

# Omfanget af utætte overvågningsboringer i Københavns Amt Foreløbige undersøgelser

Troels Laier



# Omfanget af utætte overvågningsboringer i Københavns Amt Foreløbige undersøgelser

Troels Laier

## Resumé

CFC-dateringen af grundvand fra Københavns Amts overvågningsboringer er blevet udvidet til også at omfatte vand med lavt tritiumindhold (<1 TU). Dateringerne viste som ventet at grundvandet fra de 12 indtag var gammelt, set i forhold til CFC-metodens anvendelsesområde, ofte dannet før 1940. CFC-dateringer afslørede dermed ikke målelige mængder af yngre vand, som via utætheder kunne være trængt ind i eller omkring boringerne, på nær et enkelt tilfælde.

Sammenligning af CFC-dateringer og de tidligere tritium-resultater fra alle overvågningsboringer viste heller ingen alvorlig diskrepans mellem de to metoders resultater, eller mellem resultaterne og de geologiske forhold, på nær en enkelt undtagelse. Nye dateringer ved hjælp af CFC og tritium udtaget på samme tidspunkt, viste relativ god overensstemmelse, også for denne boring.

Trykprøvning af 12 montejus-boringer, udført ved at fylde forerøret op med vand og måle faldet i vandspejlet, afslørede utætheder i 5 af disse, mens de øvrige 7 boringer var tætte eller næsten tætte. Tabet via utætheder i de 5 boringer lå mellem 150 ml/min og >1000 ml/min. Det var ikke muligt at lokalisere utæthederne nøjere ved denne test.

Ved gennemgang af grundvandskemien gennem hele overvågningsperioden for alle boringer kunne 5 boringer udpeges som "måske utætte" hovedsagelig på grundlag af variationerne i jern(II)- og nitratindhold, der antydede blanding af forskellige vandtyper. Der var ingen sammenfald med de ved trykprøvning udpegede utætte boringer.

Københavns Amt har udpeget 13 boringer som værende måske uegnede (pga. utætheder) i forbindelse med en nylig spørgeskema undersøgelse, 2 af disse var omfattet af GEUS undersøgelse beskrevet i denne rapport, ingen af de 2 indtag blev imidlertid fundet at være utætte, hverken ved trykprøvningen eller ved gennemgangen af grundvandskemien.

Rapporten giver en række anbefalinger til videre undersøgelser for at opklare om overvågningsboringerne er utætte og om det i givet fald påvirker grundvandskemien.

## Indholdsfortegnelse

Resumé .....	0
Baggrund og formål .....	2
Trykprøvning af udvalgte boringer af Montejus-typen .....	4
Vurdering af eventuel lækage på grundlag af aldersbestemmelser.....	7
<u>CFC-datering af grundvand med lavt tritium-indhold</u> .....	7
<u>Vurdering af tritium- og CFC-dateringer i forhold til geologi</u> .....	8
Bedømmelse af mulig lækage på grundlag af grundvandskemien .....	14
<u>Indeholder prøverne både nitrat og jern(II) ?</u> .....	14
<u>Indikerer variationerne i grundvandskemi utætheder?</u> .....	18
Resultaterne af de foreløbige undersøgelser af boringernes utætheder.....	21
Anbefalinger.....	23
Referencer .....	23
Bilag 1 CFC i blandingsvand.....	24
Bilag 2. CFC-analyser og beregnede CFC-år for grundvand med lavt tritium .....	28

## Baggrund og formål

En systematisk overvågning af grundvandets kemi blev sat i værk efter Vandmiljøplanens vedtagelse i 1987, og overvågningen omfatter såvel eksisterende boringer som boringer etableret til formålet. Meningen med overvågningen var blandt andet at få et overblik over om de foranstaltninger, som Folketinget vedtog for at beskytte vandmiljøet, havde den ønskede virkning. I forbindelse med den systematiske indsamling af prøver af grundvandet, og vurderingen af den tidlige udvikling af forskellige kemiske parametre blev man opmærksom på, at nogle af boringerne var utætte og derfor ikke gav pålidelige oplysninger om grundvandets kemiske udvikling. Derfor blev der i foråret 2001 nedsat en arbejdsgruppe til at kulegrave problemet og give anbefalinger med hensyn til at løse problemet med de utætte overvågningsboringer. Arbejdsgruppen har for nylig afgivet en rapport, som beskriver problemets omfang på grundlag af amternes indberetninger /1/. Rapporten giver endvidere en række anvisninger på hvordan utætheder kan spores, og forslag til udbedring af utætheder for forskellige typer af overvågningsboringer.

Amternes indberetning skete blandt andet i form af besvarelse af et spørgeskema, som arbejdsgruppen havde udarbejdet på grundlag af amternes mangeårige erfaring med prøveindsamling. Spørgsmålene drejede sig om detaljer vedrørende boringernes konstruktion, observationer i forbindelse med prøvetagningen, samt bedømmelse af vandets kemiske sammensætning og alder. Resultatet af amternes indberetninger samledes i en tabel, hvorfra nedenstående data vedrørende Københavns Amt er hentet, tabel 1.

*Tabel 1. Overvågningsboringer og indtag i Københavns Amt, samt boringer/indtag med symptomer.*

Område	Antal aktive Boringer	Antal aktive indtag	Antal boringer/indtag med symptomer
15.11 Sønderød	11	25	1/1
15.13 Gladsaxe	9	17	7/12
15.12/14 Ishøj	13	16	0/0
<b>I alt</b>	<b>33</b>	<b>58</b>	<b>8/13</b>

Otte boringer viser symptomer som kunne skyldes utætheder, men der er ingen sikre tegn på at boringerne er utætte. Københavns Amt har derfor ønsket at følge arbejdsgruppens arbejde op med henblik på grundigere undersøgelse af amtets overvågningsboringer, og har i den anledning bedt Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse (GEUS) om at: 1) Foretage CFC-datering af grundvand fra de boringer der ikke tidligere er undersøgt, samt 2) vurdere tætheden af alle 58 overvågningsboringer på baggrund af kemidata og CFC-dateringer.

De første CFC-dateringer, der blev udført i 1998 for Københavns Amt, omfattede kun overvågningsboringer med "ungt" grundvand, dvs. vand med et tritiumindhold over 1 TU (tritium

unit). Da arbejdsgruppen anbefalede at CFC-dateringerne indgik ved bedømmelsen af mulige utætheder, ønskede Københavns Amt at få alle sine overvågningsboringer undersøgt mht. CFC.

Til vurdering af boringernes tæthed på grundlag af grundvandskemien udarbejdede Københavns Amt tidsserie-diagrammer for de kemiske parametre, der af GEUS skønnedes at være de bedst egnede til formålet, dvs.  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Fe(II)}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Cl}$  og  $\text{SO}_4$ . De nævnte parametre kan ved sammenligning med ændringer i grundvandspejl over tid give indtryk af om variationer i grundvandskemien for de pågældende boringer/indtag skyldes naturlige forhold eller muligvis opblanding af forskellige vandtyper pga. lækage.

Rapporten rummer foruden de af Københavns Amt ønskede nye CFC-dateringer og GEUS' vurderinger af boringernes tæthed også resultaterne af en simpel trykprøvning af montejustboringer, udført i forbindelse med CFC-prøvetagningerne. På grundlag af de i rapporten omtalte undersøgelser og vurderinger gives en række anbefalinger til fortsatte undersøgelser af boringernes tæthed.

## Trykprøvning af udvalgte boringer af Montejus-typen

Trykprøvning af montejus-boringerne blev foretaget efter prøverne til CFC-dateringerne var blevet udtaget. Trykprøvningen foregik ved at fylde boringen op med vand oppumpet i forbindelse med renpumpningen af boringen, og derefter pejle vandspejlet med passende mellemrum. Hvis vandspejlet i boringen faldt betød det udsivning af vand via lækage enten pga. utæthed i forerør eller kontraventil. På grundlag af faldet i vandspejlet per tidsenhed og forerørets dimension beregnedes tabet for hver boring som ml/min, tabel 2.

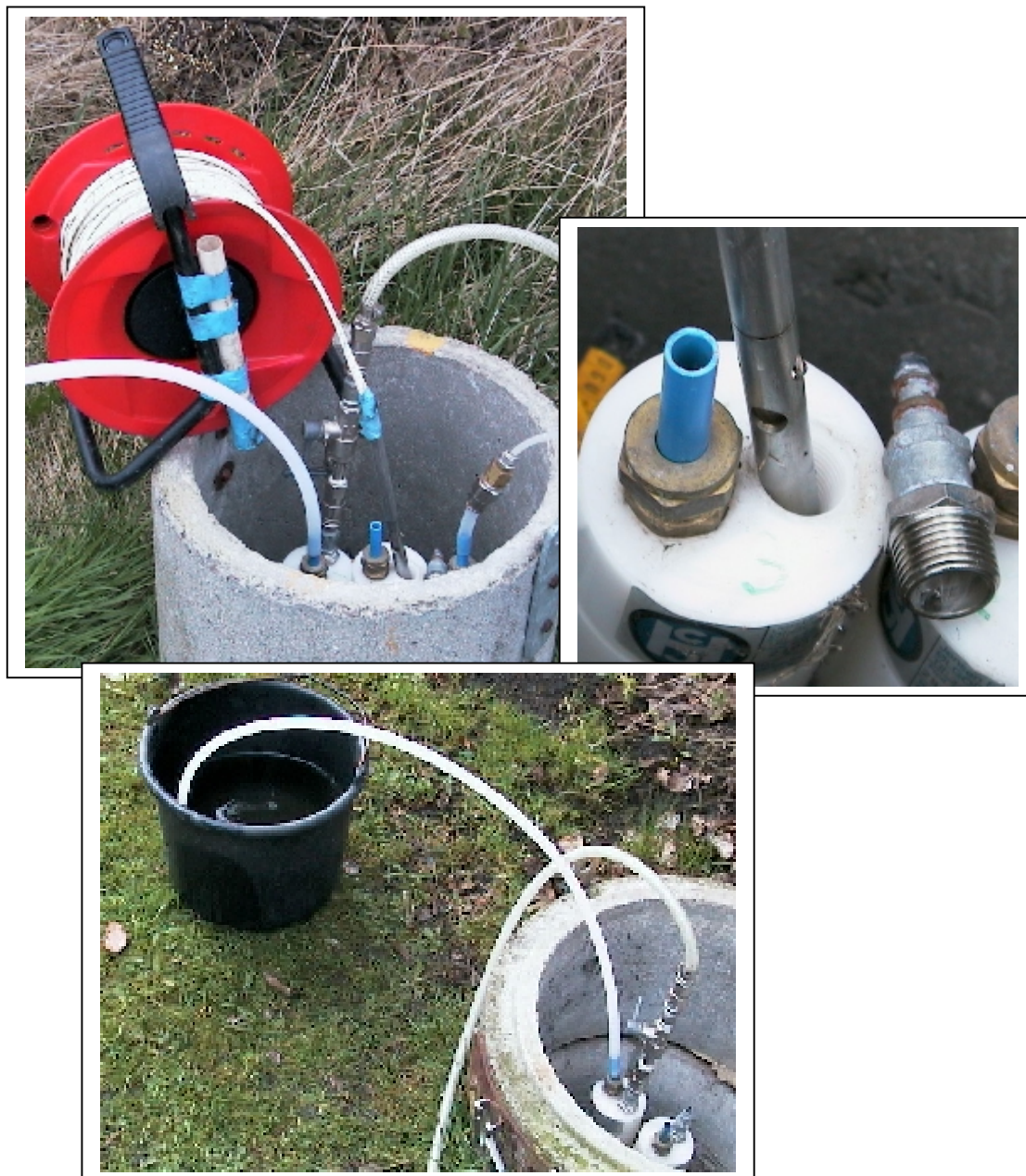
Fyldning af boringen med vand skete nemmest ved at opsamle vandet fra renpumpningen i en 12 l spand. Boringen tømtes ikke fuldstændigt, således at stigrøret til stadighed var fuld af vand, det samme gjalt slangen mellem stigrør og spand, figur 1. Boringen blev tømt for gas ved åbning af udluftningsventilen, herved fyldtes boringen med vand dels fra indtaget, dels fra tilbageløbet af vand fra spanden via stigrøret. For hurtigere fyldning af boringen hævedes spanden 1-2 m over terræn. Studsen til trykslangen blev fjernet og pejlefløjten nedsænket i boringen, figur 1. I to af boringerne (indtag 1 og 2 i DGU nr. 200.3431) var det ikke muligt at få pejlefløjten ned i boringen pga. forsnævring. I stedet monteredes en Ø12 mm PE slange på studsen til trykslangen, og boring såvel som slange fyldtes med vand. Efter fyldning fjernedes spanden og vand-niveauet i de to slanger blev målt med passende mellemrum. Ud fra vandniveauets fald per tidsenhed og slangernes dimension blev tabet beregnet som ml/min.

Tabel 2. Trykprøvning af udvalgte overvågningsboringer af Montejus-typen

Område DGU nr.	Indtag m u.t.		Geo logi	Pejling m u. tr		Lækage-test	
	top	bund		ny	gl	tab ml/min	Bemærkning / observation
Søndersø 193.1371	65,5	66,0	kk	4,29	4,41	5	tømt ved 7 bar
	76,5	77,0	kk	3,94	4,05	ca 1000	tømt ved 5 bar
200.3431	50,0	50,5	kk	i.p.	2,32	Ikke målt	Bobbelyde efter ca.10L, vand presses ud i samlingen mellem forerør og top
	64,0	64,5	kk	i.p.	61,7	>1000	
200.3437	14,7	15,5	ms	4,38	4,54	3	
	54,0	55,0	ds	4,43	4,68	300	Gurglelyde; vand nedfra trænger op i bund af brønd
Gladsaxe 200.3428	28,0	28,5	kk	6,20	i.o.	<1	
	45,0	45,5	kk	5,96	11,68	<1	
Ishøj 207.2826	27,0	27,5	sk	3,96	i.o.	<1	
	45,0	45,5	sk	3,57	i.o.	150	Ingen lyde eller udsivning af vand ved overflade
207.2829	8,8	9,5	ds	3,97	i.o.	<1	
	18,5	19,2	sk	3,63	3,88	20	Ingen lyde eller udsivning af vand ved overflade

tr = top af rør, i.p. = ikke pejlet, i.o. = ikke oplyst

Lækage-test ved fyldning af slanger monteret på stigrør og tryk-studs, vil også registrere eventuelle utætheder i samlinger i top af boringen, og da der under renpumpning observeredes en utæthed mellem forerør og top ved indtag nr. 2 blev der ikke foretaget lækagetest af denne. Trykprøvning ved begge metoder blev udført på indtag nr. 1 i boring DGU nr. 200.3437 med samme resultat (300 ml/min) inden for metodernes måleusikkerhed.



*Figur 1. Pejling i forbindelse med trykprøvning af montejustboring, se tekst.*

Trykprøvningen viste ingen lækage i 4 af boringerne og kun en beskedent utæthed i 3 andre boringer. I 4 boringer var der tale om betydelig lækage, med tab på over 100 ml per minut. Det var ikke muligt at lokalisere lækagen nøjere, men efter observationerne at dømme drejer det sig om



utætheder i forerøret for 2 af boringernes vedkommende. Der blev dog ikke konstateret et meget stort forbrug af nitrogen under renpumpningen af de pågældende boringer, og der sås heller ingen udsivning af gas i boringens nærhed. Den af arbejdsgruppen foreslåede pakkertest /1/ vil kunne afsløre om der trænger vand ind i forerøret fra utæthederne i de pågældende boringer, og dermed om der er en potentiel risiko for forurening af grundvandet omkring indtaget.

De mindre utætheder, der blev målt i 3 af boringerne kan skyldes at kontraventilen ikke lukker helt tæt pga. af materiale aflejret i bunden. En utæt kontraventil betyder, at der under renpumpning kan presses lidt vand tilbage til indtaget, og for at kontrollere betydningen af dette blev de oppumpede vandmængder fra et par af boringerne målt og sammenlignet med de forventede mængder beregnet ud fra boringernes dybde og diameter samt dybden til vandspejlet. For det dybe indtag i boring DGU nr. 207.2829 svarede den oppumpede mængde (14 l) til den beregnede mængde, men for de to indtag i boring DGU nr. 207.2826 udgjorde de oppumpede mængder kun ca. halvdelen af de forventede mængder. Det er overraskende da der ikke ved trykprøvningen konstateredes nogen utæthed i det ene indtag, og kun en moderat utæthed i det andet, tabel 2. Ved beregningen af den samlede vandmængde i forerøret blev det antaget, at den indvendige diameter af forerøret er 35 mm, hvilket giver ca. 0,96 l per meter forerør. Vandmængderne i de to forerør beregnedes til henholdsvis 40 l og 22 l, men de oppumpede mængder var blot 17 l og 12 l. Dybderne til de to indtag blev kontrolleret ved hjælp af pejlefløjten, og viste sig at stemme med oplysningerne i tabel 2. Forklaringen på den manglende overenstemmelse mellem beregnede og oppumpede vandmængder kan skyldes at forerørets diameter er mindre end angivet, altså mindre end 40 mm udvendig diameter. Det anbefales derfor at kontrollere dimensionen af forerørene af montejusboringerne ved først mulige lejlighed.

De lyde der hørtes under tømning af to af boringerne, må stamme fra gas, der bobler igennem vandet et eller andet sted i boringen, men om det påvirker kemien af det vand der opsamles til analyse kan være svært at afgøre. To parametre vil kunne påvirkes af nitrogen gennembobling af vandet, bikarbonat og CFC indhold. Grundvandet fra de to indtag indeholder ingen tritium og derfor heller ingen eller kun meget lidt CFC, og gennembobling af vandet med nitrogen vil derfor ikke have afgørende virkning. En eventuel afgasning af CO<sub>2</sub> og dermed en mindskeelse af bikarbonat pga. kalk (CaCO<sub>3</sub>) udfældning vil også være meget vanskelig at spore. I tilfælde af ungt grundvand vil afgasning med hensyn til CFC påvirke aldersbestemmelsen, som det blev konstateret ved en anden undersøgelse med CFC-datering af nogle LOOP boringer, der giver prøver af det øverste grundvand.

En sidste bemærkning i forbindelse med selve prøvetagningen gælder de to indtag i boring DGU nr. 193.1371, hvor det nødvendige tryk for tømning af forerøret var mindre for det dybe indtag end for det knap så dybe indtag. Er der byttet om på indtagene? Det anbefales at kontrollere dette ved en pejling af dybde til de to indtag.

## Vurdering af eventuel lækage på grundlag af aldersbestemmelser

Arbejdsgruppens rapport om undersøgelser af overvågningsboringer /1/ nævner at CFC-dateringerne kan anvendes ved vurderingen af mulige utætheder i eller omkring boringen, men påpeger at man ikke kan forvente at en CFC-datering kan afgøre om der er utætheder eller ikke. I spørgeskemaet, rapportens bilag 1, gøres opmærksom på, at hvis CFC-11 viser yngre vand end CFC-12 kan det være tegn på blandingsvand, og muligvis et symptom på lækage. Det er dog værd at bemærke, at blandingsvand sandsynligvis også forekommer naturligt i opsprækket moræneler, hvor vandet strømmer i sprækker. De af Københavns Amt overvågningsboringer, der giver ca. 50 år gammelt grundvand og hvor CFC-11 viser lidt yngre alder end CFC-12, bør derfor ikke betragtes som utætte med mindre der er andre forhold der indikerer mulig lækage, jfr. beregningerne i bilag 1.

### CFC-datering af grundvand med lavt tritium-indhold

Resultaterne de nye CFC-dateringer af grundvand med lavt tritiumindhold er vist i tabel 3.

Tabel 3. Aldersbestemmelse af grundvand på grundlag af CFC-indhold.

Område	Boring DGU nr.	Indtag meter u. terr.	Beregnet alder ved CFC metoden			Bemærkninger
			CFC-11	CFC-12	CFC-113	
Søndersø						
	200.3437	54,0-55,0	<1945	<1940	<1960	
		14,7-15,5	<1945	1945	<1960	
	200.3782	53,0-88,0	<1945	<1940	<1960	
	200.3431	64,0-64,5	<1945	<1940	<1960	
		50,0-50,5	<1945	<1940	<1960	
	193.1371	65,5-66,0	<1945	<1940	<1960	
		76,5-77,0	1952	1948	<1960	
Gladsaxe						
	201.3804	46,0-49,0	1957	1956	*)	
	200.3428	45,0-45,5	<1945	<1940	<1960	
Ishøj						
	207.3003	9,6-11,6	*)	*)	*)	O <sub>2</sub> ; N <sub>2</sub> O; CFC-114
	207.2826	45,0-45,5	1948	1942	<1960	
	207.2826	27,0-27,5	<1945	<1940	<1960	
	207.2829	18,5-19,2	<1945	<1940	<1960	

\*) CFC-indholdet er højere end det der kan opnås ved ligevægt med atmosfæren i dag.

Der blev udført dobbeltbestemmelse af CFC-indholdet for alle indtag, se detaljerne i bilag 2. Den nedre grænse for CFC-metodens følsomhed, svarer omtrent til det første produktionsår for de pågældende CFC-forbindelser. Som ventet viste CFC-dateringerne gammelt vand set i forhold til det tidsinterval som CFC-metoden dækker, med boring DGU nr. 207.3003 som eneste undtagelse. Denne boring blev medtaget i undersøgelsen fordi det tidligere forsøg på en CFC-datering ikke havde været vellykket, og ikke pga. vandets lave tritiumindhold. Andet forsøg på CFC-datering gav samme negative resultat, som første forsøg, sandsynligvis fordi reservoiret består af højtliggende kalk. Der har ved flere lejligheder vist sig problemer med forhøjede CFC-indhold i grundvandet i denne type af reservoirer, muligvis fordi der "fanges" overskudsluft i nogle af sprækkerne ved ændringer i vandspejlet, som følge af pumpning eller årstidsvariationer. Dette er en formodning og den eksakte grund til problemerne er stadig ikke kendt.

Det er værd at bemærke at CFC-indholdet er højere i det dybe indtag end i det knapt så dybe indtag i borerne 193.1371 og 207.2826, og at der ved trykprøvningen blev konstateret en utæthed i det dybe indtag men ikke i indtaget ovenover for de to borer, se tabel 2. De højere CFC-indhold i de dybe indtag kunne derfor måske skyldes opblanding med en smule yngre vand pga. lækage. CFC-indholdet i det dybe indtag er dog så lavt, at den relative mængde af yngre vand sandsynligvis er mindre end 1 pct. og det er derfor så godt som umuligt at spore dette ud fra en almindelig grundvandskemisk analyse, med mindre det overfladenære vand er meget forurenet med f.eks organiske opløsningsmidler eller pesticider. Boring DGU nr.193.1371 ligger i en skov, så der næppe megen forurening af den nævnte type, mens boring DGU nr. 207.2826 ligger på en græsplæne i et byområde, hvor risikoen for forurening er større.

De to indtag i boring 200.3428 blev i amtets indberetning betegnet som "måske utætte" fordi boringen mangler bentonit-forsegling og fordi der observeredes farveskift i vandet ved renpumpning. Trykprøvning viste imidlertid ingen tegn på "intern" utæthed (tabel 2) og CFC-dateringerne samt tritium dateringerne tydede heller ikke på utætheder, tabel 3 og tabel 4b. Den senere omtale af kemiske forhold for grundvandet tyder heller ikke på utætheder for de to nævnte indtag.

#### Vurdering af tritium- og CFC-dateringer i forhold til geologi

CFC-dateringer og tritium-resultater er vist for samtlige overvågningsboringer i tabel 4a-c. Relevante geologiske og kemiske parametre såsom reservoirbjergart (bja), tykkelsen af lerdækket, dybden til grundvandsspejlet og redox-type af grundvandet er også vist tabellerne. Der opereres med 4 redox-typer som er defineret efter grundvandets indhold af ilt, nitrat, jern(II) og methan, tabel 5. Det er imidlertid ikke muligt at opstille en entydig sammenhæng mellem vandets indhold af tritium og indholdet af CFC, og dermed kontrollere om man har at gøre med "repræsentativt" grundvand for det pågældende reservoir eller ej. Det skyldes, at det forhøjede tritium-indhold i

grundvandet skyldtes en relativ kortvarig puls, figur 2, mens de stigende CFC-indhold skyldes et stadig stigende udslip af CFC til atmosfæren til op midt i 1990'erne. Sammenligning mellem de to daterings "værktøjer" vanskeliggøres desuden af tritiums relativt korte halveringstid 12,8 år. Endelig betyder grundvandets strømning i sprækker en opblanding af vand af forskellige aldre og dermed at spredningen af mulige tritiumværdier for et givet CFC-årstal vil være stor. Betydningen af sprække-strømning for vandets tritiumindhold fremgår af tritium-profilet i figur 3. For et simpelt strømningmønster ville man få et tritium-profil der ligner det i figur 2 vendt 90°, altså en brat stigning i tritium-indholdet nedefra og op, efterfulgt af et gradvist fald. Men som det ses er der for tritium-profilet i ler tale om en svag stigning nedefra og op, pga. sprækkestrømning. Tritium-profilet i figur 3 repræsenterer det totale vandindhold i leret, både matrix-vand, der udgør den største mængde, og vandet i sprækkerne. Den svage stigning i tritium nedefra og op skyldes at vand med et højt tritiumindhold er trængt ned via sprækker til betydelig dybde, hvor matrixvandet er uden tritium. Der sker til stadighed en udveksling mellem matrixvandet og vandet i sprækkerne pga. diffusion, og derfor vil tritium med tiden blive ført ned til reservoirbjerarten under leret. Variationen af tritiumindhold med tiden ved strømning i et dobbeltporøst medie er forsøgt illustreret i figur 2.

Tabel 4a. Tritium- & CFC-datering af grundvand, Søndersø overvågningsområde

DGU nr.	indtag	top (m)	TU(1) sep.90	TU(2) sep.93	TU(3) nov.96	CFC-år	redox	bja	Lerdæke, m	umættet zone, m	pumpe-type
193.1371	2	65,5		< 1		<1940	3	kk	11	6	5 <sup>1)</sup>
	1	76,5	< 1	< 1		1948	3	kk	11	6	5
193.1379	2	50,0	8,7	11,1		1948	3	ds	16,1	30	5
	1	74,0	4,9	5,4		1946	3	ds	21,1	30	5
193.1380	3	30,5	3,7	2,9		1948	3	ds	14,3	6	5
	2	44,0	7,6	1,8		1950	3	ds	18,8	6	5
	1	55,0		2		1947	3	dg	19,3	6	5
200.19		48,0	1,2	2		1950	4	ds	34,1	4,3	5
200.3431	2	50,0	< 1	< 1		<1940	3	kk	13,9	5	5
	1	64,0	< 1	< 1		<1940	4	kk	13,9	5	5
200.3435	3	43,3	< 1	3,7		1946	3	ds	4,15	21	5
	2	57,7	2,2	4,3		1948	4	ds	13,65	21	5
	1	64,7	< 1	1,6		1946	3	dg	16,15	21	5
200.3436	2	38,0	< 1	< 1		<1940	3	ds	8	26,5	5
	1	74,0	1,8	3,1		<1940	3	dg	21	26,5	5
200.3437	3	14,7	< 1	< 1		<1940	4	ms	13,7	4,5	5
	2	31,0	13	10,5		1946	3	dg	16,7	4,5	5
	1	54,0	4,5	< 1		<1940	3	ds	16,7	4,5	5
200.3703	3	38,0	<10	2		1946	3	ds	6,9	23	3
	2	48,0	<10	3,3		1946	3	ds	6,9	23	3
	1	70,0	<10	4,6		<1940	3	kk	7,9	23	3
200.3704	3	38,0	49,8	52,2		1964	3	ds	14,3	34	3
	2	48,0	<10	7,2		1947	3	ds	14,3	34	3
	1	70,0		13,2		1953	4	dg	16,5	34	3
200.3782		60,0	< 1			<1940	4	kk	6	2	0

TU(1) værdier m. skravering blev målt sep. 92. CFC-år m. skravering er målt i år, tabel 3. <sup>1)</sup>"5" = Montejus

Tabel 4b. Tritium- & CFC-datering af grundvand, Gladsaxe overvågningsområde

DGU nr.	indtag	top (m)	TU(1) sep.90	TU(2) sep.93	TU(3) nov.96	CFC-år	redox	bja	Lerdække, m	umættet zone, m	pumpe-type
200.3428	2	28,0	< 1	9,1	7,1	1950	4	kk	7,9	6,5	5
	1	45,0		< 1	< 1	<1940	2	kk	7,9	6,5	5
200.3438	2	15,5	50	39,6	28	1961	4	ds	8,8	14	5
	1	29,5	17	23,1	12	1964	4	ds	8,8	14	5
200.3562	2	24,0		20,4	<10	1968	1	ds	11,96	22	5
	1	38,0		6,2	9,1	1950	1	ds	11,96	22	5
201.3795	2	31,0		25,6	<10	1962	3	ds	11,6	16	5
	1	38,0	< 1	2,2	5,1	1967	3	ds	11,6	16	5
201.3796	2	17,0	5,4	6,4	20	1966	3	ds	5,4	11	5
	1	31,4	8,6	22,7	<10	1952	1	ds	5,4	11	5
201.3797	3	28,0	22	66,3	40	1961	1	ds	11,3	32,5	5
	2	34,0	2	1,6	18	1948	3	ds	11,4	32,5	5
	1	43,8	5	14,9				ds	11,4	32,5	5
201.3798	2	21,7	29		14		1	ds	3,5	24,5	5
	1	27,5	31	25,5	21		1	ds	3,5	24,5	5
201.3804	2	24,5	2,4	2,2	1,5	1959	3	ds	9,7	22	3
	1	46,0	< 1	< 1	< 1	1956	3	kk	20,6	22	3

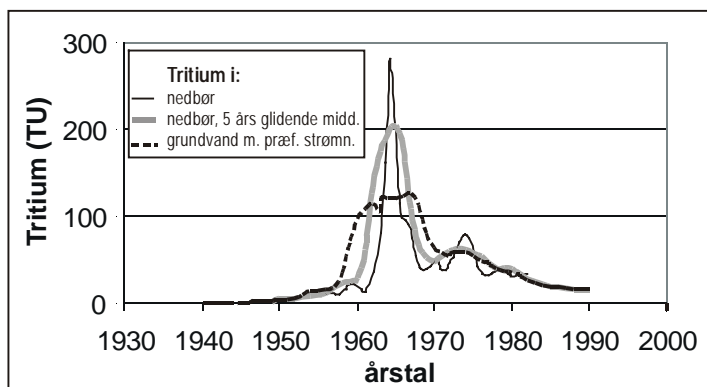
Tabel 4c. Tritium- & CFC-datering af grundvand, Ishøj overvågningsområde

DGU nr.	indtag	top (m)	TU(1) sep.90	TU(2) sep.93	TU(3) okt.95	CFC-år	redox	bja	Lerdække, m	umættet zone, m	pumpe-type
207.303		12,0				1943					
207.565		48,9				1948					
207.2819		27,5	40,4	23,1	15	1967	3	sk	20,2	8,5	3
207.2820		14,5	10,8	8,3	2,2	1968	3	sk	12	8,5	3
207.2826	2	27,0	4,3	< 1	< 1	<1940	2	sk	19	5	<sup>1)</sup> 5
	1	45,0	2,1	< 1	< 1	1943	2	sk	19	5	5
207.2829	2	8,8	33	23,8	11		4	ds	6,8	5,5	5
	1	18,5	2,2	< 1	< 1	<1940	3	sk	15,8	5,5	5
207.2830	2	6,5	23	14,9	<10	1968	4	ml	5,1	6,5	5
	1	11,5	9,9					sk	11,4	6,5	5
207.2832	2	8,1	3,1	6,1	7	1962	3	ds	6,7	3	5
	1	10,3	10	5	7,7	1966	3	ml	8,5	3	5
207.2833		8,5	24	19,2	<10	1945	3	ml	8,3	2,5	5
207.2834		6,9	30					ds	4,1	5	5
207.2980	1	21,3	12					sk	22,8	3	0
	1	35,5		< 1	< 1		3	sk	22,8	3	0
207.3002	1	10,3	11					sk	0	3,5	0
	1	13,7		4,1	1,1	<1940	4	sk	0	3,5	0
207.3003		9,6	11,9	10,2	8	*)	2	sk	0	2,5	0
207.3004	1	16,8	< 1				3	sk	0	4,5	0
	1	17,6		1,1	< 1			sk	0	4,5	0

TU(1) værdier m. skravering blev målt sep. 92. CFC-år m. skravering er målt i år, tabel 3. <sup>1)</sup> "5" = Montejus

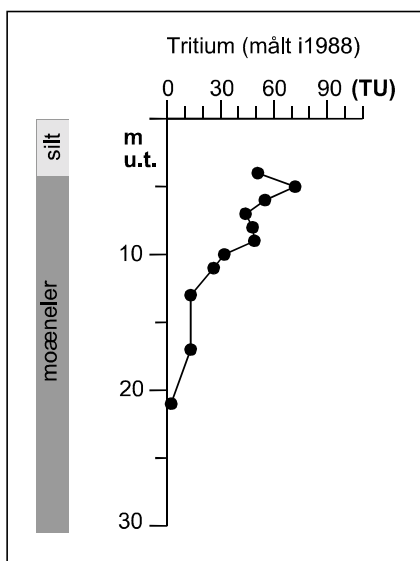
Tabel 5. Kriterier for inddeling af grundvand efter forskellige redox-forhold

Redox-type (nr.)	O <sub>2</sub> , mg/L	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , mg/L	CH <sub>4</sub> , mg/L
Oxisk (1)	>3	>1	<0,05
Anoxisk (2)	<3	>1	<0,05
Jern / sulfat (3)	<3	<1	<0,05
Methan (4)	<3	<1	>0,05



Figur 2. Tritiumindhold i nedbør korrigeret for henfald frem til 1990, samt eksempel på tritiumindhold i grundvand med præferentiel strømning (sprækkestrømning). Det antages at halvdelen af vandet (i sprækkerne) bevæger sig dobbelt så hurtigt som den anden halvdel (i matrix)

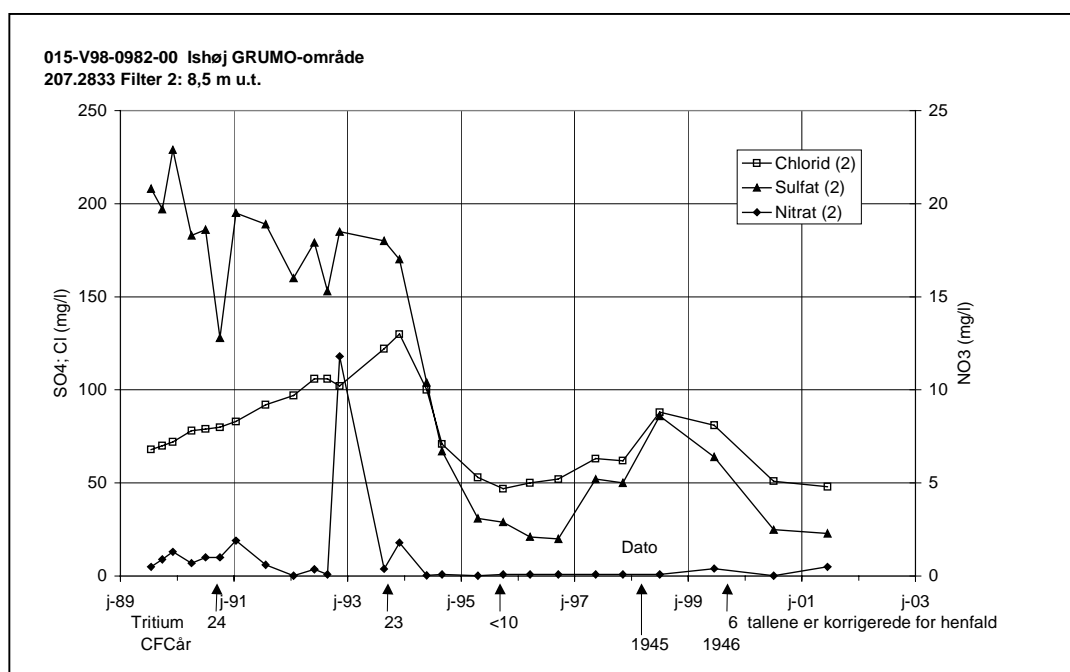
Sandsynlig er ”forbredningen” af tritium-toppen pga. sprækkestrømning endnu større end vist i figur 2, som også eksemplet i figur 3 antyder.



Figur 3. Tritiumprofil for boring SBI, ved Langvad Å. Modifieret efter Ernstsens et al. (1990).

Set i lyset af ovenstående bemærkninger synes der ikke at være markante afvigelser mellem tritium- og CFC-indholdet (beregnet CFC-årstal) i grundvandet, tabel 4a-c, på nær for to boringer. Den ene af disse er boring DGU nr. 200.3804, hvor grundvandet fra nederste indtag viste lav tritium (<1 TU) ved tre undersøgelser 1990-1996 mens CFC-dateringen 6 år senere viser en alder omkring 1956. Vandet er naturligvis blevet yngre i løbet af de 6 år, men det er påfaldende, at CFC-113 indholdet er så højt, at det ligger over den mængde, der kan stamme fra ligevægt med atmosfæren. Noget tyder derfor på indtrængning af forurenat vand muligvis gennem en utæthed omkring boringen. Da indtaget står i kalk, der er kendetegnet ved sprækkestrømning kan det imidlertid ikke udelukkes at forureningen er sket ad "naturlig vej".

Den anden boring med markant afvigelse mellem tritium og CFC er boring DGU nr. 207.2833, der viste relativ høje tritiumindhold 24 TU (sep. 1990) og 19,2 TU (sep. 1993), men viste høj alder (CFC-år = 1945) ved CFC dateringen i marts 1998. Afvigelsen blev allerede bemærket ved udgivelsen af den første overvågningsrapport, der omtalte CFC-datering. Derfor blev der i juni 1999 udtaget prøver for samtidig bestemmelse af tritium og CFC. For at udelukke eventuelle problemer, der kunne opstå ved prøvetagning med montejus-teknikken, jævnfør de ovenfor omtalte problemer med CFC-afgasning pga. gennembobling med nitrogen, blev prøverne udtaget med en lille 12 volts dykpumpe. Tritiumindholdet blev målt til 3,6 TU, svarende til 5,9 TU ved korrektion for radioaktivt henfald siden sep. 1990, hvor første tritiummåling blev udført. Resultaterne af alle tritiummålingerne og CFC-dateringerne er vist sammen med ændringerne i grundvandskemien i hele perioden siden 1990 i figur 4.



Figur 4. Ændringer i sulfat, klorid, nitrat, tritium og CFC i grundvand, boring 207.2833

At tritiumindholdet i grundvandet reelt er faldet siden 1990 (sammenlign værdier korrigerede for henfald) skulle betyde at vi befinder os på den ”unge side” af tritiumtoppen omkring 1963, figur 2. Dvs. at CFC-dateringen skulle vise yngre vand end ”1963”, men det var ikke tilfældet for nogen af de to CFC-dateringer, idet anden datering (CFC-år = 1946, juni 1999) gav næsten samme resultat som første datering. CFC-dateringerne tyder derfor på at vi befinder os på den ”gamle side” af tritiumtoppen, og dermed at faldet i vandets tritiumindhold skyldes, at vandet er blevet ældre. Ændringerne i grundvandskemi kunne godt tyde på, at det også er tilfældet idet grundvandet i perioden 1990-1993, hvor tritiumindholdet var højt, også indeholdt nitrat ca 5-20 mg/l. Men efter 1995, hvor tritiumindholdet var lavt, var grundvandet stort set nitratfrit. At grundvandet er blevet fri for nitrat kunne også skyldes andre forhold f. eks ændret gødningspraksis, men de markante ændringer i grundvandets sulfat- og kloridindhold bestyrker formodningen om at vandtypen har ændret sig for det pågældende indtag i løbet af overvågningsperioden. Årsagerne hertil kan være ændringer i vandspejlet som følge af ændringer i nedbørforholdene eller indvindingen i området. Pejlingen i juni 1999 viste at grundvandet stod godt 1 meter højere end ved starten af overvågningen.

Ændringer i vandtype med varierende grundvandsspejl er observeret for andre overvågningsboringer, og regelmæssige CFC-dateringer af grundvandet gennem flere år for et par af disse boringer har vist at alderen af grundvandet kan variere med op til 25 år i løbet af et enkelt år. Sådanne variationer gør det naturligvis endnu vanskeligere at sammenligne CFC-dateringer med tritiummålinger, hvis ikke de to typer dateringer er udført på samme tid. De samtidige målinger af tritium og CFC i boring DGU nr. 207.2833 viste at knap 6 TU (korrigeret til 1990 niveau) skulle svare til et CFC-årstal omkring 1946 for et sekundært sandreservoir under ca. 8 m moræneler. Tritiumværdien er måske lige høj nok til hvad man ville forvente ud fra tritiumkurven i figur 2, men nogen markant afvigelse er der ikke tale om. Så alt i alt kan der ikke på basis af CFC- og tritiummålingerne udpeges nogen decideret utætte boringer.

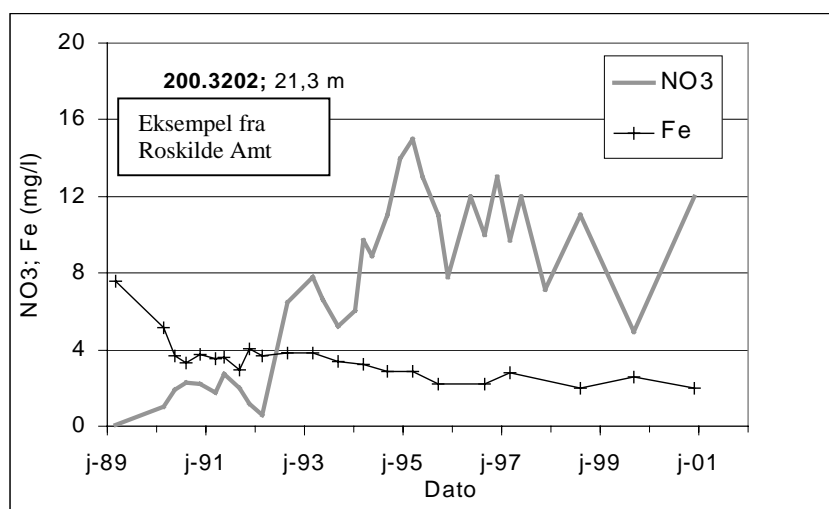


## Bedømmelse af mulig lækage på grundlag af grundvandskemien

Utætheder i og omkring overvågningsboringer kan afsløres ved tilstedeværelse af ”uforenlige” stoffer f.eks. nitrat og jern(II) i vandprøverne, eller ved ”uforklarlige” skift i grundvandskemien fra gang til gang. Ved bedømmelsen af eventuelle utætheder ud fra grundvandskemien behandles først problemet med ”uforenlige” stoffer og derefter vurderes om variationerne i makroionerne over tid kan være et resultat af en naturlig proces eller om variationen skyldes blanding af forskellige vandstyper pga. utætheder.

### Indeholder prøverne både nitrat og jern(II) ?

Tilstedeværelse af jern(II) i grundvandet kræver under naturlige forhold et så lavet redox-potentiale, at ilt og nitrat ikke kan være tilstede. Blandes ilt-holdigt og jern(II)-holdigt vand sker der en øjeblikkelig udfældning af det rødbrune jern(III)hydroxid, nitrat- og jern(II)-holdigt vand kan derimod godt blandes under prøvetagning uden at der sker udfældning. Blandes nitrat- og jern(II)-holdigt vand i perioderne mellem prøvetagningerne ved at nitratholdigt vand via utætheder trænger ned i et reservoir med jern(II)holdigt grundvand (hvori indtaget er placeret) vil der ske en udfældning af jern(III)oxid/hydroxid som følge af mikrobiologisk nitratreduktion. Sidstnævnte situation kan give anledning til, at der produceres en del okker ved begyndelsen af renpumpningen. Blandingsvand der indeholder både nitrat og jern(II) forekommer sandsynligvis kun i de tilfælde, hvor nitrat- og jern(II)-holdigt vand blandes under pumpningen i forbindelse med prøvetagningen. Nedenstående eksempel fra Roskilde Amt viser en boring (montejus), hvor nitratholdigt vand via utæthed mellem forerør og jordlag trænger ned og blandes med jern(II)holdigt vand, figur 5.



Figur 5. Eksempel på utæt boring. Nitrat og jern i samme vandprøve viser at der er sket opblanding af to forskellige vandtyper under prøvetagningen.

Indtaget står i moræneler (lavtydende) og det er formentlig grunden til at der ”trækkes” målelige mængder nitratholdigt vand ned i indtaget under prøvetagningen.

Ingen af de af Københavns Amt fremstillede tidsserier for nitrat og jern(II) viser et så entydigt billede på blanding af uforenlige vandtyper som i eksemplet fra Roskilde Amt (figur 5). Mange overvågningsboringer viste dog samtidig forekomst af både nitrat og jern(II) i enkelte prøver, så det må bero på et skøn om det skyldes utætheder eller andre forhold. Andre forhold, der kunne betinge samtidig tilstedeværelse af nitrat og jern(II) i enkelte prøver kunne være dårlig eller manglende filtrering af prøverne i felten, der tillod partikler af jernoxider at passere til prøveflasken. Analysefejl, tastefejl eller forbyttede prøver er også muligheder, enkelte meget høje jern og nitratindehold i nogle prøver skyldes sandsynligvis sådanne forhold. Ændringer i vandtype som følge af ændringer i vandspejl kunne også være en mulig årsag i nogle tilfælde. Ved gennemgangen af tidsserierne for nitrat og jern er der derfor noteret både de typiske indhold af stofferne for det pågældende indtag, og ”undtagelserne” dvs. indholdet af nitrat og jern(II) i de prøver, hvor begge stoffer var tilstede ved samme prøvetagning, de skraverede kolonner i tabel 6a-c. De indtag hvor grundvandskemien tydede på, at der kunne være ændringer i vandtypen pga. ændringer i vandspejlet (vsp.) er også markeret i tabellerne.

Tabel 6a. Nitrat og jern(II) i vandprøver, Sønderø

DGU nr.	Indtag	Top	Redox	Bja	Ændr.Vsp.	NO3	Fe	NO3	Fe	utæt
193.1371	2	65,5	3	kk		0	2	1	2	
	1	76,5	3	kk		0	1-1,5	1,5	1,5	
193.1379	2	50,0	3	ds	m	0	2-0,5	1	2	
	1	74,0	3	ds		0	1,5-3,5	1	3	
193.1380	3	30,5	3	ds		0	2	1	2	
	2	44,0	3	ds		0-2	3-1	2	1	m
	1	55,0	3	dg		0	3-2	2	3	
200.19		48,0	4	ds		0	4-2	6	2	
200.3431	2	50,0	3	kk		0	1,5			
	1	64	4	kk		0	0,7	0,5	0,8	
200.3435	3	43,3	3	ds	j	0	1			
	2	57,7	4	ds		0	3	1	3	
	1	64,7	3	dg		1	2	0	2,5	
200.3436	2	38,0	3	ds	j	0	2			
	1	74,0	3	dg		0-0,5	1-2	1	2	m
200.3437	3	14,7	4	ms		0	3	1,5	3	
	2	31,0	3	dg	j	0	0,3	0,5	0,5	
	1	54,0	3	ds		0	1,5	0,5	1,5	
200.3703	3	38,0	3	ds	j	0	2	1	2	
	2	48,0	3	ds	m	0-3	1	2	1	m
	1	70,0	3	kk		0	1,5	2	1	
200.3704	3	38,0	3	ds	j	0	1-3	1	1	
	2	48,0	3	ds		0	1,5	6	1	m
	1	70,0	4	dg		0	1-2	2	1	
200.3782		60,0	4	kk		0	1	0,5	0,5	

m = måske, j = ja. Skraverede kolonner viser indhold i samme prøve.

Tabel 6b. Nitrat og jern(II) i vandprøver, Gladsaxe

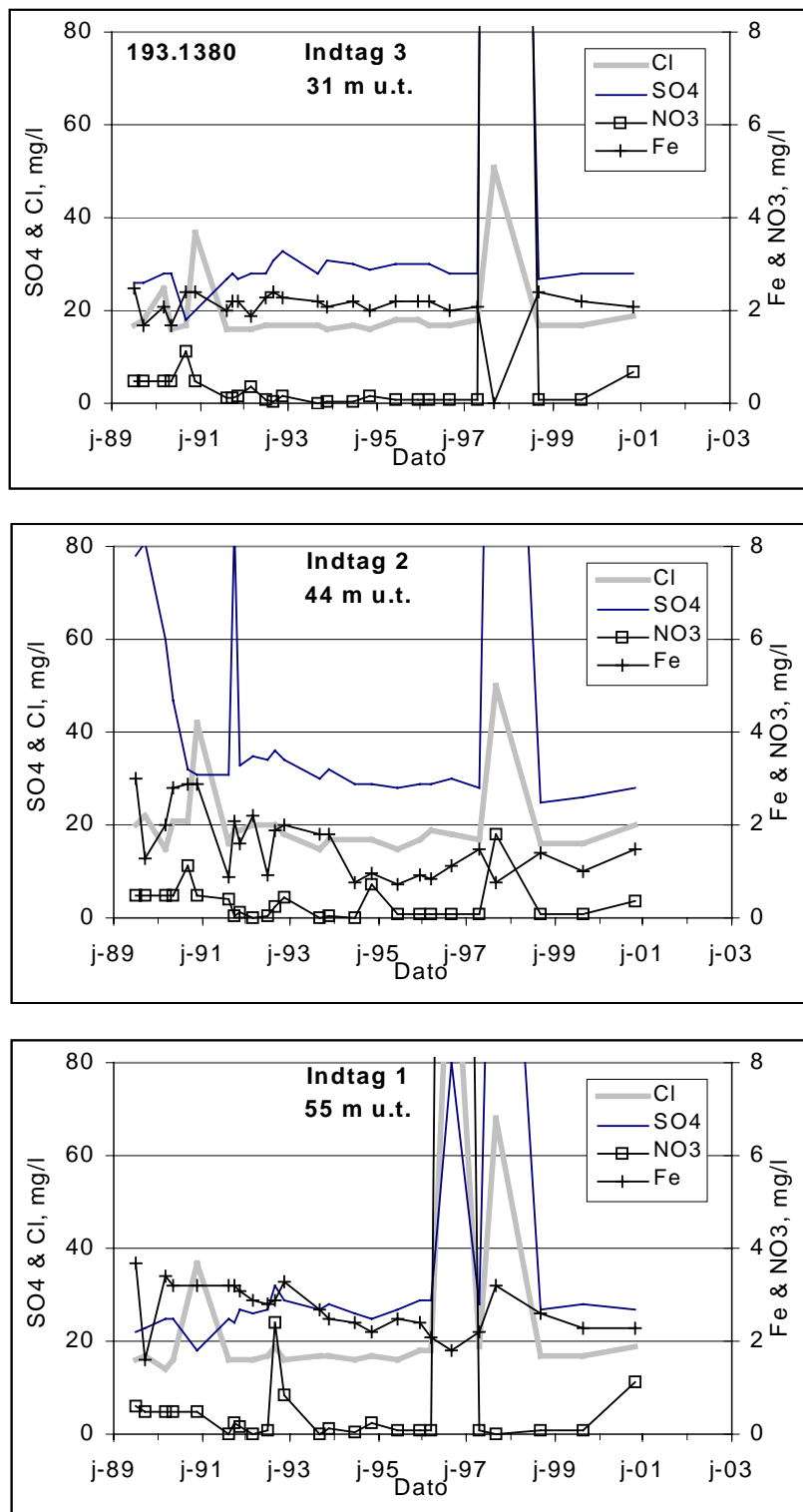
DGU nr.	Indtag	Top	Redox	Bja	Ændr.Vsp.	NO3	Fe	NO3	Fe	Utæt
200.3428	2	28,0	4	kk		<0.5	3			
	1	45,0	2	kk		<0.5	<0.2	60		
200.3438	2	15,5	4	ds	j	0-20	<0.2			
	1	29,5	4	ds	m	<0.5	5	23	26	
200.3562	2	24,0	1	ds	j	<0.5	<0.2	2	0	
	1	38,0	1	ds		0.5-2	5	2	5	m
201.3795	2	31,0	3	ds	j	0-10	<0.2	100	180	
	1	38,0	3	ds		<.5	2	40	40	
201.3796	2	17,0	3	ds	j	<.5	1	9	3	
	1	31,4	1	ds		<.5	2	1	2	
201.3797	3	28,0	1	ds	m	<0.5	<1	7	0,5	
	2	34,0	3	ds	m	<1	<0.5	4	0	
	1	43,8		ds		<0.5	1			
201.3798	2	21,7	1	ds						
	1	27,5	1	ds	m					
201.3804	2	24,5	3	ds		<0.5	<0.5			
	1	46,0	3	kk	m	<0.5	0,5			

Tabel 6c. Nitrat og jern(II) i vandprøver, Ishøj

DGU nr.	Indtag	Top	Redox	Bja	Ændr.Vsp.	NO3	Fe	NO3	Fe	Utæt
207.303		12,0								
207.565		48,9								
207.2819		27,5	3	sk	j	0	4	2	3	
207.2820		14,5	3	sk	m	2	0,5	3	0	
207.2826	2	27,0	2	sk		0	0	11	0	
	1	45,	2	sk		0	0	1	0	
207.2829	2	8,8	4	ds		<1	10	7	10	
	1	18,5	3	sk	m	<0.5	2	22	0	
207.2830	2	6,5	4	ml	j	<0.5	2	2	1	
	1	11,5		sk				5	10	
207.2832	2	8,1	3	ds	j	<0.5	2	5	2	
	1	10,3	3	ml	j	<0.5	2	3	2	
207.2833		8,5	3	ml	j	<0.5	4	12	5	
207.2834		6,9		ds						
207.2980	1	21,3		sk						
	1	35,5	3	sk		0	<0.2	2	<0.2	
207.3002	1	10,3		sk						
	1	13,7	4	sk	m	<0.5	1			
207.3003		9,6	2	sk			0	18	0	
207.3004	1	16,8	3	sk		0	0,7	1	0,5	
	1	17,6		sk						

m = måske, j = ja. Skraverede kolonner viser indhold i samme prøve.

På grundlag af hyppigheden af samtidig tilstedeværelse af nitrat og jern(II) er det vurderet om der måske var tale om en utæthed i eller omkring boringen. Detektionsgrænsen for nitrat-analyserne blev ændret fra 0,5 mg/l til 0,1 mg/l omkring slutningen af 1990. Derfor viser flere af amtets nitrat tidsserier et fald i nitratindholdet omkring dette tidspunkt, se eksemplet i figur 6.



Figur 6. Tidserier for grundvandskemiske parametre i boring 193.1380, Farum Sø vest.

Eksemplet i figur 6 illustrerer meget godt vanskelighederne ved at skulle bedømme mulige utætheder på grundlag af variationerne i de kemiske parametre. Det er valgt at se bort fra enkelte

meget store udsving som sandsynligvis skyldes dårlig prøvetagning, analysefejl eller tastefejl. Der er ikke stor forskel på grundvandskemi i de tre dybder i boring DGU nr. 193.1380, og alderen af vandet er stort set den samme, CFC-dateringen indikerer dannelse i slutningen af 1940'ne og tritiumindholdet ligger lidt over detektionsgrænsen 2-3 TU i alle tre niveauer. Alle tre indtag står i smeltevandssand/-grus, og man ville umiddelbart vente se en større spredning i grundvandets alder dybdeforskellene taget i betragtning. Det er ofte tilfældet for (homogene) sandmagasiner. Men den vekslende geologi inklusive de 14-19 m lerdække over reservoirerne kan muligvis være forklaringen på den ensartede kemi og alder af vandet i de tre forskellige dybder. Når der ses bort fra de meget markante udsving, synes variationen af jern(II) og nitrat at være større i det mellemste indtag end i de to øvrige, derfor er indtaget markeret som måske utæt i tabel 6a.

### Indikerer variationerne i grundvandskemi utætheder?

Variationerne i klorid- og sulfatindhold er gennemgået for samtlige indtag for at bedømme om de skyldtes naturlige forhold, f.eks. ændringer i grundvandsspejlet eller om årsagen kunne være utætheder i eller omkring borerne. Bedømmelserne er sammenfattet i tabel 7a-c.

*Tabel 7a. Kommentarer til variationer i grundvandskemi, Søndersø overvågningsområde*

DGU nr.	Indtag	Naturlig variation af kemi / Kommentarer til grundvandskemi	Utæt
193,1371	2	Cl=18 og SO4 ca. 20 mg/l i hele perioden	
	1	Cl ca. 18 og SO4 ca. 15 mg/l i hele perioden	
193,1379	2	m Faldende Fe indhold, NO3 0.5-1 i 2 prøver. SO4=50 & Cl=20 mg/l, enkelte udsving	
	1	Cl=30; SO4=25; K og Fe varierer	
193,1380	3	Cl=17; SO4=30 mg/l hele perioden; enkelt markante udsving analyse el. tastefejl?	
	2	Fe; NO3; varierende indhold	m
	1	Cl=17; SO4=30 mg/l hele perioden; få markante udsving analyse el. taste fejl?	
200,19		Cl faldet fra 40-25; SO4 20-5 mg/l i perioden 1990-2001	
200,3431	2	Cl= 30 & SO4=20 mg/l, enkelt pr. hhv. 180 og 160	
	1	Cl= 30 & SO4=20 mg/l, 2 pr. ca 50 mg/l	
200,3435	3	j SO4 steget fra 20 til 40 og Cl faldet fra 30 til 20 mg/l i perioden 1990-2001	
	2	SO4 steget fra 20 til 35 mg/l i perioden 1990-2001; Cl=27 mg/l	
	1	SO4 steget fra 25 til 30 mg/l i perioden 1990-2001; Cl=27 mg/l	
200,3436	2	j SO4 mellem 20 & 60 mg/l	
	1	NO3 og Fe i samme prøve 2 gange, svingende Fe, K, SO4 & Cl	m
200,3437	3	NO3 i enkelt prøve; SO4 falder fra 18 til 2 mg/l 1990-98; Cl=13 mg/l	
	2	j NO3 i enkelt prøve, SO4 svinger rytmisk mellem 40-80 mg/l; Cl=25 mg/l	
	1	NO3 i enkelt prøve, SO4=15; Cl=50 mg/l	
200,3703	3	j Efter 1999: Fe & NO3 i een prøve	
	2	m Fe & NO3 i samme prøve 3 gange; SO4 =500 i én pr. ellers ca 80 mg/l	m
	1	Fe & NO3 i samme prøve 2 gange. Cl faldet fra 80 til 30 mg/l i perioden 1994-2000, pga ændr. indv.?	
200,3704	3	j NO3 i få prøver sammen med Fe; NO3 & Cl stiger efter 1999	
	2	Efter 1998: Fe & NO3 i samme prøve; markante skift i Cl 20-160 mg/l	m
	1	Efter 1999: Fe & NO3 i een prøve	
200,3782		NO3 svagt stigende, Fe svagt faldende fra 1998; Cl 55-80 mg/l, høj pga. saltvands-indtrængning?	

m = måske, j = ja. Skravering markerer de trykprøvede borer

Tabel 7b. Kommentarer til variationer i grundvandskemi, Gladsaxe overvågningsområde

DGU nr.	Indtag	naturlig variation af kemi / Kommentarer til grundvandskemi	utæt
200,3428	2	m SO4: 70-100; Cl: 30-60 varierer over 1-2 årige perioder	
	1	Cl ca. 20; SO4 ca. 15 mg/l; SO4 30 hhv 60 mg i 2 prøver. NO3=60 mg/l i enkelt prøve	
200,3438	2	j Cl: 30-370; 40-290 mg/l variationer over 4 års perioder, NO3 generelt højere når Cl og SO4 er høje	
	1	m SO4: 450-350; Cl: 180-150; 3 prøver hvori SO4<200 og Cl<100 mg/l	
200,3562	2	j SO4: 120-180; Cl 30-80, varierer over korte tidsrum, generel stigning. NO3 1-2 mg/l i 3 prøver	
	1	SO4: 50-180; Cl 30-50, SO4 varierer over korte tidsrum Cl stiger jævnt. Fe og NO3 varierer over korte tidsrum	m
201,3795	2	j Cl: 60-200; SO4:140-240 varierer over 2-3 årige perioder	
	1	SO4 : 340-40 og Cl: 50-160 mg/l falder hhv stiger over 5-årig periode. NO3> 30 mg/l i to prøver	
201,3796	2	j Cl: 50-300 ændres over korte tidsrum; SO4: 70-150 Fe, NO3 højere i enkelt prøve	
	1	SO4 : 150-200 og Cl: 25-50 mg steg gradvis i hele perioden; NO3 1-2 mg/l i 3 prøver	
201,3797	3	m NO3 varier en del synes at stige efter 1998. SO4: 90-160, varierer over korte tidsrum, Cl 20-30, gradvis stigning	
	2	m 1991-2001 stiger SO4 fra 70 til 140 og Cl fra 25 til 90 mg/l, NO3 stiger efter 1999. Ændring i vsp.?	
	1	1991-1995 stiger SO4 fra 110 til 180; Cl ca. mg/l, NO3 falder fra 2 til under 0,5 1989-1991 indtag nedlagt	
201,3798	2	SO4: 70-40 mg/l og NO3: 50-30 mg/l, varierer markant	
	1	m NO3 steg jævnt fra 20 til 90 mg/l, 1990-96 og faldt til 60 i 1998. Cl steg fra 15 til 20, SO4 20-40 mg/l	
201,3804	2	SO4: 50-80; Cl = 20; Relativ stor variation i SO4 over 1-3 år, generel stigning. Højere Fe i sidste par prøver	
	1	m SO4: 50-90; Cl: 20-30; Relativ stor variation i SO4 over 2-3 år, generel stigning	
201,5116	2	CFC analyser nov. 99 viser forurening med klorerede kulbrinter	
201,5116	1	CFC analyser nov. 99 viser forurening med klorerede kulbrinter	

Tabel 7c. Kommentarer til variationer i grundvandskemi, Ishøj overvågningsområde

DGU nr.	Indtag	Naturlig variation af kemi / Kommentarer til grundvandskemi	Utæt
207,303		Cl> 3000; SO4 ca. 500 mg/l	
207,565		Cl> 500; SO4 ca. 100 mg/l	
207,2819		j SO4: 180-80; Cl: 40-60 mg/l, relativ store variationer i SO4 over korte tidsrum; Fe & NO3 sammen i en enkelt prøve	
207,2820		m SO4: 50-15; Cl: 95-25 mg/l, relativ store variationer i SO4 og Cl over korte tidsrum, generelt fald; stor variation i Fe, K og NO3	
207,2826	2	Cl ca. 60; SO4 ca. 20 mg/l hele perioden; høj NO3 i én prøve	
	1	Cl ca. 65; SO4 ca. 20 mg/l hele perioden;	
207,2829	2	SO4: 85-25; Cl: 600-1200 mg/l, stor stigning og fald i Cl over 5 år; Fe & NO3 sammen i få prøver; Fe varierer meget	
	1	m SO4 & Cl ca 30 mg/l.Store udsving 20-300 mg/l for Cl 1990-92. Høj NO3 i enkelt prøve	
207,2830	2	j SO4: 65-15; Cl: 25-45 mg/l, relativ store variationer i SO4 over korte tidsrum, generelt fald; Fe & NO3 i en enkelt prøve	
	1	nedlagt	
207,2832	2	j SO4: 20-80; Cl: 30-50 mg/l, generel stigning i perioden, relativ store variationer i SO4 over korte tidsrum; Fe & NO3 i samme pr 2 gange	
	1	j SO4: 50-80; Cl: 20-50 mg/l, generel stigning i perioden, relativ store variationer i SO4 over korte tidsrum; Fe & NO3 i samme pr 2 gange	
207,2833		j SO4: 230-20; Cl: 50-130 mg/l, begge stiger og falder gradvis over 2-3 års perioder.	
207,2834		boring nedlagt, SO4 og Cl falder hhv 100 til 4 og 60 til 30 mg/l, 1989-92	
207,2980	1		
	1	Cl ca. 300; SO4 ca. 50 mg/l hele perioden	
207,3002	1		
	1	m Cl ca. 25; SO4 ca. 50 mg/l, svagt jævnt fald i begge 1991-96, svag jævn stigning derefter	
207,3003		NO3 steg fra 2 til 18 mg/l 1994-99 og faldt til 10 i 1999. Cl steg fra 50 til 110, 1994-2001	
207,3004	1	Cl ca. 30; SO4 ca 5 mg/l hele perioden; NO3 & Fe i samme prøve 3 gange	
	1		

I tabel 7a-c er der i kommentarerne benyttet ”=” hvis koncentrationen af klorid og sulfat var konstant inden for den skønnede prøvetagnings-/analyseusikkerhed for de to parametre ca. 2 mg/l eller 10 pct, ”ca” er benyttet hvis variationerne var lidt større. Koncentrations intervaller med højeste koncentration først, er anvendt hvor der er tale om et generelt fald i overvågningsperioden. Sammenligning af kommentarerne i tabel 7a-c med tidsserierne i figur 4 og figur 6 giver en fornemmelse af, hvor dækkende kommentarerne er med hensyn til de reelle variationer.

## Resultaterne af de foreløbige undersøgelser af boringernes utætheder

De af Københavns Amt skønnet "måske uegnede" boringer er vist i tabel 8 sammen med resultaterne af nærværende undersøgelse. Oplysningerne stammer fra bilag 2 i arbejdsgruppens rapport /1/.

Tabel 8. Liste over undersøgte og måske utætte overvågningsboringer

Område DGU nr.	Ind tag	Indt. topkt.	bja	Pumpe- type <sup>1)</sup>	Gev. skr. PVC	Sus en	Sek. vsp.	Ok ker	Hast. Farve- skift	Svin gen. kemi	CFC11> CFC12	Ler pak	Egnet hed	test tab ml/min	Boble- lyde	kemi bedøm. (GEUS)
Søndersø																
193. 1371	1	-51,5	kk	M	J	N	N	N	N	V	V	U		1000		
193. 1371	2	-40,5	kk	M	J	N	N	N	N	V	V	U		5		
193. 1380	2	-19	ds	M	J	N	N	N	V	V	N	N				MU
200. 3431	1	-46	kk	M	J	N	N	N	N	V	V	U		>1000		
200. 3431	2	-32	kk	M	J	N	N	N	N	V	V	U		i.m.	J	
200. 3436	1	-32,5	dg	M	J	N	N	N	V	V	N	I				MU
200. 3437	1	-33	ds	M	V	N	J	N	V	V	J	I		300	J	
200. 3437	3	6,3	ms	M										3		
200. 19	1	-27,2	ds	M	J	V	V	J	V	V	N	U	MU			
200. 3703	2	-5,27	ds	P.dykp.	V	N	N	N	V	V	J	U				MU
200. 3704	2	-7,77	ds	P.dykp.	V	N	N	N	V	V	J	U				MU
200. 3782	1	-40	kk	P.dykp.	V	N	N	N	V	V	V	U				
Gladsaxe																
200. 3428	1	-29,5	kk	M	J	N	N	N	J	N	V	I	MU	<1		
200. 3428	2	-12,5	kk	M	J	N	N	N	J	V	V	I	MU	<1		
201. 3804	2	15,5	ds	M.dykp.	J	N	N	N	J	N	J		MU			
200. 3562	1	4	ds	M	J	N	N	N	J	N	V	I	MU			MU
200. 3562	2	18	ds	M	J	N	N	N	J	N	V	I	MU			
201. 3795	1	-3	ds	M	J	N	N	N	J	V	N	I	MU			
201. 3795	2	4	ds	M	J	N	N	N	J	V	N	I	MU			
201. 3796	1	-1,4	ds	M	J	J	N	V	V	V	N	I	MU			
201. 3796	2	13	ds	M	J	N	N				N	I	MU			
200. 3438	1	2,5	ds	M	J	N	N	N	J	N	V	I	MU			
200. 3438	2	16,5	ds	M	J	N	V	N	J	V	V	I	MU			
201. 5116	2	21	ds	P.dykp.	N	N	N	N	J	V	J		MU			
Ishøj																
207. 2826	1	-42,5	sk	M	J	N	V	N	N	V		U		150		
207. 2826	2	-24,5	sk	M										<1		
207. 2829	1	-12,5	sk	M	J	N	N	N	N	N		I		20		
207. 2829	2	-2,8	ds	M	J	N	N	N	N	V		I		<1		
207. 3003	1	2,4	sk	P.dykp.	J	N	V	N	N	V	V	U				

M =montejus, J = ja, N = nej, V = vides ikke, I = ingen, U = uvist og MU = Måske uegnet/utæt.

De af GEUS i felten undersøgte boringer er angivet med skravering, og som det fremgår af tabel 8 omfattede GEUS feltundersøgelser kun to af de boringer som af amtet var bedømt som måske uegnet på baggrund af spørgeskema undersøgelsen. Resultatet af feltundersøgelserne viste, at



såfremt der er en utæthed skyldes denne ikke utætte rør eller samlinger, i de to indtag i boring DGU nr. 200.3428. Heller ikke grundvandskemien eller CFC/tritium tydede på problemer med utætheder. Bedømmelsen "måske uegnet" er sandsynligvis begrundet i de observerede hastige farveskift ved renpumpning og den manglende lerpakning mellem forerør og jordlag.

Med hensyn til bedømmelsen af mulige utætheder på grundlag af variationer i grundvandskemien, er den gennemført af amtet i forbindelse med spørgeskemaundersøgelsen, og af GEUS i forbindelse med nærværende undersøgelse. Grundvandskemien varierer betydeligt for nogle indtag muligvis pga. saltvandsindtrængning i kystnære områder, det er et "naturligt" fænomen og ikke resultatet af utætheder i eller omkring overvågningsboringen. Om andre mindre markante variationer skyldes utætheder beror på et skøn, og det kan være vanskeligt at afgøre om ændringer i makroioner skyldes ændringer i vandspejlet eller skyldes utætheder. Pejleserier ville have været en god hjælp, da naturlige variationer i grundvandskemi ofte er synkrone med ændringer i vandspejlet. Desværre råder amtet ikke over sådanne pejleserier for de enkelte boringer. Af de 13 indtag som af amtet efter spørgeskema-undersøgelsen skønnedes "måske uegnet", viser kun eet indtag sådanne tidslige variationer i grundvandskemien at de af GEUS skønnes at være forårsaget af utætheder. Det er sandsynligvis primært det hastige farveskift ved renpumpning, der har givet anledning til betegnelsen "måske uegnet", selvom et stort kvælstof-forbrug også er noteret for et par af boringerne. Det sidste er et sikkert tegn på utætheder i rør og samlinger, men disse utætheder vil kun kunne påvirke grundvandskemien, hvis der eksisterer et sekundært vandspejl, hvorfra "fremmed" vand kan trænge ned til indtaget.

Om de hastige farveskift skyldes indtrængning af "fremmed" vand til indtaget og dets nærmeste omgivelser, eller om det skyldes iltning af jern(II)holdigt vand i forerøret, i perioderne mellem amtets udtagning af prøver kan muligvis afgøres ved at udtage prøver under renpumpningen og følge den kemiske "udvikling" ved kemiske analyser som et supplement til feltnålingerne i flowceller. Hvis grundvandskemien hurtigt "stabiliseres" i løbet af renpumpningen giver indtaget sandsynligvis repræsentative prøver af grundvandet.

## Anbefalinger

Pejling af grundvandsspejlet kan være til hjælp ved tolkning af årsagerne til ændringer i grundvandskemien, fordi ændringerne i kemi og vandspejl har vist sig at være synkrone i nogle områder. Pejlingerne i forbindelse med udtagning af prøver for CFC-datering i april måned, skete ved at fjerne studsene til trykslangen, se figur 1. Studsen sidder på en nippel, der er skruet ned i teflon topstykket og både nippel og studs fjernes. Gentagne af- og påskruninger af nippelen er næppe hensigtsmæssig, da det formodentlig slider på teflon gevindet. Det vil derfor være en fordel kun at afmontere selve studsen. Pejlefløjtes diameter var imidlertid for stor til at den kunne passere åbningen i nippelen. Problemet kan løses ved at skifte til en nippel uden gevindreduktion, eller forsøge at skaffe en pejlefløjte med mindre diameter.

Trykprøvning af alle montejus-boringer anbefales. En simpel metode, let modificeret i forhold til arbejdsgruppens anbefalinger, er beskrevet i nærværende rapport.

Pakkertest, som beskrevet i arbejdsgruppens rapport, bør udføres på de boringer, som viser tegn på utætheder, hvad enten disse viser sig ved trykprøvningen eller antydes ved hastige farveskift af vandet i forbindelse med renpumpningen. Pakkertesten vil vise om der trænger vand ind i boringen via utætheder i forerøret.

Følg ændringen i grundvandskemien under renpumpningen som supplement til feltmålinger. De boringer, som formodes at være utætte, bør gennemgå denne test der vil vise, hvor hurtigt grundvandskemien bliver stabil og dermed i hvilken udstrækning laget omkring indtaget er blevet påvirket. Hyppighed af prøvetagning og analyseprogram tilrettelægges efter forholdene. Som minimum anbefales analyse af de redox-følsomme parametre jern(II) og nitrat, samt klorid og sulfat.

Dimensionen af forerørene i montejus-boringerne bør kontrolleres, da de oppumpede mængder i forbindelse med renpumpning af nogle af boringerne kun svarer til halvdelen af den beregnede mængde vand i røret, forudsat dimensionen er som beskrevet i de tekniske rapporter.

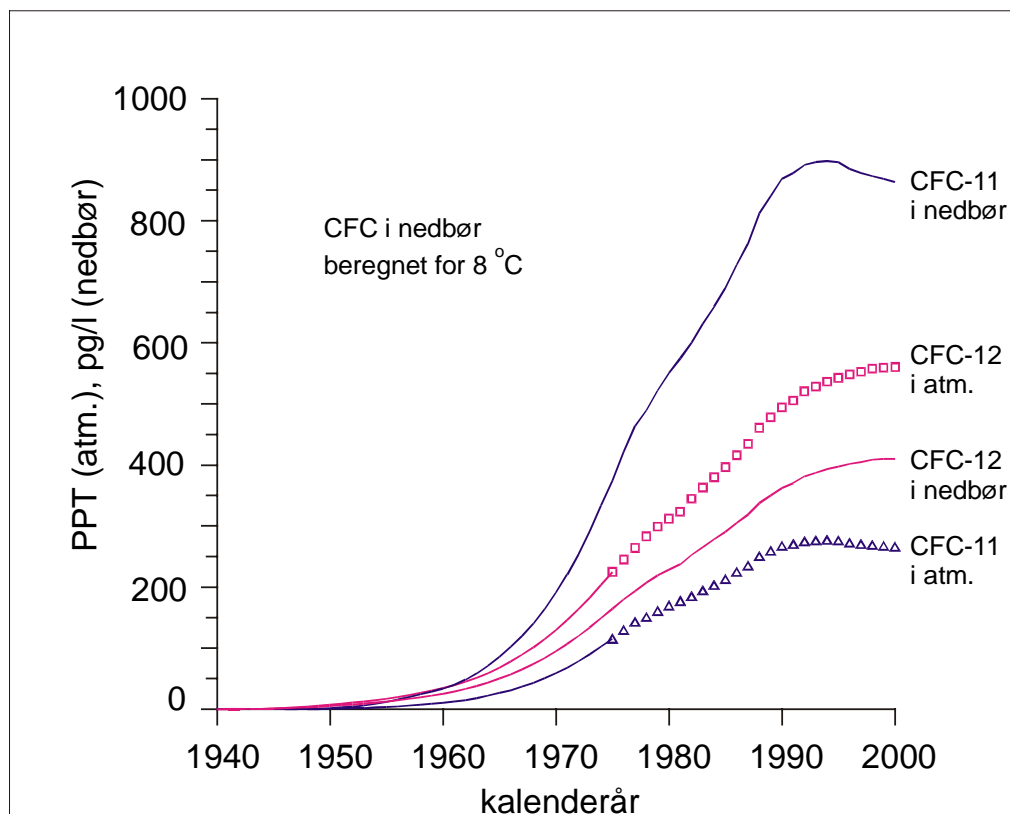
## Referencer

/1/ Arbejdsrapport vedr. utætte overvågningsboringer, april 2002. Udarbejdet af arbejdsgruppe nedsat af NOVA styregruppe.

## Bilag 1 CFC i blandingsvand

Hvordan påvirkes CFC-datering af grundvand når vand af forskellige aldre blandes?

CFC-datering af grundvand foregår ved at bestemme CFC-indholdet i grundvandet og på grundlag heraf beregne årstallet ved sammenligning med de kendte CFC-kurver for atmosfæren (figur 1).



Figur 1. CFC i atmosfæren er bestemt siden 1975. På basis af produktionstal og levetid for CFC-11 og CFC-12 har man beregnet CFC indholdet fra start af produktion og frem til 1975. CFC-12 er højere end CFC-11 i atmosfæren, men det omvendte forhold gør sig gældende for nedbøren fordi CFC-12 er mindre opløselig i vand end CFC-11.

En del af CFC-gasserne opløses i vand og forholdet mellem gasformig CFC og CFC opløst i vand afhænger kun af temperaturen. Dvs. at CFC-indholdet i nedbør og grundvand stiger i samme takt som i CFC i atmosfæren, forudsat at temperaturen er den samme. Og det er den normalt dér, hvor grundvandet dannes nemlig i jordlagene umiddelbart over grundvandsspejlet. Under grundvandsspejlet sker der ikke længere udveksling af CFC med atmosfæren, og CFC-indholdet forbliver derfor det samme. Med tiden lægger nyt grundvand sig oven på det gamle som "skubbes" dybere og dybere ned. Udvekslingen af CFC mellem grundvand i forskellige dybder sker kun meget langsomt, og derfor kan man med ret stor sikkerhed bestemme, hvornår vandet sidst har været i kontakt med atmosfæren, og dermed hvor gammelt vandet er.

En sikker aldersbestemmelse af grundvand forudsætter dog, at vandet strømmer med samme hastighed i en given dybde, og det er kun tilfældet, hvis jordlagene er homogene over et større område. Hvis jordlagene ikke er homogene strømmer vandet med forskellige hastigheder, og der er mulighed for opblanding af vand af forskellige aldre. Det gælder særligt hvor vandet delvis

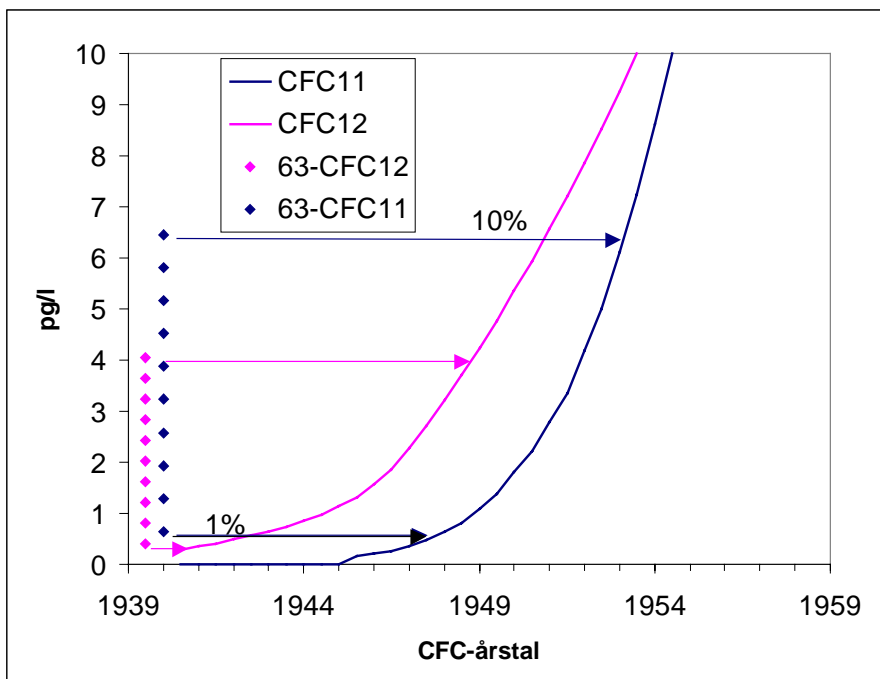
strømmer i sprækker som f.eks. i ler og i kalk. I sådanne tilfælde kan CFC-metoden kun angive en gennemsnitsalder af grundvandet, og gennemsnitsalderen kan dække over betydelige forskelle mellem ældste og yngste vand i blandingen.

Hvis der ikke sker opblanding af grundvandet vil CFC-11 og CFC-12 vise samme alder (under oxiske forhold). Alderen af grundvandet angives af praktiske grunde som et CFC-årstal. Stigningen i CFC-11 og CFC-12 har ikke været den samme gennem hele perioden, og derfor vil blanding af grundvand give forskellige CFC-årstal for de to gasarter, som nedenstående to eksempler viser (Tabel 1).

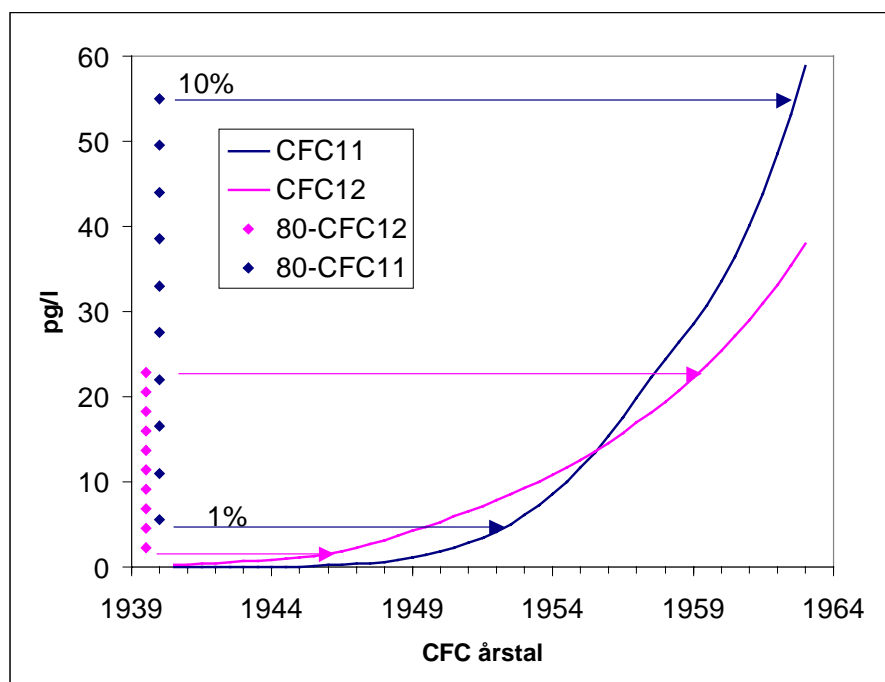
*Tabel 1. CFC-koncentrationer i blandingsvand og beregnede CFC-år*

Blandingsvand	1980				1963			
	koncentration pg/l		CFCår beregnet		koncentration pg/l		CFCår beregnet	
pct.	CFC-11	CFC-12	CFC-11	CFC-12	CFC-11	CFC-12	CFC-11	CFC-12
100	551	229	1980	1980	65	41	1963,5	1963,5
1	5,5	2,3	1952,5	1946,5	0,6	0,4	1948	1941
2	11,0	4,6	1954,5	1949	1,3	0,8	1949	1943,5
3	16,5	6,9	1956	1951	1,9	1,2	1950	1945
4	22,0	9,2	1957	1952,5	2,6	1,6	1950,5	1946
5	27,5	11,4	1958,5	1954	3,2	2,0	1951	1946,5
6	33,0	13,7	1959,5	1955,5	3,9	2,4	1951,5	1947
7	38,5	16,0	1960,5	1956,5	4,5	2,8	1952	1947,5
8	44,0	18,3	1961,5	1957,5	5,2	3,2	1952,5	1948
9	49,6	20,6	1962	1958	5,8	3,6	1952,5	1948
10	55,1	22,9	1962,5	1959	6,5	4,1	1953	1948,5

I de to eksempler antages det at 90-99 % af grundvandet stammer fra perioden før 1940, dvs. før CFC-produktionen startede. De resterende 1-10 % af vandet stammer fra 1963 (figur 2) og fra 1980 (figur 3).

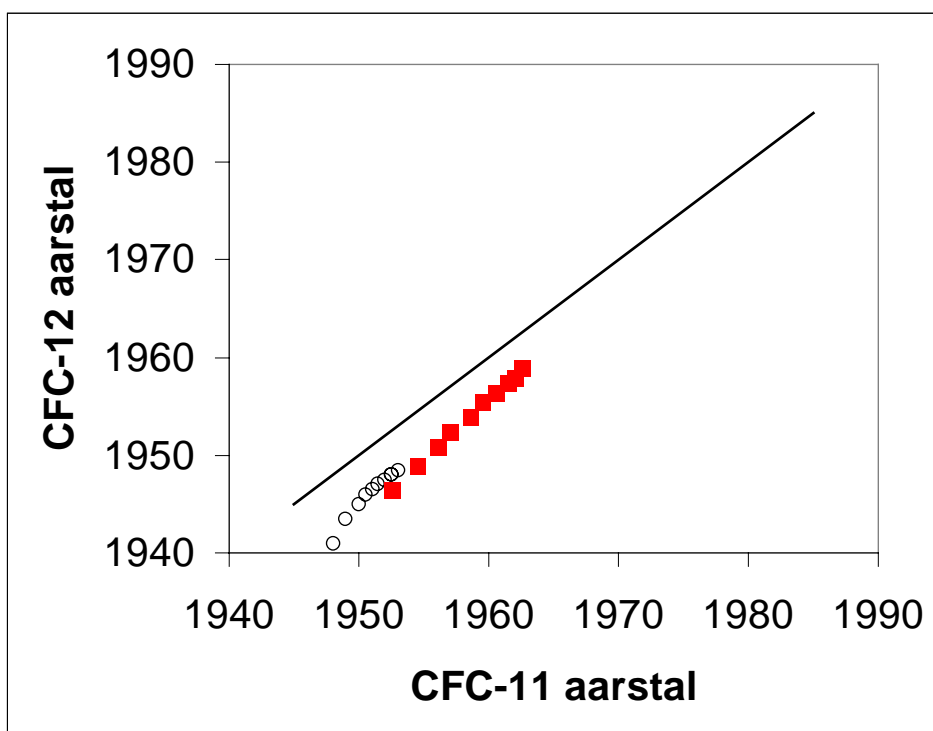


Figur 2 CFC koncentrationer i blandingsvand bestående af gammelt CFC-frit vand plus 1-10 % 1963 vand er angivet ved punkterne til venstre i figuren. Kurverne angiver CFC-indholdet i nedbøren fra 1940 til 1959. Pilene viser de CFC-årstal, der kan beregnes ud fra de pågældende CFC- koncentrationer når der ikke tages højde for opblanding af vand af forskellige aldre.



Figur 3. CFC koncentrationer i blandingsvand bestående af gammelt CFC-frit vand plus 1-10 % 1980 vand er angivet ved punkterne til venstre i figuren. Kurverne angiver CFC-indholdet i nedbøren fra 1940 til 1964.

De beregnede CFC-årstal for de to eksempler er vist i figur 4. Kurven angiver identiske årstal for CFC-11 og CFC-12.



Figur 4. Beregning af gennemsnitsalder for blandingsvand. I første eksempel består blandingen af gammelt CFC-frit vand plus 1-10% 1963-vand (åbne cirkler), og i andet eksempel er 1-10% 1980 vand blandet i CFC-frit vand. Linien angiver identiske årstal for de to CFC gasarter.

#### Eksempel på blandingsvand i sandmagasin under opsprækket moræneler ved Flakkebjerg

Aldersbestemmelse af grundvand i forsøgsområdet ved Flakkebjerg giver resultater for CFC-11 og CFC-12 der ligger i et interval som angivet ved de åbne cirkler i figur 4. Grundvandet hentes fra et sandmagasin 10-12 m under terræn, der dækket af moræneler. Tracer forsøg udført med bromid viste, at vand fra overfladen svagt kunne spores efter få døgn. Det viser, at hurtig nedsivning af små mængder vand til sandmagasinet kan ske via sprækker i moræneleret. Tritium indholdet i sandmagasinet viste 7 TU, og var dermed højere end man ville forvente for grundvand dannet omkring 1950 (under 1 TU), før prøvesprængningerne med brintbomber. Grundvandet i sandmagasinet formodes derfor at bestå af en relativ stor mængde gammelt vand iblandet en del ungt vand.

**Bilag 2. CFC-analyser og beregnede CFC-år for grundvand med lavt tritium**

Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse



Alder af grundvand bestemt ved CFC-metoden, april 2002. Kbh. Amt GRUMO

06-05-02

Boring DGU nr.	Dybde meter	Ampul Nr.	Udtaget Dato	Tid	Koncentration i vand			Beregnet partialtryk i atmosfæren, pptv			Beregnet alder ved CFC metoden			Bemærkninger
					pg/kg CFC-11	pg/kg CFC-12	pg/kg CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	CFC-11	CFC-12	CFC-113	
Søndersø 200.3437	54-55	1	24-04-02	9.30	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	9.35	0,0	0	0,0	0,0	0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
200.3437	14.7-15.5	1	24-04-02	10.40	0,0	1,2	0,0	0,0	1,6	0,0	<1945	1945,0	<1959,5	
		2	24-04-02	10.45	0,0	1,3	0,0	0,0	1,8	0,0	<1945	1945,0	<1959,5	
200.3782	53-88	1	24-04-02	12.20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	12.25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
200.3431	64-64.5	1	24-04-02	13.25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	13.30	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
200.3431	50.0-50.5	1	24-04-02	13.50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	13.55	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
193.1371	65.5-66.0	1	24-04-02	16.35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	16.40	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		3	24-04-02	10:48	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
193.1371	76.5-77.0	1	24-04-02	16.55	3,2	2,9	0,0	1,0	4,0	0,0	1951,0	1947,5	<1959,5	
		2	24-04-02	17.00	5,4	3,8	0,0	1,7	5,2	0,0	1952,5	1948,5	<1959,5	
		3	24-04-02	01:12	5,1	2,4	0,0	1,6	3,3	0,0	1952,0	1947,0	<1959,5	
Gladsaxe 201.3804	46-49	1	24-04-02	18.30	22,8	14,1	783,7	7,1	19,3	576,7	1957,0	1955,5	*)	
		2	24-04-02	18.35	13,9	28,1	1095,8	4,3	38,6	806,4	1955,0	1960,5	*)	
200.3428	45-45.5	1	24-04-02	20.00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	24-04-02	20.05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
Ishøj 207.3003	9.6-11.6	1	25-04-02	7.45	3302	751	138	1023	1031	102	*)	*)	*)	O2; N2O; CFC-114 1 min flush
		2	25-04-02	7.50	3320	848	152	1029	1164	112	*)	*)	*)	
207.2826	45-45.5	1	25-04-02	10.20	0,5	0,6	0,0	0,2	0,8	0,0	1947,5	1942,5	<1959,5	
		2	25-04-02	10.25	0,5	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	1947,5	<1940	<1959,5	
207.2826	27.0-27.5	1	25-04-02	10.45	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	25-04-02	10.50	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
207.2829	18.5-19.2	1	25-04-02	13.00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	
		2	25-04-02	13.05	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	<1945	<1940	<1959,5	

Koncentrationerne i vand viser de målte CFC-koncentrationer

Beregnet partialtryk viser CFC-niveauet i den atmosfære vandet sidst har været i kontakt med

Beregnet alder viser hvornår atmosfæren havde det pågældende CFC-niveau

Under bemærkninger anføres bla andre stoffer som kromatogrammet registrerer

Ekstra "flush" tid er nødvendig, hvis prøven indeholder høj N2O koncentration, da N2O "skygger" for CFC-12

\*) CFC højere end den maksimale ligevægts-koncentration med atmosfæren