen i nitrat i grundvand.

Selvom CFC metoden ikke længere kan anvendes til præcis datering af ungt grundvand, dvs. grundvand dannet inden for de seneste ca. 20 år, blev der med henblik på metodesammenligning alligevel foretaget CFC datering af alle nye grundvandsprøver. Såvel ^3H - ^3He som CFC datering af grundvand fra den landsdækkende undersøgelse, viser stor aldersspredning. 51 af indtagene indeholdt grundvand med en opholdstid under 20 år bestemt med ^3H - ^3He metoden, mens kun 24 af indtagene ud fra CFC metoden havde opholdstider under 20 år, se Figur 4.

En af årsagerne til at CFC metoden generelt finder en længere opholdstid/højere alder end ^3H - ^3He metoden er delvis nedbrydning af CFC under iltfrie betingelser (åbne symboler). Delvis nedbrydning af CFC (særligt CFC-11) under iltfri betingelser er et kendt fænomen, (Hinsby et al, 2007), hvorfor man ved tolkning af fx udvikling af fx grundvandets nitratindhold over tid benytter alder baseret på iltholdigt grundvand. Dateringer med ^3H - ^3He vil ikke være påvirket af denne fejlkilde.

T-He alder vs CFC alder



Figur 4. Krydsplot af alderen (opholdstiden) af grundvand fra 92 boringer dateret med CFC og ^3H - ^3He i 2013. Grundvand med iltindhold under 1 mg/l er angivet med åbent symbol.

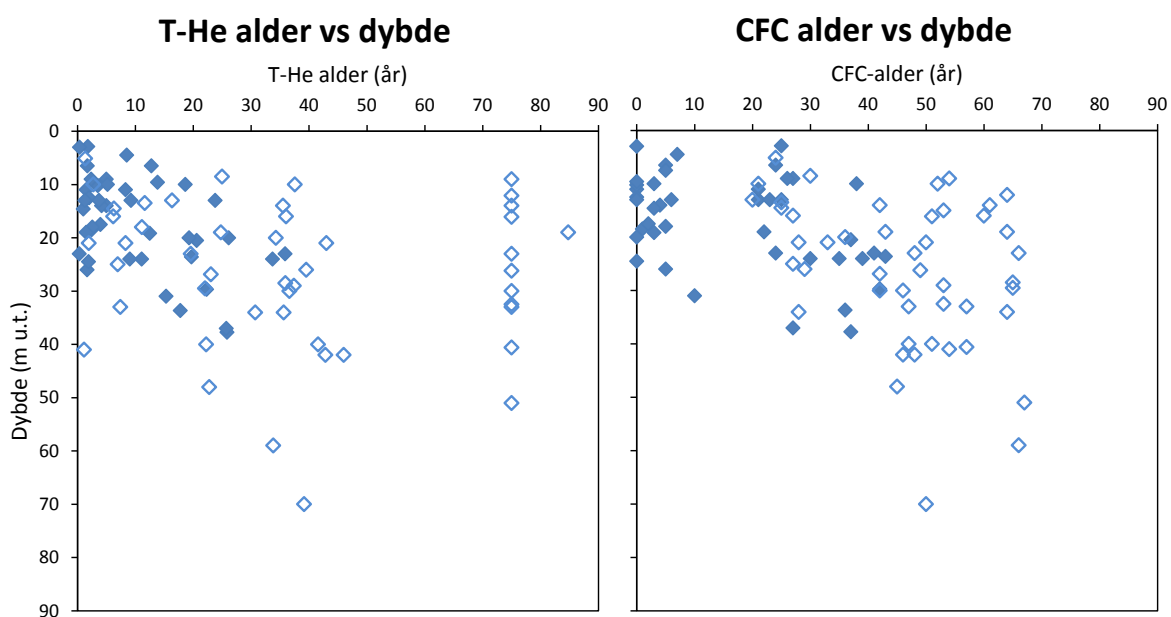
Diskussion af metodevalg og fortolkning af dateringerne.

Opblanding af grundvand med forskellig aldersfordeling kan ske i fx opsprækket moræneler, hvor det relativt hurtigt strømmende vand i sprækkerne udveksler molekyler/atomer med vandet i matrix. Udvekslingen mellem sprækker og matrix afhænger af molekylernes størrelse, og er derfor hurtigst for små molekyler som f.eks. vand (H_2O) og opløst helium (He).

Forudsætningen for at opnå samme alder med begge dateringsmetoder er, at grundvandet strømmer ved stempelstrømning, hvilket kun er tilfældet i homogene sandmagasiner med frit vandspejl. Den længste opholdstid, der kan bestemmes ved de to dateringsmetoder, ligger omkring 70 år, og for prøver med tritium mindre end 0,1 TU er alderen sat til 75 år, se bilag 2 og 3. Et forhøjet indhold af helium-4 (^4He) som opstår ved naturlig radioaktivitet i sedimenterne (fx radioaktivt Uran, ^{235}U) optræder i en del af disse prøver, antyder en betydelig længere opholdstid end 75 år. Bemærk, at alle vandprøver med vand med opholdstider over 75 år afspejler reducerende forhold, dvs. ingen nitrat og ilt.

Prøverne med lavt tritiumindhold stammede alle, på nær en, fra Sydsjælland og Lolland-Falster, hvor de øverste lag består af tæt ler. Som det fremgår af grundvandets aldersfordeling

mod dybden kan man i disse egne finde 75 år gammelt vand i blot 10 m dybde. Figur 5 viser, at der i de øverste 40 m optræder grundvand med meget forskelligt dannelsesstidspunkt, og dermed opholdstid, og at der selv i de øverste 20 m ikke er nogen sammenhæng mellem dybde og opholdstid, når alle indtag sammenlignes fra både iltede, anoxiske og reducerede zoner. I udstrømningsområder med opadrettet gradient, kan der træffes endog meget gammelt grundvand tæt ved terrænen. Det skal dog bemærkes, at gennemsnitsalderen falder med dybden, da opholdstiden i magasinerne generelt stiger med dybden. Det unge vand i de øverste 30 m kan også være tilknyttet områder hvor den umættede zone er stor, idet grundvandsspejlet i flere indtag i overvågningen ligger mere end 15 m u.t.



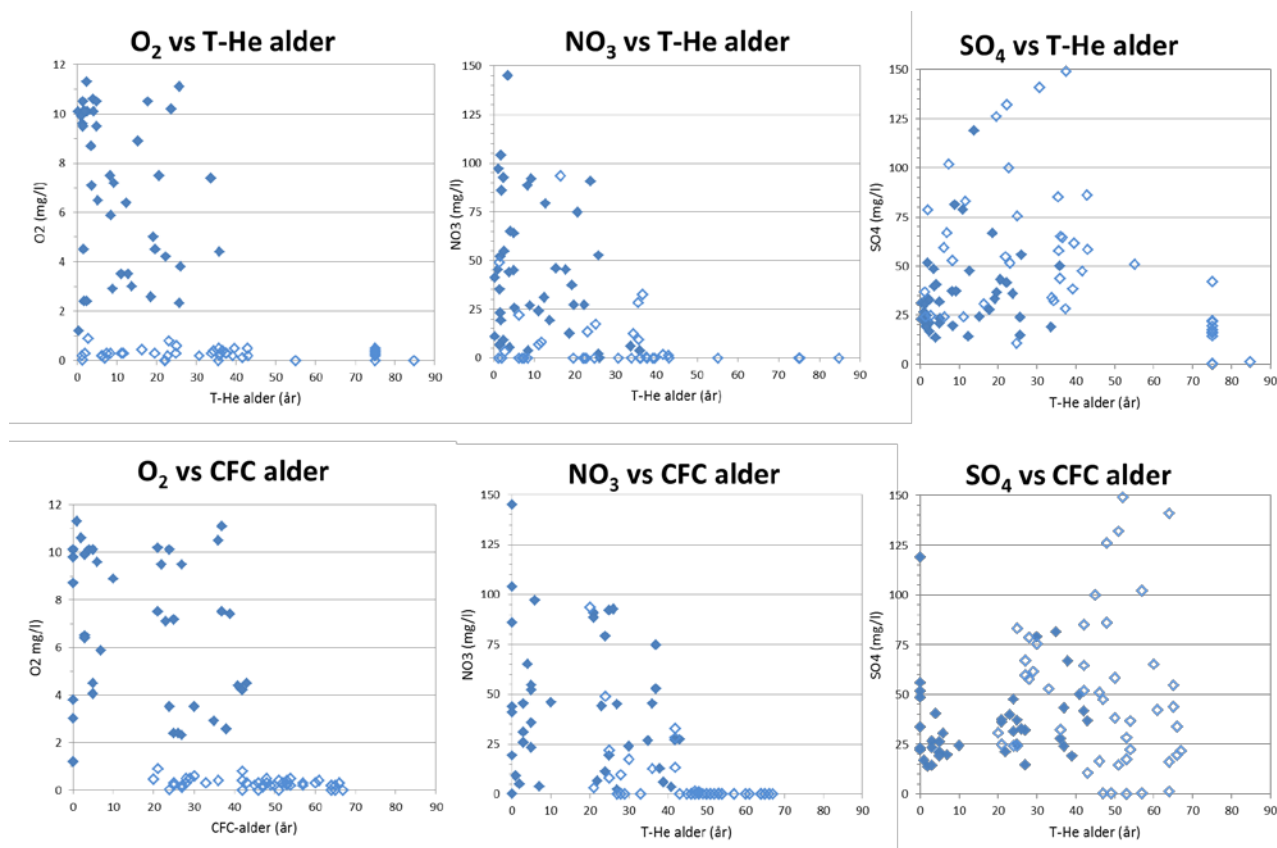
Figur 5. Dateringer 2013: Aldersfordeling mod dybde. Mørke symboler for iltholdigt grundvand og åbne symboler for $O_2 < 1$ mg/l.

For at give en maksimal datamængde til tolkning af udviklingstendensen for grundvandets nitratindhold, burde dateringerne ideelt set kun have været foretaget på iltholdigt grundvand. Dels for at undgå støj på dateringerne som følge af denitrifikation, hvilket specielt giver upålidelige CFC dateringer, men i terrænnært grundvand også øger risikoen for afgang af 3H . Behovet for datering af nye indtag og ønsket om en landdækkende undersøgelse, har imidlertid også skullet tilgodeses, og det samlede resultat af dateringerne resulterer i et aldersmønster, som afspejler Danmarks vekslende geologi. Dateringerne af indtag uden nitrat, kan anvendes til at fastlægge fremtidig prøvetagningsstrategi for de nye indtag, og til at evaluere fund af andre stoffer, herunder pesticider.

3H - 3He dateringer er indtil nu kun undtagelsesvis foretaget i Danmark, og som regel i forbindelse med forskningsprojekter. Resultatet af de mange nye dateringer med begge metoder giver forbedrede muligheder for tolkning af udviklingstendens for grundvandskvalitet i områder, med vekslende geologi,

Figur 6 viser de parametre, der normalt viser markant variation med alderen af grundvandet,

mendata vil ikke blive kommenteret yderligere før de er blevet grundigere bearbejdet. Det bør dog bemærkes, at nitrat kun er fundet i grundvand der er mindre end ca. 40 år uanset metoden.

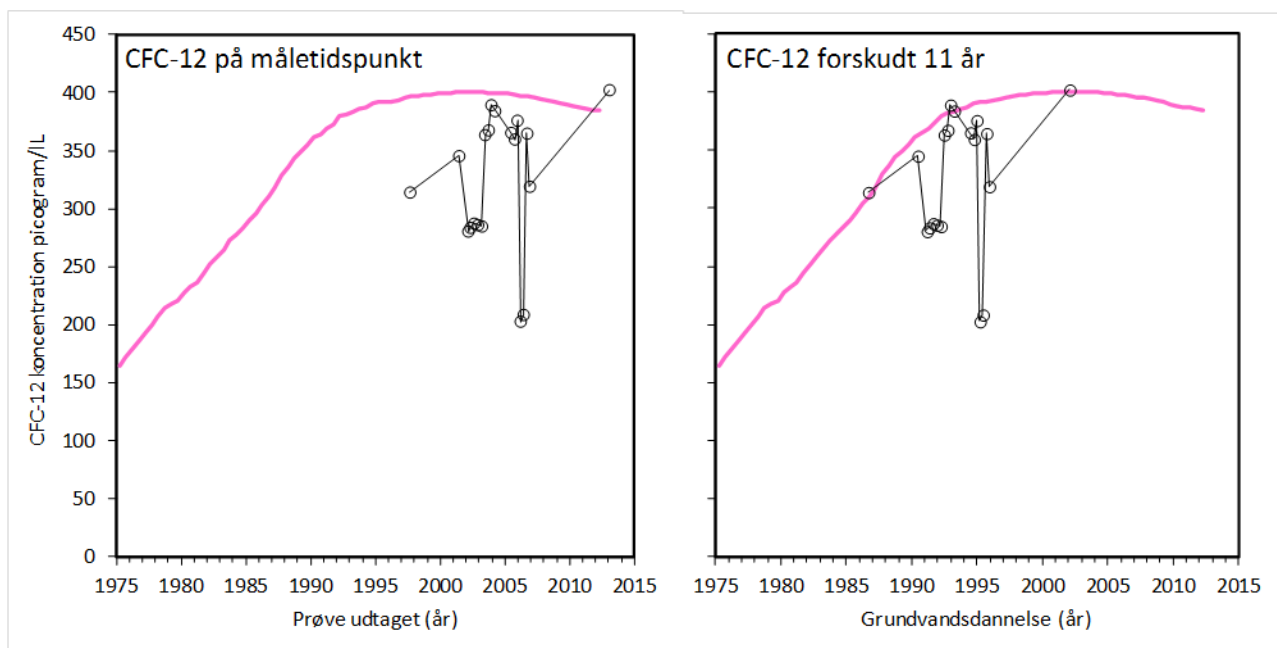


Figur 6. Variation af udvalgte grundvandsparametre som funktion af opholdstiden. Åbne symboler er fra prøver med et iltindhold på < 1 mg/l. (data fra 2013 og 2014)

Gentagne dateringer af grundvand

Datering af grundvand fra samme indtag til forskellige tider er kun gennemført i begrænset omfang og oftest for indtag, hvor der var begrundet formodning om skiftende alder ud fra markante skift i en eller flere grundvandsparametre. Figur 7 viser et eksempel på gentagen CFC datering for indtag DGU nr. 71.532-1 i Havdal overvågningsområdet. Enkelte andre boringer har også vist store udsving i alder, der som regel kunne begrundes i periodevis ændringer af dybde til grundvandspejlet. Gentagne dateringer på andre mere normale indtag viser væsentlig mindre, men dog signifikante, udsving i alder som omtalt i overvågningsrapporterne for 1999 og 2000.

Som nævnt var der tidligere foretaget datering på 30 af de 45 indtag, der indgik i pilot undersøgelsen, og resultaterne af de nye CFC dateringer "nu" er sammenlignet med de tidligere "før" dateringer i Figur 2 og Figur 3. Overensstemmelsen mellem CFC alder før og nu er rimelig god for flere boringer, men enkelte boringer viser meget store udsving, der kunne indikere forhold, der ligner eksemplet i Figur 7. Resultatet af dateringerne vil blive brugt til en nøjere tolkning af udviklingstendenser for forskellige grundvandsparametre i de pågældende boringer.



Figur 7. Havdal 71.532 (A) CFC-12 på prøvetidspunkt, (B) CFC-12 flyttet 11 år til årstal for grundvandsdannelsen

Referencer, grundvandets 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.), Groundwater 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.

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 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.

Bilag 2

Datering Grundvandsovervågning 2013

GEUS notat 05-VA-14-01: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer – pilotprojekt

Tritium-helium analyser udført 2013 i Bremen og Utah. Prøverne er udtaget i perioden 17-12-2012 til 28-01-2013. Alle CFC analyser er udført på GEUS laboratorium.

Boring	Gr_nr	Filter top m	Tritium 3H, TU	Helium-3 3He*, TU	Alder år	gml. tritium analyser		gml. CFC datering		Ny CFC datering		
						prøvedato	3H, TU	prøvedato	alder, år	min	max	
71. 470-1	70.14.11.02	15	5,5	1,6	4,6	07-02-91	47,1	24-03-98	13	→	0	13
71. 476-2	70.14.24.03	11,5	6,0	4,9	10,7	05-08-91	19,9	31-03-98	11	→	3	6
71. 757-3	70.14.24.02	15,7	7,4	0,4	0,8			15-06-05	17	→	4	6
71. 757-2	70.14.15.01	30	7,6	‡	‡					→	0	6
71. 480-1	70.14.24.01	15,1	6,3	2,1	5,1	06-02-91	49,8	18-03-98	11	→	0	6
71. 757-1	70.14.08.01	32,6	7,0	-0,2	-0,6					→	0	3
71. 473-1	70.01.19.01	16,4	6,2	3,5	8,0	13-02-91	46,5	23-03-98	18	25		
71. 511-1	70.01.20.02	13,13	6,5	3,3	7,3	27-04-92	18,3	01-09-97	10	20		
71. 522-2	70.01.28.01	30	7,6	3,6	6,9	18-05-93	22	01-09-97	22	20		
71. 630-1	70.01.03.04	15,6	6,0	‡	‡			30-08-00	33	40		
71. 439-4	70.01.33.04	15,95	7,0	‡	‡					45		
71. 770-4	70.01.27.01	19	7,9	‡	‡					20		
71. 569	70.01.26.01	26	7,3	0,6	1,4	01-10-95	15	02-09-97	21	→	0	4
71. 568	70.01.20.01	26,28	6,3	29,0	30,7	01-10-95	30	03-09-97	25	19		
71. 522	70.01.25.01	54	4,5	27,9	35,0	22-11-93	10,2	01-09-97	33	42		
71. 567	70.01.21.01	33	6,1	17,5	24,0	01-10-95	32	02-09-97	19	24		
71. 532-1	70.01.34.03	28	6,5	1,7	4,1	17-05-93	13	02-09-97	10	→	0	4
71. 771-3	70.01.30.01	30	5,7	6,3	13,2			05-10-06	20	21		
71. 775-1	70.01.30.02	13	5,7	14,2	22,2					30		
71. 775-2	70.01.29.01	8,9	6,0	7,2	13,9			10-10-06	28	21		
71. 774-1	70.01.31.03	20	6,5	2,7	6,3			06-10-06	19	22		
71. 765-3	70.14.13.01	26	5,8	6,5	13,4			09-10-06	34	34		
71. 478	05.95.07.02	26,4	6,8	15,5	21,0	06-02-91	17,5	25-03-98	36	25		
91. 104	05.95.01.01	19	6,7	7,5	13,4					28		
60. 98-1	05.95.01.02	13,5	7,6	‡	‡					53		
60. 98-2	05.95.10.01	3	7,5	‡	‡					28		
78. 1060-1	70.12.26.02	17,5-19,5	6,0	3,1	7,4					→	0	20
99. 631	70.12.20.02	11	7,5	1,9	4,0					→	0	4
99. 473	70.12.35.01	15,95	7,5	1,5	3,2					→	1	18
99. 627-1	70.12.29.01	21	8,9	1,2	2,3					36		
98. 1118-1	70.12.09.01	26,2	4,0	6,2	16,5					36		
98. 918-1	70.02.14.02	39,9	4,2	0,0	-0,2					46		
78. 779	70.13.05.01	35	5,5	23,2	29,3			02-06-98	45	42		
86. 1629	70.13.04.02	24,7	6,4	1,6	4,0	27-02-92	14,5	01-10-97	16	<18		
86. 1628	70.13.10.01	25,1	6,5	2,6	5,9	03-07-90	33,6	07-10-97	23	25		
86. 1632	70.13.12.01	35,9	5,8	2,3	6,0	24-10-90	16,2	29-09-97	12	<21		
86. 1633-1	70.13.25.03	30	7,1	2,7	5,7	10-07-90	18,3	01-10-97	12	→	4	16
86. 2074-3	70.13.08.01	26	6,9	1,0	2,4			06-09-06	2	→	2	20
86. 1630-1	70.13.02.01	35,35	7,7	2,2	4,5	03-03-92	15,1	30-09-97	23	16		
87. 1036	70.13.14.02	37,6	4,8	4,7	12,1					46		
87. 1040	70.13.07.01	45,1	6,0	6,0	12,3	10-07-90	36,7	06-10-97	31	40		
87. 1038	70.13.13.01	38,4	6,2	1,4	3,7					22		
86. 1634	70.13.09.01	41,8	6,2	1,1	2,8	09-07-90	19,3	06-10-97	25	25		
86. 1631	70.13.27.03	36,6	6,7	1,4	3,4	23-10-90	16,7	29-09-97	21	25		
86. 2079		41	5,3	8,9	17,5			07-09-06	21	30		

‡ 3He ikke kunne måles. 3H & 3He*. Data i lyseblå felter stammer fra diffusions samplers.

→ CFC metoden ikke kan anvendes direkte til datering, da der er tale om ungt vand.

Til: Naturstyrelsen, H. U. Jakobsen

Fra: GEUS, T. Laier

Kopi til: Fl. Larsen; L. Thorling Sørensen og B. K. Jensen

Fortroligt: **Nej**

Dato: 2. april 2014

GEUS-NOTAT nr.: [05-VA-14-01](#)

J.nr. GEUS: 210-00007

Emne: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer – pilotprojekt

Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer – pilotprojekt

Aldersbestemmelse af grundvand indgår som en del af undersøgelserne i det nationale overvågningsprogram for grundvand 2011-15, men da de tidligere benyttede dateringsmetoder ikke længere er egnede til ungt vand blev det besluttet benytte tritium-helium-3 (T-He) metoden. GEUS har i samarbejde med udenlandske laboratorier afprøvet metoden i 2010 i to af pesticidvarslingsområderne med positivt resultat. Derfor indgik Naturstyrelsen i januar 2013 aftale med GEUS om datering af ungt grundvand fra 50 overvågningsboringer med henblik på at afprøve T-He dateringsmetoden i det nationale overvågningsprogram. Boringerne blev udvalgt i det tidligere Aarhus Amts overvågningsområde, hvorfra prøver blev udtaget i perioden 17. december – 29. januar 2013.

Til prøveindsamling for T-He datering benyttes to forskellige teknikker, enten forsegling i kobber-rør eller opsamling vha. diffusions-sampler, sidstnævnte teknik anses for mest velegnet for boringer med lav ydelse. Der blev indsamlet lige mange prøver med hver af de to forskellige teknikker og begge teknikker benyttedes i fem af boringerne til brug for sammenligning. Resultatet af feltundersøgelser og aldersbestemmelse af grundvand for de 5 boringer, hvor forskellige teknikker anvendtes blev rapporteret i GEUS notat 05-VA-13-05 af 24. maj 2014. Til dateringerne for de fem boringer benyttedes tritium værdier bestemt ved scintillationsmetoden, i stedet for ved helium3 tilvækst metoden, der normalt anvendes af de to dateringslaboratorier. Scintillationsmetoden er mindre nøjagtig ved meget lave tritium-værdier, men blev brugt som supplement ved de 5 boringer for at opnå et hurtigere resultat. Helium3 tilvækstmetoden kræver ”inkubationstid” på 6 mdr. eller mere.

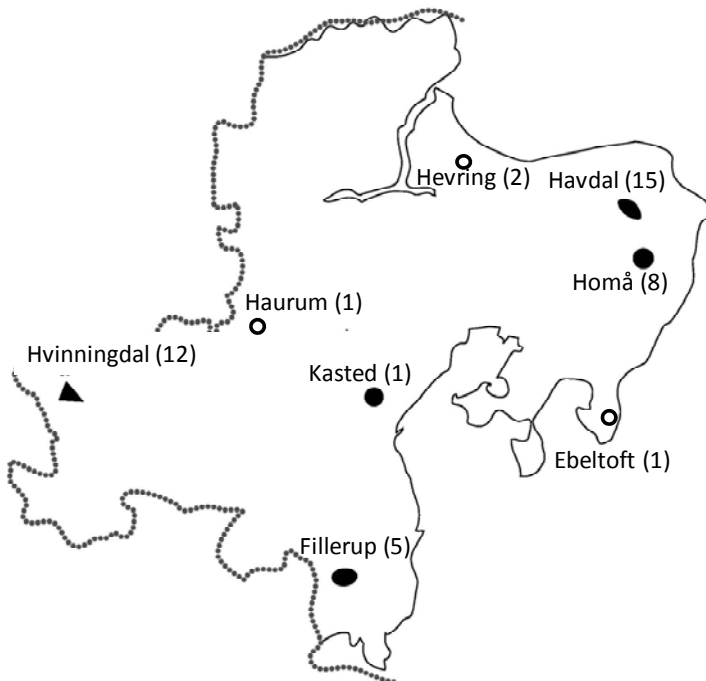
Resultaterne af dateringer med kobberrørsteknikken blev modtaget ultimo august 2013, ca. 7 mdr. efter laboratoriet havde modtaget prøverne, mens resultaterne for diffusions-sampler-teknikken først blev modtaget marts måned i år, pga. forskellige laboratorievanskeligheder. Nærværende notat rapporterer alle dateringsresultater og giver en kort vurdering af de forskellige prøvetagningsteknikker. Omtalen af feltundersøgelserne bygger i store træk på det tidligere status notat.

Udvælgelse af egnede borer

I første omgang blev nye borer, der ikke tidligere var blevet dateret, udvalgt hvis de skønnedes egnede. Det drejede sig om i alt 16 borer. Montejus borer skønnedes generelt ikke egnede fordi de ikke kan give et kontinuerligt flow, der er nødvendig for opsamling i kobberrør. Boringerne er heller ikke egnede for opsamling med diffusions samplers, fordi det ikke er muligt at placere dem i boringen i niveau med filteret, hvilket er en forudsætning for denne metode. Blandt de borer, hvorfra grundvandets alder tidligere er blevet bestemt med enten CFC eller tritium metoden eller begge, udvalgte de borer, der havde vist det yngste vand, og som i øvrigt skønnedes egnede. Hanne Lauge Knudsen, NST Aarhus var behjælpelig med fremskaffelse af aktuelle boretekniske oplysninger og erfaringer fra tidligere feltarbejde

Feltarbejde

De første prøver til datering med tritium-helium metoden blev udtaget med diffusions-sampler, og det var planen, at alle prøver skulle udtages med denne teknik. Det viste sig imidlertid, at det ikke var muligt at anbringe diffusions-sampleren i niveau med filteret i de borer, hvor der var installeret fast MP1 pumpe, uden først at fjerne denne. MP1 pumpen er tilsluttet en kraftig teflonslange, så det ville være praktisk umuligt at fjerne pumpen, og opbevare denne inklusive den op til 45 m lange lidet fleksible slange i de to døgn diffusions-sampler skulle være nedsænket i boringen. Det blev derfor besluttet at rekvirere kobberrør for udtagning af prøver fra borer med MP1 pumpe, før anden prøvetagningsrunde.



Figur 1 Prøvelokaliteter, GRUMO = udfyldt signatur, enkeltboringer = åben signatur. Tal i parentes angiver antal prøver

Tabel 1 Lokaliteter og prøvenumre jfr. Figur 1 og Tabel 2

Lokalitet	Prøvenumre
Homå	1-7, 23
Havdal	8-22
Ebeltoft	24
Hevring	25-26
Haurum	27
Fillerup	28-32
Kasted	33
Hvinningdal	34-45

Der blev udtaget prøver fra i alt 45 borer på 8 lokaliteter, heraf 5 overvågningsområder (GRU-MO), vist på figur 1 og i tabel 1. I alt blev der udtaget 50 prøver, 24 stk. i kobberrør og 26 stk. i diffusions-sampler tabel 2. Grundvand fra fem borer i Havdal området blev udtaget med begge teknikker, med henblik på at sammenligne resultaterne af to teknikker. Desuden blev der udtaget ekstra vandprøver for tritium bestemmelse ved scintillationsmetoden.

Metoder og prøvetagningsteknik

Tritium, den radioaktive brintisotop, ³H, dannes i den øvre atmosfære pga. den kosmiske stråling. Den radioaktive brint indgår i atmosfærens vanddamp og ender via nedbør i grundvandet. Under det hydrologiske kredsløb mindskes tritium i grundvandet med tiden pga. radioaktivt henfald, og måling af tritium og dets henfaldsprodukt helium-3, ³He, kan derfor fortælle hvor lang tid siden grundvandet blev dannet. Tritiums halveringstid er bestemt til 12,43 år, som dermed er grundvandets alder, hvis der er lige meget tritium og helium-3 i vandet. Generelt kan grundvandets alder (t) beregnes vha. nedenstående formel, hvor ³He er det dannede helium-3 ved tritiums ³H henfald.

$$t = 12.43 / \ln 2 * \ln(1 + \frac{{}^3\text{He}}{{}^3\text{H}})$$

Prøver for tritiumanalyse opsamles i 1 liters flasker med tætsluttende låg, så udtagning af prøver til dette formål var derfor en simpel sag. Opsamlingen af prøver til helium-3 analyse udgør en større udfordring i det prøvebeholderen skal lukkes fuldstændig hermetisk også med hensyn til de meget små helium atomer. Vandprøverne opsamles enten i et kobberrør, der sammenklemmes i begge ender, figur 2 C-D, eller de i grundvandet opløste gasser opsamles i et ligeledes tæt metalrør, se figur 2 A-B. Silikoneslangen mellem de to røde o-ringe, figur 2 A, tillader udveksling af gas molekyler mellem gasfasen inden i den lille beholder og de i grundvandet opløste gasser. Efter 1-2 døgn repræsenterer gassen i beholderen de i vandet opløste gasser, og prøven er klar til at blive taget op. Før diffusions-samplern trækkes op af boringen lukkes ventilen mellem det silikonebetrukne filter og det lille metalrør ved hjælp af pneumatik, herefter forsegles det lille metalrør med en klampe, figur 2B.



Figur 2 Prøvetagningsudstyr for helium-3 analyse af grundvand. Diffusionsamplere A-B, kobberør C-D.

De indsamlede prøver blev sendt til analyse i løbet af ugen efter afslutningen af feltarbejdet. Gasprøver fra diffusions-samlere blev sendt til universitetet i Utah, og vandprøver i kobberør til universitetet i Bremen. Analysemetoder for de forskellige teknikker er beskrevet af hhv Gardner and Solomon (2009) og Sültenfuss et al. (2009). De to laboratorier modtog også 1 liters vandprøver for præcisionsbestemmelse af tritium ved helium-3 tilvækst metoden. Scintillationslaboriet i Krakow modtog 1 liters prøver fra de fem borer i Havdal, hvor begge teknikker blev anvendt, se tabel 2.

Bestemmelse af grundvandets alder ved forskellige tracer teknikker tager ikke højde for grundvandets strømningsmønster, og den beregnede alder er derfor kun lig vandets sande alder, i tilfælde af simpel stempelstrømning, som f. eks. i et homogent sandmagasin med frit vandspejl. Er der tale om et mindre simpelt strømningsmønster, f. eks. sprækkestrømning i moræneler eller kalk, kan flere tracer teknikker benyttes for at få et mere realistisk indtryk af vandets alder. Foruden prøver til tritium-helium datering blev der derfor også udtaget prøver til CFC datering af grundvandet. Analyserne blev foretaget i GEUS CFC laboratorium.

Resultater

Resultaterne af tritium-helium3 (T-He) dateringerne ved kobberrørsmetoden blev modtaget ultimo august 2013, ca. 7 måneder efter prøvernes fremsendelse, mens resultaterne for diffusions-samplermetoden først forelå primo marts i år, se tabel 3. Resultaterne af tritium bestemmelse ved scintillationsmåling af de fem prøver fra Havdal blev modtaget allerede i april 2013 og sendt videre til laboratorierne i Bremen og Utah med anmodning om at få bestemt en foreløbig alder, så snart deres helium-3 resultater var klar. Resultaterne, modtaget i maj 2013, er vist i tabel 4 med angivelse af T-He alder for hver metode. Til sammenligning er også resultaterne af CFC dateringerne for de samme boringer vist i tabel 4. Princippet bag CFC dateringsmetoden er kort beskrevet i Appendiks A

Alderen af grundvand fra de fem Havdal boringer bestemt ved T-He metoden ligger mellem 4 og 23 år, tabel 4. CFC dateringerne viser generelt noget højere alder, godt 5 år, for de samme boringer. Forskellen i alder kan være reel, da reservoirbjergarten i de pågældende boringer består af kalk, og grundvandet derfor strømmer i sprækker. Grundvandet i de pågældende boringer er udtaget 2 til 10 m under grundvandsspejlet, tabel 2. De tre af boringerne er højt ydende, 13 – 20 liter per minut, mens to andre er lavt ydende ca. 2 -3 liter per minut, tabel 6. Udtagning af prøve nr. 21 fra boring DGU nr. 71.774 var vanskelig da vandspejlet sænkedes til nær top af filter selv ved lav pumpe rate, ca. 2-2,5 liter minut. De vanskeligere prøvetagningsforhold kan måske være en del af forklaringen på den større forskel i alder bestemt ved henholdsvis T-He (6,3-7,7 år) og CFC (22 år).

T-He alder ved diffusions sampler teknikken mangler for prøverne 18 og 20, boringerne 71.771-3 og 71.775-2, fordi universitetet i Utah ud fra deres analyser skønnede, at ”samplern” figur 2A ikke havde været åben under de 140 timers opsamlingsfase i boringen, tabel 2. T-He dateringerne for de øvrige 3 prøver viser rimelig god overensstemmelse mellem de to forskellige teknikker, og tritium målingerne for alle fem boringer viser relativ god overensstemmelse mellem de tre laboratorier.

De senest fremsendte resultater fra Utah viser, at det ikke var muligt at bestemme alderen af grundvandet i 6 af de 26 prøver, der blev udtaget med diffusions sampler, og at dateringerne af flere af de øvrige prøver formentlig er fejlbehæftede jfr. kommentarerne i det fremsendte dataark, tabel 5. Tabellerne med målte og beregnede værdier er meget omfattende for begge laboratoriers vedkommende og kun de vigtigste resultater er medtaget i tabellerne i dette notat. Det gælder også for tabel 5, hvor kun den beregnede alder, ΔNe (%) og kommentarerne er vist. Delta neon, ΔNe (%), er nul, hvis der er ligevægt mellem atmosfære og grundvand for neons vedkommende. I søer er ΔNe (%) normalt nul, men i grundvand ses ofte værdier over nul, fordi mikroskopiske atmosfærebobler fanges pga. skiftende grundvandspejl. Neon indholdet måles af begge laboratorier, som korrigerer for ekstra atmosfærisk luft ”excess air” i prøverne før beregning af T-He alder, kolonne 2 i tabel 5. Universitet i Utah bestemmer foruden neon også de tungere ædelgasser krypton (Kr) og Xenon (Xn), hvilket muliggør en bedre korrektion (Aeschbach et al., 2009), som er benyttet ved beregning af T-He alder i kolonne 3 i tabel 5. Korrektion vha. alle ædelgasser i stedet for kun neon giver i de fleste tilfælde signifikant højere alder sammenlign kolonne 2 og 3 i tabel 5.

Afgasning af vand påvirker aldersbestemmelse

De prøver, der ikke kunne dateres eller som giver usikre resultater, er kendetegnet ved negativ ΔNe (%), tabel 5, der kan forklares som delvis afgasning af vandet. Det er påfaldende, at alle målinger/beregninger af titrigen helium3 ($^3\text{He}^*$) for diffusions sampler prøverne ligger under 6,2 TU (tabel 3), eneste undtagelse er en af de tidligt analyserede prøver (boring 71.775-1) i tabel 4, der viser 11,9 TU. Sidstnævnte boring viste $^3\text{He}^*=14,2$ TU med kobberrørsteknikken. CFC dateringerne tyder ikke på, at grundvandet generelt er yngre i borer, der blev dateret med diffusions sampler teknikken end i borer dateret med kobberrørsteknikken. Noget kunne derfor tyde på, at de generelt lave $^3\text{He}^*$ tal for de sidst rapporterede diffusions sampler prøver skyldes delvis tab af helium3 muligvis via diffusion.

For 22 af de 24 kobberrørprøver lå ΔNe (%) mellem 1 og 27%, og kun 2 prøver (22 og 40) viste negative ΔNe (%) værdier hhv. $\div 61$ og $\div 17\%$. Den negative værdi for prøve 40 (boring 87.1036) skyldes sandsynligvis naturlig afgasning pga. denitrifikation, der giver forhøjet N_2 indhold i vandet. Vandspejlet står ca. 34 m u. t. eller kun ca. 3,5 m over top af filter i boringen, derfor er naturlig afgasning mulig, som beskrevet af Visser et al. (2009), når variationerne i grundvandets ilt og nitratindhold tages i betragtning. Naturlig afgasning medfører ikke blot tab af ^3He men også tab af CFC, og effekten af tabene er modsat rettede når det gælder beregning af vandets alder. T-He metoden vil give lavere alder, mens CFC vil give højere alder. Det kan være forklaringen på den store forskel for de to metoder hhv. 12 år og 46 år for boring 84.1036, tabel 3. Prøve 22 stammer fra en af de to montejust borer der var med i undersøgelsen, og afgasningen kan enten være naturlig, vandspejlet står i eller lige over top af filter, eller være en følge af prøvetagningsmetoden, der indebærer fyldning af boringen med nitrogen under tryk. Også denne boring viser stor forskel i alder mellem T-He og CFC metoden, hhv. 13 år og 34 år. Den anden montejustboring 71.569, hvor vandspejlet står godt 3 m over top af filter, viser ikke tegn på afgasning (ΔNe (%)=11) og ingen markant forskel på datering med T-He hhv. CFC metoden, tabel 3.

Foreløbige erfaringer mht. boringers egnethed for datering med T-He metoden

Overvågningsboringer med relativ høj ydelse og fast MP1 pumpe og kan uden større vanskeligheder benyttes til indsamling af prøver for tritium-helium datering. Opsamling af prøver til helium-3 analyse foretages lettest med kobberrør. Diffusions-samlere er i og for sig ikke vanskeligere at benytte, men optagning af prøver kræver, at man besøger boringen en ekstra gang, og feltarbejdet er derfor lidt mere tidskrævende. Under feltarbejdet i Aarhus området opstod der ind i mellem tvivl om filterets faktiske dybde, og det kan være et problem for udtagning med diffusions-sampler, da denne skal placeres i niveau med filteret, hvor der sker en kontinuerlig udskiftning af vand som følge af strømning.

Til boringer med lav ydelse benyttes enten AP1, en type blærepumpe, eller Montejus. Sidstnævnte vil oftest være uegnet for begge prøvetagningsteknikker for helium-3. For at teste om Montejus boringer alligevel kunne bruges (godt at vide i tilfælde af værdifulde prøveserier), blev der forsøgsvis udtaget prøver fra to Montejus boringer (tabel 6, nr.13 og 22). De to boringer var kendetegnet ved et passende stort volumen 3,5- 4 liter vand per tømning til at opsamling i kobberrør (volumen ca. 0,1 liter) skønnedes at være forsvarlig. AP1 pumperne, der ligesom Montejus benytter intervaltømning af filter, blev erstattet af enten MP1 eller Whale pumpe, i tilfælde af at ydelsen var tilstrækkelig høj. Hvis ikke, anbragtes diffusions-samplers efter renpumpning med AP1 pumpen. Hvis det var muligt at sænke AP1 pumpen under filteret kunne diffusions-sampler sidde i boringen samtidig med AP1 pumpen. Hvis AP1 ikke kunne skubbes under filterniveau, blev pumpen trukket op før diffusions-samplers blev anbragt. AP1 kunne ikke placeres i boringen samtidig med diffusions-sampler, og måtte derfor opbevares andet sted under feltarbejdet.

Anbefalinger

Resultaterne af tritium-helium dateringerne viser, at metoden fungerer tilfredsstillende, i hvert fald for boringer med passende høj ydelse. For denne type boringer viser dateringerne både i de to pesticid varslingsområder og i GRUMO boringerne i Aarhus området, at tritium-helium dateringerne giver pålidelige resultater og derfor kan anbefales til datering af andre overvågningsboringer. Med hensyn til valg af prøvetagningsteknik anbefales det at anvende kobberrør til forsegling af vandprøver for analyse af de grundvandet opløste gasser, der anvendes til beregning af tritium helium3. Diffusions sampler teknikken anses for mindre velegnet, dels pga. vanskeligere prøvetagningsforhold, og dels fordi analyselaboratoriet, der er velrenommeret i forskningssammenhæng, ikke synes gearret til at løse opgaver på kommercielle vilkår.

Tabel 2 Prøver udtaget for aldersbestemmelse, forsejlet i hhv. Cu-rør og Diffusions sampler

ID	Nr	Boring	Kote	Filter top m	interval m	vandspejl m u.t.	Prøver udtaget		-----Prøve type -----				CFC	
							Dato	kl	Diff Sam	Timer	Cu-rør	3H		
		DGU nr.	m											
DK2012	1	71. 470-1	23,7	15	1	10,11	17-12-2012	12:00	x	74		1	x	
DK2012	2	71. 476-2	33,3	11,5	1	7,98	17-12-2012	14:05	x	91		1	x	
DK2012	3	71. 757-3	33,4	15,7	1	14,06	17-12-2012	15:45	x	72		1	x	
DK2012	4	71. 757-2	33,4	30	1	18,18	17-12-2012	16:15	x	72		1	x	
DK2012	5	71. 480-1	32,8	15,1	1	12,35	18-12-2012	10:10	x	70		1	x	
DK2012	6	71. 757-1	33,4	32,6	1	18,16	18-12-2012	12:00	x	52		1	x	
DK2012	7	71. 473-1	24,3	16,4	1	10,04	18-12-2012	14:25	x	49		1	x	
DK2012	8	71. 511-1	31,0	13,13	0,47	10,21	18-12-2012	16:30	x	66		1	x	
DK2012	9	71. 522-2	40,8	30	1	27,11	19-12-2012	09:35	x	49		1	x	
DK2012	10	71. 630-1	15,7	15,6	1	9,65	19-12-2012	12:25	x	46		1	x	
DK2012	11	71. 439-4	29,5	15,95	0,5	14,7	19-12-2012	14:35	x	45		1	x	
DK2012	12	71. 770-4	33,7	19	1	12,98	19-12-2012	16:30	x	43		1	x	
DK2013	13	71. 569	37,5	26	0,2		21-01-2013	11:00			x	1	x	
DK2013	14	71. 568	30,0	26,28	1	19,42	21-01-2013	13:40			x	1	x	
DK2013	15	71. 522	40,8	54	6	27,01	21-01-2013	15:45			x	1	x	
DK2013	16	71. 567	31,2	33	2	18,33	21-01-2013	17:00			x	1	x	
DK2013	17	71. 532-1	30,9	28	1	18,33	22-01-2013	09:30	x	142	x	3	x	
DK2013	18	71. 771-3	43,9	30	1	24,63	22-01-2013	11:10	x	142	x	3	x	
DK2013	19	71. 775-1	12,5	13	1	6,70	22-01-2013	13:20	x	140	x	3	x	
DK2013	20	71. 775-2	12,5	8,9	0,6	6,78	22-01-2013	14:20	x	139	x	3	x	
DK2013	21	71. 774-1	24,6	20	1	17,50	22-01-2013	17:00	x	137	x	3	x	
DK2013	22	71. 765-3	36,0	26	0,5		23-01-2013	11:10			x	1	x	
DK2013	23	71. 478	32,7	26,4	1,1	17,92	23-01-2013	12:20			x	1	x	
DK2013	24	91. 104	27,4	19	7	13,16	23-01-2013	15:10			x	1	x	
DK2013	25	60. 98-1	2,4	13,5	1	1,16	24-01-2013	10:10	x	97		1	x	
DK2013	26	60. 98-2	2,4	3	1	1,23	24-01-2013	10:50	x	97		1	x	
DK2013	27	78. 1060-1	88,2	17,5-19,5	1	16,65	24-01-2013	15:05	x	94		1	x	
DK2013	28	99. 631	66,7	11	1	9,47	24-01-2013	17:30			x	1	x	
DK2013	29	99. 473	64,6	15,95	1	6,04	24-01-2013	18:35			x	1	x	
DK2013	30	99. 627-1	59,6	21	1	20,27	25-01-2013	11:00	x	98		1	x	
DK2013	31	98. 1118-1	64,7	26,2	1	23,04	25-01-2013	10:30	x	98		1	x	
DK2013	32	98. 918-1	80,1	39,9	0,7	37,99	25-01-2013	12:45	x	97		1	x	
DK2013	33	78. 779	60,2	35	1	16,09	26-01-2013	11:40			x	1	x	
DK2013	34	86. 1629	80,9	24,7	1	19,33	26-01-2013	13:40			x	1	x	
DK2013	35	86. 1628	82,9	25,1	1		26-01-2013	15:10			x	1	x	
DK2013	36	86. 1632	91,6	35,9	1		26-01-2013	16:35			x	1	x	
DK2013	37	86. 1633-1	86,6	30	1	25,34	27-01-2013	10:45	x	48		1	x	
DK2013	38	86. 2074-3	82,4	26	1	20,94	27-01-2013	12:25	x	47		1	x	
DK2013	39	86. 1630-1	91,0	35,35	1	33,47	27-01-2013	14:00	x	46		1	x	
DK2013	40	87. 1036	87,7	37,6	1		27-01-2013	15:45			x	1	x	
DK2013	41	87. 1040	87,7	45,1	1		28-01-2013	14:20			x	1	x	
DK2013	42	87. 1038	86,9	38,4	1		28-01-2013	15:20			x	1	x	
DK2013	43	86. 1634	90,6	41,8	1	37,53	28-01-2013	16:30			x	1	x	
DK2013	44	86. 1631	91,2	36,6	1		28-01-2013	17:35			x	1	x	
DK2013	45	86. 2079	92,5	41	1	35,26	29-01-2013	09:40			x	1	x	

Tabel 3 Resultater af grundvandsdatering, nye og tidligere målinger

ID	Nr	Boring DGU nr.	Filter top m	vandspejl m u.t.	Tritium 3H, TU	Helium-3 3He*, TU	Alder år	gml. tritium analyser		gml. CFC datering		Ny CFC datering		
								prøvedato	3H, TU	prøvedato	alder, år	min	max	
DK2012	1	71. 470-1	15	10.11	5.5	1.6	4.6	07-02-91	47.1	24-03-98	13	→	0	13
DK2012	2	71. 476-2	11.5	7.98	6.0	4.9	10.7	05-08-91	19.9	31-03-98	11	→	3	6
DK2012	3	71. 757-3	15.7	14.06	7.4	0.4	0.8			15-06-05	17	→	4	6
DK2012	4	71. 757-2	30	18.18	7.6	‡	‡					→	0	6
DK2012	5	71. 480-1	15.1	12.35	6.3	2.1	5.1	06-02-91	49.8	18-03-98	11	→	0	6
DK2012	6	71. 757-1	32.6	18.16	7.0	-0.2	-0.6					→	0	3
DK2012	7	71. 473-1	16.4	10.04	6.2	3.5	8.0	13-02-91	46.5	23-03-98	18			
DK2012	8	71. 511-1	13.13	10.21	6.5	3.3	7.3	27-04-92	18.3	01-09-97	10			
DK2012	9	71. 522-2	30	27.11	7.6	3.6	6.9	18-05-93	22	01-09-97	22			
DK2012	10	71. 630-1	15.6	9.65	6.0	‡	‡			30-08-00	33			
DK2012	11	71. 439-4	15.95	14.7	7.0	‡	‡							
DK2012	12	71. 770-4	19	12.98	7.9	‡	‡							
DK2013	13	71. 569	26		7.3	0.6	1.4	01-10-95	15	02-09-97	21	→	0	4
DK2013	14	71. 568	26.28	19.42	6.3	29.0	30.7	01-10-95	30	03-09-97	25			
DK2013	15	71. 522	54	27.01	4.5	27.9	35.0	22-11-93	10.2	01-09-97	33			
DK2013	16	71. 567	33	18.33	6.1	17.5	24.0	01-10-95	32	02-09-97	19			
DK2013	17	71. 532-1	28	18.33	6.5	1.7	4.1	17-05-93	13	02-09-97	10	→	0	4
DK2013	18	71. 771-3	30	24.63	5.7	6.3	13.2			05-10-06	20			
DK2013	19	71. 775-1	13	6.70	5.7	14.2	22.2							
DK2013	20	71. 775-2	8.9	6.78	6.0	7.2	13.9			10-10-06	28			
DK2013	21	71. 774-1	20	17.50	6.5	2.7	6.3			06-10-06	19			
DK2013	22	71. 765-3	26		5.8	6.5	13.4			09-10-06	34			
DK2013	23	71. 478	26.4	17.92	6.8	15.5	21.0	06-02-91	17.5	25-03-98	36			
DK2013	24	91. 104	19	13.16	6.7	7.5	13.4							
DK2013	25	60. 98-1	13.5	1.16	7.6	‡	‡							
DK2013	26	60. 98-2	3	1.23	7.5	‡	‡							
DK2013	27	78. 1060-1	17,5-19,5	16.65	6.0	3.1	7.4					→	0	20
DK2013	28	99. 631	11	9.47	7.5	1.9	4.0					→	0	4
DK2013	29	99. 473	15.95	6.04	7.5	1.5	3.2					→	1	18
DK2013	30	99. 627-1	21	20.27	8.9	1.2	2.3							
DK2013	31	98. 1118-1	26.2	23.04	4.0	6.2	16.5							
DK2013	32	98. 918-1	39.9	37.99	4.2	0.0	-0.2							
DK2013	33	78. 779	35	16.09	5.5	23.2	29.3			02-06-98	45			
DK2013	34	86. 1629	24.7	19.33	6.4	1.6	4.0	27-02-92	14.5	01-10-97	16	<18		
DK2013	35	86. 1628	25.1		6.5	2.6	5.9	03-07-90	33.6	07-10-97	23			
DK2013	36	86. 1632	35.9		5.8	2.3	6.0	24-10-90	16.2	29-09-97	12	<21		
DK2013	37	86. 1633-1	30	25.34	7.1	2.7	5.7	10-07-90	18.3	01-10-97	12	→	4	16
DK2013	38	86. 2074-3	26	20.94	6.9	1.0	2.4			06-09-06	2	→	2	20
DK2013	39	86. 1630-1	35.35	33.47	7.7	2.2	4.5	03-03-92	15.1	30-09-97	23			
DK2013	40	87. 1036	37.6		4.8	4.7	12.1							
DK2013	41	87. 1040	45.1		6.0	6.0	12.3	10-07-90	36.7	06-10-97	31			
DK2013	42	87. 1038	38.4		6.2	1.4	3.7							
DK2013	43	86. 1634	41.8	37.53	6.2	1.1	2.8	09-07-90	19.3	06-10-97	25			
DK2013	44	86. 1631	36.6		6.7	1.4	3.4	23-10-90	16.7	29-09-97	21			
DK2013	45	86. 2079	41	35.26	5.3	8.9	17.5			07-09-06	21			

Utah's diffusions-sampler resultater er markeret med blå. ‡) markerer, at prøven ikke kunne dateres med følgende begrundelse: "Age calculation not possible – sample contains large amounts of excess He4, excess air or the sample is stripped". Øvrige resultater repræsenterer kobberørprøver analyseret i Bremen. De nye CFC dateringer giver 2 aldre for yngre grundvand, se forklaring i Appendiks A.

Tabel 4 Sammenligning af aldersbestemmelser af grundvand ved forskellige metoder

Boring	Filter	vandsp	Tritium, 3H, TU			ædelgas analyser		tritium-helium-3 alder				CFC-alder				
			Scintillation	3He-tilvækst		Helium-3, 3He*, TU		Bremen		Utah		Krakow		gml. CFC datering		Ny CFC datering
DGU nr.	top m	m u.t.	Krakow	Bremen	Utah	Bremen	Utah	Bremen	Utah	Bremen	Utah	prøvedato	år	år	min	max
71. 532-1	28	18,33	6.2 ± 0.4	6,5	5,7	1,7	1,9	4,1	5,0	4,2	4,6	02-09-97	10	→	0	4
71. 771-3	30	24,63	4.7 ± 0.4	5,7	4,7	6,3	0,0	13,2		15,1		05-10-06	20	21		
71. 775-1	13	6,70	5.4 ± 0.4	5,7	5,0	14,2	11,9	22,2	21,6	23,1	20,7			30		
71. 775-2	8,9	6,78	5.3 ± 0.4	6,0	6,1	7,2	0,4	13,9		15,5		10-10-06	28	21		
71. 774-1	20	17,50	6.3 ± 0.4	6,5	6,0	2,7	3,3	6,3	7,7	6,4	7,5	06-10-06	19	22		

Tabel 5 Beregning af alder for grundvand ved diffusions sampler teknik, Utah

Sample I.D.	Age - using Ne only (yrs)	Age - using CE model (yrs)	ΔNe (%)	Notes
DK2012-01	-2.3	4.6	25.38	
DK2012-02	1.9	10.7	52.45	
DK2012-03	0.8	-0.5	-1.60	Slight stripping
DK2012-04	‡	‡	-33.59	Appears stripped
DK2012-05	-1.9	5.1	28.90	
DK2012-06	-0.5	-0.6	1.14	
DK2012-07	6.6	8.0	34.63	
DK2012-08	6.9	7.3	5.35	
DK2012-09	6.6	6.9	0.49	
DK2012-10	‡	‡	-10.83	Poor gas model fit - sample appears stripped
DK2012-11	‡	‡	-10.85	Poor gas model fit - sample appears stripped
DK2012-12	‡	‡	16.84	Poor gas model fit - sample appears to contain excess air
DK2013-17	3.3	5.0	5.42	
DK2013-18	-1.0	-0.1	2.75	
DK2013-19	23.3	21.6	-4.63	Some stripping; Excess He4 - age sensitive to Rterr
DK2013-20	-5.1	1.1	16.98	
DK2013-21	5.6	7.7	9.47	
DK2013-25	‡	‡	-41.38	Poor gas model fit - sample appears stripped
DK2013-26	‡	‡	-45.28	Poor gas model fit - sample appears stripped
DK2013-27	5.5	7.4	10.79	
DK2013-30	-1.5	2.3	24.24	
DK2013-31	15.8	16.5	9.68	
DK2013-32	-15.4	-0.2	24.05	Excess He4 - age sensitive to Rterr
DK2013-37	5.7	1.1	-6.36	Slight stripping
DK2013-38	1.8	2.4	3.82	
DK2013-39	0.3	4.5	24.88	

‡ Age calculation not possible – sample contains large amounts of excess He4, excess air or the sample is stripped.

Prøverne DK2013-17 til -21er vist i tabel 4 i samme rækkefølge.

Tabel 6 Boretekniske oplysninger, Diffusions-Samplers er hovedsagelig anvendt i boringer med lav ydelse

ID Nr.	etablår	Boring		Filter		Boring mm	Pumpe normal	Ydelse l/min	Pumpe benyttet	Ydelse l/min	diff. sampl	Cu rør
		dgunr	gr_nr	top	bund							
1		71. 470	70.14.04.01	15	16	63	AP1	0,2-0,4		0,8	x	
2		71. 476	70.14.11.02	11,5	12,5	63	AP1	0,4-1	whale	1,4	x	
3		71. 757	70.14.24.03	15,7	16,7	63	2 * whale	2		5,0	x	
4		71. 757	70.14.24.02	30	31	63	AP1	0,3-1		0,8	x	
5		71. 480	70.14.15.01	15,1	16,1	63	AP1	0,7		0,8	x	
6		71. 757	70.14.24.01	32,6	33,6	63	AP1	0,5-1		0,7	x	
7		71. 473	70.14.08.01	16,4	17,4	63	AP1	0,5-1	whale	2,0	x	
8		71. 511	70.01.19.01	13,13	13,6	63	AP1	ca 1		0,9	x	
9		71. 522	70.01.20.02	30	31	63	AP1	0,5		0,5	x	
10		71. 630	70.01.28.01	15,6	16,6	63	AP1	0,6	whale	1,7	x	
11		71. 439	70.01.03.04	15,95	16,45	40	AP1	0,16		0,14	x	
12	2005	71. 770	70.01.33.04	19	20	63	Mobil MP1	20		22	x	
13		71. 569	70.01.27.01	26	26,2	63	Montejus	"3L"		"4L"		x
14		71. 568	70.01.26.01	26,28	27,28	63	AP1	0,15	Mobil MP1	6		x
15		71. 522	70.01.20.01	54	60	125	SP8	72		103		x
16		71. 567	70.01.25.01	33	35	125	SP5	36		31		x
17		71. 532	70.01.21.01	28	29	63	AP1	Lav	Mobil MP1	3	x	x
18	2005	71. 771	70.01.34.03	30	31	63	Mobil MP1	13			x	x
19	2005	71. 775	70.01.30.01	13	14	63	Mobil MP1	20		10	x	x
20	2005	71. 775	70.01.30.02	8,9	9,5	63	Mobil MP1	20		10	x	x
21	2005	71. 774	70.01.29.01	20	21	63	3*whale	0,6	Mobil MP1	2,5	x	x
22	2005	71. 765	70.01.31.03	26	26,5	63	Montejus	"3,8L"		"3,5L"		x
23		71. 478	70.14.13.01	26,4	27,5	63	MP1	30		33		x
24	2012	91. 104	05.95.07.02	19	25	125	Mobil MP1	20		24		x
25	2007	60. 98	05.95.01.01	13,5	14,5	63?	Mobil MP1	21		9	x	
26	2007	60. 98	05.95.01.02	3	4	65	Mobil MP1	9		6	x	
27	2011	78. 1060	05.95.10.01				Mobil AP1	ca 0,2	Mobil MP1	1	x	
28		99. 631	70.12.26.02	11	12	63	MP1	30		15		x
29		99. 473	70.12.20.02	15,95	16,95	63	MP1	4		5		x
30	2003	99. 627	70.12.35.01						Mobil MP1	2,7	x	
31	2004	98. 1118	70.12.29.01						AP1	0,7	x	
32		98. 918	70.12.09.01						AP1	0,24	x	
33		78. 779	70.02.14.02	35	36	63	MP1			9		x
34		86. 1629	70.13.05.01	24,7	25,7	63	MP1	20		6		x
35		86. 1628	70.13.04.02	25,1	26,1	63	MP1	20		12		x
36		86. 1632	70.13.10.01	35,9	36,9	63	MP1	20		10		x
37		86. 1633	70.13.12.01	30	31	63	AP1	0,3	Mobil MP1	6	x	
38	2005	86. 2074	70.13.25.03	26	27	63	Mobil MP1	20		8,5	x	
39		86. 1630	70.13.08.01	35,35	36,35	63	AP1	0,2	Mobil MP1	2,3	x	
40		87. 1036	70.13.02.01	37,6	38,6	63	MP1	20		9		x
41		87. 1040	70.13.14.02	45,1	46,1	63	MP1	10		9		x
42		87. 1038	70.13.07.01	38,4	39,4	63	MP1	20		10		x
43		86. 1634	70.13.13.01	41,8	42,8	63	MP1	20		9		x
44		86. 1631	70.13.09.01	36,6	37,6	63	MP1	20		10		x
45	2005	86. 2079	70.13.27.03	41	42	63	Mobil MP1	13		6		x

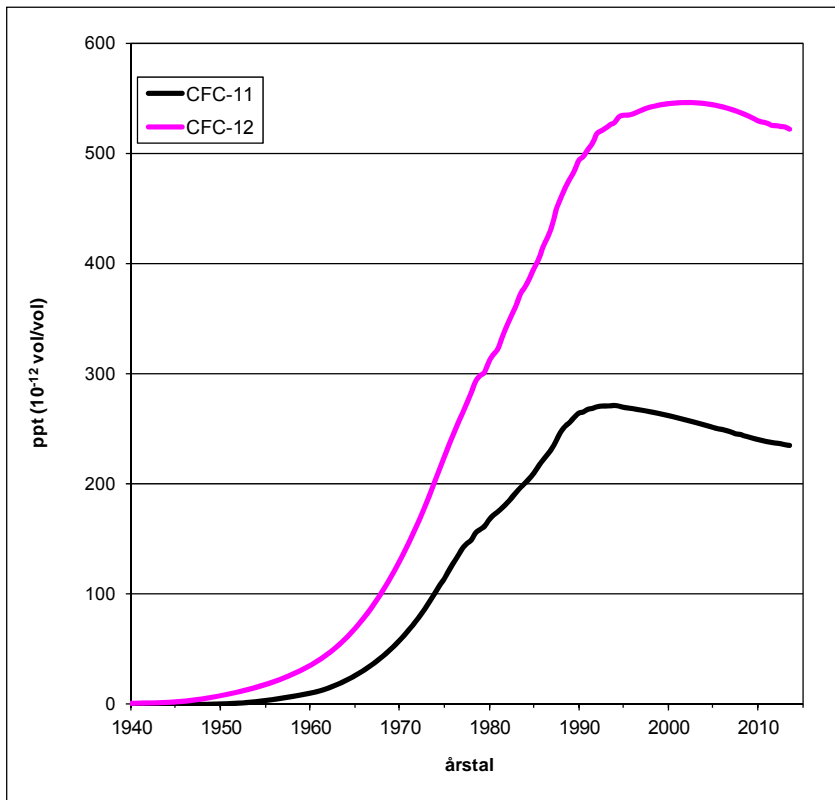
Referencer

Aeschbach-Hertig, H., El-Gamal, H., Wieser, M. and Palcsu, L.. 2008. Modeling excess air and degassing in groundwater by equilibrium partitioning with a gas phase. *Water Res. Res.* 44.W08449, doi:10.1029/2007WR006454

Gardner, P. and Solomon, D.K., 2009. An advanced passive diffusion sampler for the determination of dissolved gas concentrations. *Water Res. Res.* 45. W06423, doi:10.1029/2008WR007399.

Sültenfuß, J., Roether, W. and Rhein, M., 2009. The Bremen mass spectrometric facility for the measurement of helium isotopes, neon, and tritium in water, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45:2, 83-95

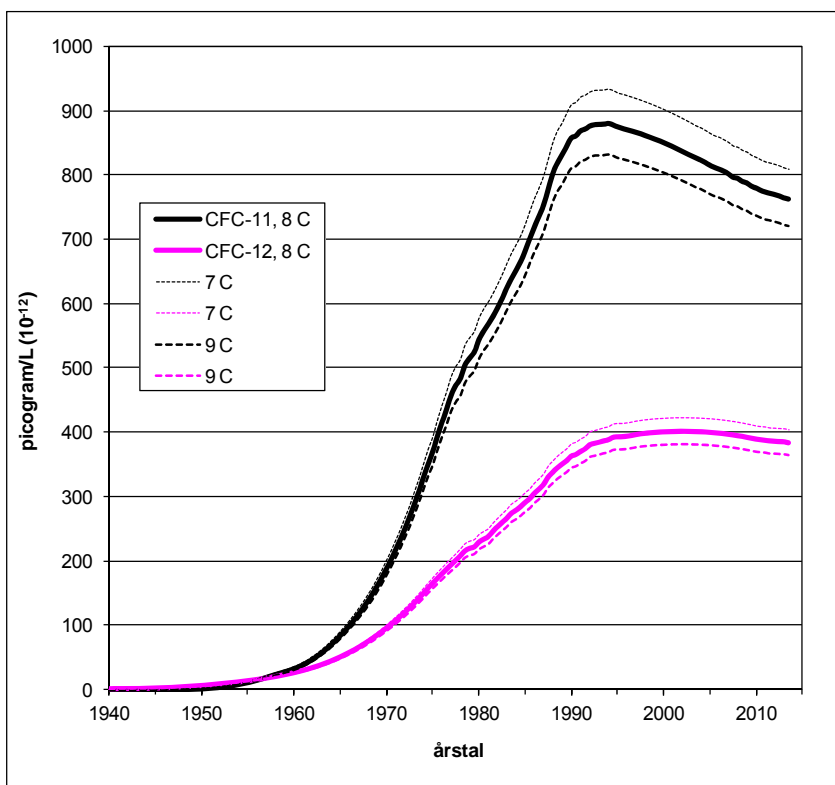
Visser, A., Schaap, J.D., Broers, H.P. and Bierkens, M.F.P, 2009. Degassing of $^3\text{H}/^3\text{He}$, CFCs and SF₆ by denitrification: measurements and two-phase transport simulations. *Journal of Contaminant Hydrology* 103(3-4): 206-218, doi:10.1016/j.jconhyd.2008.10.013



APPENDIKS A

CFC daterings-metoden

Stigningen i atmosfærens indhold af CFC-11 og CFC-12 afspejlede sig i et stigende CFC-indhold i grundvandet via nedbøren. Dette forhold benyttedes ved aldersbestemmelse af grundvandet frem til år ca. 2000. Siden er CFC metoden blevet mindre sikker til datering af ungt grundvand.



CFC-11 er lettere opløselig i vand end CFC-12, og derfor ses højere CFC-11 koncentration. Vandets temperatur bestemmer, hvor meget gas der kan opløses. Tolkning af grundvandets alder baserer sig på, at ligevægt mellem gasfase og vandfase hersker ved vandspejlet, hvor temperaturen er ca. 8 °C, årets middeltemperatur. Det er en god tilnærmelse, hvis vandspejlet ligger 5 m u. t. eller dybere. Ved terrænnært vandspejl kan ligevægtstemperaturen svinge, og dermed påvirke CFC indholdet.

For CFC nær maksimum koncentration ses to løsninger mht. alder.

Bilag 3

Datering Grundvandsovervågning 2014.

GEUS notat 05-VA-14-04: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He-metoden

Tritium helium analyser udført 2014 i Bremen. Prøverne er udtaget i perioden 11-11-2013 til 10-12-2013. Alle CFC analyser er udført på GEUS laboratorium.

DGU nr.	GRUMO nr.	Tritium TU	He-3 (tritiogen) TU	T+He-3 TU	Alder antal år	infiltration årstal	CFC alder antal år	Bemærninger
4. 225 -2	07.97.16.02	2,93					53	
15. 693-1	07.97.05.01	4,15	42,8	47,0	42,8	1971,1	48	
15. 693-3	07.97.05.03	5,40	8,1	13,5	16,3	1997,6	20	
16. 1286-1	07.97.06.01	5,07	4,4	9,5	11,1	2002,8		
17. 1087-1	07.97.07.01	0,05	5,6	5,6	84,8	<1955	64	low tritium, <1955, little radiogenic 4He
18. 385-1	80.13.21.01	6,50	1,0	7,5	2,4	2011,5	1	
18. 387-1	80.13.23.01	7,00	1,7	8,7	4,0	2010,0	2	
25. 633-2	07.97.10.02	6,55	44,8	51,3	36,6	1977,3	42	
25. 633-3	07.97.10.03	6,15	39,1	45,3	35,5	1978,4	42	
26. 4032-3	07.97.11.03	4,47	28,7	33,2	35,6	1978,3	28	
30. 1373-1	76.14.08.01	5,02	1,6	6,6	5,0	2008,9		
30. 1377-1	76.14.12.01	4,90	0,5	5,4	1,7	2012,3	5	
30. 1389-3	07.97.12.03	6,26	20,4	26,6	25,7	1988,2	27	
40. 1366-1	80.14.13.01	6,60	0,5	7,1	1,3	2012,6	6	
40. 1370-1	80.14.17.01	6,80			1,0		3	extreme excess air, recent tritium
40. 1372-1	80.14.19.01	6,20	1,6	7,8	4,1	2009,8	4	
40. 1374-1	80.14.21.01	6,70	-0,8	5,9	-2,3	2016,2	0	
40. 1377-1	80.14.24.01	6,74	0,8	7,5	1,9	2012,0	0	
40. 1592-2	07.97.42.02	5,16	29,4	34,6	33,8	1980,1	66	
41. 1536-2	07.97.23.02	6,07	56,9	63,0	41,6	1972,4	47	
41. 1537-3	07.97.22.03	5,17	37,2	42,37	37,4	1976,52	53	corrected
46. 814-2	06.96.16.02	5,24	10,5	15,8	19,6	1994,4	48	
47. 1168-3	06.96.09.03	4,84	27,4	32,2	33,7	1980,2	39	
49. 1031-1	07.97.02.01	4,83	3,3	8,1	9,2	2004,7	25	
50. 702-1	07.97.15.01	5,12	14,4	19,5	23,8	1990,2	21	
53. 618-4	06.96.22.04	5,79	5,0	10,8	11,1	2002,8	30	
53. 653-2	06.96.10.02	5,37	10,0	15,3	18,6	1995,3	38	
55. 1082-1	06.96.23.01	5,20	3,1	8,3	8,3	2005,6	21	
56. 896-1	76.11.05.01	6,81	0,1	6,9	0,3	2013,6	24	
56. 995-1	76.11.11.01	5,93	3,9	9,9	9,0	2004,9	35	
56. 999-1	76.11.08.01	6,60	0,6	7,2	1,5	2012,4	22	
57. 762-3	06.96.12.03	7,59	35,1	42,7	30,7	1983,2	64	
66. 1743-1	76.11.16.01	6,30	1,0	7,3	2,5	2011,4	5	
66. 1747-1	76.11.13.01	6,74	44,0	50,7	35,9	1978,0	41	
66. 1875-3	06.96.13.03	6,50	1,1	7,6	2,7	2011,2	21	
66. 2071-1	05.95.18.01	6,53	2,7	9,2	6,2	2007,8	27	
66. 2071-2	05.95.18.02	7,05	1,0	8,1	2,4	2011,5	26	little degassing
71. 962-1	70.14.26.01	7,56	18,8	26,4	22,2	1991,7	51	
72. 962-2	70.14.26.02	4,48	0,5	5,0	1,9	2012,0	28	large excess air
77. 1585-1	05.95.20.01	5,23	16,1	21,3	25,0	1989,0	30	
77. 1585-2	05.95.20.02	4,90	4,5	9,4	11,6	2002,3	25	

Tabellen fortsætter næste side

Tabellen fortsat fra forrige side

DGU	GRUMO	Tritium	He-3 (tritiogen)	T+He-3	Alder	infiltration	CFC alder	Bemærninger
nr.	nr.	TU	TU	TU	antal år	årstal	antal år	
84. 2772-1	06.96.19.01	7,10	0,7	7,8	1,7	2012,2	5	
86. 1848-2	06.96.14.02	8,50	28,4	36,9	26,1	1987,8	0	
86. 2071-3	06.96.15.03	4,40	6,0	10,4	15,3	1998,6	10	
88. 1268-2	05.95.14.02	0,07	0,0		75	<1950	67	radiog. 4He, low tritium, <1950
88.1346 -4	05.95.04.04	5,91	1,9	7,8	5,0	2009,0	27	
88. 1348-3	05.95.15.03	5,27	11,5	16,8	20,6	1993,3	37	
93. 1253-1	06.96.20.01	7,70	2,6	10,3	5,2	2008,7	3	
94. 2947-1	06.96.21.01	7,88	0,7	8,6	1,5	2012,4	0	
105. 1701-3	60.11.19.03	6,15	16,3	22,5	23,0	1990,9	42	
105. 1702-2	60.11.19.02	5,53	13,9	19,4	22,3	1991,6	42	
105. 1703-1	60.11.19.01	5,37	17,6	22,9	25,8	1988,1	37	
105. 1705-3	60.11.20.03	5,44	11,0	16,5	19,7	1994,2	43	
105. 1706-2	60.11.20.02	4,71	8,1	12,8	17,8	1996,2	36	
105. 1827-1	65.11.06.01	8,00	0,2	8,2	0,3	2013,6	0	
106. 1535-1	05.95.21.01	6,70	2,8	9,5	6,3	2007,6	25	
106. 1536-1	05.95.22.01	4,90	5,2	10,1	12,8	2001,1	24	
107. 1568-2	05.95.16.01	0,68	0,0	0,7	1,1		54	high excess air, low tritium, mixed water
112. 1250-3	04.94.04.03	5,51	3,3	8,8	8,3	2005,6	33	
113. 1863-1	04.94.05.01	8,48	4,1	12,5	6,9	2007,0	27	
114. 1437-1	55.01.09.01	8,10	0,6	8,7	1,3	2012,6	24	
114. 1857-4	04.94.06.04	6,42	52,9	59,3	39,5	1974,4	29	
121. 955-1	55.13.09.01	4,60	9,0	13,6	19,3	1994,6		
123. 1218-6	04.94.08.06	6,79	40,0	46,7	34,3	1979,6	36	
125. 2024-1	60.13.26.01	8,00	0,8	8,8	1,8	2012,1	25	
135. 1443-1	42.13.13.01	4,91	32,4	37,3	36,0	1977,9	60	
147. 1001-2	03.93.11.02	8,11	59,0	67,1	37,6	1976,4	52	little degassing, radiogenic 4He
164. 1253-1		0,47			55	<1960	46	low tritium, <1960
164. 1452-1	03.93.10.01	4,82	2,5	7,3	7,4	2006,5	57	
164. 1454-1	03.93.09.01	1,82	5,5	7,3	24,8	1989,2	43	low tritium, but bomb component + radiogenic 4He = mixed water
198. 544-1	30.01.06.01	1,14	7,4	8,6	35,9	1978,0	65	low tritium, mixed water
198. 690-1	30.16.07.01	7,50	0,9	8,4	2,0	2011,9	0	
198. 693-1	30.16.10.01	6,60	1,4	8,0	3,5	2010,4	0	
199. 1007-2	20.11.08.02	5,70	5,8	11,5	12,5	2001,5	3	
207. 3003-1	15.11.10.01	4,10	4,8	8,9	13,8	2000,1	0	radiog. 4He
200. 3703-1	15.11.10.02	3,82	30,7	34,6	39,2	1974,8	50	radiog. 4He + tritium = mixed water
200. 3703-2	15.14.05.01	6,79	17,7	24,43	22,7	1991,17	45	corrected
217. 1190-1	02.92.12.01	0,03	-0,4		75		57	very low tritium, <1930
217. 1190-2	02.92.12.02	4,57	46,8	51,4	43,0	1970,9	50	
220. 686-1	02.92.08.01	0,02	-0,9		75		46	very low tritium, <1930
222. 647-1	02.92.14.01	-0,02	-0,2		75		54	radiog. 4He, very low tritium, <1930
222. 648-1	02.92.15.01	-0,01	-1,1		75		49	radiog. 4He, very low tritium, <1930
222. 648-2	02.92.15.02	6,40	1,5	7,9	3,7	2010,2	23	
227. 250-1	02.92.16.01	0,01	6,9		75		47	very low tritium, <1930
233. 331-2	02.92.09.02	0,08	0,4		75		66	low tritium, <1940
237. 616-1	02.92.17.01	-0,01	-1,7		75		61	very low tritium, <1930
241. 208-1	02.92.07.01	0,04	10,1		75		64	very low tritium, <1940
242. 347-1	02.92.13.01	0,03			75		53	very low tritium, <1940
242. 347-3	02.92.13.03	0,03	1,6		75		51	very low tritium, <1940
244. 621-1	01.91.10.01	3,84	9,4	13,3	22,0	1991,9	65	radiog. 4He, low tritium, mixed water
245. 213-1	01.91.18.01	6,10	-0,5	5,6	-1,7	2015,6	5	radiog. 4He, high tritium, no such possible mixing
246. 802-3	01.91.06.03	6,60	4,1	10,7	8,5	2005,4	7	

Til: Naturstyrelsen, H. U. Jakobsen

Fra: GEUS, T. Laier

Kopi til: Fl. Larsen; L. Thorling og B. K. Jensen

Fortroligt: **Nej**

Dato: 16. januar 2015

GEUS-NOTAT nr.: [05-VA-14-04](#)

J.nr. GEUS: 210-00007

Emne: Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden

Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden

Resumé

Alderen af grundvand spænder fra 0,3 til 84 år eller mere i de 92 overvågningsboringer, som Naturstyrelsen udpegede og rekvirerede til ny aldersbestemmelse. Alderen blev bestemt ved hjælp af tritium-helium metoden (T-He) og suppleret med aldersbestemmelse ved CFC metoden. Grundvandets oprindelige tritiumindhold, der er lig summen af tritium og tritigent helium-3, blev sammenlignet med nedbørens tritiumindhold på tidspunktet for grundvandsdannelsen for at kontrollere om T-He alderen viste en simpel sammenhæng mellem grundvandets alder og infiltrationsårstal, eller om der kunne være tale om blanding af vandtyper. Det første viste sig at være tilfældet for de fleste af boringerne. Andre boringer viste mere eller mindre tydelige tegn på blanding af vand af forskellig alder, det gjaldt særligt for områder med vekslende lag af sand og ler. Udvælgelseskriterierne for de 92 boringer, der sigtede på at gøre undersøgelsen landsdækkende omfattende nye boringer, betød at kun knap halvdelen af dateringerne kan anvendes til etablering af trends for udviklingen af f.eks. grundvandets nitratindhold inden for de seneste tyve til tredive år. Undersøgelsen anses alligevel for at være vellykket fordi den dokumenterer, at T-He metoden kan anvendes til datering af grundvand over et langt tidsinterval (0-90 år), og for lerlagenes vedkommende informere bedre end andre daterings metoder om stofudvekslingen mellem vand i sprækker og i matrix.

Baggrund

Afprøvning af tritium-helium (T-He) metoden til aldersbestemmelse af grundvand blev gennemført som et pilotprojekt for Naturstyrelsen med tilfredsstillende resultat i 2012 til 2013. Naturstyrelsen (NST) besluttede derfor at gennemføre endnu en undersøgelse af grundvandets alder i 92 overvejende nye boringer som led i det nationale overvågningsprogram for grundvand 2011-15. Resultatet af T-He dateringerne for de 92 boringer præsenteres i dette notat.

Pilotprojektet omfattede 45 boringer i det tidligere Aarhus Amts overvågningsområde, hvor to forskellige teknikker for udtagning af prøver til heliumanalyse blev testet: 1) forsegling af vandprøver i

kobberrør, og 2) opsamling af de i grundvandet opløste gasser vha. diffusions-sampler. Begge teknikker og principperne bag T-He metoden er forklaret i GEUS Notat 05-VA-14-01, tillige med resultaterne af T-He dateringerne. Resultaterne i Pilotprojektet viste, at kobberrørsteknikken fungerede tilfredsstillende, mens diffusions-sampler metoden ikke gjorde. De mindre gode resultater for sidstnævnte metode, skyldes dels teknikken selv og dels de vanskelige forhold omkring lavt ydende borer, hvor difussionssampler blev anvendt. Kobberrørsteknikken lader sig ikke anvende på denne type borer.

Udvælgelse af borer

Udvælgelse af de 92 borer blev foretaget af NST, der lagde vægt på datering af grundvand fra nye borer i overvågningen, og på at dateringen var landsdækkende. Hvor det var muligt udpegedes indtag med iltholdigt grundvand. En del borer havde tidligere været forsøgt dateret med CFC metoden, men uden held af forskellige årsager. Til sammenligning havde NST til pilotprojektet udvalgt borer, der var særligt egnede til monitoring af kvælstofbelastningen, dvs. borer hvor grundvandet indeholdt opløst ilt, så denitrifikation ikke påvirkede nitratindeholdet. Mange af borerne havde været dateret tidligere med CFC metoden, hvilket gjorde det lettere at vælge de borer, der ville være optimale for datering med T-He metoden.

Feltarbejde

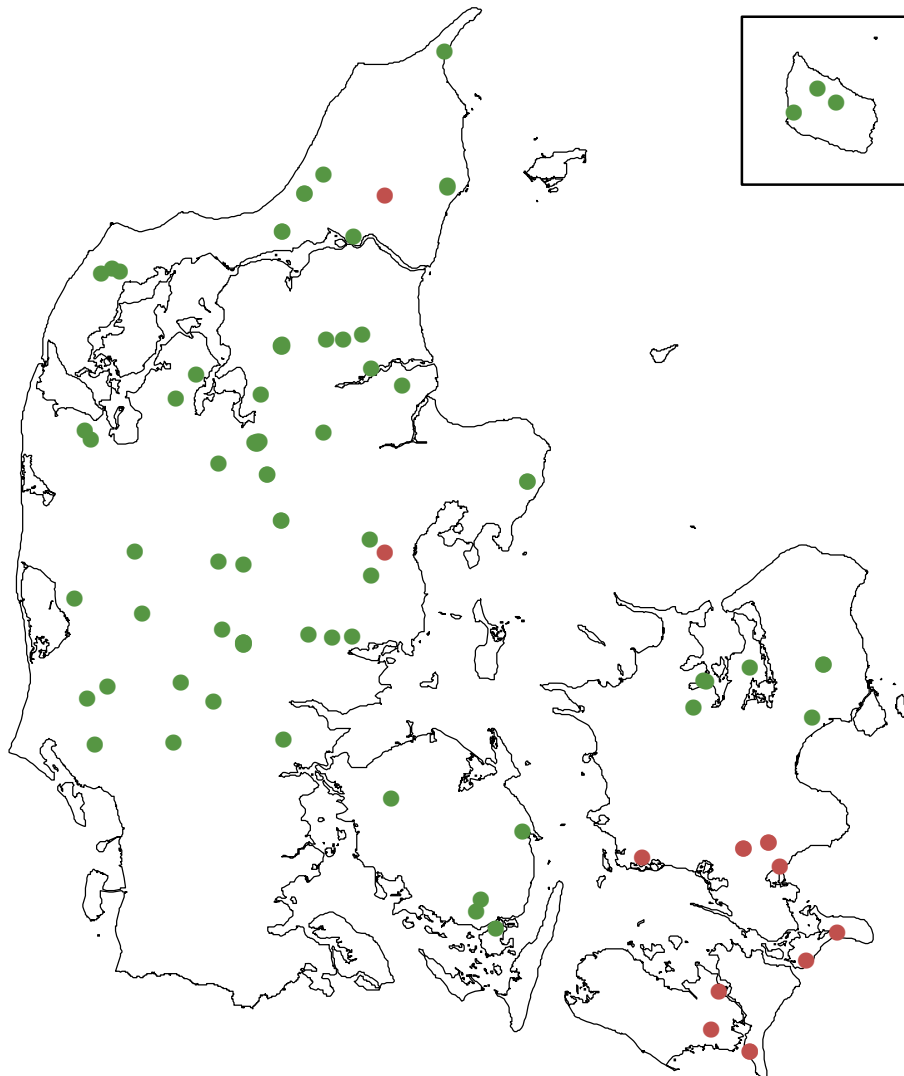
GEUS stod for indsamling af vandprøver i samarbejde med Naturstyrelsens lokale afdelinger. Indsamling af vandprøver for T-He datering begyndte i Nordjylland den 13. november 2013 og sluttede på Bornholm den 10. december 2013. Renspumpning blev foretaget med dykpumpe, enten permanent eller midlertidig installeret, undtagen for fire borer, hvor montejus princippet blev anvendt. Feltmålinger af vandets iltindhold, pH, ledningsevne og temperatur blev foretaget inden prøver til dateringer blev udtaget. Følgende prøver blev udtaget: 1 liter i plastflaske for tritium, ca. 50 mL forseglede i kobberrør for heliumanalyse samt 100 mL i glasflaske for CFC-analyse. Der blev taget dobbeltprøver til alle analyser. Boringernes placering er vist i Figur 1, og de tekniske oplysninger vedrørende borerne og pumpetyperne ses i Appendiks A, Tabel 2.

Analyser

Prøver forseglede i kobberrør blev sendt til universitet i Bremen for analyse af helium og neon, sammen med 61 stk. 1 liters prøver for tritium analyse ved helium-3 tilvækst metoden. De resterende 31 1 liters prøver blev til sendt AGH laboratoriet i Krakow for analyse af tritium ved scintillationsmetoden. CFC analyser blev foretaget i GEUS' CFC laboratorium.

Tritiumanalyserne blev som nævnt udført ved henholdsvis scintillation og helium-3 tilvækst metoderne, sidstnævnte metode blev foretrukket, hvor forholdene indikerede ældre grundvand. Helium-3 tilvækst metoden kræver væsentlig længere tid, minimum 6 måneder, end scintillationsmetoden, ca.

2 måneder, men har en bedre detektionsgrænse, ca. 0,03 TU sammenlignet med 1 TU for scintillation. Er tritiumindholdet nær eller under detektionsgrænsen (0,03 TU) anses grundvandet for at være 75 år gammelt eller mere.

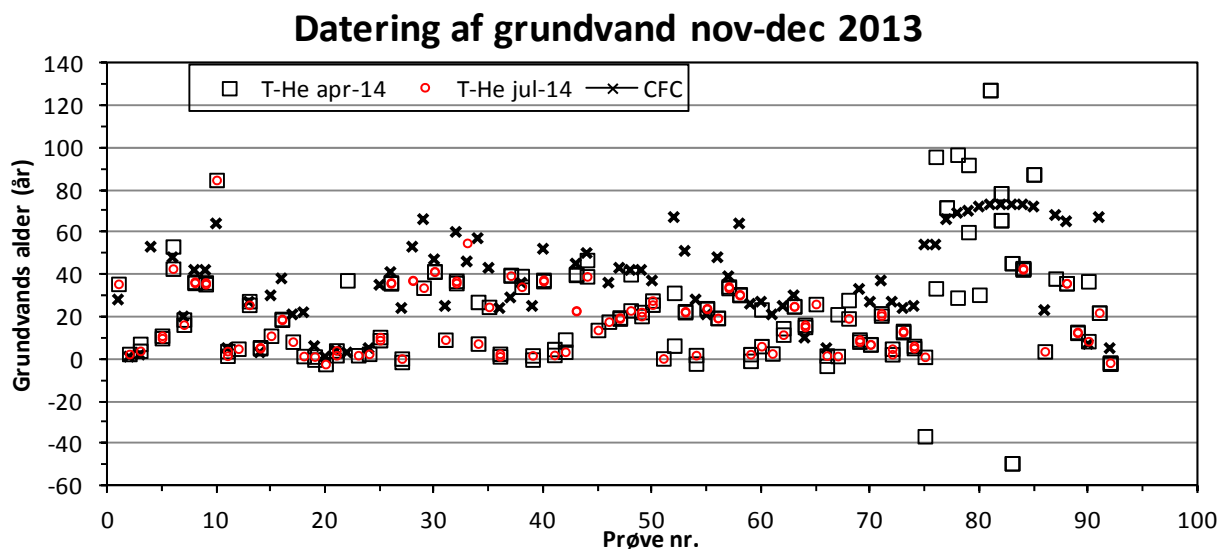


Figur 1 Lokalitetskort med borer, hvor tritium-helium datering af grundvand er foretaget. Grøn signatur viser grundvand med tritium, rød signatur lav (<0,1 TU) tritium, mindre sikker datering.

Resultater

En oversigt over alle T-He og CFC dateringer er vist Figur 2. De første T-He resultater blev modtaget i april 2014 med bemærkning om, at resultaterne var foreløbige. Årsagen var dels problemer med massespektrometeret, men også at en del prøver viste et meget ringe indhold af tritium. De endelige resultater modtaget i juli indeholdt korrektioner for nogle få prøver, og bekræftede at tri-

tumindholdet var så lavt, at der ikke kunne beregnes en sikker alder. Alderen er sat til >75 år i de tilfælde, hvor laboratoriet i Bremen ikke har angivet nogen T-He alder, Appendiks A Tabel 1. Grundvandets oprindelige indhold af naturligt tritium (5-8 TU) vil efter 75 år være reduceret til ca. 0,1 TU pga. radioaktivt henfald. For prøver med tritium indhold under 0,1 TU er alderen sandsynligvis endnu højere idet nogle af prøverne, også viser høje indhold af ⁴He, Figur 3.

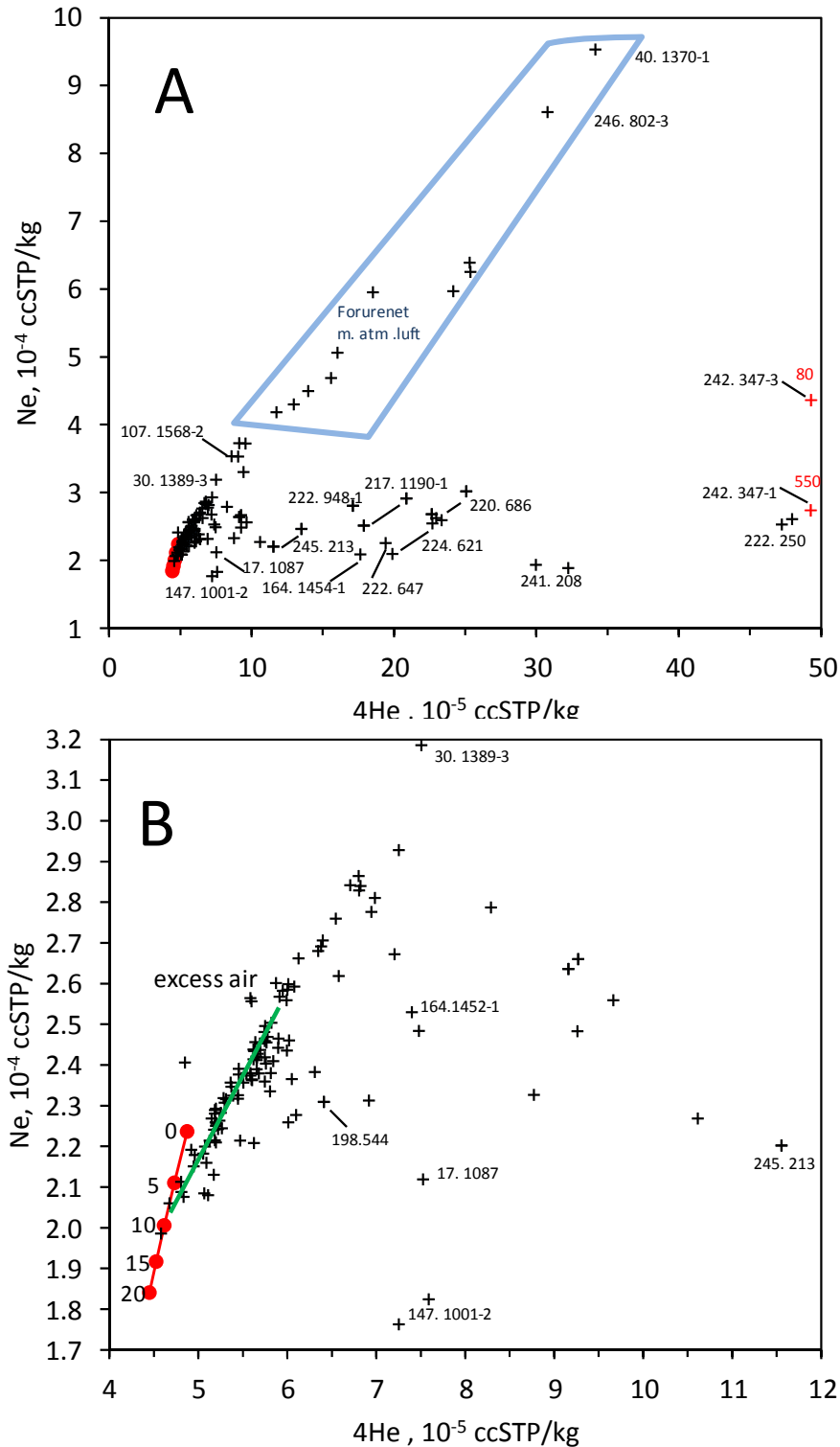


Figur 2 Resultater af T-He og CFC aldersbestemmelse af grundvand fra 92 overvågningsboringer efter prøvenummer.

Helium-4 (⁴He) frigives ved radioaktivt henfald af thorium og uran, og grundvand med høje ⁴He indhold kan betragtes som meget gammelt vand. Ud fra de pågældende lags indhold af thorium og uran er det teoretisk set muligt at skønne vandets alder ud fra ⁴He indholdet, men beregninger af den art ligger udenfor den aktuelle opgaves løsning.

Til sammenligning kan det anføres, at ⁴He indholdet i alle prøverne fra det tidligere Pilotprojekt lå under $7 \cdot 10^{-5}$ ccSTP/kg. Også neon (Ne) viste mindre spredning under Pilotprojektet, idet Ne indholdet lå under $2,6 \cdot 10^{-4}$ ccSTP/kg.

I rapporteringen af Pilotprojektets resultater var opmærksomheden rettet mod de to forskellige teknikker i feltarbejdet, mens detaljer vedrørende laboratoriarbejdet ikke blev omtalt. Analyseresultater for kobberrørsprøverne i Pilotprojektet var typiske for ungt grundvand og tolkning af måledata behøvede derfor ikke nærmere omtale. Anderledes forholder det sig med analyseresultater for de nye prøver, hvoraf flere ligger uden for det typiske område for ungt grundvand Figur 3. Derfor kan det være på sin plads at præsentere tolkning af måledata foruden tabellen med T-He aldre, Appendiks A.



Figur 3. Neon og helium-4 i vandprøver. (A) Prøver indenfor polygon er forurenet med atmosfærisk luft. Røde tal angiver ^4He koncentration udenfor skala. (B) Udsnit af A, ligevægtskoncentration med atmosfærisk luft ved forskellige temperaturer er angivet med rød signatur. Effekt af excess air vist ved grøn linje. Data forsynet med indtag nummer omtales i teksten.

Luftforurening i nogle prøver

Indholdet af neon i grundvand stammer udelukkende fra atmosfæren og koncentrationen bestemmes af vandets temperatur (ligevægt) og et ekstrabidrag "excess air" som er typisk for grundvand. Excess air skyldes optag af mikroskopiske luftbobler pga. grundvandspejlets dynamiske karakter, men de eksakte fysiske processer er endnu ikke forstået fuldtud. De meget høje Ne indhold ($> 3 \cdot 10^{-4}$ ccSTP/kg) for nogle prøvers vedkommende er ikke bare excess air, men skyldes forurening af prøven med atmosfærisk luft, Figur 3A. Prøven fra boring 40.1370-1 var forurennet så meget, at den beregnede T-He alder på 37 år blev anset for urealistisk høj og derfor udeladt i den endelige rapport fra laboratoriet i Bremen, Figur 3A (prøve nr. 22). Boringen omtales nærmere i afsnittet "mindre præcise resultater". I boringen 246.802-3 stod vandspejlet tæt ved top af filter i boring, så det kan måske være forklaringen på luftforurening af den ene af to prøver fra denne boring. Den anden prøve var ikke forurennet. I laboratorierapporten fra april var alderen for begge prøver beregnet, henholdsvis 36 og 8,5 år, men i juli rapporten var alderen for den forurenede prøve udeladt, Figur 2 (prøve nr. 90). For de øvrige luftkontaminerede prøver viste det sig, at det kun var den ene af dobbeltprøverne, der var forurennet. Også i de tilfælde var T-He alderen væsentlig højere for den kontaminerede prøve sammenlignet med den ikke-kontaminerede.

Beregning af T-He alder

Baggrund. Tritium, den radioaktive brintisotop, ^3H , dannes i den øvre atmosfære pga. den kosmiske stråling. Den radioaktive brint indgår i atmosfærens vanddamp og ender via nedbør i grundvandet. Under det hydrologiske kredsløb mindskes tritium i grundvandet med tiden pga. radioaktivt henfald. Måling af tritium og dets henfaldsprodukt *titrigen* helium-3, $^3\text{He}^*$, kan derfor fortælle hvor lang tid siden grundvandet blev dannet. Tritiums halveringstid er bestemt til 12,43 år, som dermed er grundvandets alder, hvis der er lige meget tritium og *titrigen* helium-3 i vandet. Generelt kan grundvandets alder (t) beregnes vha. nedenstående formel, hvor $^3\text{He}^*$ er det dannede helium-3 ved tritiums ^3H henfald.

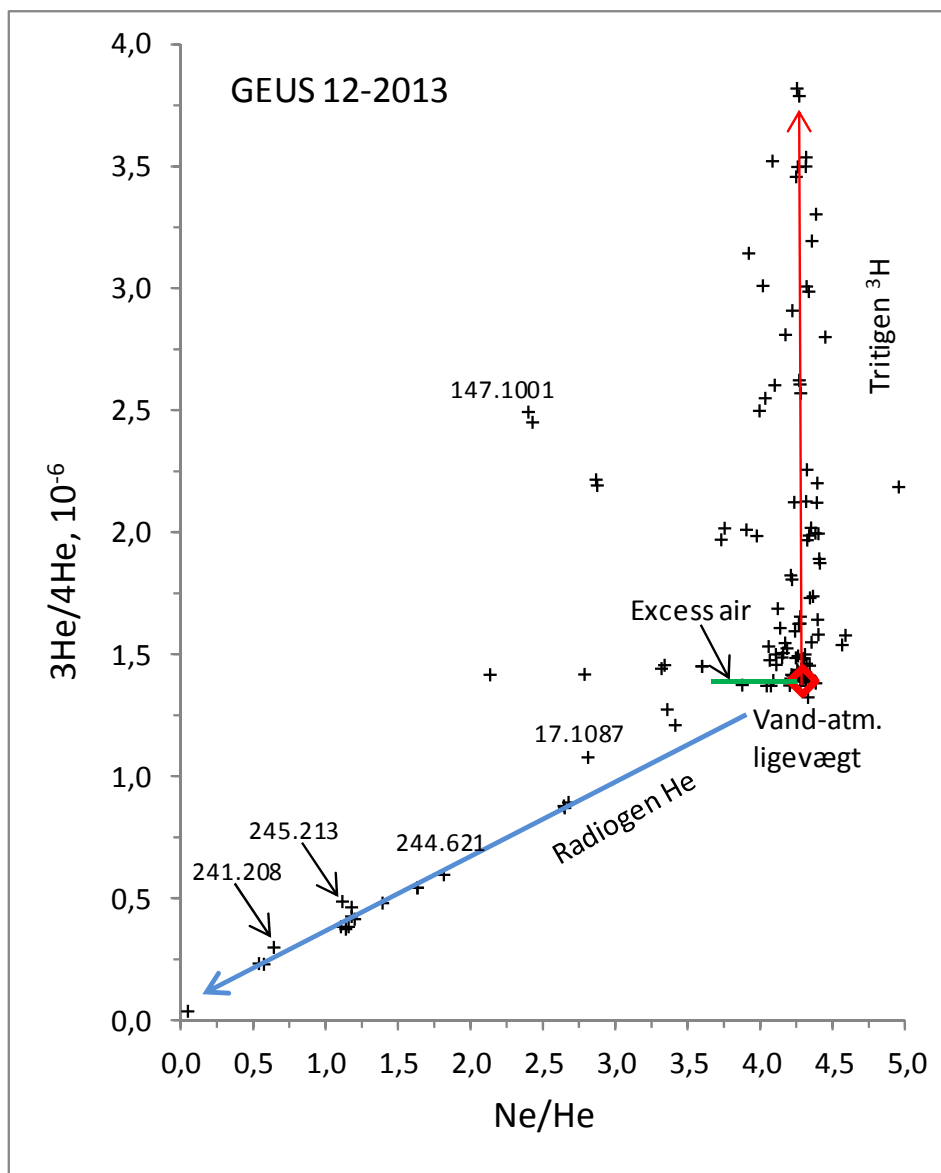
$$t = 12.43 / \ln 2 * \ln(1 + \frac{^3\text{He}^*}{^3\text{H}})$$

Analysen for tritium kan gennemføres ved scintillation eller helium-3 tilvækst, mens bestemmelse af *titrigen* $^3\text{He}^*$ kræver beregninger, som forudsætter analyser af Ne, ^4He og forholdet mellem helium isotoperne $^3\text{He}/^4\text{He}$ i vandprøven. *Titrigen* $^3\text{He}^*$ beregnes som forskellen mellem det totale helium-3 (^3He) i vandprøven og ^3He , stammende fra atmosfæren i ligevægt med grundvandet.

Koncentrationen af ^3He i vand er så lav, at den ikke kan måles direkte, men må bestemmes ud fra en kombination af målingerne af ^4He og $^3\text{He}/^4\text{He}$ forholdet i vandprøven. Ne målingerne er nødvendige for at kunne korrigere for excess air, og bestemme ligevægtskoncentration af ^4He , og dermed også ^3He koncentrationen ved hjælp af $^3\text{He}/^4\text{He}$ forholdet. Beregningerne er illustreret i Figur 4, hvor den

røde pil markerer ^3He indholdet over ligevægtsbidraget fra atmosfæren, og dermed indholdet af *titrigen* $^3\text{He}^*$. For prøver med høje ^4He indhold (lav Ne/He) er det desuden nødvendig at korrigere for radiogent bidrag, hvor $^3\text{He}/^4\text{He}$ forholdet antages at være $1 \cdot 10^{-8}$. For prøver med meget høje ^4He indhold, var det nødvendigt at fortynde prøven, med større usikkerhed til følge oplyste laboratoriet. Usikkerheden har været så stor for nogle prøver, at laboratoriet undlod at give en alder i den endelige rapportering, og nøjedes med at tilføje, kommentarer som f.eks. <1930, se appendiks A.

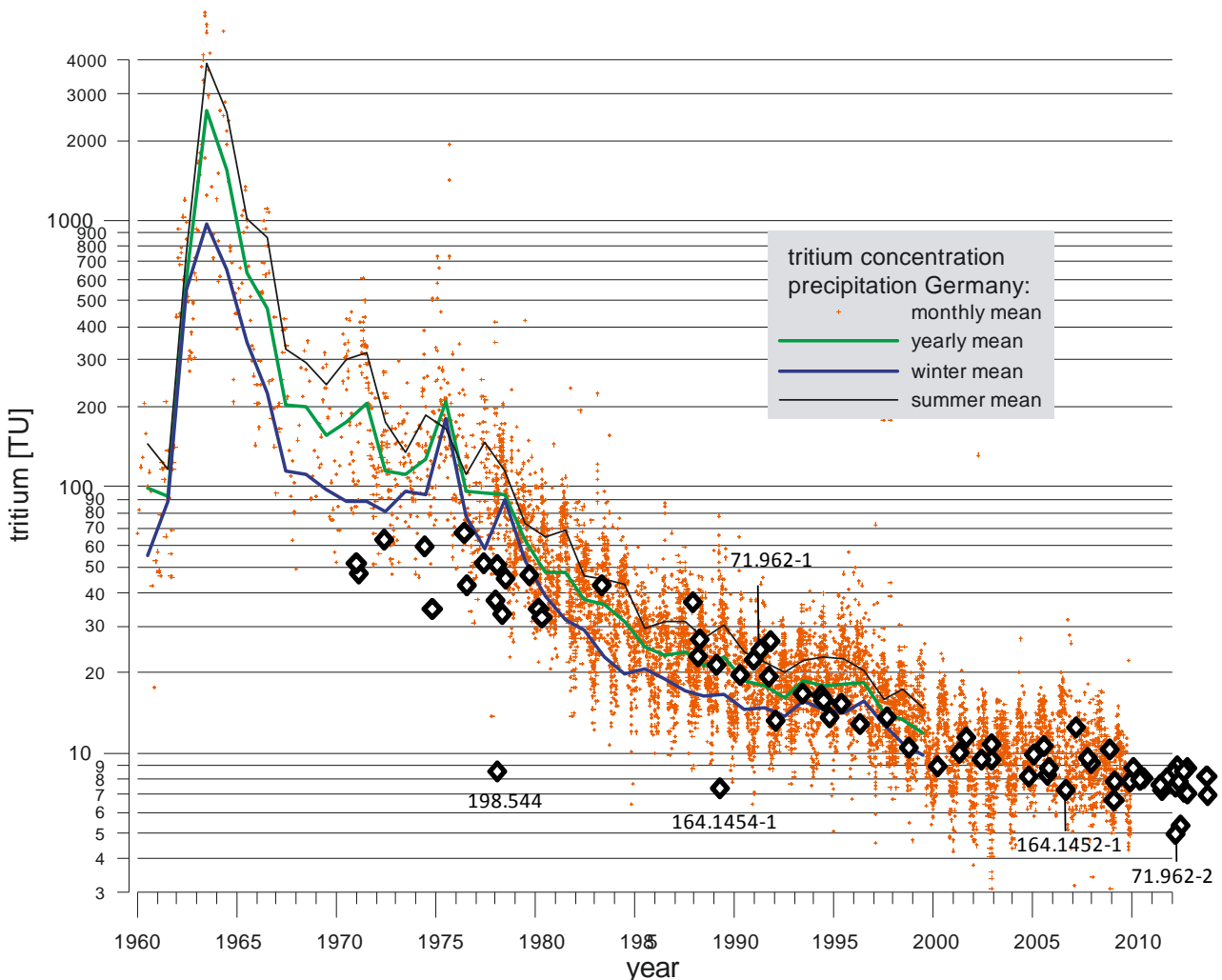
T-He alderen af grundvandet varierer fra 0,3 til 84 år, for de prøver hvor både tritium og titrigen helium-3 var til stede, Appendiks A. Som nævnt ovenfor viste det høje helium-4 i nogle prøver, at alderen sandsynligvis er langt højere for nogle prøver med meget lavt tritium (<0,1 TU).



Figur 4 Illustration af beregningsmåden for *titrigen* $^3\text{He}^*$ vha. målte Ne/He og $^3\text{He}/^4\text{He}$ forhold.

Blanding af vand af forskellig alder

Beregning af grundvandets oprindelige tritiumindhold $T(0)$, summen af ^3H og $^3\text{He}^*$, giver mulighed for at kontrollere om T-He alderen er udtryk for vandets "sande" alder eller om der er tale om blanding af grundvand af forskellig alder. Det oprindelige tritiumindhold plottes versus infiltrations år/måned sammen med tritium data for nedbør, og hvis punkterne ligger tæt på middel tritium for nedbør på tidspunktet for infiltration, er det rimeligt at antage at T-He alderen er tæt på vandets sande alder, hvilket ses at være tilfældet for de fleste af prøverne, Figur 5. Det oprindelige tritium, henholdsvis 7,3 og 8,5 TU, for borerne DGU nr. 164.1454 og 198.544 ligger markant under det forventede indhold i betragtning af vandets alder på 24,8 henholdsvis 35,9 år. For disse to borer er der oplagt tale om blanding af vand af forskellig alder, som anført under bemærkninger i tabellen i Appendiks A. Også for andre borer tyder sammenligninger af oprindeligt tritium og alder af vand, at der er tale om opblanding af vandtyper, se bemærkningerne i Appendiks A.



Figur 5 Oprindeligt tritiumindhold ($T+^3\text{He}^*$) i grundvand på infiltrationstidspunktet, data med indtag nummer omtales i teksten.

For flere af de gamle overvågningsboringer blev der i første halvdel af 1990'erne foretaget bestemmelse af tritium i grundvandet for at afgøre om vandet var ungt eller gammelt, dvs. om det var påvirket af det markant forøgede tritiumindhold i atmosfæren, som følge af atomprøvesprængningerne. Lå tritiumindholdet under detektionsgrænsen (scintillationsmetoden) på 1 TU, var vandet gammelt, dvs. dannet før 1950. Med de nye T-He aldersbestemmelser er mulig at beregne det oprindelige tritiumindhold T(0) ud fra arkivmålingerne ved hjælp af formlen:

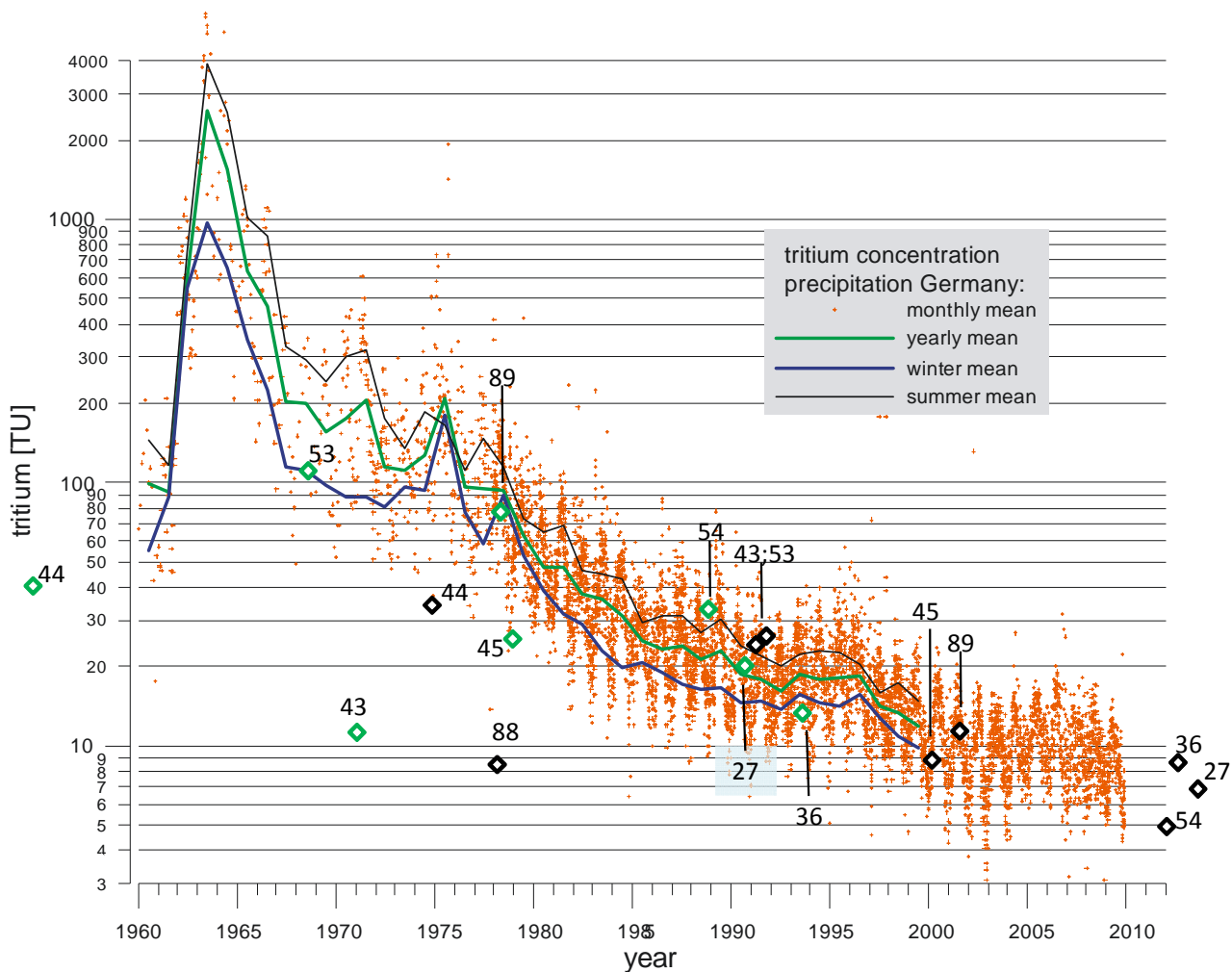
$$T(0) = T \cdot \exp(\ln 2 \cdot t / t_{1/2})$$

Hvor T er tritium målt til tiden t, og t_{1/2} er tritiums halveringstid på 12,43 år. Beregningerne er vist i Tabel 1 og resultaterne plottet i Figur 6.

Tabel 1. Oprindeligt tritiumindhold for nye (T+³He*) og tidligere tritium analyser T(0) (beregnet)

ID	Boring DGU nr.	Ind tag	infiltration måned-år	Tritium T+3He	Tritium, arkiv dato	T (TU)	infiltration måned-år	Tritium, T(0) beregnet
27	56. 896	1	juli 13	6,9	28-11-90	20,0	august 90	20,3
53	71. 962	1	september 91	26,4	06-09-90	32,4	juni 68	111,9
54	71. 962	2	december 11	5,0	06-09-90	29,9	oktober 88	33,3
36	114. 1437	1	juli 12	8,7	09-11-94	12,5	juli 93	13,5
88	198. 544	1	januar 78	8,6	29-11-93	<1	januar 58	<7,3
89	199. 1007	2	juni 01	11,5	06-09-90	39,0	marts 78	78,1
44	200. 3703	1	oktober 74	34,6	01-09-93	4,6	juli 54	40,9
43	200. 3703	2	marts 91	24,5	01-09-93	3,2	december 70	11,4
45	207. 3003	1	januar 00	8,9	26-08-92	11,9	november 78	25,7

For den relativt nye boring 71.962 er arkivdata for 71.483 benyttet. Afstanden mellem de to boringer er 50 m, og indtag sidder i samme dybder.

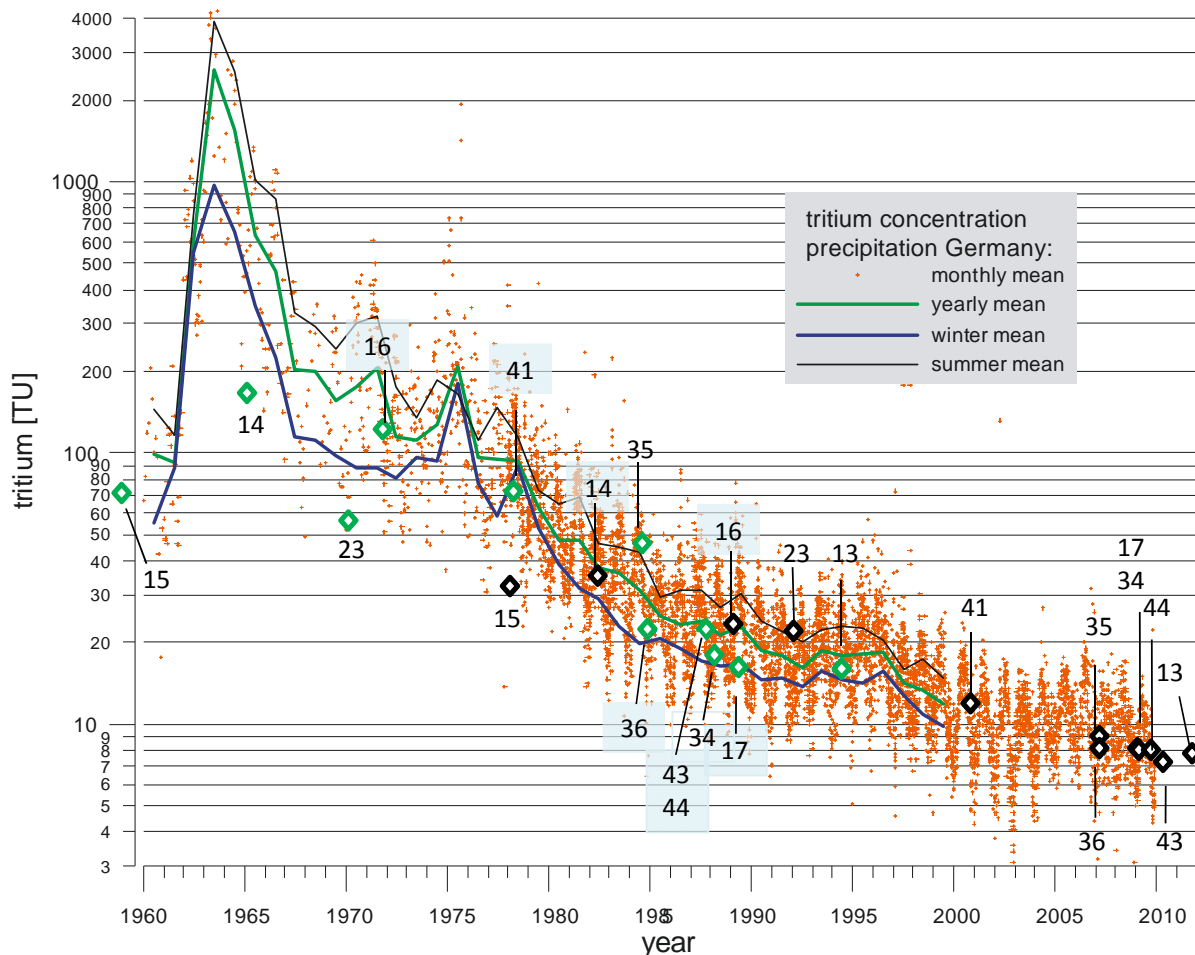


Figur 6 Oprindeligt tritiumindhold (Tabel 1) i grundvand på infiltrationstidspunkt. Sort = nye analyser (2013), grøn = tidligere analyser.

For fuldstændigheds skyld er beregninger af oprindeligt tritiumindhold for nye og tidligere målinger også foretaget for Pilotprojektets boringer, se Tabel 2 og Figur 7.

Tabel 2. Pilotprojekt, oprindeligt tritiumindhold for nye og tidligere tritium analyser

ID	Boring DGU nr.	Ind tag	infiltration måned-år	Tritium T+3He	Tritium, arkiv dato	T (TU)	infiltration måned-år	Tritium, T(0) beregnet
13	71. 569	1	september 11	7,9	01-10-95	15,0	maj 94	16,2
14	71. 568	1	maj 82	35,3	01-10-95	30,0	januar 65	166,2
15	71. 522	1	januar 78	32,4	22-11-93	10,2	november 58	71,9
16	71. 567	1	januar 89	23,6	01-10-95	32,0	september 71	122,3
17	71. 532	1	januar 09	8,2	17-05-93	13,0	april 89	16,3
23	71. 478	1	januar 92	22,4	06-02-91	17,5	januar 70	56,6
34	86. 1629	1	januar 09	8,1	27-02-92	14,5	februar 88	18,1
35	86. 1628	2	februar 07	9,1	03-07-90	33,6	juli 84	46,8
36	86. 1632	1	februar 07	8,2	24-10-90	16,2	november 84	22,6
41	87. 1040	2	oktober 00	12,0	10-07-90	36,7	marts 78	73,0
43	86. 1634	1	april 10	7,3	09-07-90	19,3	september 87	22,6
44	86. 1631	1	september 09	8,1	23-10-90	16,7	maj 87	20,2



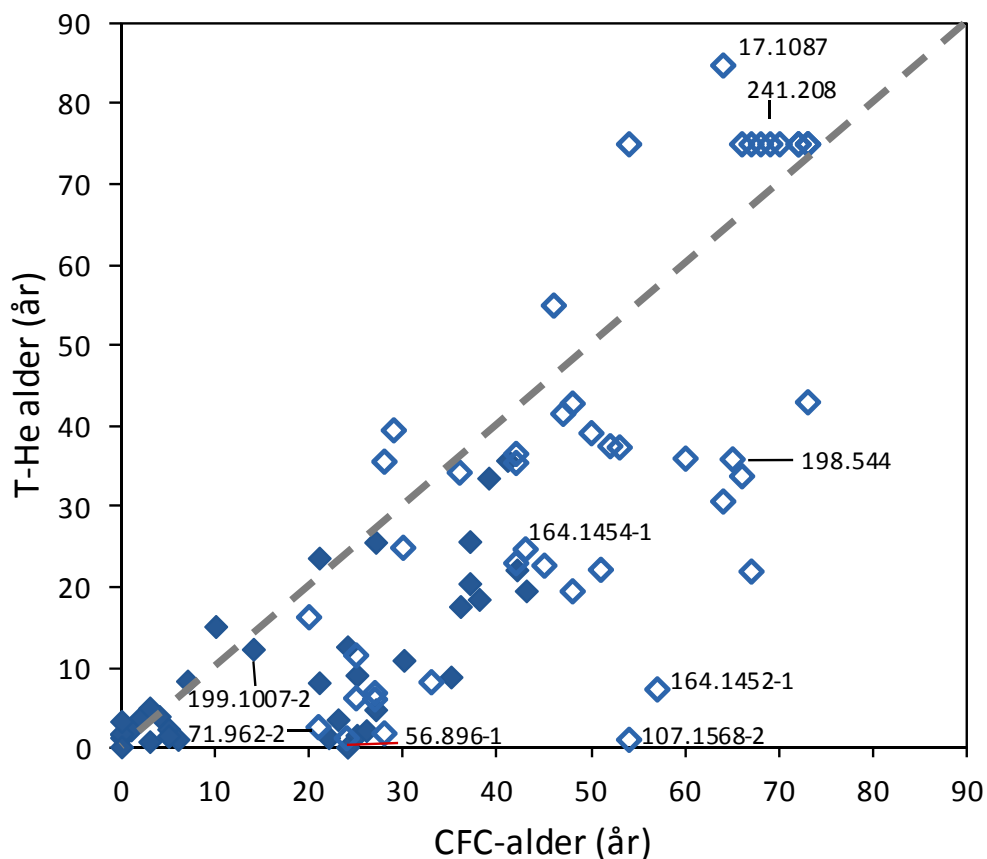
Figur 7. Oprindeligt tritiumindhold (Tabel 2) i grundvand på infiltrationstidspunktet. Sort = nye analyser (2013), grøn = tidligere analyser

Det oprindelige tritiumindhold beregnet ud fra arkivdata bekræfter tolkningen med hensyn til hvilke borer, der repræsenterer sand alder af grundvand og hvilke der repræsenterer blandingsvand. Forskellen på de to typer af borer ses tydeligere for arkivdata end ud fra de nye dateringer, sandsynligvis pga. de højere tritium indhold fra atomprøvesprængningerne i førstnævnte. Endnu en måde at afgøre om T-He alderen repræsenterer grundvandets sande alder får man ved at sammenligne med CFC alderen. Hvis de to metoder giver samme alder inden for de respektive metoders usikkerhed er der god sandsynlighed for at man har bestemt grundvandets sande alder.

CFC aldersbestemmelse af grundvand

Resultaterne af CFC aldersbestemmelse af grundvand fra samtlige borer, Appendiks C, blev fremsendt til Naturstyrelsen den 8. januar 2014. I Appendiks A er kun de beregnede aldre for CFC metoden vist. Aldersbestemmelse ved de to metoder er sammenlignet i Figur 8.

T-He alder vs CFC alder



Figur 8. Krydsplot af T-He og CFC alder af grundvand fra 92 borer. Grundvand med iltindhold under 1 mg/L er angivet med åbent symbol. Data med indtag DGU nummer omtales i teksten.

CFC alderen er generelt højere sammenlignet end T-He alderen som det fremgår af Figur 8. Forklaringerne herpå kan være følgende: 1) delvis nedbrydning af CFC under anoxiske betingelser, 2) blanding af vand med forskellig alder. Anvendelse af resultaterne af begge dateringsmetoder tillige med tolkning på basis af det oprindelige tritiumindhold, Figur 6-7, samt dybde og geologiske forhold giver gode muligheder for at vurdere grundvandets strømningsforhold.

Grundvandets alder i relation til geologiske forhold

Som ventet stiger grundvandets alder med dybden, Figur 9, men der er ikke tale om en jævn stigning for alle områder set under et, dels fordi dybden til grundvandsspejlet varierer, fra 1,7 til 37 m u.t., og dels fordi de geologiske forhold varierer i betydelig grad. Både T-He og CFC dateringsmetoden ”måler” tiden fra grundvandsspejlet, hvor vandet sidst var i kontakt med atmosfæren.



Figur 9. Tritium-helium alder versus dybde. Grundvand med iltindhold under 1 mg/L er angivet med åbent symbol. Data med indtag DGU nummer er omtalt i teksten.

For at illustrere betydningen af de geologiske forhold for grundvandets alder har GEUS udvalgt en række boringer, Tabel 3, som vil blive kommenteret i det følgende. Boringernes DGU nr. er også markeret i de forskellige figurer for at skabe et bedre overblik

Tabel 3 T-He og CFC datering for udvalgte boringer

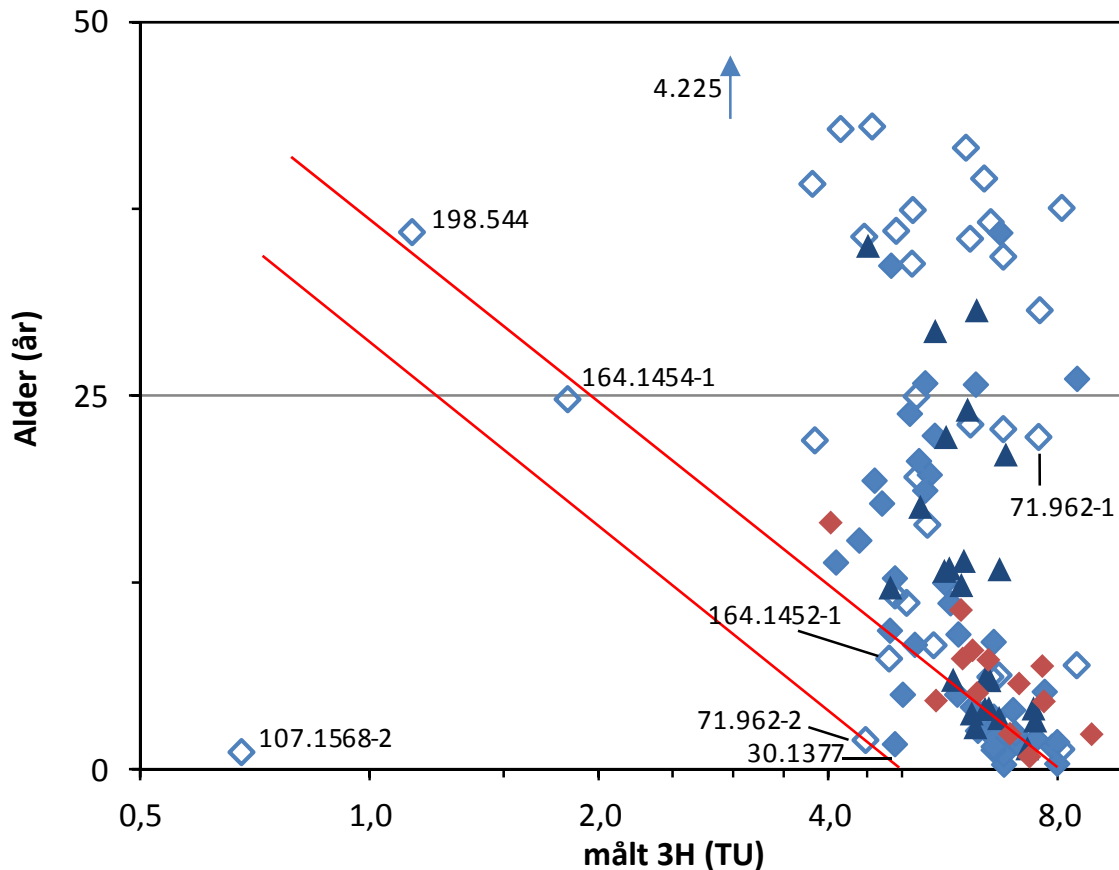
T-He ID	DGU nr.	Ind tag	Δ Ne %	Tritium 3H, TU	Helium-3, 3He* TU (1)	TU (2)	T-He Alder år (1)	år (2)	Bemærkning	Indtag m u vsp	O2 mg/L	CFC alder år	min	max
4	4. 225	2		2,93			>45			12,9	0,2	53		
10	17. 1087	1	4,3	0,05	5,6		84,8		low tritium, <1955, little radiogenic 4He	9,5	<0,5	64		
11	30. 1377	1	40,9	4,90	0,5	1,2	1,7	3,8		4,6	10,1	→	7	14
22	40. 1370	1	369,0	6,80					extreme excess air, recent tritium	1,8	9,9	→	3	19
23	40. 1377	1	10,3	6,74	0,8		1,9			2,5	10,1	luft		
27	56. 896	1	16,0	6,81	0,1		0,3			0,2	10,1	24		
54	71. 962	2	83,0	4,48	0,5		1,9		large excess air	4,1	0,3	28		
75	107. 1568	2	83,3	0,68	0,0		1,1		high excess air, low tritium, mixed water	3,8	0,2	54		
34	164. 1452	1	24,4	4,82	2,5		7,4			15,3	0,3	57		
35	164. 1454	1	2,5	1,82	5,5		24,8		low tritium, but bomb component + radioge	5,7	0,3	43		
88	198. 544	1	13,6	1,14	7,4	7,4	35,9	35,9	low tritium, mixed water	20,6	0,2	65		
89	199. 1007	2	12,2	5,70	5,8	6,1	12,5	12,9		7,0	6,4	14		
78	241. 208	1	-5,0	0,04	10,1		>75		very low tritium, <1940	11,9	0,2	69		

CFC alder for boring 199.1007 er baseret på CFC-11 måling i 1998, se forklaring i teksten. Røde tal angiver GEUS skøn, hvor laboratoriet undlod at anføre et tal for alderen.

Gammelt vand med radiogent helium

Det ældste vand, 85 år, stammer fra boring 17.1087 i Vendsyssel, markeret med rødt på Figur 1. Boringens filter står 19 m under terræn i et sandmagasin med frit vandspejl. Et enkelt tyndt siltlag (0,5 m) findes i 12 m dybde. I bemærkningerne til analysen anfører laboratoriet i Bremen, at grundvandvandet indeholder lidt radiogent ⁴He, Tabel 3, bemærk det let forhøjede ⁴He indhold i prøven i forhold til ungt grundvand, Figur 3. ⁴He indholdet i 17.1087 er dog relativt beskedent i forhold til nogle af de andre boringer, som også producerer gammelt vand, f.eks. 241.208, sammenlign data i Figur 3 og 9. Det højere ⁴He indhold i 241.208 skyldes det højere indhold af thorium og uran i lerlaget, som boringen står i. Boringens filter (12 m u. t.) er placeret i et tyndt sandlag (ca. 0,5 m) omgivet af moræneler. Det høje ⁴He indhold i prøven giver større usikkerhed på beregningen af tritium ³He* pga. de ekstra korrektioner, der er nødvendige. De første beregninger af T-He alderen for 201.208 viste hhv. 29 og 97 år (Figur 2, nr. 78) pga. usikkerheden mht. ³He* indholdet (-0,3 hhv. 10,1 TU), derfor undlod laboratoriet at angive et tal for alderen i den endelige rapportering, Tabel 3. De øvrige boringer med gammelt grundvand er også placeret i områder med moræneler, hvor det har været umuligt at bestemme ³He* tilstrækkelig nøjagtigt for en præcis T-He datering, sammenlign Figur 2 og 9. Det er ikke kun det høje ⁴He indhold i prøverne, der giver usikkerhed ved bestemmelse af alderen af grundvandet i moræneler. Selvom man kunne bestemme ³He* nøjagtigt ville der alligevel være en usikkerhed, fordi der i moræneler findes to typer vand, nemlig det i ma-

trix og det i sprækkerne. Vandet i matrix, der normalt udgør hovedparten, strømmer ikke, men bevæger sig kun ved diffusion. Det betyder imidlertid ikke, at vandet i matrix er uden betydning, fordi der til stadighed udveksles molekyler med vandet i sprækkerne. Diffusionshastigheden for vandmolekyler er ikke nødvendigvis den samme som for helium opløst i vandet, hvilket betyder usikkerhed for aldersbestemmelsen. Det lave tritiumindhold i sig selv, 0,04 TU for 241.208, viser med sikkerhed, at vandet stammer fra perioden før atomprøvesprængningerne, Tabel 3. For ti andre borer med lav tritium ($T < 0,05$ TU) og høj ^4He har GEUS anført en alder på >75 år i Appendiks A.



Figur 10. Tritium i grundvand versus alder. De røde linjer markerer fald i tritium som følge af radioaktivt henfald. Samme signaturer som i figur 8 og 9. Data fra Pilotprojektet for kobberør (blå trekant) og diffusions sampler (rød firkant) er også vist. Pil indikerer alder for boring 4.225, hvor $^3\text{He}^*$ mangler. Data med indtag nummer er omtalt i teksten.

Let forhøjede ^4He indhold i knapt så gammelt grundvand indikerer blandingsvand som f.eks. i borerne 164.1654-1 (25 år) og 198.544 (36 år), Figur 3. Det oprindelige tritiumindhold ($T + ^3\text{He}^*$) i de to borer ligger markant under det forventede indhold ud fra tritium i nedbøren for de beregnede årstal, hvor infiltrationen fandt sted (Figur 5). Det viser tydeligt, at T-He alderen ikke kan tages som udtryk for vandets sande alder. Begge borer står i områder, der er præget af vekslende lag af

ler og sand. Forskellen i alder bestemt ved de to dateringsmetoder kan derfor skyldes, at der tale om blandingsvand, Figur 8.

En sidste bemærkning vedr. forhøjet ^4He indhold gælder boring 245.213 (Figur 3 og 4) på Bornholm, hvor tritium indholdet på 6,1 TU indikerer en alder på næppe mere end 40 år, Figur 10. $^3\text{He}^*$ er efter korrektion angivet til -0,5 TU, hvilket indikerer ungt vand, Appendiks A. Det samme gør CFC, når metodens usikkerhed tages i betragtning. En mulig naturlig forklaring på det forhøjede ^4He indhold kunne være udslip af helium fra granitten i grundfjeldet under boringen, men det må indtil videre betragtes som en hypotese.

Ungt grundvand

Grundvand under 10 år gammelt er fundet i 36 af de 92 boringer, og burde i princippet være ukompliceret at tolke. Derfor vil kun de boringer blive omtalt, hvor tolkningen ved nærmere undersøgelse alligevel ikke er hel enkel. Det drejer sig om fire boringer hvor CFC indikerer en væsentlig højere alder end T-He, se figur 8. Den mest markante forskel ses for 107.1568-2, hvor T-He og CFC indikerer hhv. 1 år og 54 år, Tabel 3. Der var problemer T-He dateringen for 107.1568-2 muligvis pga. af relativ høj excess air, Figur 3 ($\Delta\text{Ne}\%=83$, Tabel 3), som resulterede i negativ alder (-36 år) for den ene af dobbeltprøverne, Figur 2, nr. 75. Det lave tritiumindhold 0,68 TU passer nogenlunde med en alder på omkring 50 år, Figur 10. Grundvandspejlet står dybt i boring 107.1568-2, 37 m u.t., blot 4 m over top af indtag, hvilket godt kunne passe med en lav alder på stor dybde, Figur 9, under de rette geologiske forhold. Indtaget står i et sandlag, der er dækket af ca. 30 m ler og gytje, så det er mere sandsynligt, at grundvandet består af en blanding af gammelt vand plus lidt yngre vand. Grundvandet viser imidlertid ikke tegn på forhøjet indhold af ^4He , Figur 3, der kunne indikere længere tids kontakt med lerlagene.

Det gør derimod grundvandet fra boring 164.1452-1, der har et forhøjet ^4He indhold, Figur 3, selv om T-He alderen kun angives at være 7 år, Tabel 3. CFC viser en betydelig højere alder (57 år) end T-He, Figur 8, så der er sandsynligvis tale om en blanding af ungt og gammelt vand. Det oprindelige tritium indhold ($\text{T}+^3\text{He}^*=7,3$ TU) passer ellers fint med nedbørens tritium det år (2006), hvor infiltrationen fandt sted, Figur 5, og skulle således ifølge det tidligere udsagn være udtryk for grundvandets sande alder. Prøve nr. 2 fra 164.1652-1 viste en T-He alder på 27 år (Figur 2, nr. 34), men resultatet for denne prøve var udeladt fra den endelige rapport pga. høj excess air (forurening med atmosfærisk luft). Sidstnævnte prøve ville give et oprindeligt tritium indhold ($\text{T}+^3\text{He}^*=22$ TU) i 1986, hvilket også ville passe med tritium i nedbøren det pågældende år og dermed vandets sande alder. Boreprofilet for 164.1652 viser vekslende ler- og sandlag, med en sammenlagt tykkelse af lerlagene på ca. 20 m, hvilket sandsynliggør muligheden for blanding af vand af forskellig alder. Det målte tritium indhold på 4,8 TU i grundvandet kan desværre ikke i sig selv bruges til at indkredse grundvandets alder mere nøjagtigt, som det ses af figur 10, hvor alderen af grundvand med tritium omkring 5 TU spænder fra 3 til 40 år.

Der er markant forskel på grundvandets alder bestemt ved hhv. T-He (0,3 år) og CFC (24 år) i boring 56.896-1, Figur 8. Boringens indtag står i et sandmagasin 22 m u. t. blot 0,2 m under vandspejlet, hvilket passer fint med en meget ung alder. Tritiumindholdet på 20 TU målt i 1990, Tabel 1, passer også meget fint med helt ungt grundvand, nr. 27 i Figur 6. CFC datering kunne desværre ikke gennemføres tidligere, fordi grundvandspejlet stod for dybt til, at man kunne udtage prøver til formålet. Det svagt faldende CFC indhold i atmosfæren betyder, at det helt unge grundvand i dag har samme indhold af CFC som for 20 år siden, Appendiks B. En mindre usikkerhed i CFC analysen og infiltrationstemperaturen betyder en usikkerhed i aldersbestemmelsen, der godt kunne resultere i en alder på 24 år. Sættes f.eks. ligevægtstemperaturen mellem atmosfære og grundvand ved vandspejlet 1,5 °C højere ved beregningerne af vandets alder giver CFC også helt ungt vand.

Den nye boring 71.962 står knap 50 m fra den gamle overvågningsboring 71.483 og begge boringer har 2 indtag i omtrent samme dybder. Boreprofilerne for de to boringer viser vekslende lag af ler og sand. Der er tidligere foretaget mange dateringer særlig for det øverste indtag (nr. 2) i den gamle boring, der viste betydelige udsving i nitrat og CFC alder inden for relativ korte perioder. Udsvingene i de to parametre skyldes sandsynligvis variation i dybden til grundvandspejlet (Laier, 2004). CFC viste typisk ungt vand (5 år), når nitrat var høj, og noget ældre (35 år), når nitrat var lav. Nitratindholdet var lavt da prøverne til datering blev udtaget i den nye boring, 71.962-2, og CFC viste en alder på 29 år, mens T-He gav knap 2 år, Tabel 3 og Figur 8. Vandprøverne havde relativ høj excess air ($\Delta N_2 = 83$) og det lave tritium $^3\text{He}^*$ (0,5 TU, Tabel 3) kan måske skyldes usikkerhed pga. korrektion herfor. Det målte tritium indhold (4,5 TU) ligger i underkanten af, hvad man ville forvente for ungt vand, se figur 10. Tritium indholdet i 1990 (30 TU) i boring 71.483-2, under en periode med lavt nitrat, tyder også på en betydelig højere alder end 2 år, se nr. 54 i Figur 6. Konklusionen er derfor: Enten skyldes den lave T-He alder en usikkerhed på $^3\text{He}^*$ bestemmelsen eller også er der tale om en blanding af ungt og noget ældre grundvand.

Ungt vand (<4 år) i relativ stor dybde (26 m) ses i boring 30.1377, Figur 9, hvor den umættede zone er mere end 21 m. CFC dateringen giver også ungt vand, metodens nuværende usikkerhed taget i betragtning. Tritiumindholdet er dog overraskende lavt ($T=4,9$ TU) vandets unge alder taget i betragtning, Figur 10. Boringens indtag står i opsprækket kalk, så det lave tritium indhold kunne muligvis være udtryk for udveksling med kalkens matrixvand, og dermed indikere opblanding af ungt med noget ældre vand.

Mindre præcise resultater ved tidligere aldersbestemmelser

CFC dateringer i 2006 kunne ikke angive et tal for alderen af ungt grundvand, fordi stigningen i atmosfærens CFC, der var en forudsætning for metoden, var ophørt, Appendiks B. I stedet angav man blot <5 år, hvis CFC indholdet lå på år 2000 niveau eller lidt over. Det gjaldt også fem boringer i Gislum syd for Års. De fem boringer er blandt de 92 der blev dateret vha. T-He metoden ved nærværende undersøgelse. Resultaterne af nye og tidligere dateringer er vist i Tabel 4. Grundvandet i boring 40.1370 kunne ikke dateres med T-He, fordi prøven i kobberrør var forurenede med atmo-

sfærisk luft og derfor ikke kunne anvendes til bestemmelse af titrigen $^3\text{He}^*$. CFC analyserne fra samme boring viste dog ingen tegn på kontaminering med luft. Pumpen i boringen sidder ikke langt under vandspejl, så lidt luftindtag kan måske ikke udelukkes, selv om det ikke var synligt under feltarbejdet. T-He dateringerne for de andre boringer i nærområdet, og de geologiske forhold taget i betragtning indikerer, at grundvandet næppe er mere end 2-3 år gammelt.

CFC analyserne viste let forhøjede værdier, over det maksimale, for en anden boring i området, 40.1377, hvor prøven for helium og neon analyse ikke tydede på luftindtag. CFC analyserne fra samme boring i 2006 viste ingen forhøjede CFC pga. luftindtag, Tabel 4. Som det var tilfældet for boring 30.1377 nordvest for Thisted skyldes tilstedeværelse af ungt grundvand på relativ stor dybde i 40.1377 (Figur 9) en godt 21 m dyb umættet zone, Tabel 4.

Boring 40.1374 viser negativ alder, sandsynligvis pga. usikker $^3\text{He}^*$ bestemmelse. Tritiumindholdet i 40.1374 er det samme som i 30.1366, Appendiks A, der ligger blot 53 m derfra, derfor er alderen sandsynligvis den samme som i sidstnævnte, altså under 2 år.

Dobbeltbestemmelse af titrigen $^3\text{He}^*$ blev kun udført for to af de fem boringer i Gislum, nemlig 40.1366 og 40.1372, og kun dateringerne ved dobbeltbestemmelsen for den ene boring 40.1372, henholdsvis 1,9 år og 4,1 år, var medtaget i den endelige rapport fra laboratoriet i Bremen, Tabel 4. Den anden datering for boring 40.1366, $\pm 0,2$ år, var udeladt af den endelige rapport.

Tabel 4 Tidligere CFC dateringer i Nordjyllands Amt boringer

Boring DGU nr.	Indtag m ut	Vandspejl m u top rør	CFC 2006	CFC 2013	T-He år
18.385	18,5-19,5	15,80	16	1-19	2,4
18.387	17,5-18,5	14,29	17	2-19	4
40.1366	13-14	10,92	<5	7-15	1,3
40.1370	14,6-15,6	11,14	<5	3-19	luft
40.1372	14-15	11,68	<5	1-20	1,9-4,1
40.1374	13-14	10,86	<5	0-20	-2,3
40.1377	24,5-25,5	21,62	<5	luft	1,9

T-He dateringerne af de to boringer, 18.385 og 18.387, ved Albæk i Vendsyssel viste en alder af grundvandet, hhv. 2,4 og 4 år, der lå væsentlig under alderen, 16-17 år, bestemt ved CFC i 2006, Tabel 4. Prøverne til CFC datering blev udtaget kun 1 år efter udførelsen af de to boringer, og det kan muligvis være forklaringen på forskellen. Det relative hurtige fald i sulfat fra 40 mg/L til 15 mg/L i løbet af det første halvandet år for boring 18.387 kunne skyldes etableringseffekt, eller ændringer i grundvandets strømningsmønster. Grundvandspejlet i de to boringer lå i 2006 1-1,5 m under niveauet i 2013, da prøverne til T-He datering blev udtaget. Niveauet for grundvandspejlet skiftede relativt brat omkring 2007-2008, muligvis som følge af ændrede indvindingsforhold i området.

Forsøg på datering med CFC metoden i 2006 mislykkedes for borerne 199.690 og 199.693, fordi CFC indholdet i grundvandsprøverne lå over det maksimale niveau for ligevægt med atmosfæren. Vandspejlet står lige over top af filter (0,5-0,7 m) og da begge borer var/er udstyret med Grundfos SQE pumper, der er knap så velegnet til lave pumperater, blev det forhøjede CFC indhold tilskrevet indtag af luft under pumpning. Ved prøvetagning for T-He og CFC datering i december 2013 blev SQE pumperne midlertidigt erstattet med MP1, og pumperaten holdt relativt lav for at undgå luftindtag. CFC indholdet i de nye prøver viste imidlertid stadig forhøjet CFC indhold, og i det ene tilfælde så højt, at der kan være tale om forurening, Tabel 3. Helium og neon analyserne af vandprøverne forseglede i kobberør viste ikke tegn på luftforurening ($\Delta\text{Ne}\%$: 20 og 21, Tabel 3) og T-He alderen var som man kunne forvente lav, hhv. 2,0 og 3,5 år, den ringe dybde under grundvandspejlet taget i betragtning.

De forhøjede CFC indhold i prøverne fra montejus boringen 199.1007 blev også tilskrevet luftindtag på grund af mulig lækage. Det tidligere Frederiksborg Amt foretog renovering af boringen, men nye CFC viste stadig forhøjede CFC indhold. Boringen ligger på kanten af en ca. 10 m dyb gammel grusgrav, og det blev dengang anset for at være en mulig årsag til de forhøjede CFC indhold, selv om en mere præcis sammenhæng ikke kunne påpeges. T-He aldersbestemmelsen for 199.1007 viser ca. 13 år gammelt grundvand, samme alder (13-15 år) som beregnet for CFC-11 ved de tidligere CFC analyser i 1997-1997. Det var kun CFC-12, der viste forhøjede indhold, men da netop CFC-12 tillægges størst betydning ved CFC datering, blev dateringen dengang anset for tvivlsom. Med de næsten samstemmende dateringer for T-He og CFC-11 og de geologiske forhold taget i betragtning (sandmagasin med frit vandspejl) tyder de forhøjede CFC-12 indhold på en forurening fra den gamle grusgrav, f. eks. kompressor fra et gammelt køleskab.

Delvis mislykket T-He datering

Analyserne af begge prøver i kobberør fra boring 4.225 mislykkedes pga. forskellige forhold i laboratoriet. Ud af et prøveantal på ca. 100 regnes det som en normal fejlprocent af laboratoriet i Bremen. Boringen står i et sandmagasin med frit vandspejl og en alder på 53 år, som antydtes af CFC, Tabel 3, forekommer temmelig høj den ringe dybde (15 m) taget i betragtning. Der er ikke blevet analyseret for metan i grundvandet, men da metan i relativt ringe dybde findes udbredt i området, og da sulfatindholdet i boringen er meget lavt ca. 1 mg/L tyder meget på, at metan er til stede i 4.225. CFC nedbrydes delvis under anoxiske forhold og selv den mest robuste af CFC gasserne, CFC-12, nedbrydes under forhold, hvor metan dannes. Derfor er 53 år sandsynligvis i overkanten af grundvandets alder, på den anden side viser det relativt lave tritiumindhold i grundvandet ($T=2,9$ TU) på, at vandet sandsynligvis er mere end ca. 45 år gammelt, se Figur 10. Områdets flade topografi, boringen ligger syd for Skagen, Figur 1, kan måske være grunden til at ungt grundvand ikke når særlig stor dybde på den pågældende lokalitet.

Sammenfatning og konklusion

Påvirkning af grundvandets kvalitet som følge af arealanvendelsen og i særlig grad landbrugets praksis er kortlagt gennem de sidste 25 års regelmæssige undersøgelser i forbindelse med det nationale overvågningsprogram. Ønsket om begrænsning af det stigende nitratindhold har haft høj prioritet og dermed behovet for en så præcis kortlægning af udviklingen i nitratindholdet gennem tiden som mulig. Forudsætningen for opstilling af en tidslig udvikling af nitratindholdet i forhold til arealanvendelse/praksis er imidlertid et kendskab til vandets strømningsmønster i undergrunden, eller lidt forenklet sagt grundvandets alder. For at se om de forskellige tiltag til begrænsning af nitratudvaskningen har haft den ønskede effekt på nitratindholdet i grundvandet kunne man ønske sig, at alderen af grundvandet fra de 92 indtag lå mellem nul og tyve år. Det gælder desværre kun for halvtreds af indtagene. Ydermere var der ingen ilt i grundvandet fra elleve af de halvtreds indtag, dvs. man kan ikke udelukke, at nitratindholdet er blevet reduceret pga. denitrifikation. Det betyder, at under halvdelen af dateringerne kan bruges til at konstruere nitratudviklingen i den mest interessante periode. Den tilsyneladende ringe "succes" skyldes prioritetsrækkefølgen ved udvælgelsen, der først og fremmest skulle omfatte nye borer, være landsdækkende, og så vidt muligt omfatte iltholdigt grundvand.

Aldersbestemmelsen af det noget ældre grundvand har dog ikke været spildt, da nærværende undersøgelse har dokumenteret T-He metoden kan anvendes i tidsintervallet fra nul til næsten halvfems år, når det drejer sig om sandmagasiner med frit vandspejl. For grundvand i områder med vekslende ler- og sandlag har dateringerne givet værdifulde oplysninger om blanding af vand af forskellig alder og for lerlagenes vedkommende oplysninger om udvekslingen mellem det strømmende vand i sprækker og det bundne vand i matrix. Det sidste er ikke mindst vigtigt da hydrologiske modeller til beregning af grundvandsressourcen sædvanligvis ikke opererer med udvekslingen mellem vand i matrix og sprækker, men kun vandets "gennemsnitlige" strømningshastighed. Sidstnævnte er imidlertid utilstrækkelig til modellering, når det gælder stoftransport, der også er påvirket af vandet i matrix.

Referencer

GEUS-NOTAT nr. 05-VA-14-01:Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer – pilotprojekt

Laier, T. (2004) Nitrate monitoring and CFC-age dating of shallow ground waters - an attempt to check the effect of restricted use of fertilisers. In (eds. Razowska-Jaworek, Lidia and Andrzej Sadowski) Nitrates in Groundwater, IAH Hydrogeology Selected Papers No.5, 90-102 Balkema.

Sültenfuß, J., Roether, W. and Rhein, M., 2009. The Bremen mass spectrometric facility for the measurement of helium isotopes, neon, and tritium in water, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 45:2, 83-95

APPENDIKS A Aldersbestemmelsesresultater.

Tabellerne fra laboratoriet i Bremen angiver analyseresultater for tritium, neon, helium-4 og $^3\text{He}/^4\text{He}$ forholdet samt analyseusikkerhed for disse parametre. Følgende parametre er beregnet, mængden af excess air $\Delta\text{Ne}\%$, radiogen ^4He , titrigen $^3\text{He}^*$, og T-He alder. De første resultater modtaget i april måned indeholdt analyseresultater og beregninger for næsten alle dobbeltprøver, inklusive data som blev senere kasseret bl.a. fordi de gav negative aldre, Figur 2.

De endelige resultater modtaget i juli måned indeholdt korrigerede måleresultater for relativt få boringen og kun sikre data. Dvs. usikre data og beregninger var udeladt. Tabel 1 viser resultaterne af den endelige rapportering for excess air $\Delta\text{Ne}\%$, tritium, titrigen $^3\text{He}^*$, og T-He alder, samt laboratoriets bemærkninger angående høj radiogen ^4He , og mulig blanding af forskellige vandtyper.

CFC alderen er vist i de sidste kolonner. Hvor de målte CFC koncentrationer giver to forskellige aldre er minimum og maksimum alder anført. Appendiks B forklarer hvorfor bestemte CFC koncentrationer kan give to aldre.

Appendiks A. Tabel 1 T-He og CFC aldersbestemmelser af grundvand

T-He		ΔNe %	Tritium 3H, TU	Helium-3, 3He*		Alder		Bemærkning	Indtag m u vsp	O2 mg/L	CFC alder		
ID	DGU nr.			TU (1)	TU (2)	år (1)	år (2)				år	min	max
4	4. 225		2,93			>45			12,9	0,2	53		
6	15. 693	8,6	4,15	42,8		42,8			38,0	0,5	48		
7	15. 693	18,6	5,40	8,1		16,3			9,1	0,46	20		
5	16. 1286	18,3	5,07	4,4	3,8	11,1	9,9		12,9	0,29	luft		
10	17. 1087	4,3	0,05	5,6		84,8		low tritium, <1955, little radiogenic 4He	9,5	<0,5	64		
2	18. 385	5,8	6,50	1,0		2,4			1,3	11,3	→	1	19
3	18. 387	8,9	7,00	1,7		4,0			3,3	10,6	→	2	19
8	25. 633	9,0	6,55	44,8	43,4	36,6	36,1		28,9	0,4	42		
9	25. 633	14,0	6,15	39,1	41,2	35,5	36,3		12,2	0	42		
1	26. 4032	21,0	4,47	28,7		35,6			31,9	0,5	28		
12	30. 1373	23,2	5,02	1,6		5,0			1,4	10,5	luft		
11	30. 1377	40,9	4,90	0,5	1,2	1,7	3,8		4,6	10,1	→	7	14
13	30. 1389	39,8	6,26	20,4		25,7			15,5	2,32	27		
19	40. 1366	11,2	6,60	0,5		1,3			3,0	9,6	→	7	15
22	40. 1370	369,0	6,80					extreme excess air, recent tritium	1,8	9,9	→	3	19
21	40. 1372	17,1	6,20	1,6	0,7	4,1	1,9		1,7	10,1	→	1	20
20	40. 1374	8,2	6,70	-0,8		-2,3			2,0	9,8	→	0	20
23	40. 1377	10,3	6,74	0,8		1,9			2,5	10,1	luft		
29	40. 1592	16,1	5,16	29,4		33,8			38,8	0,3	66		
30	41. 1536	20,8	6,07	56,9	56,3	41,6	41,4		34,6	0,12	47		
28	41. 1537	19,8	5,17	37,2	36,6	37,4	37,2	corrected	20,7	0,29	53		
56	46. 814	22,2	5,24	10,5	10,4	19,6	19,4		15,3	0,3	48		
57	47. 1168	19,1	4,84	27,4	28,7	33,7	34,4		12,2	7,4	39		
31	49. 1031	4,8	4,83	3,3		9,2			1,4	7,18	25		
55	50. 702	22,8	5,12	14,4	14,8	23,8	24,1		6,6	10,2	21		
15	53. 618	19,8	5,79	5,0		11,1			5,4	3,5	30		
16	53. 653	16,3	5,37	10,0	10,3	18,6	19,1		5,0	2,57	38		
17	55. 1082	27,6	5,20	3,1		8,3			2,5	7,5	21		
27	56. 896	16,0	6,81	0,1		0,3			0,2	10,1	24		
25	56. 995	25,8	5,93	3,9	4,8	9,0	10,5		0,5	2,9	35		
18	56. 999	11,4	6,60	0,6		1,5			3,9	9,5	22		
58	57. 762	17,6	7,59	35,1	34,2	30,7	30,3		11,5	0,2	64		
24	66. 1743	2,8	6,30	1,0		2,5			1,9	10,1	→	7	15
26	66. 1747	8,7	6,74	44,0	45,2	35,9	36,3		7,4	4,4	41		
61	66. 1875	25,9	6,50	1,1		2,7			4,7	0,9	21		
60	66. 2071	16,8	6,53	2,7		6,2			9,6	0,2	27		
59	66. 2071	-2,3	7,05	1,0		2,4		little degassing	2,5	2,4	26		
53	71. 962	12,0	7,56	18,8	19,5	22,2	22,7		22,2	0	51		
54	71. 962	83,0	4,48	0,5		1,9		large excess air	4,1	0,3	28		
63	77. 1585	18,4	5,23	16,1	16,2	25,0	25,1		1,2	0,6	30		
62	77. 1585	11,6	4,90	4,5		11,6			6,1	0,3	25		
66	84. 2772	26,3	7,10	0,7		1,7			3,4	4,5	→	7	14
65	86. 1848	7,8	8,50	28,4		26,1			6,3	3,8	F		
64	86. 2071	19,9	4,40	6,0	6,6	15,3	16,3		13,4	8,9	→	8	14
52	88. 1268	25,9	0,07	0,0	0,3	>75		radiog. 4He, low tritium, <1950	39,0	0	67		
72	88.1346	12,3	5,91	1,9	0,8	5,0	2,3		3,7	9,5	27		

Alder angivet med rødt er skønnet af GEUS, hvor laboratoriet ikke angav et tal for alderen.

Appendiks A. Tabel 1 fortsat..

T-He		Δ Ne	Tritium	Helium-3, 3He*		Alder		Bemærkning	Indtag	O2	CFC alder	
ID	DGU nr.	%	3H, TU	TU (1)	TU (2)	år (1)	år (2)		m u vsp	mg/L	år	min max
71	88. 1348	11,0	5,27	11,5	12,6	20,6	21,7		13,1	7,5	37	
14	93. 1253	17,1	7,70	2,6	2,9	5,2	5,6		7,9	6,5	→	2 19
67	94. 2947	18,8	7,88	0,7		1,5			0,2	10,5	luft	
48	105. 1701	16,0	6,15	16,3		23,0			17,2	0,8	42	
49	105. 1702	17,6	5,53	13,9	11,9	22,3	20,4		19,7	4,2	42	
50	105. 1703	22,1	5,37	17,6	20,2	25,8	27,7		28,1	11,1	37	
47	105. 1705	12,8	5,44	11,0	10,6	19,7	19,2		10,1	4,5	43	
46	105. 1706	15,5	4,71	8,1		17,8			20,1	10,5	36	
51	105. 1827	19,0	8,00	0,2		0,3			1,2	1,2	9	
74	106. 1535	27,2	6,70	2,8	2,3	6,3	5,2		9,9	0,2	25	
73	106. 1536	6,2	4,90	5,2	5,5	12,8	13,3		3,1	3,5	24	
75	107. 1568	83,3	0,68	0,0		1,1		high excess air, low tritium, mixed water	3,8	0,2	54	
69	112. 1250	39,2	5,51	3,3	3,8	8,3	9,3		15,3	0,3	33	
70	113. 1863	2,4	8,48	4,1	4,2	6,9	7,1		18,8	0,1	27	
36	114. 1437	32,4	8,10	0,6	1,3	1,3	2,6		2,9	0,01	24	
37	114. 1857	21,1	6,42	52,9		39,5			23,6	0,5	29	
68	121. 955	31,0	4,60	9,0		19,3			6,0	5	F	
38	123. 1218	14,9	6,79	40,0		34,3			13,8	0,4	36	
39	125. 2024	35,8	8,00	0,8		1,8			1,3	2,4	25	
32	135. 1443	36,6	4,91	32,4	34,6	36,0	37,0		7,2	0,3	60	
40	147. 1001	-10,2	8,11	59,0	56,5	37,6	36,9	little degassing, radiogenic 4He	8,4	0,3	52	
33	164. 1253		0,47			55		low tritium, <1960	22,9	0	46	
34	164. 1452	24,4	4,82	2,5		7,4			15,3	0,3	57	
35	164. 1454	2,5	1,82	5,5		24,8		low tritium, but bomb component + radioge	5,7	0,3	43	
88	198. 544	13,6	1,14	7,4	7,4	35,9	35,9	low tritium, mixed water	20,6	0,2	65	
41	198. 690	20,7	7,50	0,9		2,0			0,7	10,1	luft	
42	198. 693	18,7	6,60	1,4		3,5			0,5	8,7	F	
89	199. 1007	12,2	5,70	5,8	6,1	12,5	12,9		7,0	6,4	14	
44	200. 3703	11,6	3,82	30,7		39,2		radiog. 4He + tritium = mixed water	41,1	0,2	50	
43	200. 3703	28,8	6,79	17,7	18,1	22,7	23,0		19,3	0,2	45	
45	207. 3003	37,1	4,10	4,8		13,8		radiog. 4He	8,0	3	luft	
83	217. 1190	43,4	0,03	-0,4		>75		very low tritium, <1930	32,5	0,2	73	
84	217. 1190	30,9	4,57	46,8	45,3	43,0	42,5		16,3	0,2	50	
82	220. 686	48,4	0,02	-0,9	1,7	>75		very low tritium, <1930	26,8	0,3	73	
87	222. 647	10,8	-0,02	-0,2		>75		radiog. 4He, very low tritium, <1930	22,0	0,5	68	
85	222. 648	37,8	-0,01	-1,1	-1,1	>75		radiog. 4He, very low tritium, <1930	18,6	0,2	72	
86	222. 648	17,1	6,40	1,5		3,7			6,1	7,1	23	
81	227. 250	28,1	0,01	6,9		>75		very low tritium, <1930	24,5	0,2	73	
80	233. 331	14,5	0,08	0,4		>75		low tritium, <1940	13,8	0,3	72	
79	237. 616	29,0	-0,01	-1,7	0,3	>75		very low tritium, <1930	9,1	0,4	70	
78	241. 208	-5,0	0,04	10,1		>75		very low tritium, <1940	11,9	0,2	69	
76	242. 347	34,2	0,03			>75		very low tritium, <1940	31,0	0,4	54	
77	242. 347	127,6	0,03	1,6		>75		very low tritium, <1940	14,7	0,4	66	
91	244. 621	25,1	3,84	9,4		22,0		radiog. 4He, low tritium, mixed water	29,5	0	67	
92	245. 213	21,1	6,10	-0,5		-1,7		radiog. 4He, high tritium, no such possible	5,3	4,04	→	5 17
90	246. 802	16,9	6,60	4,1		8,5			-0,3	5,88	→	7 15

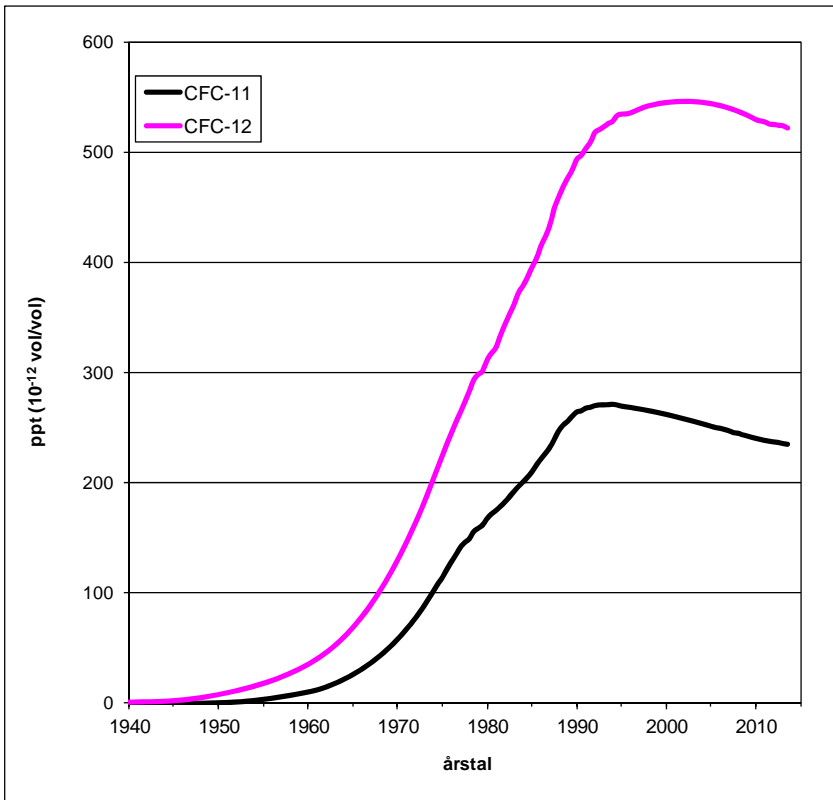
Appendiks A Tabel 2 Boret tekniske oplysninger

T-He		Ind	GRUMO	Bore	Kote	Revbj	Indtag		Bor	Pumpe	Prøve		Vandsp	Indtag
ID	DGU nr.	tag	nr.	år	m o h	bjart	top	bund	diam	type	dato	kl	m u.t.	m u vsp
4	4. 225	2	07.97.16.02	2003	13,31	sand	15	16	63	7	13-11-13	17:00	2,07	12,93
6	15. 693	1	07.97.05.01	1995	10,04	kridt	42	48	125	3	14-11-13	11:10	4,02	37,98
7	15. 693	3	07.97.05.03	1995	10,04	sand	13	19	125	3	14-11-13	12:10	3,92	9,08
5	16. 1286	1	07.97.06.01	2010	11,2	sand	18	20	63	2	14-11-13	09:00	5,13	12,87
10	17. 1087	1	07.97.07.01	2011	20,1	sand	19	20	63	2	14-11-13	17:15	9,55	9,45
2	18. 385	1	80.13.21.01	2005	35,51	ds	18,5	19,5	50/63	2	13-11-13	13:40	17,16	1,34
3	18. 387	1	80.13.23.01	2005	34,46	ds	17,5	18,5	63	2	13-11-13	15:00	14,25	3,25
8	25. 633	2	07.97.10.02	1995	3,29	kalk	30	36	110	2	14-11-13	14:20	1,15	28,85
9	25. 633	3	07.97.10.03	1995	3,29	kalk	14	20	110	2	14-11-13	15:00	1,8	12,2
1	26. 4032	3	07.97.11.03	1992	4	ler	34	46	125	3	13-11-13	11:30	2,07	31,93
12	30. 1373	1	76.14.08.01	2005	22,99	sk	14	16	63	2	15-11-13	10:25	12,65	1,35
11	30. 1377	1	76.14.12.01	2005	28,3	sk	26	28	63	2	15-11-13	09:20	21,4	4,6
13	30. 1389	3	07.97.12.03	2005	38,94	kalk	37	40	63	3	15-11-13	12:00	21,47	15,53
19	40. 1366	1	80.14.13.01	2005	43,81	ds	13	14	50/63	2	17-11-13	09:10	10,05	2,95
22	40. 1370	1	80.14.17.01	2005	42,1	ds	14,6	15,6	50/63	2	17-11-13	12:05	12,85	1,75
21	40. 1372	1	80.14.19.01	2005	41,81	ds	14	15	50/63	2	17-11-13	11:05	12,35	1,65
20	40. 1374	1	80.14.21.01	2005	45,41	ds	13	14	50/63	2	17-11-13	10:10	11,04	1,96
23	40. 1377	1	80.14.24.01	2005	51,68	ds	24,5	25,5	50/63	2	17-11-13	13:10	22,02	2,48
29	40. 1592	2	07.97.42.02	2010	70,7	sand og	59	60	63	3	18-11-13	13:25	20,23	38,77
30	41. 1536	2	07.97.23.02	2012	38,51	kalk	40	43	90	3	18-11-13	15:00	5,36	34,64
28	41. 1537	3	07.97.22.03	2012	73,47	sand	29	35	63	3	18-11-13	11:45	8,31	20,69
56	46. 814	2	06.96.16.02	2000	35,25	ler	23	26	90	3	27-11-13	08:40	7,7	15,3
57	47. 1168	3	06.96.09.03	2010	33,6	kalk	24	26	125	3	27-11-13	10:50	11,8	12,2
31	49. 1031	1	07.97.02.01	2007	17,86	k	13	15	63	3	18-11-13	16:20	11,63	1,37
55	50. 702	1	07.97.15.01	2007	14,78	ds	13	14	63	7	26-11-13	15:45	6,43	6,57
15	53. 618	4	06.96.22.04	2005	39,89	sand	24	30	113	2	16-11-13	09:35	18,65	5,35
16	53. 653	2	06.96.10.02	2005	20,68	sand	10	16	113	2	16-11-13	11:40	4,97	5,03
17	55. 1082	1	06.96.23.01	2004	49,19	sand	11	15	63	2	16-11-13	13:15	8,47	2,53
27	56. 896	1	76.11.05.01	1990	44	ds	23	23,5	75	2	18-11-13	09:20	22,78	0,22
25	56. 995	1	76.11.11.01	1998	44,89	ds	24	26	63	2	17-11-13	15:55	23,54	0,46
18	56. 999	1	76.11.08.01	1998	37,79	ds	19	20	63	2	16-11-13	16:35	15,08	3,92
58	57. 762	3	06.96.12.03	2001	53,06	sand	34	38	125	3	27-11-13	12:30	22,52	11,48
24	66. 1743	1	76.11.16.01	1998	37,06	ds	18	19	63	2	17-11-13	14:45	16,13	1,87
26	66. 1747	1	76.11.13.01	1998	37,79	ds	23	24	63	2	17-11-13	17:05	15,65	7,35
61	66. 1875	3	06.96.13.03	2003	45,2	ikke opl	10	12	63	3	27-11-13	16:50	5,3	4,7
60	66. 2071	1	05.95.18.01	2012	26,94	sand	16	17	90	3	27-11-13	15:10	6,43	9,57
59	66. 2071	2	05.95.18.02	2012	26,94	sand	9	10	63	3	27-11-13	14:20	6,48	2,52
53	71. 962	1	70.14.26.01	2013	37,29	grus	40	41	90	3	26-11-13	12:20	17,85	22,15
54	71. 962	2	70.14.26.02	2013	37,29	sand	21	22	63	3	26-11-13	13:17	16,91	4,09
63	77. 1585	1	05.95.20.01	2012	44,03	sand	13,5	14,5	90	3	28-11-13	09:50	7,33	13,67
62	77. 1585	2	05.95.20.02	2012	44,03	sand	8,5	9,5	63	7	28-11-13	08:50	7,39	-0,89
66	84. 2772	1	06.96.19.01	2012	47,61	sand	6,5	7,5	63	7	28-11-13	14:20	3,1	3,4
65	86. 1848	2	06.96.14.02	1997	75,74	sand	20	23	63	3	28-11-13	12:50	13,68	6,32
64	86. 2071	3	06.96.15.03	2004	93,2	sand	31	34	113	3	28-11-13	11:30	17,62	13,38
52	88. 1268	2	05.95.14.02	2000	26,82	grus	51	57	125	3	26-11-13	10:05	11,97	39,03
72	88.1346	4	05.95.04.04	2004	56,5	sand	9	11	63	7	30-11-13	10:40	5,35	3,65

Pumpe type: 2= permanent dykpumpe, 3=mobil dykpumpe, 5= montejus, 7= batteri dykpumpe, 8=artesiske ingen pumpe

Appendiks A Tabel 2 fortsat..

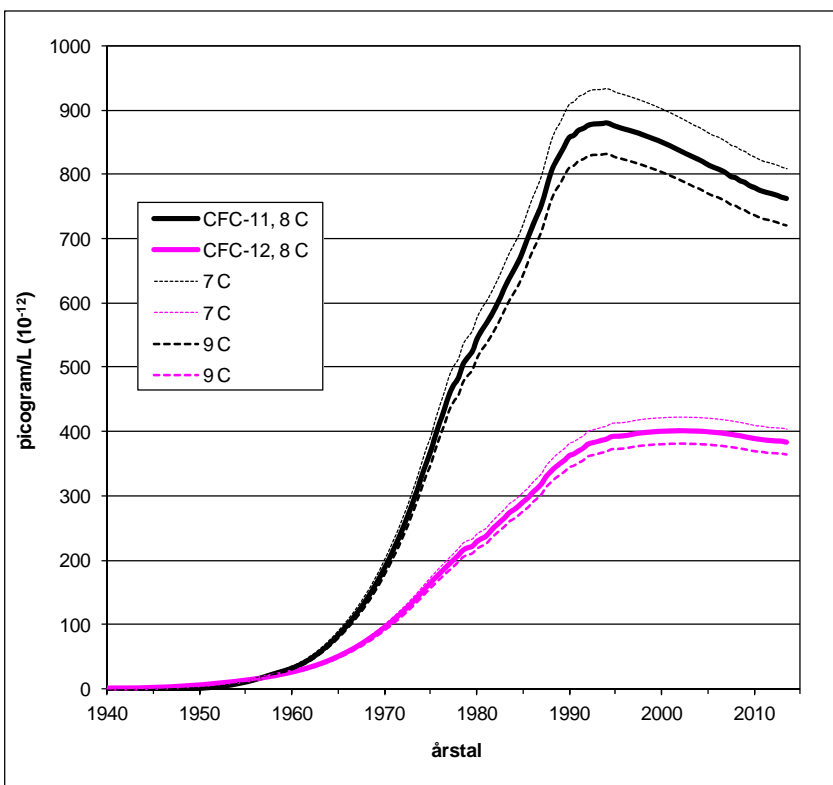
T-He		Ind	GRUMO	Bore	Kote	Revbj	Indtag		Bor	Pumpe	Prøve		Vandsp	Indtag
ID	DGU nr.	tag	nr.	år	m o h	bjart	top	bund	diam	type	dato	kl	m u.t.	m u vsp
71	88. 1348	3	05.95.15.03	2004	53,61	sand og	20,5	22,5	63	3	30-11-13	09:20	7,43	13,07
14	93. 1253	1	06.96.20.01	2012	18,8	sand	10	11	63	7	15-11-13	16:40	2,12	7,88
67	94. 2947	1	06.96.21.01	2012	32,86	sand	11	12	63	3	28-11-13	15:40	10,77	0,23
48	105. 1701	3	60.11.19.03	1998	85,86	ks	26,88	27,88	63	2	25-11-13	12:35	9,68	17,2
49	105. 1702	2	60.11.19.02	1998	85,86	ks	29,7	30,7	63	2	25-11-13	13:25	9,99	19,71
50	105. 1703	1	60.11.19.01	1998	85,86	ks	37,75	38,75	63	2	25-11-13	14:15	9,69	28,06
47	105. 1705	3	60.11.20.03	1998	89,88	ks	23,6	24,6	63	2	25-11-13	11:10	13,5	10,1
46	105. 1706	2	60.11.20.02	1998	89,88	ks	33,65	34,65	63	2	25-11-13	10:10	13,55	20,1
51	105. 1827	1	65.11.06.01	2004	56,52	ds	3	4	28/63	7	25-11-13	15:30	1,79	1,21
74	106. 1535	1	05.95.21.01	2012	53,65	sand	14,5	15,5	90	7	30-11-13	12:50	4,63	9,87
73	106. 1536	1	05.95.22.01	2012	7,89	sand	6,5	7,5	90	7	30-11-13	11:50	3,44	3,06
75	107. 1568	2	05.95.16.02	2010	61,3	sand	41	47	125	3	30-11-13	14:40	37,2	3,8
69	112. 1250	3	04.94.04.03	2011	39,3	sand	21	27	125	3	29-11-13	08:20	5,72	15,28
70	113. 1863	1	04.94.05.01	2010	36,36	ikke opl	25	27	125	3	29-11-13	09:55	6,22	18,78
36	114. 1437	1	55.01.09.01	1988	43,9	ds	5,12	5,62	63	5	20-11-13	09:00	2,24	2,88
37	114. 1857	4	04.94.06.04	2002	66,2	sand	26	34	125	2	20-11-13	11:20	2,36	23,64
68	121. 955	1	55.13.09.01	1988	28,39	ds	20	21	63	3	28-11-13	17:55	13,98	6,02
38	123. 1218	6	04.94.08.06	2002	60,71	sand	20	23	110	3	20-11-13	13:35	6,2	13,8
39	125. 2024	1	60.13.26.01	2004	68,21	ds	2,9	3,9	63	7	20-11-13	15:15	1,62	1,28
32	135. 1443	1	42.13.13.01	2005	60,51	ml	16	17	63	3	19-11-13	09:20	8,85	7,15
40	147. 1001	2	03.93.11.02	2001	6,35	sand	10	12	63	7	20-11-13	17:20	1,62	8,38
33	164. 1253	1		2000	34,45		42	56	125	3	19-11-13	12:45	19,12	22,88
34	164. 1452	1	03.93.10.01	2005	47,59	grus	33	39	125	3	19-11-13	14:00	17,71	15,29
35	164. 1454	1	03.93.09.01	2005	68,39	sand	19	42	125	3	19-11-13	15:15	13,28	5,72
88	198. 544	1	30.01.06.01	1988	32,2	ds	28,5	29	40	5	09-12-13	10:35	7,93	20,57
41	198. 690	1	30.16.07.01	2005	15,4	ds	12,5	13,5	110	3	22-11-13	09:50	11,8	0,7
42	198. 693	1	30.16.10.01	2005	15	sand	10,2	11,2	110	3	22-11-13	11:45	9,72	0,48
89	199. 1007	2	20.11.08.02	1988	26	ds	19,15	19,65	40	5	09-12-13	12:30	12,18	6,97
44	200. 3703	1	15.11.10.01	1991	11,9	kk	70	75	125	2	22-11-13	14:45	28,88	41,12
43	200. 3703	2	15.11.10.02	1991	42,66	ds	48	50	63	2	22-11-13	13:55	28,7	19,3
45	207. 3003	1	15.14.05.01	1991	42,66	sk	9,6	11,6	63	3	23-11-13	10:15	1,57	8,03
83	217. 1190	1	02.92.12.01	2012	51,69	ikke opl	40,6	41,6	63	3	04-12-13	11:50	8,15	32,45
84	217. 1190	2	02.92.12.02	2012	51,69	ikke opl	21	22	63	3	04-12-13	12:45	4,68	16,32
82	220. 686	1	02.92.08.01		10	kalk	30	40		3	04-12-13	09:40	3,2	26,8
87	222. 647	1	02.92.14.01		6,45	kalk	22	23	63	7	04-12-13	17:00	artesisisk	22
85	222. 648	1	02.92.15.01		81,9	ikke opl	26,2	27,2	63	3	04-12-13	14:35	7,65	18,55
86	222. 648	2	02.92.15.02		81,9	ikke opl	13	14	63	3	04-12-13	15:40	6,93	6,07
81	227. 250	1	02.92.16.01		4,4	ikke opl	33	35	63	3	03-12-13	16:50	8,48	24,52
80	233. 331	2	02.92.09.02		19,5	ikke opl	23	27	63	3	03-12-13	14:50	9,16	13,84
79	237. 616	1	02.92.17.01		5,04	ikke opl	14	15	63	3	03-12-13	13:15	4,95	9,05
78	241. 208	1	02.92.07.01		6,14	sand	12,1	13,7	63	7	03-12-13	12:05	0,23	11,87
76	242. 347	1	02.92.13.01	2012	0,89	ikke opl	32,5	33,5	63	3	03-12-13	10:50	1,48	31,02
77	242. 347	3	02.92.13.03	2012	0,89	ikke opl	16,1	17,1	63	3	03-12-13	11:35	1,38	14,72
91	244. 621	1	01.91.10.01	2007	81,61	ikke opl	29,5	33,5	125	8	10-12-13	10:50	artesisisk	29,5
92	245. 213	1	01.91.18.01		102,5	ikke opl	7,5	13,5	125	3	10-12-13	12:50	2,23	5,27
90	246. 802	3	01.91.06.03	2002	18,4	sand	4,5	8,5	63	7	10-12-13	09:35	4,76	-0,26



APPENDIKS B

CFC daterings-metoden

Stigningen i atmosfærens indhold af CFC-11 og CFC-12 afspejlede sig i et stigende CFC-indhold i grundvandet via nedbøren. Dette forhold benyttedes ved aldersbestemmelse af grundvandet frem til år ca. 2000. Siden er CFC metoden blevet mindre sikker til datering af ungt grundvand.



CFC-11 er lettere opløselig i vand end CFC-12, og derfor ses højere CFC-11 koncentration. Vandets temperatur bestemmer, hvor meget gas der kan opløses. Tolkning af grundvandets alder baserer sig på, at ligevægt mellem gasfase og vandfase hersker ved vandspejlet, hvor temperaturen er ca. 8 °C, årets middeltemperatur. Det er en god tilnærmelse, hvis vandspejlet ligger 5 m u. t. eller dybere. Ved terrænnært vandspejl kan ligevægtstemperaturen svinge, og dermed påvirke CFC indholdet.

For CFC nær maksimum koncentration ses to løsninger mht. alder.

Alder af grundvand i overvågningsboringer (GRUMO) bestemt ved CFC-metoden

07-01-14

Boring DGU nr.	Dybde meter	Flaske Nr.	Udtaget Dato	Tid	Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet CFC-årstal for grundvandsdannelse			Bemærkninger	Skønnet årstal	alder	min	max
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113					
4. 225 -2	15-16	1	13-11-13	17:00	10,4	26,5	3,7	3,3	37,3	2,8	1954,5	1960,5	1964,5	H2S, CH4?	1960	53		
		2		17:05	4,0	24,9	1,6	1,3	35,1	1,2	1951,5	1960,0	<1959,5					
15. 693-1	42-48	1	14-11-13	11:10	49,7	53,6	0,0	15,9	75,5	0,0	1962,0	1965,5	<1959,5		1965	48		
		2		11:15	6,4	48,1	0,0	2,0	67,8	0,0	1953,0	1964,5	<1959,5					
15. 693-3	13-19	1	14-11-13	12:10	623,9	370,9	40,1	198,9	522,2	30,4	1983,0	1992,5	1982,0		1993	20		
		2		12:15	627,1	369,2	42,1	199,9	519,8	32,0	1983,5	1992,0	1982,5					
16. 1286-1	18-20	1	14-11-13	09:00	1966,8	897,8	292,1	627,1	1264,1	221,8	*)	*)	*)	lækage?		usikker		
		2		09:05	1969,2	893,2	322,5	627,9	1257,6	244,9	*)	*)	*)					
17. 1087-1	19-20	1	14-11-13	17:15	1,4	4,9	2,4	2,2	6,9	1,8	1949,5	1949,5	1961,5	bred F113	1949	64		
		2		17:20	0,1	2,7	3,6	1,8	3,7	2,7	<1945	1947,5	1964,5					
18. 385-1	18,5-19,5	1	13-11-13	13:40	717,7	375,6	136,7	228,8	528,8	103,8	1986,0	94/11	*)	bred F113	2012	1	1	19
		2		13:45	742,0	372,1	135,7	236,6	523,9	103,1	87/12	93/13	*)					
18. 387-1	17,5-18,5	1	13-11-13	15:00	738,8	376,7	112,9	235,6	530,5	85,8	87/12	94/11	ungt		2011	2	2	19
		2		15:05	742,3	378,8	115,0	236,7	533,4	87,3	87/12	94/10	ungt					
25. 633-2	30-36	1	14-11-13	14:20	120,8	103,3	6,4	38,5	145,5	4,8	1967,0	1970,5	1968,5		1971	42		
		2		14:25	117,6	104,8	5,0	37,5	147,5	3,8	1967,0	1971,0	1966,5					
25. 633-3	14-20	1	14-11-13	15:00	49,8	101,4	18,9	15,9	142,7	14,3	1962,0	1970,5	1976,5	bred F113	1971	42		
		2		15:05	47,9	99,9	19,1	15,3	140,7	14,5	1962,0	1970,5	1976,5					
26. 4032-3	34-46	1	13-11-13	11:30	215,2	291,0	0,0	68,6	409,7	0,0	1971,0	1985,5	<1959,5		1985	28		
		2		11:35	213,4	286,2	1,5	68,0	403,0	1,1	1970,5	1985,0	<1959,5					
30. 1373-1	14-16	1	15-11-13	10:25	1666,9	1006,4	138,1	531,5	1417,1	104,9	*)	*)	*)	N2O		luft		
		2		10:30	1736,3	1047,2	150,5	553,6	1474,5	114,3	*)	*)	*)					
30. 1377-1	26-28	1	15-11-13	09:20	880,6	393,0	188,5	280,8	553,4	143,2	ungt	ungt	*)	3 min purge	2008	5	7	14
		2		09:25	900,4	394,3	211,4	287,1	555,1	160,5	ungt	ungt	*)					
30. 1389-3	37-40	1	15-11-13	12:00	430,5	299,3	51,2	137,3	421,4	38,9	1976,5	1986,0	1984,0		1986	27		
		2		12:05	405,4	289,6	48,1	129,3	407,8	36,5	1975,5	1985,5	1983,5					
40. 1366-1	13-14	1	17-11-13	09:10	747,0	386,0	345,0	238,2	543,4	262,0	87/12	98/06	*)	N2O	2007	6	7	15
		2		09:15	730,8	381,1	232,8	233,0	536,6	176,8	1986,5	96/08	*)					
40. 1370-1	14,6-15,6	1	17-11-13	12:05	2089,0	379,1	96,9	666,1	533,8	73,6	*)	94/10	1989,5	N2O, høj F11	2010	3	3	19
		2		12:10	2131,2	380,3	101,1	679,5	535,5	76,8	*)	95/09	90/11					
40. 1372-1	14-15	1	17-11-13	11:05	861,7	374,8	85,0	274,8	527,7	64,5	1994,0	93/12	1988,0	N2O	2009	4	1	20
		2		11:10	846,5	383,4	84,0	269,9	539,9	63,8	91,0/97,0	97/07	1988,0					
40. 1374-1	13-14	1	17-11-13	10:10	860,0	372,4	96,6	274,2	524,4	73,4	1994,0	93/13	1989,5	N2O	2013	0	0	20
		2		10:15	863,4	372,5	94,5	275,3	524,6	71,8	1994,0	93/13	1989,0					
40. 1377-1	24,5-25,5	1	17-11-13	13:10	947,5	551,4	112,7	302,1	776,5	85,6	*)	*)	ungt	N2O	2013	luft		
		2		13:15	891,0	526,3	126,0	284,1	741,0	95,7	ungt	*)	*)					
40. 1592-2	59-60	1	18-11-13	13:25	25,9	2,4	0,0	8,2	3,4	0,0	1958,5	1947,0	<1959,5		1947	66		
		2		13:30	2,4	2,4	0,0	0,8	3,3	0,0	1950,5	1947,0	<1959,5					
41. 1536-2	40-43	1	18-11-13	15:00	16,9	57,1	0,0	5,4	80,4	0,0	1956,0	1966,0	<1959,5		1966	47		
		2		15:05	16,5	57,2	0,0	5,2	80,5	0,0	1956,0	1966,0	<1959,5					
41. 1537-3	29-35	1	18-11-13	11:45	22,5	23,5	0,0	7,2	33,1	0,0	1957,5	1959,5	<1959,5		1960	53		
		2		11:50	13,0	23,4	0,0	4,1	32,9	0,0	1955,5	1959,5	<1959,5					
46. 814-2	23-26	1	27-11-13	08:40	9,8	45,3	4,6	3,1	63,8	3,5	1954,5	1964,5	1966,0		1965	48		
		2		08:45	5,3	48,8	3,4	1,7	68,8	2,5	1952,5	1965,0	1964,0					
47. 1168-3	24-26	1	27-11-13	10:50	323,8	152,3	13,4	103,2	214,5	10,2	1974,0	1974,0	1974,0	3 min purge	1974	39		
		2		10:55	317,2	146,9	13,6	101,1	206,8	10,3	1973,5	1974,0	1974,0					

Alder af grundvand i overvågningsboringer (GRUMO) bestemt ved CFC-metoden

Boring DGU nr.	Dybde meter	Flaske Nr.	Udtaget Dato	Tid	Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet CFC-årstal for grundvandsdannelse			Bemærkninger	Skønnet		alder	
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113		årstal	alder	min	max
49. 1031-1	13-15	1	18-11-13	16:20	534,5	310,3	22,3	170,4	436,9	16,9	1980,0	1987,0	1977,5	N2O	1988	25		
		2		16:25	553,8	319,1	26,2	176,6	449,3	19,9	1980,5	1987,5	1978,5					
50. 702-1	13-14	1	26-11-13	15:45	654,2	363,7	20,1	208,6	512,2	15,3	1984,5	1991,5	1977,0	N2O	1992	21		
		2		15:50	651,3	366,8	20,4	207,7	516,5	15,5	1984,5	1991,5	1977,0					
53. 618-4	24-30	1	16-11-13	09:35	457,0	262,4	35,3	145,7	369,4	26,8	1977,0	1983,0	1981,0	Høj N2O	1983	30		
		2		09:40	452,4	255,4	33,8	144,3	359,6	25,7	1977,0	1982,5	1980,5					
53. 653-2	10-16	1	16-11-13	11:40	179,1	160,5	6,3	57,1	226,0	4,8	1969,5	1975,0	1968,5	N2O	1975	38		
		2		11:45	171,9	162,9	6,1	54,8	229,4	4,6	1969,5	1975,0	1968,0					
55. 1082-1	11-15	1	16-11-13	13:15	608,0	365,7	30,3	193,9	514,9	23,0	1982,5	1991,5	1980,0	N2O	1992	21		
		2		13:20	647,0	363,5	41,8	206,3	511,8	31,8	1984,0	1991,5	1982,5					
56. 896-1	23-23,5	1	18-11-13	09:20	1249,6	339,9	77,3	398,5	478,6	58,7	*)	1989,0	1987,0		1989	24		
		2		09:25	1263,5	343,2	79,7	402,9	483,3	60,5	*)	1989,0	1987,5					
56. 995-1	24-26	1	17-11-13	15:55	414,6	208,0	31,1	132,2	292,9	23,6	1976,0	1978,0	1980,0	N2O	1978	35		
		2		16:00	415,6	204,6	31,3	132,5	288,0	23,8	1976,0	1978,0	1980,0					
56. 999-1	19-20	1	16-11-13	16:35	750,5	361,5	76,2	239,3	509,0	57,9	87/12	1991,5	1987,0	N2O	1991	22		
		2		16:40	702,8	345,5	77,7	224,1	486,5	59,0	1985,5	1989,5	1987,5					
57. 762-3	34-38	1	27-11-13	12:30	10,9	5,1	1,8	3,5	7,1	1,3	1954,5	1949,5	<1959,5	bred F113	1949	64		
		2		12:35	9,3	3,7	6,6	3,0	5,2	5,0	1954,0	1948,5	1968,5					
66. 1743-1	18-19	1	17-11-13	14:45	754,5	386,6	82,7	240,6	544,3	62,8	87,5/10	99/05	1988,0	N2O	2008	5	7	15
		2		14:50	746,9	379,7	80,4	238,2	534,6	61,0	87/12	94/10	1987,5					
66. 1747-1	23-24	1	17-11-13	17:05	137,3	113,4	4,2	43,8	159,6	3,2	1968,0	1971,5	1965,5	N2O	1972	41		
		2		17:10	86,8	121,4	4,2	27,7	170,9	3,2	1965,0	1972,0	1965,5					
66. 1875-3	10-12	1	27-11-13	16:50	367,6	368,3	55,5	117,2	518,6	42,1	1975,0	1992,0	1984,5	N2O	1992	21		
		2		16:55	374,1	369,6	57,5	119,3	520,4	43,7	1975,0	1992,0	1985,0					
66. 2071-1	16-17	1	27-11-13	15:10	7,8	291,5	2,7	2,5	410,5	2,1	1953,5	1985,5	1962,5		1986	27		
		2		15:15	5,0	288,2	0,0	1,6	405,9	0,0	1952,5	1985,5	<1959,5					
66. 2071-2	9-10	1	27-11-13	14:20	1160,7	318,0	64,5	370,1	447,7	49,0	*)	1987,0	1986,0	N2O	1987	26		
		2		14:25	1159,3	317,9	63,3	369,6	447,6	48,1	*)	1987,0	1985,5					
71. 962-1	40-41	1	26-11-13	12:20	7,5	29,9	1,2	2,4	42,2	0,9	1953,5	1961,0	<1959,5		1962	51		
		2		12:25	8,8	32,7	0,0	2,8	46,0	0,0	1954,0	1962,0	<1959,5					
72. 962-2	21-22	1	26-11-13	13:17	61,2	300,8	41,5	19,5	423,5	31,5	1963,0	1986,0	1982,5	bred F113	1985	28		
		2		13:22	56,4	270,2	55,9	18,0	380,4	42,4	1962,5	1984,0	1984,5					
77. 1585-1	8,5-9,5	1	28-11-13	09:50	311,8	257,8	41,1	99,4	363,0	31,2	1973,5	1983,0	1982,0	N2O	1983	30		
		2		09:55	331,7	267,4	46,8	105,8	376,5	35,5	1974,0	1983,5	1983,5					
77. 1585-2	13,5-14,5	1	28-11-13	08:50	284,1	326,1	57,0	90,6	459,2	43,3	1973,0	1987,5	1985,0	N2O	1988	25		
		2		08:55	266,6	329,6	58,2	85,0	464,1	44,2	1972,5	1988,0	1985,0					
84. 2772-1	6,5-7,5	1	28-11-13	14:20	1115,6	388,5	72,7	355,7	547,0	55,2	*)	2002,0	1986,5	N2O	2004	9	7	14
		2		14:25	1145,8	396,4	79,2	365,4	558,2	60,1	*)	ungt	1987,5					
86. 1848-2	20-23	1	28-11-13	12:50	1764,3	1673,0	5,0	562,6	2355,6	3,8	*)	*)	1966,5		F			
		2		12:55	1609,0	1298,9	1,6	513,0	1828,9	1,2	*)	*)	<1959,5					
86. 2071-3	31-34	1	28-11-13	11:30	948,5	386,8	64,1	302,4	544,6	48,7	*)	99/05	1985,5	N2O	2003	10	8	14
		2		11:35	918,9	389,7	64,2	293,0	548,8	48,8	ungt	2002,0	1985,5					
88. 1268-2	51-57	1	26-11-13	10:05	14,8	1,6	27,9	4,7	2,2	21,2	1955,5	1946,0	1979,0	bred F113	1946	67		
		2		10:10	12,5	1,6	8,3	4,0	2,2	6,3	1955,0	1946,0	1970,5					

Alder af grundvand i overvågningsboringer (GRUMO) bestemt ved CFC-metoden

07-01-14

Boring DGU nr.	Dybde meter	Flaske Nr.	Udtaget Dato Tid		Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet CFC-årstal for grundvandsdannelse			Bemærkninger	Skønnet årstal	alder		
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113			år	min	max
88.1346-4	9-11	1	30-11-13	10:40	580,2	286,4	23,1	185,0	403,3	17,5	1981,5	1985,0	1978,0	N2O	1986	27		
		2		10:45	587,0	286,6	25,0	187,2	403,5	19,0	1982,0	1985,5	1978,5			3 min purge		
88.1348-3	20,5-22,5	1	30-11-13	09:20	309,3	167,9	4,4	98,6	236,4	3,3	1973,5	1975,5	1965,5	N2O	1976	37		
		2		09:25	313,3	171,2	3,2	99,9	241,0	2,4	1973,5	1975,5	1963,5					
93.1253-1	10-11	1	15-11-13	16:40	711,0	374,1	85,6	226,7	526,7	65,0	1986,0	93/12	1988,0		2010	3	2	19
		2		16:45	715,1	378,9	87,5	228,0	533,6	66,5	1986,0	94/10	1988,5					
94.2947-1	11-12	1	28-11-13	15:40	739,2	492,6	84,9	235,7	693,6	64,5	87/12	*	1988,0	N2O		2013		
		2		15:45	722,1	493,5	93,4	230,3	694,9	70,9	1986,5	*	1989,0				3 min purge	
105.1701-3	26,88-27,8	1	25-11-13	12:35	148,2	103,5	353,9	47,3	145,7	268,7	1968,5	1970,5	*	N2O	1971	42		
		2		12:40	147,2	106,7	508,7	46,9	150,2	386,3	1968,5	1971,0	*			3 min purge		
105.1702-2	29,7-30,7	1	25-11-13	13:25	287,6	101,8	162,7	91,7	143,3	123,6	1973,0	1970,5	*	N2O	1971	42		
		2		13:30	295,0	102,0	183,1	94,1	143,7	139,0	1973,0	1970,5	*			3 min purge		
105.1703-1	37,75-38,7	1	25-11-13	14:15	575,4	171,2	365,7	183,5	241,1	277,7	1981,5	1975,5	*	N2O	1976	37		
		2		14:20	590,4	172,5	391,6	188,3	242,9	297,4	1982,0	1975,5	*			3 min purge		
105.1705-3	23,6-24,6	1	25-11-13	11:10	247,3	94,4	21,3	78,9	133,0	16,2	1972,0	1970,0	1977,0	N2O	1970	43		
		2		11:15	246,0	96,7	21,1	78,4	136,2	16,0	1972,0	1970,0	1977,0			3 min purge		
105.1706-2	33,65-34,6	1	25-11-13	10:10	577,3	183,8	81,2	184,1	258,8	61,7	1981,5	1976,5	1987,5	N2O	1977	36		
		2		10:15	580,8	181,3	83,7	185,2	255,3	63,6	1982,0	1976,5	1988,0			3 min purge		
105.1827-1	3-4	1	25-11-13	15:30	483,2	411,4	3048,2	154,1	579,3	2314,8	1978,0	*	*	N2O	2004	9		
		2		15:35	479,4	401,8	2915,2	152,9	565,8	2213,8	1978,0	03/04	*			3 min purge		
106.1535-1	14,5-15,5	1	30-11-13	12:50	618,1	413,0	73,1	197,1	581,5	55,5	1983,0	*	1987,0		1988	25		
		2		12:55	599,4	421,7	73,0	191,1	593,8	55,4	1982,5	*	1987,0					
106.1536-1	6,5-7,5	1	30-11-13	11:50	598,5	330,2	30,9	190,8	465,0	23,5	1982,5	1988,0	1980,0	N2O	1989	24		
		2		11:55	613,8	334,8	32,4	195,7	471,5	24,6	1983,0	1988,5	1980,0			3 min purge		
107.1568-2	41-47	1	30-11-13	14:40	27,8	24,3	12,6	8,9	34,2	9,6	1959,0	1959,5	1973,5	bred F113	1959	54		
		2		14:45	19,7	15,9	13,4	6,3	22,4	10,2	1957,0	1956,5	1974,0			bred F113		
112.1250-3	21-27	1	29-11-13	08:20	21,2	251,1	3,2	6,8	353,6	2,4	1957,0	1982,0	1963,5		1980	33		
		2		08:25	4,0	194,8	2,5	1,3	274,2	1,9	1951,5	1977,5	1962,0					
113.1863-1	25-27	1	29-11-13	09:55	101,0	284,5	50,1	32,2	400,6	38,1	1966,0	1985,0	1984,0		1986	27		
		2		10:00	102,9	290,5	53,4	32,8	409,0	40,5	1966,0	1985,5	1984,5					
114.1437-1	5,12-5,62	1	20-11-13	09:00	546,2	339,1	91,0	174,2	477,5	69,1	1980,5	1989,0	1988,5		1989	24		
		2		09:05	562,9	348,4	78,6	179,5	490,5	59,7	1981,0	1989,5	1987,5					
114.1857-4	26-34	1	20-11-13	11:20	18,9	273,0	2,2	6,0	384,4	1,6	1956,5	1984,0	1961,0		1984	29		
		2		11:25	14,8	265,8	2,3	4,7	374,3	1,7	1955,5	1983,5	1961,0					
121.955-1	20-21	1	28-11-13	17:55	1334,8	950,3	230,3	425,6	1338,0	174,9	*	*	*	N2O		F		
		2		18:00	1311,5	934,7	206,3	418,2	1316,2	156,7	*	*	*			N2O		
123.1218-6	20-23	1	20-11-13	13:35	325,4	193,7	42,5	103,7	272,7	32,3	1974,0	1977,0	1982,5	N2O	1977	36		
		2		13:40	339,0	195,3	42,5	108,1	275,0	32,3	1974,0	1977,5	1982,5			3 min purge		
125.2024-1	2,9-3,9	1	20-11-13	15:15	494,6	327,6	67,0	157,7	461,3	50,9	1978,5	1988,0	1986,0	N2O	1988	25		
		2		15:20	494,0	334,7	70,5	157,5	471,3	53,5	1978,0	1988,5	1986,5			3 min purge		
135.1443-1	16-17	1	19-11-13	09:20	6,4	1,3	0,0	2,0	1,8	0,0	1953,0	1945,5	<1959,5	H2S, CH4?	1953	60		
		2		09:25	3,2	11,0	0,0	1,0	15,5	0,0	1951,0	1954,0	<1959,5					
147.1001-2	10-12	1	20-11-13	17:20	8,4	30,3	2,5	2,7	42,6	1,9	1954,0	1961,5	1961,5	H2S, CH4?	1961	52		
		2		17:25	3,8	26,7	2,1	1,2	37,6	1,6	1951,5	1960,5	1960,5					
164.1253-1	42-56	1	19-11-13	12:45	4,1	63,1	330,4	1,3	88,8	250,9	1952,0	1966,5	*		1967	46		
		2		12:50	3,4	60,5	371,2	1,1	85,2	281,9	1951,5	1966,5	*					
164.1452-1	33-39	1	19-11-13	14:00	3,3	12,9	469,0	1,1	18,1	356,2	1951,5	1955,0	*		1956	57		
		2		14:05	3,6	16,7	591,7	1,1	23,5	449,3	1951,5	1957,0	*					

Alder af grundvand i overvågningsboringer (GRUMO) bestemt ved CFC-metoden

07-01-14

Boring DGU nr.	Dybde meter	Flaske Nr.	Udtaget Dato	Tid	Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet CFC-årstal for grundvandsdannelse			Bemærkninger	Skønnet årstal	alder	min	max
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113					
164. 1454-1	19-42	1	19-11-13	15:15	33,6	106,1	95,4	10,7	149,5	72,4	1960,0	1971,0	1989,0		1970	43		
		2		15:20	4,0	84,9	111,7	1,3	119,5	84,8	1951,5	1969,0	93.5/94.5					
198. 544-1	28,5-29	1	09-12-13	10:35	0,0	3,5	0,0	0,0	4,9	0,0	<1945	1948,0	<1959,5		1948	65		
		2		10:40	0,0	2,7	0,0	0,0	3,8	0,0	<1945	1947,5	<1959,5					
198. 690-1	12,5-13,5	1	22-11-13	09:50	876,9	457,8	91,9	279,6	644,7	69,8	1994,0	*)	1989,0	N2O		luft		
		2		09:55	884,5	455,4	92,3	282,0	641,2	70,1	ungt	*)	1989,0					
198. 693-1	10,2-11,2	1	22-11-13	11:45	2131,8	1289,2	77,2	679,7	1815,2	58,6	*)	*)	1987,0	N2O		F		
		2		11:50	2128,6	1281,1	77,5	678,7	1803,9	58,8	*)	*)	1987,5					
199. 1007-2	19,15-19,6	1	09-12-13	12:30	769,7	525,4	81,0	245,4	739,7	61,5	87.5/10	*)	1987,5	N2O	2010		3	35
		2		12:35	765,7	515,8	82,3	244,2	726,2	62,5	87.5/10	*)	1988,0					
200. 3703-1	70-75	1	22-11-13	14:45	11,2	37,7	551,8	3,6	53,1	419,0	1954,5	1963,0	*)		1963	50		
		2		14:50	9,8	37,5	552,7	3,1	52,8	419,7	1954,5	1963,0	*)					
200. 3703-2	48-50	1	22-11-13	13:55	11,1	78,2	204,1	3,5	110,1	155,0	1954,5	1968,5	*)		1968	45		
		2		14:00	10,9	74,7	214,4	3,5	105,2	162,8	1954,5	1968,0	*)					
207. 3003-1	9,6-11,6	1	23-11-13	10:15	1978,9	438,6	65,6	631,0	617,6	49,8	*)	*)	1986,0	N2O		luft		
		2		10:20	1982,1	438,2	70,2	632,0	617,0	53,3	*)	*)	1986,5					
217. 1190-1	40,6-41,6	1	04-12-13	11:50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5		1940	73		
		2		11:55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5					
217. 1190-2	21-22	1	04-12-13	12:45	0,0	0,0	106,1	0,0	0,0	80,5	<1945	<1940	91.0/05		1940	73		
		2		12:50	0,5	0,0	109,9	0,2	0,0	83,5	1947,5	<1940	92.0/02					
220. 686-1	30-40	1	04-12-13	09:40	3,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1951,0	<1940	<1959,5		1940	73		
		2		09:45	3,2	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1951,5	<1940	<1959,5					
222. 647-1	9-10	1	04-12-13	17:00	6,0	1,5	0,0	1,9	2,1	0,0	1953,0	1945,5	<1959,5		1945	68		
		2		17:05	2,6	0,7	0,0	0,8	1,0	0,0	1950,5	1943,5	<1959,5					
222. 648-1	26,2-27,2	1	04-12-13	14:35	0,3	0,2	0,0	0,1	0,3	0,0	1946,5	<1940	<1959,5		1941	72		
		2		14:40	0,4	0,4	0,0	0,1	0,6	0,0	1947,0	1941,0	<1959,5					
222. 648-2	13-14	1	04-12-13	15:40	544,4	344,5	28,4	173,6	485,1	21,5	1980,0	1989,5	1979,5	N2O	1990	23		
		2		15:45	563,5	357,5	34,0	179,7	503,4	25,9	1981,0	1991,0	1980,5					
227. 250-1	33-35	1	03-12-13	16:50	2,7	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	1950,5	<1940	<1959,5		1940	73		
		2		16:55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5					
233. 331-2	23-27	1	03-12-13	14:50	0,9	0,4	0,0	0,3	0,5	0,0	1948,5	1941,0	<1959,5		1941	72		
		2		14:55	1,4	0,4	0,0	0,4	0,5	0,0	1949,5	1941,0	<1959,5					
237. 616-1	14-15	1	03-12-13	13:15	0,1	1,2	1,5	0,0	1,6	1,2	<1945	1945,0	<1959,5	bred F113	1943	70		
		2		13:20	0,6	0,4	1,8	0,2	0,5	1,3	1947,5	1941,0	<1959,5					
241. 208-1	12,1-13,7	1	03-12-13	12:05	2,4	0,0	1,0	0,8	0,0	0,7	1950,5	<1940	<1959,5		1944	69		
		2		12:10	2,2	1,2	0,6	0,7	1,7	0,5	1950,5	1945,0	<1959,5					
242. 347-1	32,5-33,5	1	03-12-13	10:50	12,0	24,2	0,0	3,8	34,0	0,0	1955,0	1959,5	<1959,5	bred F113	1959	54		
		2		10:55	10,0	19,5	0,0	3,2	27,5	0,0	1954,5	1958,0	<1959,5					
242. 347-3	16,1-17,1	1	03-12-13	11:35	2,7	2,6	0,0	0,9	3,6	0,0	1950,5	1947,0	<1959,5	bred F113	1947	66		
		2		11:40	1,9	2,6	9,3	0,6	3,6	7,0	1950,0	1947,0	1971,0					
244. 621-1	29,5-33,5	1	10-12-13	10:50	6,9	2,6	0,0	2,2	3,6	0,0	1953,0	1947,0	<1959,5		1946	67		
		2		10:55	2,1	1,5	0,0	0,7	2,1	0,0	1950,0	1945,5	<1959,5					
245. 213-1	7,5-13,5	1	10-12-13	12:50	581,9	383,4	53,2	185,5	539,9	40,4	1982,0	97/07	1984,0	N2O	2008	5	5	17
		2		12:55	602,9	381,2	54,3	192,2	536,7	41,2	1982,5	96/08	1984,5					
246. 802-3	4,5-8,5	1	10-12-13	09:35	732,3	386,9	90,8	233,5	544,8	69,0	1986,5	99/05	1988,5	3 min purge	2006	7	7	15
		2		09:40	741,9	385,1	90,2	236,5	542,3	68,5	87/12	98/06	1988,5					

Bilag 4

GRUMO - Pesticider og nedbrydningsprodukter, 2013.

Antal analyser og antal indtag analyseret for pesticider og metabolitter i 2013.

Stoffer markeret med kursiv er pesticider og nedbrydningsprodukter som første gang er analyseret i 2011. Under de nye stoffer er vist, om stofferne er forbudte eller godkendte.

Grundvandsovervågning 2013 Stof	Analyser			Indtag analyseret			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1 µg/l	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
2,6-Dichlorbenzamid	514	87	25	514	87	25	12,1	4,9	1,9	0,123	0,042
DEIA	514	67	11	514	67	11	10,9	2,1	0,2	0,046	0,024
Atrazin, desisopropy	514	35		514	35		6,8		0,056	0,023	0,017
Metribuz-desam-diket	514	22	7	514	22	7	2,9	1,4	1,1	0,131	0,060
CGA 62826	48	2		48	2		4,2		0,04	0,026	0,026
Atrazin, desethyl-	514	21	3	514	21	3	3,5	0,6	0,3	0,064	0,024
Bentazon	514	14	4	514	14	4	1,9	0,8	0,23	0,074	0,047
Atrazin	514	14	2	514	14	2	2,3	0,4	0,22	0,049	0,020
2,6-dichlorebnzosyre	514	11		514	11		2,1		0,078	0,028	0,018
Metalaxyl-M	48	1		48	1		2,1		0,024	0,024	0,024
Mechlorprop	514	10	5	514	10	5	1,0	1,0	2,1	0,305	0,081
Metribuzin-diketo	514	10	2	514	10	2	1,6	0,4	0,16	0,054	0,027
Dichlorprop	514	10	1	514	10	1	1,8	0,2	0,68	0,092	0,021
Didealk.-hydr.atraz.	514	8	2	514	8	2	1,2	0,4	0,12	0,056	0,039
Hexazinon	514	8	1	514	8	1	1,4	0,2	0,2	0,042	0,017
Simazin	514	7	2	514	7	2	1,0	0,4	0,12	0,058	0,033
2,6-DCPP	514	6		514	6		1,2		0,078	0,033	0,025
Glyphosat	514	5	1	514	5	1	0,8	0,2	0,39	0,107	0,022
PPU (IN70941)	514	5		514	5		1,0		0,056	0,031	0,026
4CPP,2-(4-Chlorpheno	514	4	2	514	4	2	0,4	0,4	2,2	0,593	0,077
Deeth.-hydr.-atrazin	514	4		514	4		0,8		0,066	0,037	0,036
AMPA	514	4		514	4		0,8		0,08	0,045	0,042
Metribuzin	514	3	1	514	3	1	0,4	0,2	0,12	0,055	0,022
Trichloreddikesyre	514	2		514	2		0,4		0,092	0,054	0,054
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	514	2		514	2		0,4		0,012	0,011	0,011
Hydroxyterbutylazin	514	1		514	1		0,2		0,015	0,015	0,015
CyPM	514	1		514	1		0,2		0,011	0,011	0,011
4-Nitrophenol	514			514							
CGA 108906	48			48							
Cl153815	514			514							
Delsopr.-hydr.atraz.	514			514							
Dichlobenil	514			514							
Picolinafen	514			514							
PPU-desamino (IN70942)	514			514							

Bilag 5

GRUMO - Pesticider og nedbrydningsprodukter, 1990 til 2013.

Antal analyser og antal indtag analyseret for pesticider og metabolitter gennem hele monitoringsperioden, 1990 til 2013

Grundvandsovervågning 1990- 2013 Stof	analyser			indtag			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01 – 0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
2,6-Dichlorbenzamid	12835	2071	689	1636	337	133	12,5	8,1	43	0,396	0,060
DEIA	10737	1097	247	1564	223	59	10,5	3,8	1,3	0,102	0,044
Atrazin, desisopropy	12640	822	92	1631	178	27	9,3	1,7	0,84	0,062	0,030
4-Nitrophenol	10651	160	9	1558	135	9	8,1	0,6	0,49	0,040	0,022
Atrazin, desethyl-	12651	704	102	1632	124	23	6,2	1,4	5,5	0,147	0,034
Didealk.-hydr.atraz.	2413	92	10	914	67	9	6,3	1,0	0,92	0,060	0,027
Bentazon	12668	360	80	1633	113	32	5,0	2,0	2,8	0,143	0,035
Glyphosat	10949	128	26	1568	100	22	5,0	1,4	4,7	0,150	0,023
Atrazin	15971	486	70	1761	94	22	4,1	1,2	19,9	0,467	0,037
Metribuz-desam-diket	6681	219	74	1357	69	26	3,2	1,9	2,8	0,163	0,070
Trichloreddikesyre	9466	95	29	1502	73	18	3,7	1,2	17	0,578	0,030
Dichlorprop	15988	365	151	1758	83	24	3,4	1,4	370	5,560	0,035
Metribuzin-desamino	119	5	2	112	5	2	2,7	1,8	8,8	1,830	0,065
AMPA	10938	99	22	1568	67	17	3,2	1,1	9,1	0,298	0,028
CGA 62826	48	2		48	2		4,2		0,04	0,026	0,026
Delsopr.-hydr.atraz.	2385	50	2	914	38	2	3,9	0,2	0,32	0,035	0,020
Mechlorprop	15979	271	93	1759	72	18	3,1	1,0	7,6	0,287	0,036
Metribuzin-diketo	6800	183	48	1359	49	13	2,6	1,0	3,6	0,157	0,042
Simazin	15831	194	25	1757	50	8	2,4	0,5	0,51	0,061	0,023
4CPP,2-(4-Chlorpheno	7022	98	44	1391	36	12	1,7	0,9	15	0,541	0,033
2,6-dichlorebnzosyre	6950	108	14	1370	33	5	2,0	0,4	0,3	0,055	0,026
MCPA	11512	71	23	1526	36	6	2,0	0,4	1,6	0,105	0,026
Ethylentiurea	4288	28	6	961	22	3	2,0	0,3	2,67	0,179	0,023
Deeth.-hydr.-atrazin	2385	36	2	914	20	1	2,1	0,1	0,29	0,040	0,020
Hexazinon	12625	149	42	1631	34	7	1,7	0,4	1,8	0,131	0,030
Metalaxyl-M	48	1		48	1		2,1		0,024	0,024	0,024
Atrazin, hydroxy-	7496	47	1	1353	27	1	1,9	0,1	0,78	0,061	0,030
Metribuzin	11365	86	20	1588	25	9	1,0	0,6	3,7	0,272	0,050
Clopyralid	177	2	2	66	1	1	0,0	1,5	0,12	0,120	0,120
2CPP, 2-(2-Chlorphen	153	1		66	1		1,5		0,01	0,010	0,010
Dinoseb	11518	30	5	1521	23	4	1,2	0,3	0,6	0,079	0,029
2,4_D	10463	22	4	1472	21	3	1,2	0,2	2,8	0,177	0,020
Pendimethalin	7854	19	1	1368	19	1	1,3	0,1	8,39	0,460	0,016
Dichlobenil	11633	36	4	1612	22	2	1,2	0,1	0,36	0,061	0,030
Terbutylazin	8224	20		1395	18		1,3		0,07	0,026	0,020
2,6-DCPP	7142	71	26	1395	17	8	0,6	0,6	2,4	0,359	0,051

Grundvandsovervågning 1990- 2013 Stof	analyser			indtag			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01 – 0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
desethylterbuthylazi	6468	15		1304	14		1,1		0,096	0,025	0,019
DNOC	11521	16	3	1520	16	3	0,9	0,2	0,294	0,054	0,020
Maleinhydrazid	2921	8	3	893	8	3	0,6	0,3	0,25	0,075	0,025
Diuron	7473	17		1349	12		0,9		0,07	0,024	0,020
PPU (IN70941)	1863	13		838	7		0,8		0,084	0,037	0,023
Dalapon	3947	7		969	7		0,7		0,026	0,019	0,020
Bromoxynil	4530	5		1001	5		0,5		0,09	0,033	0,020
Triadimenol	390	1		202	1		0,5		0,01	0,010	0,010
hydroxysimazin	5728	9	3	1254	6	1	0,4	0,1	0,17	0,046	0,020
Cyanazin	5810	5		1072	5		0,5		0,05	0,032	0,030
Hydroxyterbuthylazin	4260	9		1235	5		0,4		0,05	0,023	0,017
Chloridazon	4506	4	1	1002	4	1	0,3	0,1	0,13	0,059	0,043
Propiconazol	4534	4		1002	4		0,4		0,034	0,020	0,017
Metamitron	7815	4		1370	4		0,3		0,054	0,029	0,026
Isoproturon	8182	7	1	1390	4	1	0,2	0,1	0,635	0,175	0,028
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	1863	4		838	2		0,2		0,021	0,017	0,017
Metsulfuron methyl	3999	2		960	2		0,2		0,03	0,025	0,025
hydroxycarbofuran	4140	2	1	975	2	1	0,1	0,1	0,15	0,110	0,110
Ethofumesat	4275	2		982	2		0,2		0,03	0,020	0,020
Fenpropimorph	4486	2		1001	2		0,2		0,03	0,025	0,025
Lenacil	4319	7		1002	2		0,2		0,084	0,065	0,065
Dimethoat	5482	2		1054	2		0,2		0,06	0,040	0,040
CyPM	1863	1		838	1		0,1		0,011	0,011	0,011
Picolinafen	1863	1		838	1		0,1		0,016	0,016	0,016
Cl153815	1863	1		838	1		0,1		0,012	0,012	0,012
Chlorsulfuron	3975	1		960	1		0,1		0,033	0,033	0,033
Carbofuran	5003	1		1015	1		0,1		0,01	0,010	0,010
2-(2,6-dich.ph)props	4			3							
2,3,6-TCBA	176			66							
2,4,5-T	207			71							
2,4,5-Trichlorphenol	196			144							
2,4-DB	167			65							
2,6-D	176			66							
2-6 MCPA	19			17							
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	3			2							
2CPA, 2-Chlorphenoxy	60			59							
2-M-4,6-DCPA	176			66							
2-M-4,6-DCPP	201			67							
2-M-6-CPA	176			66							
Alachlor	298			197							

Grundvandsovervågning 1990- 2013 Stof	analyser			indtag			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01 – 0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Aldicarb	25			25							
Aldrin	25			25							
Benazolin-ethyl	184			70							
Bromacil	25			25							
Bromophos	33			30							
Bromophos-ethyl	25			25							
Carbofenotion	25			25							
CGA 108906	48			48							
Chlordan	25			25							
Chlorfenvinphos	25			25							
Chlorpyrifos	201			67							
Cycloat	25			25							
DDD, o,p-	25			25							
DDD, p,p-	25			25							
DDE (sum o,p+p,p)	25			25							
DDE, o,p-	25			25							
DDE, p,p-	24			24							
DDT (sum o,p+p,p)	25			25							
DDT, o,p-	25			25							
DDT, p,p-	24			24							
Diazinon	201			67							
Dicamba	395			205							
Dieldrin	25			25							
Dinoterb	176			66							
Endosulfan, alpha	25			25							
Endosulfan, beta	25			25							
Endrin	25			25							
Esfenvalerat	25			25							
Fenitrothion	25			25							
Fenvalerat	25			25							
Flamprop	180			66							
Flamprop-M-isopropyl	5			5							
Fluazifop	188			72							
Fluazifop-butyl	171			159							
Fonofos	25			25							
HCH-alfa	25			25							
HCH-beta	25			25							
HCH-delta	25			25							
Heptachlor	25			25							
Heptachlorreoxid	25			25							
Heptenophos	3			3							

Grundvandsovervågning 1990- 2013 Stof	analyser			indtag			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01 – 0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Hexachlorbenzen	25			25							
Imazalil	1			1							
Ioxynil	4539			1002							
Lindan	25			25							
Linuron	1204			560							
Malathion	25			25							
MCPB	201			67							
Metazachlor	401			257							
Methabenzthiazuron	364			205							
Methomyl	78			71							
Metolachlor	25			25							
Mirex	25			25							
Omethoat	104			57							
Parathion	239			183							
Parathion-methyl	25			25							
Phenmedipham	92			92							
Pirimicarb	4459			986							
PPU-desamino (IN70942)	1863			838							
Prochloraz	220			95							
Prometryn	29			29							
Propazin	155			146							
Propyzamid	414			208							
Sebutylazin	91			91							
Terbacil	25			25							
Thifensulfuron methy	12			10							
Triadimefon	3			3							
Triallat	3			3							
Triasulfuron	12			10							
Trifluralin	4			3							

Bilag 6, Vandværksboringer på aktive vandværker i 2013.

Antal analyser og antal indtag analyseret for pesticider og metabolitter.

Vandværkernes boringskontrol Aktive boringer undersøgt i 2013 Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
2,6-Dichlorbenzamid	1905	471	65	1685	311	41	16,0	2,4	1,1	0,062	0,031
Azoxystrobin	73	2		72	2		2,8		0,014	0,012	0,012
DEIA	1568	34	5	1537	32	5	1,8	0,3	0,17	0,042	0,021
Bentazon	1596	39	8	1550	31	2	1,9	0,1	1,1	0,086	0,020
Mechlorprop	1625	35		1560	27		1,7		0,098	0,030	0,027
Hexazinon	1571	24	3	1540	24	3	1,4	0,2	0,29	0,047	0,022
Dichlorprop	1619	31	5	1558	24	4	1,3	0,3	0,25	0,046	0,022
2,6-dichlorebnzosyre	1453	18		1421	17		1,2		0,06	0,029	0,026
Hydroxyterbuthylazin	111	1		103	1		1,0		0,012	0,012	0,012
Metribuzin-desamino-	1360	14		1328	11		0,8		0,08	0,029	0,021
Atrazin, desisopropy	1573	12		1542	12		0,8		0,023	0,014	0,014
4CPP,2-(4-Chlorpheno	1606	18	1	1545	11	1	0,6	0,1	0,2	0,057	0,037
Atrazin, desethyl-	1582	14	4	1545	8	2	0,4	0,1	0,15	0,058	0,023
2,6-DCPP	1586	12		1539	6		0,4		0,041	0,024	0,018
Atrazin, hydroxy-	1575	8		1542	5		0,3		0,029	0,020	0,020
4-Nitrophenol	1563	4		1533	4		0,3		0,041	0,018	0,011
Glyphosat	1581	4	2	1542	4	2	0,1	0,1	0,13	0,063	0,056
hydroxysimazin	1561	6		1532	3		0,2		0,077	0,040	0,024
Deethyl-hydroxy-atrazin	1448	2		1419	2		0,1		0,038	0,036	0,036
Diuron	1491	2		1462	2		0,1		0,024	0,018	0,018
Ethylentiurea	1497	3		1468	2		0,1		0,085	0,072	0,072
Simazin	1569	2		1539	2		0,1		0,025	0,018	0,018
Atrazin	1571	2		1541	2		0,1		0,027	0,025	0,025
AMPA	1581	2		1542	2		0,1		0,068	0,047	0,047
MCPA	1591	2		1543	2		0,1		0,052	0,046	0,046
2,4_D	1591	2		1543	2		0,1		0,022	0,019	0,019
Didealkyl-hydroxy-atrazin	1435	1	1	1406	1	1	0,0	0,1	0,2	0,200	0,200
Dichlobenil	1602			1562							
desethylterbuthylazi	1568			1537							
Metribuzin	1456			1428							
Deisopropyl-hydroxyatrazin	1448			1419							
Metribuzin-diketo	1357			1328							
Metribuzin-desamino	1355			1327							
Terbuthylazin	148			138							
Dinoseb	116			108							
Isoproturon	116			108							
Metamitron	114			106							
DNOC	114			106							
2,4,5-T	29			16							
2CPP, 2-(2-Chlorphen	27			14							
2CPA, 2-Chlorphenoxy	27			14							
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	27			14							
Linuron	15			15							
Pendimethalin	14			13							

Vandværkernes boringskontrol Aktive boringer undersøgt i 2013 Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
fluazifop-p-butyl	9			9							
Propyzamid	9			9							
Bifenox	6			6							
TFMP	6			6							
Chloridazon	6			6							
Cyanazin	6			6							
Dimethoat	6			6							
Ethofumesat	6			6							
Pirimicarb	6			6							
Metamitron-desamino	6			6							
Trichloreddikesyre	6			6							
Tebuconazol	6			6							
CyPM	6			6							
Picolinafen	6			6							
CI153815	6			6							
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	6			6							
PPU (IN70941)	6			6							
PPU-desamino (IN70942)	6			6							
Bifenox-syre	6			6							
Rimsulfuron	6			6							
Dicamba	3			3							
Methabenzthiazuron	3			3							
Trifluralin	3			3							
3-Chlorphenol	2			2							
Lenacil	2			2							
Propazin	2			2							
2,4,5-trichlorphenol	2			2							
Desphenyl-chloridazon	2			2							
Dalapon	1			1							
loxynil	1			1							

Bilag 7.

Vandværksboringer på aktive vandværker, hele monitoringsperioden.

Antal analyser og antal indtag analyseret for pesticider og metabolitter gennem hele monitoringsperioden fra 1992 til 2013.

Vandværkernes BoringsKontrol 1992- 2013, aktive indtag Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
2,6-Dichlorbenzamid	27737	6485	1169	6177	1202	241	15,56	3,90	95	0,285	0,038
Bentazon	23080	388	44	6163	179	22	2,55	0,36	2,5	0,077	0,021
Mechlorprop	25797	534	26	6175	145	11	2,17	0,18	0,63	0,057	0,025
Dichlorprop	25752	394	47	6175	124	11	1,83	0,18	0,6	0,047	0,023
Atrazin	25294	259	9	6172	108	9	1,60	0,15	65	0,663	0,019
Atrazin, desethyl-	23008	256	21	6163	94	5	1,44	0,08	0,82	0,038	0,020
Hexazinon	23086	347	61	6163	89	8	1,31	0,13	130	1,509	0,030
Atrazin, desisopropy	22898	207	3	6163	87	2	1,38	0,03	0,35	0,026	0,019
DEIA	3778	88	6	3233	63	6	1,76	0,19	0,17	0,039	0,027
Simazin	25286	84	6	6174	46	2	0,71	0,03	0,321	0,028	0,017
MCPA	25386	99	15	6174	45	8	0,60	0,13	2,4	0,112	0,034
Dichlobenil	18197	44	3	6024	43	3	0,66	0,05	1,1	0,050	0,010
4CPP,2-(4-Chlorpheno	6448	124	25	3786	40	8	0,85	0,21	0,43	0,062	0,037
Atrazin, hydroxy-	21611	80	5	6152	35	4	0,50	0,07	0,22	0,041	0,031
2,6-dichlorebnzosyre	3617	35	0	3053	30		0,98		0,082	0,028	0,023
Metribuzin-desamino-	3327	35	1	2850	25	1	0,84	0,04	0,18	0,033	0,025
4-Nitrophenol	3957	23	0	3266	22		0,67		0,041	0,017	0,014
Diuron	10202	28	2	4727	18	2	0,34	0,04	0,46	0,051	0,026
Pendimethalin	19175	19	0	5975	17		0,28		0,04	0,020	0,020
DNOC	21972	18	2	6010	17	2	0,25	0,03	30	1,788	0,013
2,6-DCPP	5397	33	0	3632	16		0,44		0,072	0,028	0,026
Dinoseb	21968	16	0	6011	16		0,27		0,089	0,019	0,010
Glyphosat	4603	14	2	3373	14	2	0,36	0,06	0,13	0,043	0,035
Isoproturon	19513	14	0	5980	13		0,22		0,057	0,020	0,020
2,4_D	25106	13	1	6174	13	1	0,19	0,02	0,3	0,039	0,015
Didealkyl-hydroxy-atrazin	3245	14	1	2956	12	1	0,37	0,03	0,2	0,040	0,028
Terbutylazin	18654	13	0	5837	12		0,21		0,05	0,016	0,011
Cyanazin	19304	12	0	5974	11		0,18		0,046	0,019	0,014
Metamitron	19396	8	1	5981	8	1	0,12	0,02	0,17	0,045	0,043
AMPA	4603	7	1	3378	7	1	0,18	0,03	0,79	0,135	0,068
Ethylentiurea	3370	7	1	3052	5	1	0,13	0,03	0,58	0,149	0,149
Deisopropyl-hydroxyatrazin	3257	5	0	2970	5		0,17		0,091	0,032	0,032
Azoxystrobin	195	4	0	164	4		2,44		0,014	0,013	0,014
hydroxysimazin	4040	36	9	3266	4	2	0,06	0,06	0,39	0,154	0,272
Linuron	6672	4	2	3256	4	2	0,06	0,06	10	2,581	2,291
Malathion	141	3	2	53	3	2	1,89	3,77	0,42	0,242	0,420
Deethyl-hydroxy-atrazin	3254	4	0	2967	3		0,10		0,038	0,027	0,034
Dimethoat	19202	3	0	5974	3		0,05		0,01	0,010	0,010
Bromophos-methyl	18	4	1	12	2	1	8,33	8,33	0,37	0,200	0,370
Aldicarb	30	2	0	29	2		6,90		0,02	0,020	0,020
Hydroxyterbutylazin	2330	11	1	985	2	1	0,10	0,10	0,112	0,061	0,112

Vandværkernes BoringsKontrol 1992- 2013, aktive indtag Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
desethylterbutylazi	4861	2	0	3469	2		0,06		0,02	0,015	0,018
Urea, CH4N2O	22	1	1	13	1	1	0,00	7,69	0,23	0,230	0,230
Diazinon	62	1	0	55	1		1,82	0,00	0,02	0,020	0,020
DICHLORVOS	129	1	0	45	1		2,22		0,011	0,011	0,011
Chlorsulfuron	283	1	0	181	1		0,55		0,01	0,010	0,010
Alachlor	484	1	0	377	1		0,27		0,01	0,010	0,010
Fenpropimorph	810	1	0	534	1		0,19		0,034	0,034	0,034
Trifluralin	1041	1	0	391	1		0,26		0,022	0,022	0,022
Dicamba	1292	1	0	629	1		0,16		0,085	0,085	0,085
Propyzamid	1514	1	0	729	1		0,14		0,015	0,015	0,015
2-(2,6-dich.ph)props	418			261							
2,3,6-TBA	25			25							
2,3,6-TCBA	78			65							
2,4,5-T	1142			503							
2,4,5-trichlorphenol	156			141							
2,4-DB	78			73							
2,6-D	98			73							
2-6 MCPA	27			25							
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	216			146							
2CPA, 2-Chlorphenoxy	201			138							
2CPP, 2-(2-Chlorphen	314			216							
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	29			29							
2-M-4,6-DCPA	102			74							
2-M-4,6-DCPP	112			76							
2-M-6-CPA	103			75							
3-Chlorphenol	7			5							
Aldrin	13			4							
Amidosulfuron	13			13							
Azinphos-ethyl	12			4							
Azinphos-methyl	17			9							
Benazolin	14			13							
Benazolin-ethyl	107			87							
Bifenox	22			22							
Bifenox-syre	6			6							
Bromacil	38			29							
Bromoxynil	818			512							
Carbofuran	1497			1058							
Chloridazon	1748			828							
Chlormefos	1			1							
Chlormequat-chlorid	39			39							
Chlorothalonil	2			1							
Chlorpyrifos	56			49							
Chlorpyrifos-methyl	1			1							
Cl153815	29			29							
Clomazon	13			13							
Clopyralid	149			84							
Cypermethrin	4			4							
CyPM	29			29							

Vandværkernes BoringsKontrol 1992- 2013, aktive indtag Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
Dalapon	22			12							
DDE	10			3							
DDE, o,p-	9			3							
DDE, p,p-	1			1							
DDT	12			5							
DDT, o,p-	9			3							
DDT, p,p-	1			1							
Desmedipham	6			3							
Desphenyl-chloridazon	2			2							
Dibenzofuran	7			5							
Dieldrin	14			5							
Dinoterb	102			95							
Disulfoton	1			1							
Endosulfan	21			17							
Endosulfan, alpha	15			5							
Endosulfan, beta	15			5							
Endrin	13			4							
Esfenvalerat	123			45							
Ethion	1			1							
Ethofumesat	685			394							
Fenitrothion	11			3							
Flamprop	89			70							
Flamprop-M-isopropyl	91			53							
Fluazifop	69			57							
Fluazifop-butyl	209			194							
fluazifop-p-butyl	273			157							
Fluroxypyr	29			29							
Hexachlorbenzen	6			3							
hydroxycarbofuran	383			227							
Imazalil	16			15							
ioxynil	858			548							
ISODRIN	11			3							
Isoxaben	23			23							
Lenacil	509			328							
Lindan	29			19							
Maleinhydrazid	4			3							
MCPB	79			59							
Mecarban	1			1							
Metamitron-desamino	36			32							
Metazachlor	577			381							
Methabenzthiazuron	1364			611							
Methomyl	87			87							
METOXURON	142			56							
Metribuzin	4310			3272							
Metribuzin-desamino	3064			2789							
Metribuzin-diketo	3316			2847							
Metsulfuron methyl	272			171							
Mevinphos	11			4							

Vandværkernes BoringsKontrol 1992- 2013, aktive indtag Stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
Omethoat	167			84							
Parathion	161			79							
Parathion-methyl	15			6							
Permethrin	3			2							
Phenmedipham	299			237							
Picolinafen	29			29							
Pirimicarb	880			548							
Pirimicarb-desmethyl	7			3							
Pirimiphos-methyl	1			1							
PPU (IN70941)	29			29							
PPU-desamino (IN70942)	29			29							
Prochloraz	363			200							
Prometon	2			1							
Prometryn	3			3							
Propachlor	132			46							
Propazin	330			284							
Propiconazol	955			607							
Propoxur	32			27							
Prosulfocarb	13			13							
Rimsulfuron	42			30							
Sulfotep	1			1							
Tebuconazol	29			29							
Tetrasul	15			13							
TFMP	29			29							
Thifensulfuron methy	128			49							
thiram	6			3							
Tolyfluanid	2			1							
Triadimefon	25			24							
Triadimenol	458			282							
Tri-allat	25			24							
Triasulfuron	3			3							
Tribenuron methyl	11			11							
Trichloreddikesyre	259			143							
Vinclozolin	2			1							

Bilag 8.

Andre Analyser, 2013.

Andre analyser indeholder analyser fra nedlagte vandværksboringer, andre monitoringsboringer, små private vandforsyninger, forureningsundersøgelser mm. Pesticider og metabolitter fra 2013.

Andre analyser Analyser fra 2012 stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middele	median
2,6-Dichlorbenzamid	1293	331	133	1107	266	112	13,9	10,1	10	0,428	0,070
Chlorthiamid	89	71		89	71		79,8		0,01	0,010	0,010
DEIA	990	64	10	896	54	9	5,0	1,0	0,33	0,058	0,026
Bentazon	1229	62	25	1077	55	24	2,9	2,2	29	1,281	0,066
AMPA	1158	61	12	1054	61	12	4,6	1,1	20	0,718	0,037
Dichlorprop	1233	58	20	1078	47	18	2,7	1,7	280	6,783	0,054
Mechlorprop	1237	57	21	1081	52	20	3,0	1,9	1200	25,706	0,044
Atrazin, desethyl-	1165	57	11	1055	46	8	3,6	0,8	0,37	0,055	0,026
4CPP,2-(4-Chlorpheno	1222	52	23	1069	34	20	1,3	1,9	690	24,400	0,140
Atrazin, hydroxy-	1157	52	11	1056	49	11	3,6	1,0	0,78	0,097	0,035
Atrazin, desisopropy	1167	52	3	1061	50	3	4,4	0,3	0,13	0,038	0,030
Glyphosat	1159	48	9	1054	47	9	3,6	0,9	3,9	0,175	0,040
Atrazin	1172	46	11	1063	42	10	3,0	0,9	0,51	0,093	0,037
Simazin	1162	37	3	1057	36	3	3,1	0,3	0,27	0,039	0,020
4-Nitrophenol	1159	34	3	1053	31	3	2,7	0,3	0,25	0,047	0,028
Hexazinon	1173	32	6	1061	25	6	1,8	0,6	0,96	0,115	0,040
Desphenyl-chloridazon	196	29	11	177	27	11	9,0	6,2	24	2,203	0,074
Metribuzin-desamino-	593	18	4	537	18	4	2,6	0,7	0,21	0,059	0,047
MCPA	1178	17	4	1068	17	4	1,2	0,4	1,2	0,113	0,025
2,6-DCPP	1009	16	6	907	16	6	1,1	0,7	4	0,780	0,056
Ethylentiurea	919	13	6	840	13	6	0,8	0,7	6,1	0,764	0,049
desethylterbuthylazi	1148	12	1	1048	12	1	1,0	0,1	0,19	0,036	0,019
2,6-dichlorebnzosyre	968	12	1	877	11	1	1,1	0,1	0,63	0,095	0,056
Lenacil	97	9	3	97	9	3	6,2	3,1	0,13	0,064	0,058
Deethyl-hydroxy-atrazin	970	8		879	8		0,9		0,057	0,030	0,024
Isoproturon	230	7	3	201	7	3	2,0	1,5	2,1	0,361	0,085
Didealkyl-hydroxy-atrazin	968	6	2	877	6	2	0,5	0,2	15	2,613	0,068
Dinoseb	249	5	4	214	5	4	0,5	1,9	3,3	0,913	0,500
Metribuzin-diketo	592	5	2	537	5	2	0,6	0,4	0,1	0,056	0,038
Diuron	884	5	1	815	5	1	0,5	0,1	0,14	0,047	0,028
hydroxysimazin	990	5		896	5		0,6		0,029	0,021	0,020
2,4_D	1178	3		1068	3		0,3		0,077	0,035	0,017
Dichlobenil	1025	3		914	3		0,3		0,024	0,022	0,022
Terbuthylazin	227	2	1	199	2	1	0,5	0,5	0,13	0,072	0,072
Chloridazon	196	2		177	2		1,1		0,012	0,012	0,012

Andre analyser Analyser fra 2012 stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
Malathion	107	1	1	102	1	1	0,0	1,0	0,28	0,280	0,280
Propyzamid	98	1	1	98	1	1	0,0	1,0	0,15	0,150	0,150
Metamitron	131	1		121	1		0,8		0,077	0,077	0,077
Pirimicarb	98	1		98	1		1,0		0,023	0,023	0,023
DNOC	50	1		34	1		2,9		0,01	0,010	0,010
1-chlor-2nitrobenzen	1			1							
1-chlor-3nitrobenzen	1			1							
2,4,5-T	19			12							
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	5			3							
2CPA, 2-Chlorphenoxy	5			3							
2CPP, 2-(2-Chlorphen	5			3							
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	4			3							
4-CPA	5			3							
Aldrin	10			5							
Azinphos-methyl	97			97							
Azoxystrobin	72			58							
Bifenox-syre	1			1							
Captan	107			102							
Carbofuran	97			97							
Chlorothalonil	10			5							
CI153815	1			1							
Cyanazin	26			15							
CyPM	1			1							
DDD, p,p-	10			5							
DDE, p,p-	10			5							
DDT, p,p-	10			5							
Deisopropyl-hydroxyatrazin	971			879							
d-ethyl-parathion	107			102							
Dicamba	14			9							
Dieldrin	10			5							
Dimethoat	123			112							
Endosulfan, alpha	10			5							
Endosulfan, beta	10			5							
Endosulfansulfat	10			5							
Endrin	10			5							
Endrin aldehyd	10			5							
Endrin keton	10			5							
Ethofumesat	1			1							
fluazifop-p-butyl	1			1							
Heptachlor	10			5							
Heptachlorepoxyd	10			5							
Hexachlorbenzen	11			11							
Hydroxyterbutylazin	21			16							

Andre analyser Analyser fra 2012 stof	Analyser			Boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med Fund	≥ 0,1	antal	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1 µg/l	≥ 0,1	maks	middel	median
Ioxynil	1			1							
Lindan	10			5							
Linuron	114			109							
Metamitron-desamino	1			1							
Methoxychlor	10			5							
Metribuzin	445			394							
Metribuzin-desamino	430			380							
Mevinphos	97			97							
Parathion-methyl	10			5							
Pendimethalin	114			109							
Permethrin	10			5							
Picolinafen	1			1							
PPU (IN70941)	1			1							
PPU-desamino (IN70942)	1			1							
Prochloraz	97			97							
Prometryn	97			97							
Propachlor	97			97							
Quintozen	10			5							
Rimsulfuron	1			1							
Tolyfluanid	10			5							
Trichloreddikesyre	1			1							
Trifluralin	14			9							
Vinclozolin	10			5							

Bilag 9.

Andre Analyser, hele monitoringsperioden.

Andre analyser indeholder analyser fra nedlagte vandværksboringer, andre monitoringsboringer, små private vandforsyninger, forureningsundersøgelser mm. Pesticider og metabolitter i hele monitoringsperioden 1990 til 2013.

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
2,6-Dichlorbenzamid	23170	8362	3138	9604	2792	1315	15,4	13,7	71	0,455	0,089
Mechlorprop	22295	1307	524	10337	433	175	2,5	1,7	1900	7,438	0,057
Dichlorprop	22279	1356	486	10337	400	163	2,3	1,6	840	5,849	0,064
4CPP,2-(4-Chlorpheno	7036	730	354	3919	197	121	1,9	3,1	690	6,364	0,194
Atrazin	21234	1210	250	10295	639	167	4,6	1,6	30	0,246	0,040
Bentazon	18061	685	213	9140	391	130	2,9	1,4	89	0,653	0,050
Atrazin, desethyl-	17325	1040	191	9008	605	129	5,3	1,4	4,2	0,106	0,036
Atrazin, desisopropy	17399	992	153	9089	602	114	5,4	1,3	110	0,282	0,034
Ethylamino-parathion	161	124	124	109	92	92	0,0	84,4	18000	2725,203	1100,000
EOOSPS	162	106	106	109	78	78	0,0	71,6	58000	2262,526	200,000
Parathion	512	105	105	357	75	75	0,0	21,0	390000000	5369687,884	1700,000
EOOSPO	155	100	100	104	65	65	0,0	62,5	138000	7939,046	1000,000
Hexazinon	17627	377	98	9121	199	60	1,5	0,7	4,3	0,199	0,040
EEMOOSPS	154	94	94	105	66	66	0,0	62,9	250000	7830,256	1000,000
EEMOOSPO	156	90	90	105	62	62	0,0	59,0	122000	5975,387	700,000
Simazin	20897	780	88	10122	485	66	4,1	0,7	210	0,521	0,025
MCPA	21253	239	83	10306	154	68	0,8	0,7	33000	918,524	0,080
N-Phenylacetamid	168	82	82	49	32	32	0,0	65,3	20000	3722,581	1165,000
MMEOOSPS	155	79	79	105	57	57	0,0	54,3	13700	1094,754	500,000
Parathion-methyl	358	74	73	248	50	49	0,4	19,8	70000000	1449728,406	850,000
Sulfotep	301	76	69	181	44	43	0,6	23,8	690000	28900,105	200,000
4-Nitrophenol	3290	145	66	2502	125	49	3,0	2,0	427000	14799,822	0,037
Malathion	586	63	63	430	40	40	0,0	9,3	2000000	94311,560	800,000
AMPA	5159	224	55	3774	187	47	3,7	1,2	69,4	0,801	0,037
2,6-DCPP	4011	182	51	2645	80	20	2,3	0,8	75	2,647	0,042
Atrazin, hydroxy-	13857	243	43	7661	190	35	2,0	0,5	1,2	0,078	0,027
MOOOPS	153	38	38	106	26	26	0,0	24,5	6000	646,577	160,000
DEIA	3130	205	35	2314	163	27	5,9	1,2	4	0,091	0,033
Glyphosat	5244	161	34	3779	139	29	2,9	0,8	11,3	0,304	0,032
EEHOOPS	36	31	31	34	29	29	0,0	85,3	1000000	136475,862	19000,000
Diuron	9072	132	29	5442	85	18	1,2	0,3	1800	21,290	0,027
EEHOOSPS, EP-1	36	28	28	34	27	27	0,0	79,4	52000	9006,667	1900,000
2CPP, 2-(2-Chlorphen	726	159	25	347	39	8	8,9	2,3	10	0,344	0,050
2-6 MCPA	104	30	23	56	16	12	7,1	21,4	160	13,964	0,915
EEMOOPS	42	23	23	31	14	14	0,0	45,2	10000	1858,571	430,000

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Dichlobenil	14775	179	22	8108	141	19	1,5	0,2	2,8	0,092	0,025
MMHOOSPS, MP-1	24	21	21	22	19	19	0,0	86,4	180000	26043,684	3000,000
2,4_D	20636	106	19	10116	70	18	0,5	0,2	14	0,348	0,053
2-(2,6-dich.ph)props	389	56	19	269	28	10	6,7	3,7	18	0,940	0,047
MMHOOOPS	24	19	19	22	17	17	0,0	77,3	540000	101076,471	10000,000
desethylterbutylazi	4805	104	17	3210	77	13	2,0	0,4	1,6	0,082	0,025
d-met-MP3	43	17	17	28	12	12	0,0	42,9	31000	8021,667	5110,000
Isoproturon	15315	103	16	8070	65	12	0,7	0,1	2,1	0,101	0,033
Ethylentiurea	2545	46	16	2174	41	16	1,1	0,7	6,1	0,414	0,046
Iso-MP-1	18	15	15	16	13	13	0,0	81,3	16000	3147,692	2000,000
EHHOOOPS	24	13	13	22	12	12	0,0	54,5	850000	95300,000	20000,000
d-ethyl-parathion	202	12	12	174	9	9	0,0	5,2	190000	37621,111	18000,000
Terbutylazin	14280	107	11	7561	81	10	0,9	0,1	1,1	0,061	0,024
Dinoseb	18910	50	11	9245	42	10	0,3	0,1	3,3	0,248	0,033
Desphenyl-chloridazon	203	29	11	183	27	11	8,7	6,0	24	2,203	0,074
DNOC	18606	51	10	9045	45	8	0,4	0,1	17	0,465	0,025
EP-1-methylamid	18	9	9	16	8	8	0,0	50,0	360	115,425	31,000
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	492	62	8	237	19	2	7,2	0,8	0,35	0,057	0,020
Lenacil	1100	19	8	706	19	8	1,6	1,1	0,49	0,100	0,058
MMEOOOPS	41	8	8	31	7	7	0,0	22,6	300	55,143	11,000
Metribuzin-desamino-	1796	46	7	1428	38	7	2,2	0,5	0,21	0,061	0,052
2CPA, 2-Chlorphenoxy	526	17	7	232	9	4	2,2	1,7	0,675	0,158	0,069
Dibenzofuran	26	7	7	17	3	3	0,0	17,6	47	17,387	4,600
Cyanazin	14567	21	6	7706	19	4	0,2	0,1	99	5,259	0,031
Chloridazon	2023	10	6	1282	5	2	0,2	0,2	1,1	0,283	0,020
DEPAT	24	6	6	22	6	6	0,0	27,3	29	16,467	17,500
Didealkyl-hydroxy-atrazin	1897	20	5	1606	20	5	0,9	0,3	15	0,826	0,058
hydroxysimazin	2758	17	4	2065	16	3	0,6	0,1	1,3	0,126	0,024
Trichloreddikesyre	679	17	4	503	14	4	2,0	0,8	8	0,646	0,032
Dimethoat	14610	16	4	7815	14	3	0,1	0,0	5,7	0,441	0,022
2,6-dichlorebnzosyre	2394	32	3	1975	31	3	1,4	0,2	0,63	0,056	0,029
Clopyralid	286	15	3	190	3	2	0,5	1,1	0,26	0,170	0,160
Metribuzin-diketo	1857	14	3	1427	14	3	0,8	0,2	0,57	0,078	0,033
Hydroxyterbutylazin	1174	13	3	744	10	2	1,1	0,3	0,55	0,088	0,021
Pendimethalin	14170	31	2	7445	28	2	0,3	0,0	0,327	0,041	0,017
Deisopropyl-hydroxyatrazin	1952	8	2	1636	8	2	0,4	0,1	0,33	0,098	0,026
Metsulfuron methyl	1869	4	2	1038	4	2	0,2	0,2	0,11	0,069	0,074
Propiconazol	1656	4	2	1032	4	2	0,2	0,2	0,19	0,098	0,090
hydroxycarbofuran	679	2	2	429	1	1	0,0	0,2	0,23	0,230	0,230
Metamitron	14641	23	1	7817	22	1	0,3	0,0	0,21	0,042	0,022
Deethyl-hydroxy-atrazin	1919	14	1	1615	14	1	0,8	0,1	0,1	0,040	0,034
2,4,5-T	1094	5	1	689	4	1	0,4	0,1	0,138	0,060	0,044
Propyzamid	1469	5	1	1013	4	1	0,3	0,1	0,15	0,066	0,049

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal boringer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Ethofumesat	1260	3	1	735	3	1	0,3	0,1	0,173	0,081	0,050
Linuron	5147	2	1	3111	2	1	0,0	0,0	0,25	0,133	0,133
Dieldrin	183	1	1	129	1	1	0,0	0,8	3,3	3,300	3,300
Methylsulfotep	47	1	1	28	1	1	0,0	3,6	1	1,000	1,000
Chlorthiamid	89	71		89	71		79,8	0,0	0,01	0,010	0,010
2,3,6-TBA	37	8		13	2		15,4	0,0	0,028	0,025	0,025
loxynil	1616	4		1037	3		0,3	0,0	0,043	0,038	0,040
Metribuzin	3000	4		1986	3		0,2	0,0	0,063	0,031	0,020
Pirimicarb	1700	4		1088	4		0,4	0,0	0,023	0,017	0,017
Fenpropimorph	1466	3		864	3		0,3	0,0	0,085	0,059	0,081
Methabenzthiazuron	969	2		603	1		0,2	0,0	0,082	0,082	0,082
METOXURON	173	1		87	1		1,1	0,0	0,011	0,011	0,011
Bromacil	101	1		90	1		1,1	0,0	0,012	0,012	0,012
Chlorpyrifos-methyl	67	1		58	1		1,7	0,0	0,03	0,030	0,030
Dicamba	1084	1		768	1		0,1	0,0	0,02	0,020	0,020
Maleinhydrazid	175	1		115	1		0,9	0,0	0,04	0,040	0,040
Trifluralin	702	1		442	1		0,2	0,0	0,01	0,010	0,010
2,3,6-TCBA	126	1		112	1		0,9	0,0	0,05	0,050	0,050
Dinoterb	129	1		123	1		0,8	0,0	0,02	0,020	0,020
Carbofuran	3346	1		2239	1		0,0	0,0	0,04	0,040	0,040
4-CPA	130	1		56	1		1,8	0,0	0,011	0,011	0,011
1,2-dichl-4-nitrobnz	18			13							
1,4-dichl-2-nitrobnz	18			13							
1-chlor-2nitrobenzen	19			14							
1-chlor-3nitrobenzen	14			12							
2,4-DB	73			69							
2,6-D	136			116							
2,6-DCPA	48			29							
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	77			60							
2-M-4,6-DCPA	137			115							
2-M-4,6-DCPP	153			131							
2-M-6-CPA	137			115							
2-MPP	14			7							
2-Nitrophenol	21			21							
4-methoxy-N,6-dimeth	1232			632							
Alachlor	628			449							
Aldicarb	87			85							
Aldrin	161			107							
Amitrol	7			7							
Azinphos-ethyl	107			65							
Azinphos-methyl	242			198							
Azoxystrobin	166			135							
Benazolin	25			13							

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal borer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Benazolin-ethyl	249			198							
Bifenox-syre	5			5							
Bitertanol	11			10							
Bromophos	44			42							
Bromophos-ethyl	59			58							
Bromopropylat	40			40							
Bromoxynil	1451			928							
Bupirimat	40			40							
Captafol	40			40							
Captan	162			149							
Carbaryl	40			40							
Carbendazim	40			40							
Carbofenotion	15			14							
Chinomethionat	40			40							
Chlordan	15			14							
Chlorfenvinphos	79			78							
Chlormefos	45			45							
Chlormequat-chlorid	5			5							
Chlorothalonil	75			64							
Chlorpropham	40			40							
Chlorpyrifos	159			145							
Chlorsulfuron	639			407							
Cl153815	13			10							
Cyanofenphos	40			40							
Cycloat	15			14							
Cyfluthrin	40			40							
Cypermethrin	87			72							
CyPM	13			10							
Dalapon	369			258							
DDD (sum o,p,p,p)	13			12							
DDD, o,p-	35			29							
DDD, p,p-	113			94							
DDE	93			55							
DDE, o,p-	72			43							
DDE, p,p-	105			87							
DDT	94			56							
DDT, o,p-	112			83							
DDT, p,p-	105			87							
Deltamethrin	40			40							
Desmedipham	26			14							
Desmetryn	40			40							
Diazinon	263			213							
Dichlorfluandid	40			40							

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal borer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
DICHLORVOS	126			58							
Dicofol	21			21							
Diflufenican	22			17							
Dimetachlor	40			40							
Disulfoton	16			16							
Endosulfan	74			74							
Endosulfan, alpha	137			101							
Endosulfan, beta	137			101							
Endosulfansulfat	59			48							
Endrin	121			67							
Endrin aldehyd	35			24							
Endrin keton	35			24							
Esfenvalerat	280			189							
Ethion	48			48							
Fenamirof	21			21							
Fenchlorphos	43			43							
Fenitrothion	147			103							
Fenoxaprop	11			10							
Fenpropathrin	22			22							
Fenson	40			40							
Fenvalerat	76			75							
Flamprop	178			141							
Flamprop-M-isopropyl	105			73							
Fluazifop	206			157							
Fluazifop-butyl	200			162							
fluazifop-p-butyl	199			116							
Flucythrinat	40			40							
Fluroxypyr	37			36							
Fonofos	18			17							
Formothion	47			47							
HCH-alfa	58			57							
HCH-beta	18			17							
HCH-delta	16			15							
Heptachlor	53			41							
Heptachloreoxid	50			38							
Heptenophos	40			40							
Hexachlorbenzen	104			89							
Imazalil	44			44							
Imazapyr	11			10							
Iprodion	51			50							
irgarol 1051	11			10							
ISODRIN	68			26							
Isafenphos	40			40							

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal borer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Isoxaben	23			23							
Lindan	178			123							
MCPB	176			143							
Mecarban	41			41							
MERCAPTODIMETHUR	21			21							
Metalaxyl	44			44							
Metamitron-desamino	48			29							
Metazachlor	766			503							
Methidathion	43			43							
Methomyl	69			68							
Methoxychlor	75			64							
Metolachlor	15			14							
Metribuzin-desamino	950			775							
Mevinphos	210			170							
Mirex	15			14							
MP-1-methylamid	18			16							
Omethoat	154			106							
Permethrin	96			85							
Phenmedipham	320			231							
Phosalon	43			43							
Phosmet	40			40							
Phosphamidon	43			43							
Picolinafen	13			10							
Pirimicarb-desmethyl	42			23							
Pirimiphos-ethyl	18			16							
Pirimiphos-methyl	61			59							
PPU (IN70941)	13			10							
PPU-desamino (IN70942)	13			10							
Prochloraz	513			365							
Procymidon	40			40							
Promecarb	40			40							
Prometon	7			7							
Prometryn	140			137							
Propachlor	313			225							
Propazin	387			297							
Propham	40			40							
Propoxur	101			97							
Prosulfocarb	19			16							
Prothiofos	40			40							
Pyrazophos	40			40							
Pyrimidin	18			16							
Quinalphos	40			40							
Quinmerac	11			10							

Andre Analyser, Hele monitoringsperioden. 1990 til 2013. Stof	Analyser			Antal borer			Andel fund i %		Koncentration i µg/l		
	antal	Med fund	≥ 0,1	Analyseret	Med fund	≥ 0,1	0,01-0,1	≥ 0,1	maks	middel	median
Quintozen	35			24							
Rimsulfuron	11			11							
Sebutylazin	15			14							
Terbacil	55			54							
Terbutryn	40			40							
Tetrachlorvinfos	15			14							
Tetradifon	40			40							
Thiabendazol	40			40							
Thifensulfuron methy	97			51							
Tolclofos-methyl	40			40							
Tolyfluanid	75			64							
Triadimefon	53			51							
Triadimenol	662			427							
Tri-allet	78			45							
Triasulfuron	8			8							
Triazine amine	1232			632							
Triazophos	40			40							
Tribenuron methyl	11			10							
Vinclozolin	75			64							

Bilag 10.

Pesticidfund i 2013 for alle udførte analyser fra alle datakilder, dvs GRUMO, vandværksboringer og ”andre analyser”.

Bemærk nogle stoffer kan have meget høje fund % hvis der er mange analyser fra en specialundersøgelse

Alle data, sorteret efter antal analyser med fund.

2013 data Stof navn	STANDAT Stof nr.	antal alle analyser	antal >0,01 µg/l	antal >0,1 µg/l	% >0,01 µg/l	% >0,1 µg/l
2,6-Dichlorbenzamid	2712	3712	889	223	24%	6%
DEIA	0421	3072	165	26	5%	1%
Bentazon	9944	3339	115	37	3%	1%
Mechlorprop	4512	3376	102	26	3%	1%
Atrazin, desisopropy	3506	3254	99	3	3%	0%
Dichlorprop	4510	3366	99	26	3%	1%
Atrazin, desethyl-	3505	3261	92	18	3%	1%
4CPP,2-(4-Chlorpheno	0410	3342	74	26	2%	1%
Chlorthiamid	3172	89	71	0	80%	0%
AMPA	4536	3253	67	12	2%	0%
Hexazinon	3597	3258	64	10	2%	0%
Atrazin	4515	3257	62	13	2%	0%
Atrazin, hydroxy-	3507	2732	60	11	2%	0%
Glyphosat	3592	3254	57	12	2%	0%
Metribuzin-desamino-	3683	2467	54	11	2%	0%
Simazin	4516	3245	46	5	1%	0%
2,6-dichlorebnzosyre	4014	2935	41	1	1%	0%
4-Nitrophenol	3011	3236	38	3	1%	0%
2,6-DCPP	3548	3109	34	6	1%	0%
Desphenyl-chloridazon	4696	198	29	11	15%	6%
MCPA	4511	2769	19	4	1%	0%
Ethylentiurea	3573	2416	16	6	1%	0%
Metribuzin-diketo	3685	2463	15	4	1%	0%
Didealkyl-hydroxy-atrazin	3756	2917	15	5	1%	0%
Deethyl-hydroxy-atrazin	3754	2932	14	0	0%	0%
desethylterbutylazi	0422	2716	12	1	0%	0%
hydroxysimazin	0452	2551	11	0	0%	0%
Lenacil	3603	99	9	3	9%	3%
Diuron	2628	2375	7	1	0%	0%
Isoproturon	9945	346	7	3	2%	1%
Dinoseb	4514	365	5	4	1%	1%
PPU (IN70941)	4624	521	5	0	1%	0%

2,4_D	9943	2769	5	0	0%	0%
Dichlobenil	2627	3141	3	0	0%	0%
Metribuzin	3617	2415	3	1	0%	0%
Chloridazon	3528	202	2	0	1%	0%
Terbuthylazin	3655	375	2	1	1%	0%
Hydroxyterbuthylazin	4010	646	2	0	0%	0%
Trichloreddikesyre	4517	521	2	0	0%	0%
Azoxystrobin	4558	145	2	0	1%	0%
2-hydroxy-desethyl-terbutylazine	4623	524	2	0	0%	0%
CGA 62826	4719	48	2	0	4%	0%
Malathion	3140	107	1	1	1%	1%
Metamitron	3612	245	1	0	0%	0%
Pirimicarb	3631	104	1	0	1%	0%
Propyzamid	3646	107	1	1	1%	1%
DNOC	4513	164	1	0	1%	0%
CyPM	4620	521	1	0	0%	0%
Metalaxyl-M	4717	48	1	0	2%	0%
Endosulfansulfat	0314	10	0	0	0%	0%
Deisopropyl-hydroxyatrazin	3755	2933	0	0	0%	0%
Metribuzin-desamino	3684	1785	0	0	0%	0%
Picolinafen	4621	521	0	0	0%	0%
CI153815	4622	521	0	0	0%	0%
PPU-desamino (IN70942)	4625	521	0	0	0%	0%
Dimethoat	3563	129	0	0	0%	0%
Linuron	3605	129	0	0	0%	0%
Pendimethalin	3625	128	0	0	0%	0%
Captan	3518	107	0	0	0%	0%
d-ethyl-parathion	3706	107	0	0	0%	0%
Azinphos-methyl	3509	97	0	0	0%	0%
Mevinphos	3619	97	0	0	0%	0%
Prochloraz	3633	97	0	0	0%	0%
Prometryn	3637	97	0	0	0%	0%
Propachlor	3638	97	0	0	0%	0%
Carbofuran	4521	97	0	0	0%	0%
2,4,5-T	3126	48	0	0	0%	0%
CGA 108906	4718	48	0	0	0%	0%
2CPP, 2-(2-Chlorphen	0411	32	0	0	0%	0%
2CPA, 2-Chlorphenoxy	0412	32	0	0	0%	0%
2C6MPP, 2-(2-chlor-6	0413	32	0	0	0%	0%
Cyanazin	3539	32	0	0	0%	0%
Dicamba	3560	17	0	0	0%	0%
Trifluralin	3673	17	0	0	0%	0%
Hexachlorbenzen	3138	11	0	0	0%	0%

fluazifop-p-butyl	0444	10	0	0	0%	0%
Dieldrin	3134	10	0	0	0%	0%
Endrin	3135	10	0	0	0%	0%
Heptachlor	3136	10	0	0	0%	0%
Heptachlorepoxyd	3137	10	0	0	0%	0%
Lindan	3139	10	0	0	0%	0%
Methoxychlor	3141	10	0	0	0%	0%
Quintozen	3169	10	0	0	0%	0%
Aldrin	3503	10	0	0	0%	0%
Chlorothalonil	3532	10	0	0	0%	0%
DDD, p,p-	3550	10	0	0	0%	0%
DDE, p,p-	3552	10	0	0	0%	0%
DDT, p,p-	3554	10	0	0	0%	0%
Endosulfan, alpha	3566	10	0	0	0%	0%
Endosulfan, beta	3567	10	0	0	0%	0%
Parathion-methyl	3623	10	0	0	0%	0%
Permethrin	3626	10	0	0	0%	0%
Tolyfluanid	3665	10	0	0	0%	0%
Vinclozolin	3675	10	0	0	0%	0%
Endrin aldehyd	6141	10	0	0	0%	0%
Endrin keton	6142	10	0	0	0%	0%
Ethofumesat	3572	7	0	0	0%	0%
Metamitron-desamino	3682	7	0	0	0%	0%
Bifenox-syre	4693	7	0	0	0%	0%
Rimsulfuron	6135	7	0	0	0%	0%
Bifenox	3173	6	0	0	0%	0%
TFMP	3174	6	0	0	0%	0%
Tebuconazol	4569	6	0	0	0%	0%
4-CPA	4593	5	0	0	0%	0%
Methabenzthiazuron	3614	3	0	0	0%	0%
3-Chlorphenol	3093	2	0	0	0%	0%
Ioxynil	3600	2	0	0	0%	0%
Propazin	3641	2	0	0	0%	0%
2,4,5-trichlorphenol	4534	2	0	0	0%	0%
Dalapon	3132	1	0	0	0%	0%
1-chlor-2nitrobenzen	9436	1	0	0	0%	0%
1-chlor-3nitrobenzen	9437	1	0	0	0%	0%

Bilag 11

Afrapportering af NOVANA screeningsundersøgelse:

Afklaring af mulig forekomst af PFOS, PFOA og lignende PFC forbindelser i grundvand

af Rasmus Enevoldsen & René K. Juhler

Geokemisk afdeling, GEUS, Øster Voldgade 10, 1350 København K

Forord

Denne rapport fremlægger resultaterne af en screeningsundersøgelse af forekomsten af perfluorokemikalier (engelsk "perfluorochemicals", PFC's), herunder PFOS og PFOA i grundvand.

Undersøgelsen er foretaget som et led i det nationale program til overvågning af vandmiljøet og naturen (NOVANA).

Formålet med screeningsundersøgelserne var at give grundlag for en vurdering af relevansen af at inddrage de pågældende stoffer i overvågningen af grundvand. I denne specifikke undersøgelse blev der fokuseret på at undersøge udbredelsen af PFC'er forbindelser i de yngre danske grundvandsmagasiner.

Projektet var en opfølgning på projektet "NOVANA screeningsundersøgelse PFC og organotin forbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø" som blev udført med afrapportering i 2007 (Strand, J. et al. 2007). Ved fremlæggelsen af projektet blev det anbefalet af programmets koordinationsudvalg, at en undersøgelse i grundvand skulle udføres.

Arbejdsgruppen for miljøfremmede stoffer under NOVANA har været følgegruppe for projektet. Der har været nedsat en projektgruppe, som har bistået med planlægning og udpegning af prøvetagningslokaliteter.

Lasse Gudmundsson, GEUS koordinerede prøvetagning. Desuden har Miljøcentrene i Roskilde og Ribe samt prøvetagere i det nationale varslingsystem for pesticider (VAP) ydet en stor hjælp ved udtagning af prøver, og forfatterne siger mange tak for alle bidrag til projektet.

Sammenfatning

En screeningsundersøgelse rettet mod forekomst af perfluorokemikalier i grundvand blev udført under det nationale overvågningsprogram NOVANA. I screeningsundersøgelsen blev der ikke påvist udbredt højniveau forurening med undersøgte perfluorerede forbindelser i øvre grundvandsmagasiner.

I alt blev der undersøgt 57 prøver udtaget på 43 lokaliteter i Danmark. Ved planlægningen af prøvetagningen blev to borer udvalgt til screeningsundersøgelsen pga. deres beliggenhed nær forventede mulige punktkilder som brandslukningsøvelsesområder, (Esbjerg brandskole samt CF i Hedehusene). I prøver fra boringen i Hedehusene blev der påvist mindre koncentrationer af fire af de seks perfluorerede PFC forbindelser indeholdt i screeningsundersøgelsen:

- o perfluorooctan sulfonat (C8PFOS)
- o perfluorobutan sulfonat (C4PFOS)
- o perfluoroheptanoic acid (C7PFOA)
- o perfluorooctanoic acid (C8PFOA)

Desuden blev der fundet spor af perfluorodecanoic acid (C10PFOA), mens der i ingen af de undersøgte prøver kunne påvises perfluorononanoic acid (C9PFOA).

Hvor der kunne påvises indhold af PFC forbindelser var koncentrationerne på niveau med kvantificeringsgrænsen (0,003 og 0,006 ppb). Selv om de påviste niveauer kan forekomme lave sammenlignet med publicerede effektkoncentrationer viser undersøgelsen dog at der er mulighed for nedsivning og efterfølgende transport af PFC forbindelser i akviferen.

Ved fortolkningen af undersøgelsens resultater skal det tages forbehold for det begrænsede prøveantal. Da prøvetagningen repræsenterer "øjebliksbilleder" kan der ikke konkluderes i forhold til 'peak events', men overordnet må det konkluderes at der ikke kunne påvises udbredt højniveau forurening med de undersøgte perfluorerede forbindelser.

Summary

A pilot study on possible groundwater contamination with perfluorochemicals (PFC's) was conducted within the Danish National monitoring program NOVANA. The screening study did not reveal any widespread high-level contamination with perfluorinated compounds examined in the upper aquifers.

A total 57 samples of were analysed in the project, collected from 43 sites in Denmark. In the design of the project sampling was planed to include samplingsites location near anticipated potential point sources, i.e. fire fighting training areas, (Esbjerg and Hedehusene). In samples from in Hedehusene small concentrations were detected for four of the six PFC perfluorinated compounds included in the project:

- o perfluorooctane sulfonate (C8PFOS)
- o perfluorobutan sulfonate (C4PFOS)
- o perfluoroheptanoic acid (C7PFOA)
- o perfluorooctanoic acid (C8PFOA)

Also, traces of perfluorodecanoic acid (C10PFOA) were observed, whereas perfluorononanoic acid (C9PFOA) could not be detected in any of the samples analysed.

The levels observed for the PFC concentrations were at the level of quantification (0.003 and 0.006 µg/l). Although the levels observed may seem low when compared to published effect concentrations, the study demonstrates that there is potential for leaching and subsequent transport of PFC compounds in aquifers.

In general, the present study did not cause concern for widespread high-level contamination with perfluorinated compounds investigated. However, interpreting the results of the project the limited number of samples must be considered. Also, the sampling activities of the present project represent 'snapshots in time', and may not be representative in relation to e.g. 'peak events'. The findings of several PFC's in Hedehusene indicate that a leaching potential is existing for PFC's.

Baggrund

PFC-forbindelserne er perfluorerede forbindelser der alle indeholder en alkylkæde hvor hydrogenatomerne er substitueret med fluoratomer. Der er således tale om en gruppe stoffer med varierende egenskaber og molekylestørrelser. Længden af den perfluorerede alkylkæde er typisk 8 carbonatomer, men den kan også indeholde både flere og færre carbonatomer. Den perfluorerede alkylkæde ender hyppigt i en funktionel gruppe som sulfonsyre, carbonsylsyre eller en alkohol, samt derivater heraf, f.eks. substituerede sulfonamider.

PFC-forbindelserne har været produceret i mere end 40 år og bruges bl.a. som hjælpepestoffer i syntesen af teflonprodukter. PFOS består af en vandskyende del, som er den fluorholdige del, og en vandopløselig del, som er syredelen. Den perfluorerede carbonkæde giver således oligofobe og hydrofobe egenskaber (olie og vand afvisende) i samme molekyle og stofgruppen anvendes i en række sammenhænge som overfladeaktive stoffer, hjælpe stoffer i brandslukningsmidler, fremstilling af "pletfri stoffer", rengøringsmidler, hjælpepestoffer i pesticidformuleringer, imprægneringsmidler, antistatiske midler mm. (Poulsen, P. B. et al. 2005; Anon. 2009).

På grund af størrelsen af fluoratomerne samt den meget stærke binding mellem C og F atomerne i den perfluorerede carbonkæde, er kæden svært nedbrydelig, og producenterne har udført og støttet undersøgelser af stoffernes omdannelse i bl.a. renseanlæg og slam (Lange, C. C. 2000; Lange, C. C. 2002; Moore, J. et al. 2003). Slutprodukterne i nedbrydningen af PFC-forbindelserne er derfor typisk de rene sulfonsyre og carbonsylsyre, som f.eks. PFOS Perfluoroktanylsulfonat (CAS no. 1763-23-1) og PFOA Perfluorooctanoic acid (CAS no. 335-67-1). Disse stoffer indgår således også som de væsentligste nedbrydningsprodukter i studier af PFC-forbindelsers skæbne i miljøet. Producenten 3M, har vist at bl.a. fluortelomeralkoholer og perfluorsulfonamid kan nedbrydes til PFOA og PFOS i spildevand og slam fra et renseanlæg, mens PFOS ikke blev nedbrudt efter 20 uger ved 20 grader i spildevandsslam. Forekomster i grundvandsmagasiner er mangelfuldt karakteriseret. Nogle studier er udført i områder med forventede punktkildelignende kilder, eksempelvis nær lufthavne, eller brandøvelsesområder, områder hvor der tidligere er fundet PFC-forbindelser i grundvandet (Moody and Field 1999; Moody et al. 2003). Et studie har desuden undersøgt udbredelsen af stofferne i brønde nær et 3M fabriksanlæg i Minnesota¹. Der blev fundet varierende indhold af forbindelser og niveauer, og i to tilfælde i 'Oakdale municipal wells' var

¹ informationsmaterialet kan hentes på

http://solutions.3m.com/wps/portal/3M/en_US/PFOS/PFOA/Information/Drinking-Water/

indholdene på eller over de fastsatte sundhedsbaserede niveauer (talværdier er ikke angivet i kildematerialet).

Karakterisering af PFC-forbindelsernes skæbne i jorden (nedbrydning, sorption og transport) er ikke fyldestgørende. Det formodes dog at en eventuel nedbrydning af stofferne stopper ved den perfluorerede kæde. Dermed kan det forventes at det vil være de rene perfluorerede sulfonsyrer og carbonsylsyrer der kan findes i det terrestriske miljø. Størrelsen af sorptionskonstanterne i jord er kun undersøgt sporadisk, bl.a. af 3M. For PFOS måltet sorptions og desorptionskonstanterne til mellem 9,7 og 35,3 l/kg og mellem 15,8 og 47,1 l/kg i tre jorde (3M 2003) og for PFOA blev sorptionskonstanten målt til 0,21 i en enkelt sandjord (Welsh, S. K. 1978). Sammenholdt med en forholdsvis moderat opløselighed i vand (~0,5 g/L for PFOS) forventes en forholdsvis høj sorption til partikler i jordmatricen. Sorption og dermed partikelbundet transport i jord og grundvandsmagasiner er således et væsentligt aspekt som bør inddrages i etableringen af en vidensbasis for afklaring af stofgruppens relevans i overvågningen af grundvand.

Beskrivelse af stofferne i undersøgelse

I den udførte screenings undersøgelse indgik 6 stoffer fra gruppen af perfluorerede PFC forbindelser. De udvalgte stoffer er alle rene, ikke-derivatiserede perfluorerede sulfonsyre eller carbonsylsyre med en kædelængde på mellem 4 og 9 carbonatomer. Forbindelserne var:

- To sulfonsyre med hhv. 8 og 4 carbonatomer i kæden:
 - perfluorooctan sulfonat (C8PFOS)
 - perfluorobutan sulfonat (C4PFOS)

- Fire carbonsylsyre med en kædelængde på hhv. 6, 7, 8 og 9 carbonatomer:
 - perfluoroheptanoic acid (C7PFOA)
 - perfluorooctanoic acid (C8PFOA)
 - perfluorononanoic acid (C9PFOA)
 - perfluorodecanoic acid (C10PFOA)

Metoder

Matricer og prøvetagning

Undersøgelsen fokuserede på yngre grundvand. Grundvandsprøverne blev udtaget fra indvindingsboringer på vandværker og private vandindvindinger. Desuden blev der udtaget prøver fra boringer placeret i områder under det nationale overvågningssystem (GRUMO). Derudover er der taget grundvandsprøver fra boringer beliggende ligge ved brandslukningsøvelsesområder (Esbjerg brandskole samt CF i Hedehusene) der kunne være potentielle punktkilder for PFC forbindelser.

Ud over grundvand blev der taget prøver fra markdræn. Drænvandet blev udtaget fra fem marker der indgår i varslingsystemet for pesticider (VAP). Drænvandsprøverne blev udtaget flowproportionalt med isco-samplers som beskrevet i (Kjaer, J. et al. 2002).

I projektet blev eksisterende boringer benyttet, hvor det var muligt. I enkelte tilfælde blev håndboringer etableret forud for prøvetagningen. I disse tilfælde blev boringen etableret med ø 50 mm PEHD rør og med mindst 1m filter i filtersand. Boringen afproppedes med bentonit over filtesætningen og afsluttedes med mufferrør. Før prøvetagning blev der foretaget renpumpning af boringen. Efter udtagning blev prøverne opbevaret køligt og mærkt i glasflasker med PFC fri låg.

Analysemetoder

Prøverne blev analyseret ved LC-MS/MS på GEUS, og kvantificeringen i prøverne er udført som dobbeltbestemmelse. Den anvendte metode omfattede stofferne:

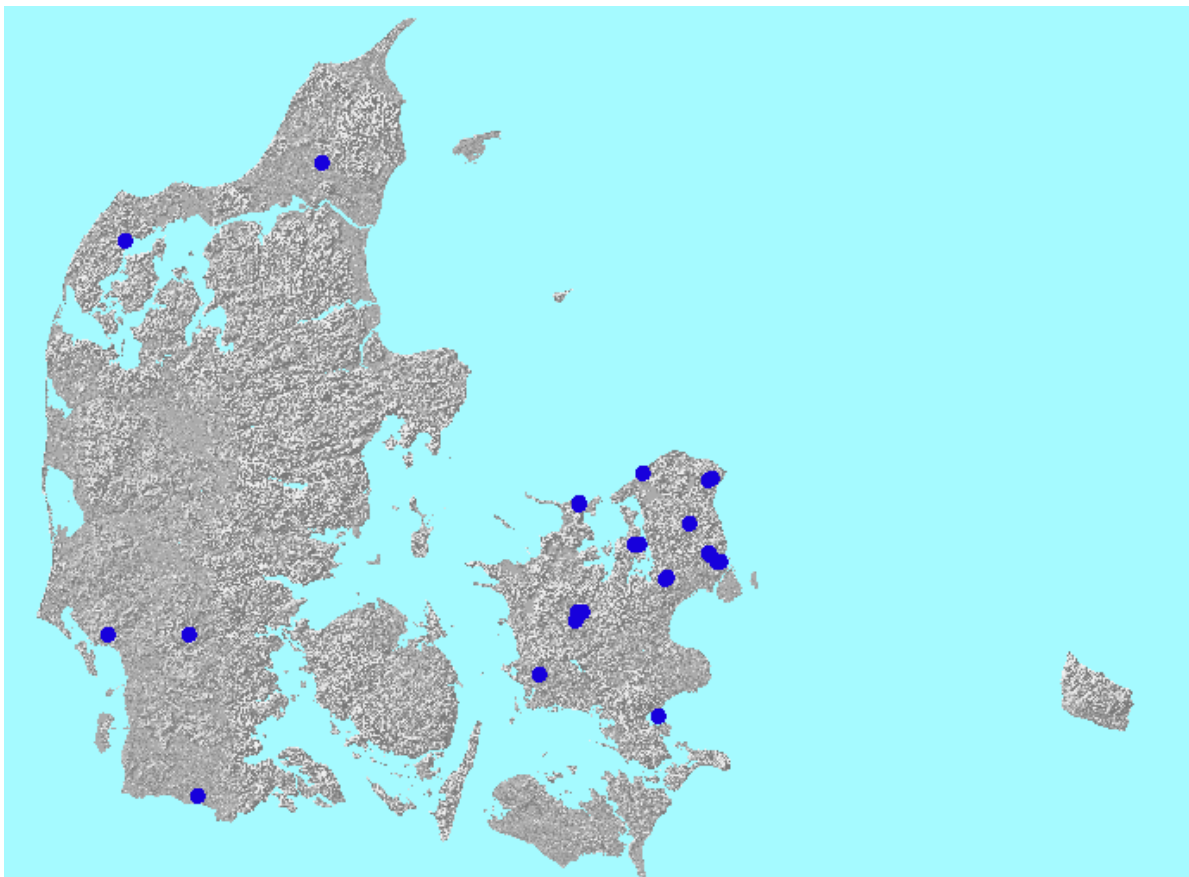
- To sulfonsyre med hhv. 8 og 4 carbonatomer i kæden:
 - perfluorooctan sulfonat (C8PFOS, CAS no. 1763-23-1)
 - perfluorobutan sulfonat (C4PFOS, CAS no. 375-73-5)

- Fire carbonsylysyre med en kædelængde på hhv. 6, 7, 8 og 9 carbonatomer:
 - Perfluoroheptanoic acid (C7PFOA, CAS no. 375-85-9)
 - perfluorooctanoic acid (C8PFOA, CAS no. 335-67-1)
 - perfluorononanoic acid (C9PFOA, CAS no. 375-95-1)
 - perfluorodecanoic acid (C10PFOA, CAS no. 335-76-2)

Forud for API-ES-MS/MS analysen blev prøverne opkoncentreret ved fastfase ekstraktion (SPE). Som intern standard til kvantificering blev der anvendt 1,1,2,2 H,H,H,H-Perfluorooctanesulfonate (PFOSH, CAS no. 27619-97-2). Resultater blev kvalitetssikret vha. mindst to niveau kontrolprøver i hver kørsel, en spiket MilliQ prøve samt 1-2 spikede prøver tilfældigt udvalgt blandt de analyserede prøver. Metoden havde en LOD på mellem 0,003 og 0,006 ppb for de undersøgte stoffer i grund og drænvand (se Tabel 1)

Prøvetagningslokaliteter

I projektet blev der udtaget prøver fra 43 positioner. På nogle lokaliteter blev flere boringer og indtag prøvetaget, og den geografiske fordeling af kampagnen er vist på Figur 1.



Figur 1. Geografisk fordeling af lokaliteter i projektet. En oversigt over prøvetagningssteder med UTM koordinater og boringsoplysninger findes i bilagsmaterialet.

Geografisk fordeling af lokaliteter i projektet. En oversigt over prøvetagningssteder med UTM koordinater og boringsoplysninger findes i bilagsmaterialet.

Resultater

I undersøgelsen blev der fundet indhold af 4 og spor af yderligere et af de undersøgte stoffer. I Tabel 1 gives et overblik over datamaterialet. En detaljeret tabel med analyseresultater findes i bilagsmaterialet. Med fund af 4 ud af 6 undersøgte forbindelser i området ved campingpladsen i Hedehusene må forekomsten af PFC forventes at være til stede i danske grundvandsmagasiner, men de mange prøver uden påvisninger indikerer ikke, at PFC er en udbredt, højniveau forureningskomponent i grundvandsmagasiner.

Tabel 1. Opsummering af datamaterialet i undersøgelsen. Der blev i projektet udført analyse på 57 prøver udtaget på 43 prøvetagningssteder. Alle koncentrationer er angivet som ppb ($\mu\text{g/l}$).

	C4PFOS	C7PFOA	C8PFOA	C8PFOS	C9PFOA	C10PFOA
Antal prøver	57	57	57	57	57	57
Antal påvisninger	4	4	4	5	0	0
Hyppighed	7%	7%	7%	9%	0%	0%
Middel	0,003	0,006	0,005	0,010	-	-
Median	0,003	0,006	0,004	0,007	-	-
Maksimal niveau	0,004	0,008	0,006	0,025	-	-
Detektionsgrænse (LOD)	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Kvantificeringsgrænse (LOQ)	0,003	0,003	0,003	0,006	0,006	0,006

Tabel 2. "Protective screening-level concentrations" for PFOS beregnet for akvatiske og terrestriske organismer (Beach et al. 2006)

akvatiske alger og macrophyta	2.3 mg PFOS/L.
Sekundær Kronisk niveau - beskyttelsesniveau for akvatiske organismer	1.2 mg PFOS/L.
Niveau for "no potential risk to aquatic organisms" – fremkommet som screening-værdi for vandkoncentrationer	1.2 mg PFOS/L
terrestriske planter	1.5 mg PFOS/kg jord tørvægt
Fuglearter "dietary ADI"	0.28 mg PFOS/kg føde,
Fuglearter "population-level effects"	6.0 mg PFOS/kg i føde, 5.0mg PFOS/g vådvægt lever, 9.0mg PFOS/mL i serum

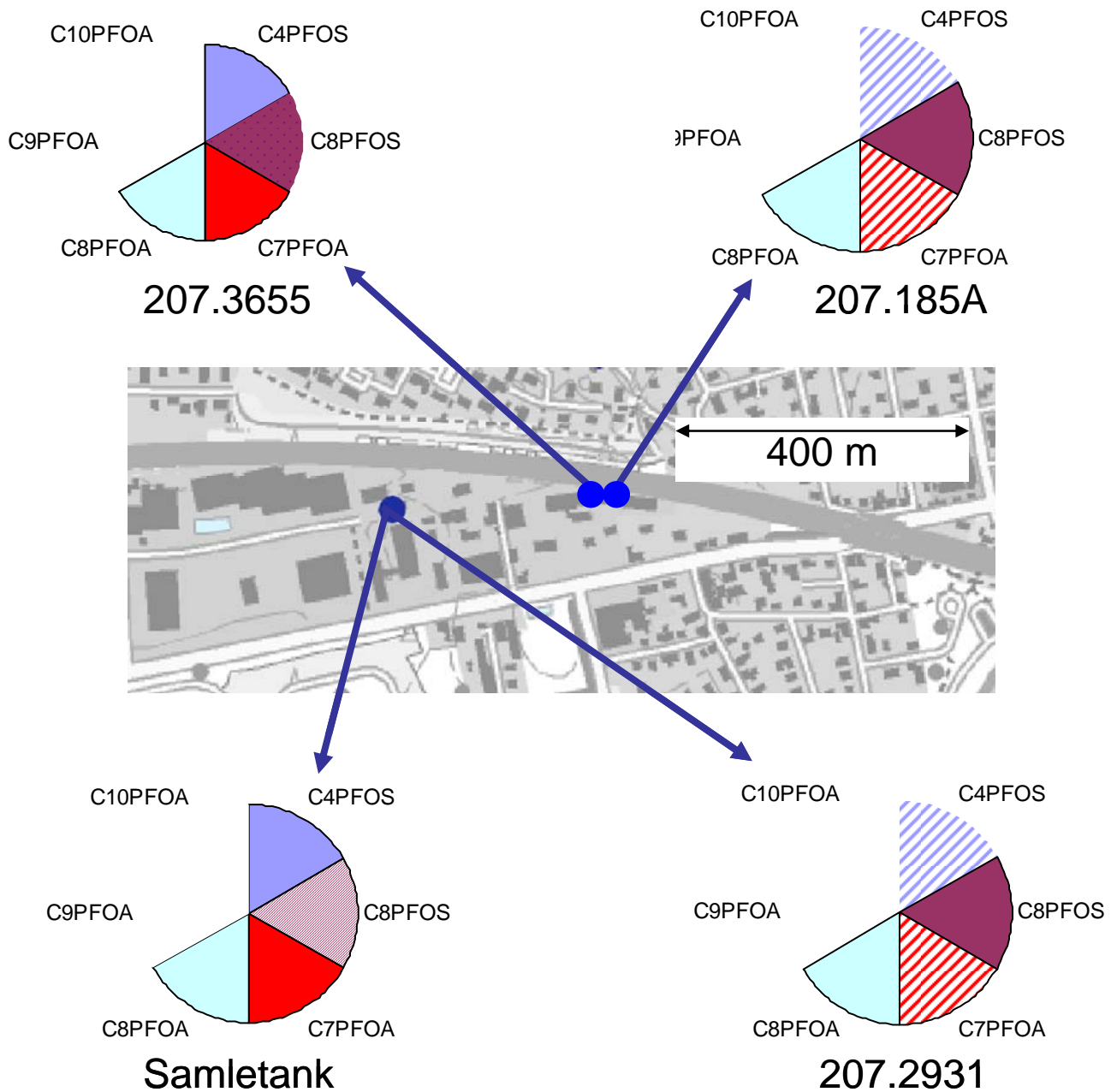
I den forudgående danske undersøgelse af PFOS og relaterede forbindelser i andre matricer (Strand, J. et al. 2007) blev det konkluderet at "... adskillige perfluorerede forbindelser (PFAS) og organotinforbindelser er udbredte både i punktkilder, i ferskvand og i marine miljøer i Danmark". I ferskvand målte de højeste koncentration af PFOS til 70,1 ng/g vådvægt og 13,7 ng/g vådvægt i ål fra hhv. Silkeborg Langsø og Guden Sø.

Der foreligger ikke grænseværdier PFC forbindelser i grundvand eller øvrige overvågningsmatricer, men i en oversigtsartikel er der opstillet økotoksikologiske niveauer for PFOS (Tabel 2). Set i forhold til disse niveauer er de påviste indhold i grundvandsmagasinet ved Hedehusene meget lave.

I 2007 studiet blev der målt på ferskvandssediment og ferskvandsorganismer, og påvisningerne blev gjort i fisk, hvor biomagnificering må formodes at have været en væsentlig faktor. I det her afrapporterede studie af grundvand og drænvand blev der målt direkte på vandfasen, altså "øjebliksbilleder". Det er derfor ikke umiddelbart muligt at sammenligne fundhyppigheder og niveauer i de to undersøgelser. Potentielt kan der forekomme mere udbredte PFC forureninger af

grundvandsmagasiner på et lavt niveau, og pulsudvaskninger kan også have forekommet udenfor prøvetagningen. Fund af PFC forbindelser nedstrøms for CF brandslukningsområdet i Hedehusene lægger derfor op til, at der udføres en nærmere afklaring af mulige PFC forbindelserne i grundvand i forbindelse med punktkilder, eventuelt med anvendelse af 'holistic passive integrative sampling' som kan anvendes til akkumulering af PFC forbindelser over tid (Alvarer, D. and Huckins, J. 2004; Petty et al. 2004).

I undersøgelsen af CF brandslukningsområdet i Hedehusene blev der på flere prøvesteder i området påvist indhold af PFC forbindelser (Tabel 3 og Figur 2). I en overvåningssammenhæng er fundene ved campingpladsen mest interessant, perspektiveret af fundet i afværgepumpningen, der dokumenterer, at PFC forbindelserne kan nedstrømme til akviferer under kontaminerede områder. I samletanken og ved brandhane på området kunne der påvises indhold af alle stoffer i niveauer der dog lå under til 0.01 µg/l. Det lå ikke indenfor projektet at gennemføre kildesporing og kortlægning af strømningsretinger for akviferer, men fundene indikerer, at hvis først stofferne er kommet ned i grundvandet, så er transport i akviferen mulig. Undersøgelsens resultater bekræfter udenlandske undersøgelser, hvor der også tidligere er gjort fund ved punktkilder som brandsluknings øvelsesområder 'Groundwater from wells around fire-training area FTA-02 at WAFB contained four perfluorinated surfactants ranging in concentration from 3 to 120 µg/l: perfluorooctanesulfonate (PFOS): perfluorohexanesulfonate: perfluorooctanoate: and perfluorohexanoate' (Moody et al. 2003).



Figur 2 Prøvetagningssteder i Hedehusene og grafik der angiver om de enkelte PCF forbindelser er påvist i prøver udtaget på prøvetagningsstederne (skravering angiver spor af forbindelsen)

Tabel 3. Detailoplysninger om undersøgelse i området ved CF brandslukningsområdet i Hedehusene. Koncentrationer er angivet som gennemsnit ($\mu\text{g/l}$), ip=ikke påvist

Prøveudtagning	Prøver	C4-PFOS	C7-PFOA	C8-PFOA	C8-PFOS	C9-PFOA	C10-PFOA	Udtag
CF-Hedehusende Brandhane	5	0,004	0,008	0,004	0,006	ip	ip	207.3655
CF-Hedehusende Samletank	2	0,004	0,007	0,004	0,003	ip	ip	207.3655
Hedehusende Afværgeboring	2	0,001	0,006	0,006	0,007	ip	ip	207.2931
Hedehusende Camping	2	0,002	0,003	0,004	0,025	ip	ip	207.185-a

I forbindelse med fundene ved CF området blev der påvist indhold af de tilsvarende forbindelser i boringer flere hundrede meter fra, hvad der må formodes at være kilden (Figur 2). Dette indikerer, at hvis først PFC forbindelser er kommet ned i et grundvandsmagasin vil de kunne transporteres i akviferen.

Konklusioner

Resultaterne giver ikke indtryk af udbredt forurening med høje koncentrationer af PFC i danske grundvandsmagasiner. Overordnet blev de maksimale indhold målt på et niveau under $0.01 \mu\text{g/l}$ for stofferne perfluorooctan sulfonat (C8PFOS), perfluorobutan sulfonat (C4PFOS), perfluoroheptanoic acid (C7PFOA), perfluorooctanoic acid (C8PFOA). Forbindelserne perfluorononanoic acid (C9PFOA) og perfluorodecanoic acid (C10PFOA) blev ikke påvist over kvantificeringsniveauet, men i enkelte prøver blev der fundet spor af C10PFOA. Der blev generelt konstateret indhold i prøver udtaget i Hedehusene, men de påviste niveauer lave og tæt på kvantificeringsgrænsen for de enkelte stoffer. Prøvetagningen giver øjeblikbilleder som ikke nødvendigvis er peak niveauer, og pulsudvaskninger kan være forekommet på andre tidspunkter end samplingens udførelse. En egentlig afgørelse om inddragelse af forbindelserne i den nationale overvågning af grundvandsmagasinerne må derfor træffes i forhold til de effektive niveauer og evt. kommende grænseværdier, der opstilles for stofferne.

Undersøgelsens resultater bekræfter relevansen af at have fokus på betydningen af punktkilder, som brandsluknings øvelsesområder. I forbindelse med fundene ved CF kasernen blev der påvist indhold af de tilsvarende forbindelser i boringer flere hundrede meter fra, hvad der må formodes at være kilden, hvilket indikerer potentiel nedslivningsrisiko og mulighed for transport i akviferen.

Bilag 1 Prøvetagningslokaliteter

Oversigt over prøvetagningssteder med angivelse af UTM 32 koordinater og DGU nummer og udtags oplysninger. Hvor oplysninger om filtre i boringen foreligger, er dette oplyst.

	Lokalitet	xutm32	yutm32	Udtag DGU nr	Filter top	Filter bund
1	Borups Allé	721517	6178272	201.4760-2	23.70	24.20
2	CF-Hedehusende Brandhane	700525	6171722	207.3655-1	.	.
3	CF-Hedehusende samletank	700467	6171686		.	.
4	Esbjerg brandskole	470816	6148588	130.743-1	11.00	16.00
5	Espægærde	719179	6212458	188.919-1	16.70	17.20
6	Espægærde	719179	6212458	188.919-2	11.70	12.20
7	Espægærde	718236	6211651	188.922-1	24.00	24.50
8	Estrup - dræn	504377	6148877		.	.
9	Estrup - grundvand	504377	6148877		.	.
10	Fårdrup - dræn	648669	6132551		.	.
11	Fårdrup - grundvand	648669	6132551		.	.
12	Gladsaxe	718022	6181877	200.3438-1	29.50	30.20
13	Gladsaxe	718022	6181877	200.3438-2	15.50	16.20
14	Hedehusende Afværgepumpn	700701	6171860	207.2931-1	16.00	24.00
15	Hedehusende Camping	700805	6171908	207.185A-1	.	20.00
16	Høje Gladsaxe	719029	6181753	201.3804-1	46.00	49.00
17	Høje Gladsaxe	719029	6181753	201.3804-2	24.50	33.50
18	Jynnevad - grundvand	507703	6082977		.	.
19	Nykøbing Sj.	664967	6202427	191.185-1	12.00	12.50
20	Nykøbing Sj.	664967	6202427	191.185-2	7.50	8.00
21	Nykøbing Sj.	664967	6202427	191.185-3	2.50	3.00
22	Nykøbing Sj.	665102	6201739	191.188-2	23.00	25.00
23	Nykøbing Sj.	665102	6201739	191.188-4	4.00	7.50
24	Nørrebroparken	722649	6178243	201.3933-1	23.50	24.00
25	Nørrebroparken	722649	6178243	201.3933-2	13.90	14.40
26	Præstø	697124	6115714		.	.

	Lokalitet	xutm32	yutm32	Udtag		
				DGU nr	Filter top	Filter bund
27	Ravnsholt	710483	6194384		.	.
28	Silstrup - dræn	478435	6309902		.	.
29	Silstrup - grundvand	478435	6309902		.	.
30	Skuldelev	687143	6186006	199.1009-1	24.00	24.50
31	Skuldelev	687143	6186006	199.1009-2	16.00	16.50
32	Skuldelev	689267	6186026	199.818-1	20.00	28.00
33	Stenlille	664067	6158260	205.257-1	36.00	42.00
34	Stenlille	666165	6158135	205.400-1	24.50	34.50
35	Stenlille	664300	6158182	205.520-1	18.70	27.50
36	Stenlille	666127	6158306	205.558-1	21.00	30.00
37	Stenlille	664712	6157921	205.568-0	0.00	0.00
38	Stenlille	664460	6157989	205.606-1	25.50	39.50
39	Stenlille	664460	6157989	205.606-2	14.00	15.00
40	Stenlille	663194	6154425	211.518-1	33.00	39.00
41	Stenlille	663174	6154372	211.529-1	30.50	35.50
42	Tisvilde	690715	6214702		.	.
43	Tylstrup - grundvand	558915	6341958		.	.

Bilag 2 Prøver udtaget

Oversigt over fordelingen af udtagne prøver på de enkelte lokaliteter. Analyseresultater. Indhold vises som µg/l. Øvrige angivelser er "Ikke påvist" (ip) og "spor".

lokalitet	Antal prøver	C4-PFOS	C7-PFOA	C8-PFOA	C8-PFOS	C9-PFOA	C10-PFOA	Reference oplysninger for lokalitet
Borups Allé	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	2014760-2
Esbjerg brandskole	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	130.743-
Espergærde	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	188.919-1
Espergærde	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	188.919-2
Espergærde	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	188.922-1
Estrup - Isco Sampler	2	ip	ip	Spor	Spor	ip	ip	Estrup - Isco Sampler
Estrup - M 1.3	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Estrup - M 1.3
Fårdrup dræn	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Flowproportional
Fårdrup - M 1.1	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Fårdrup - M 1.1
Gladsaxe	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	200.3438-01
Gladsaxe	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	200.3438-02
Hedehusene afværge	2	0,001	0,006	0,006	0,007	ip	ip	207.2931-
Hedehusene camping	2	0,002	0,003	0,004	0,025	ip	ip	207.185-a
Hedehusene CF brandhane	5	0,004	0,008	0,004	0,006	ip	ip	207.3655-
Hedehusene CF samletank	2	0,004	0,007	0,004	0,003	ip	ip	207.3655-
Høje Gladsaxe	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	201.3404-1
Høje Gladsaxe	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	201.3804-2
Jynnevad - M 2.2	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Jynnevad - M 2.2
Nykøbing Sj.	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	191.185-1
Nykøbing Sj.	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	191.185-3
Nykøbing Sj.	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	191.188-2
Nykøbing Sj.	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	191.188-4
Nykøbing Sj.	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	191.185-2
Nørrebroparken	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	201.3933-01
Nørrebroparken	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	201.3933-02
Præstø	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Præstø
Ravnsholt	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Ravnsholt
Silstrup - Isco	1	ip	ip	ip	Spor	ip	Spor	Flowproportional
Silstrup - M 9.1	1	ip	ip	ip	Spor	ip	Spor	Silstrup - M 9.1
Skuldelev	2	ip	ip	ip	ip	ip	ip	199.1009-1
Skuldelev	1	ip	ip	ip	Spor	ip	ip	199.1009-2
Skuldelev	1	ip	ip	Spor	ip	ip	ip	199.818-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	205.257-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	205.400-
Stenlille	3	ip	ip	Spor	ip	ip	ip	205.520-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	205.558-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	205.558-
Stenlille	2	ip	ip	ip	Spor	ip	ip	205.568-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	205.606-1
Stenlille	2	Spor	ip	Spor	0,010	ip	ip	205.606-2
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	211.518-
Stenlille	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	211.529-
Tisvilde	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Tisvilde
Tylstrup - M 2.3	1	ip	ip	ip	ip	ip	ip	Tylstrup - M 2.3

Referencer

- Hazard assessment of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and its salts. ENV/JM/RD(2002)17/final. 2009. OECD - Environment Directorate. co-operation on existing chemicals.
- Alvarer, D. and Huckins, J. Polar organic chemical integrative sampler (POCIS). 2004. Colombia Environmental Research Center, USGS.
- Kjaer, J., Ullum, M., Olsen, P., Sjelborg, P., Helweg, A., Mogensen, B. B., Plauborg, F., Jørgensen, J. O., Iversen, B. V., Fomsgaard, I. S., and Lindhardt, B. Monitoring results May 1999 - June 2001. 2002. København, GEUS. The Danish Pesticide Leaching Assessment Programme.
- Lange, C. C. The Aerobic Biodegradation of N-EtFOSE Alcohol by the Microbial Activity Present in Municipal Wastewater Treatment Sludge. E00-2252, 1-10. 2000. 3M.
- Lange, C. C. Biodegration Screen Study for Telomer-type Alcohols. E01-0684, 1-38. 2002. 3M.
- Moody, C.A., G. N. Hebert, S. H. Strauss, and J. A. Field. 2003. Occurrence and persistence of perfluorooctanesulfonate and other perfluorinated surfactants in groundwater at a fire-training area at Wurtsmith Air Force Base, Michigan, USA. *Journal of Environmental Monitoring* 5:341-345.
- Moody, C.A. and J. A. Field. 1999. Determination of Perfluorocarboxylates in Groundwater Impacted by Fire-Fighting Activity . *Environ. Sci. Technol.* 33:2800-2806.
- Moore, J., Rodericks, J., Turnbull, D., and Warren-Hicks, W. 3M. Environmental and Health Assessment of Perfluorooctane Sulfonic Acid and its Salts. 2003. 3M.
- Petty, J.D., J. N. Huckins, D. A. Alvarez, W. G. Brumbaugh, W. L. Cranor, R. W. Gale, A. C. Rastall, T. L. Jones-Lepp, T. J. Leiker, C. E. Rostad, and E. T. Furlong. 2004. A holistic passive integrative sampling approach for assessing the presence and potential impacts of waterborne environmental contaminants. *Chemosphere* 54:695-705.
- Poulsen, P. B., Jensen, A. A., and Wallström, E. More environmentally friendly alternatives to PFOS-compounds and PFOA. 1013. 2005. Environmental Project, Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment.
- Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F., and Larsen, M. M. PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø - NOVANA screeningsundersøgelse. 608. 2007. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. Faglig rapport fra DMU.
- Welsh, S. K. Adsorption of FC-95 and FC-143 on soil. Welsh, S. K 1978. 9970612633. 1978. 3M, Environmental Laboratory.