

Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 - 2014

Troels Laier

DE NATIONALE GEOLOGISKE UNDERSØGELSER
FOR DANMARK OG GRØNLAND,
KLIMA-, ENERGI- OG BYGNINGSMINISTERIET



GEUS

Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 - 2014

Troels Laier

Resumé

Grundvandet over det underjordiske Stenlille naturgaslager, 1500 m under terræn, er regelmæssigt blevet undersøgt for eventuel indhold af lette kulbrinter. Undersøgelserne er foretaget siden lageret blev taget i anvendelse i 1989, som et led i overvågningen af lageret. Undersøgelserne viste, at grundvandet indeholdt små mængder naturlig methan ca. 0,05 mg/L allerede før nedpumpning af den første naturgas. Siden nedpumpning af naturgas er der kun set mindre udsving i methanindholdet i grundvand omkring 0,05 mg/L, men ingen tegn på stigning. I omegnen af naturgaslageret indeholder grundvandet op til 0,25 mg/L methan. Det drejer sig også om naturlig methan, dannet ved mikrobiel nedbrydning af organisk stof i de geologiske lag, som vandet siver gennem.

Undersøgelserne har vist, at et eventuelt udslip af naturgas pga. af lækage relativt let kan spores, da naturgas indeholder ca. 10 procent højere kulbrinter foruden methan. Overvågningen siden 1989 tyder ikke på nogen direkte lækage fra naturgaslageret. De midlertidige spor af naturgas i en vandværksboring i Nyrup omtalt i miljøovervågningsrapporten for fem år siden, har kun vist sig sporadisk ved senere målinger.

En midlertidig stigning i methanindholdet blev målt i kontrolboring K2 den 25. september 2014, men da stigningen ikke var ledsaget af et måleligt indhold af ethan eller andre højere kulbrinter, blev det konkluderet, at der var tale om en naturlig variation i grundvandets methanindhold.

Methan i den naturgas, der pumpes ned i lageret, adskiller sig fra naturlig methan i grundvand ved at den indeholder mere af den tunge kulstofisotop, kulstof-13. Så også af den vej er det muligt at spore et eventuelt udslip af gas fra lageret. Isotopanalyser har i en række tilfælde været anvendt til at afgøre om methan stammede fra naturgas eller ej, og heller ikke isotopanalyserne tydede på nogen lækage.

Naturgassen, der er pumpet ned i lageret siden 1989 er stort set uændret både med hensyn til sammensætning - ca. 90 procent methan og ca. 10 procent øvrige kulbrinter - og med hensyn til methans kulstof-13 isotopværdi, $\delta^{13}\text{C}$ omkring -47 promille i forhold til isotopstandard.

Indholdsfortegnelse

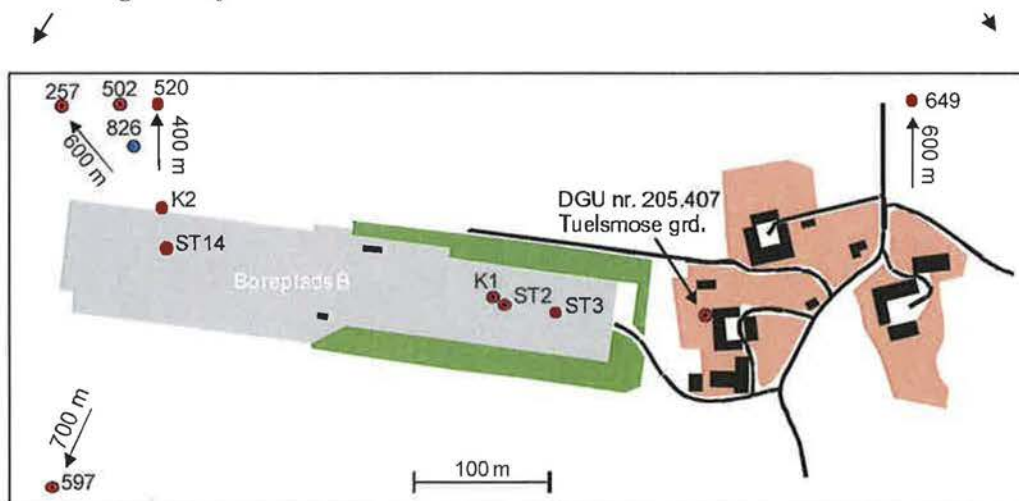
RESUMÉ	1
INDHOLDSFORTEGNELSE	2
INDLEDNING	3
METHAN I GRUNDVAND 1989 – 2014	5
ANALYSEMETODER.....	5
METHAN I KONTROLBORINGER.....	5
METHAN I VANDVÆRKSBORINGER.....	7
MIDLERTIDIGE SPOR AF NATURGAS I NYRUP VANDVÆRKSBORING.....	9
NATURGAS I GASLAGERET	10
KONKLUSION	11
REFERENCER	12
APPENDIKS 1 - METHANANALYSER 2014	13
APPENDIKS 2 - NATURGAS I OVERVÅGNINGSBORING K1, EFTER UDSLIP	17
APPENDIKS 3 – KONTROLMÅLING AF METHAN I K2 DEN 2. OKTOBER 2014	18
APPENDIKS 4 – FORHØJET METHAN I K2 SKYLDES NATURLIGE FORHOLD	20
APPENDIKS 5 – PEJLING AF VANDSPEJL I K2 OKT-DEC 2014	26

Indledning

Før gaslageret i Stenlille blev taget i brug udtog GEUS vandprøver fra indvindingsboringer i området, figur 1, for at undersøge om der var naturligt forekommende metan i grundvandet. Det viste sig at være tilfældet, idet alle vandprøver, på nær 2, indeholdt små mængder metan /1/.



Figur 1. Lokalt kort som viser placeringen af borerne, der indgår i miljøundersøgelserne over og omkring Stenlille gaslager. Regelmæssige analyser foretages på de borer, der ligger inden for en afstand af ca. 1 km fra borepladsen plus de markerede borer. De øvrige borer indgik i forundersøgelsen i foråret 1989.



Figur 2. Placeringen af de rapporten omtalte borer på boreplads B, Stenlille gaslager.

To kontrolboringer, K1 og K2, blev etableret tæt ved gaslagerboringerne, hvor risikoen for en eventuel lækage blev anset for at være størst. Overvågningen af grundvandets methanindhold og eventuelle andre lette kulbrinter (C2-C6) skete ved udtagning af prøver derfra og fra de nærliggende indvindingsboringer, se figur 1 og 2.

Den første naturgas blev pumpet ned i lageret i juli 1989, og overvågningen af grundvandet har fundet sted siden. I det første år med månedlige analyser, og siden med kvartalsmæssige analyser.

Et mindre, men ikke alvorligt udslip fandt sted ved Stenlille gaslager i september 1995, i forbindelse med ibrugtagning af en ny gaslagerboring, Stenlille-14. Boringen var ført ned til Gassum Formationen ca. 1500 m under terræn, hvor gassen lagres. Udslippet fandt sted pga. en utæthed i produktionsrøret, og en udskiftning af dette stoppede lækagen. Analyse af vandprøver fra de to kontrolboringer ved Stenlille naturgaslager udtaget mindre end uge efter gasudslippet havde fundet sted, viste forhøjede gasindhold i kalk-arenit laget i 98-128 m dybde i kontrolboring K1 /2/. Sidstnævnte boring ligger ca. 250 m fra ST14. Der blev imidlertid ikke målt forhøjede methanindhold i de øverste lag, hvorfra grundvand indvindes til drikkevand.

Foruden overvågningen af indholdet af methan og eventuelle andre lette kulbrinter i grundvandet foretages også karakterisering af den naturgas, der pumpes ned i lageret. Undersøgelserne viste, at naturgassen var stort set uændret med hensyn til sammensætning - ca. 90 procent methan og ca. 10 procent andre lette kulbrinter. Også methans isotopværdi var stort set uændret sig siden 1989.

Isotoper. Kulstof i naturen består af 99% C-12 og 1% C-13 med atomvægtene 12 og 13. Forholdet mellem de stabile isotoper C-13/C-12 i methan afhænger dannelsesprocessen, og forholdet ændres stort set ikke når methan trænger op gennem de geologiske lag. Derfor er isotopmålinger egnede til at bestemme methanens oprindelse. Isotopmålinger sammenlignes med en standard, for kulstofs vedkommende med en naturlig kalk-forbindelse (PeeDe Belminite), og negative værdier betyder at prøven indeholder mindre af C-13 end standarden. Methan dannet af bakterier indeholder mindre C-13 end methan i naturgas, groft sagt fordi dannelsen vha. bakterier sker ved lavere temperatur.

Methan i grundvand 1989 – 2014

Analysemetoder

Kontrolboringerne blev renpumpet med et volumen, der var mindst 3 gange borerørets volumen, og det blev kontrolleret, at pumpen arbejdede mens prøverne blev udtaget. For indvindingsboringernes vedkommende blev det kontrolleret om boringerne havde været i normal drift, også her sikrede man sig at pumpen arbejdede mens prøverne blev udtaget.

Vandprøver til methananalyse blev udtaget enten i 15 ml serumflasker eller i 12 ml Venoject[®] glas. (Venoject[®] fremstilles til udtagning af blodprøver). I de senere år er prøver udelukkende udtaget i serumflasker, fordi butyl-gummi proppen i de nye sendinger af Venoject glas afgav methan og andre lette kulbrinter. Årsagen hertil kendes ikke, men kan have at gøre med en ændret fremstillings metode for Venoject glas.

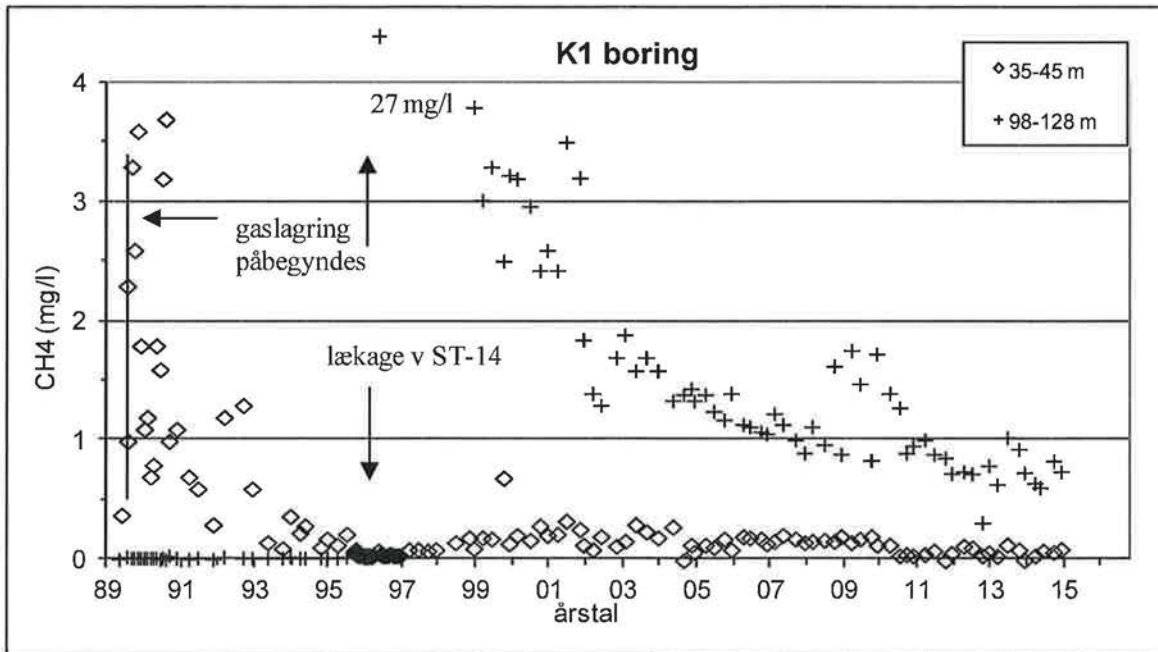
De gaskromatografiske analyser blev udført på en Shimadzu GC-9 gaskromatograf med pakket kolonne og med FID detektor. Detektionsgrænsen for methanindhold i grundvand ligger omkring 0,005 mg/l. Eventuelle andre lette kulbrinter i prøven vil vise sig ved analysen, hvis indholdet overstiger ca. 0,0002 mg/l.

Methan i kontrolboringer

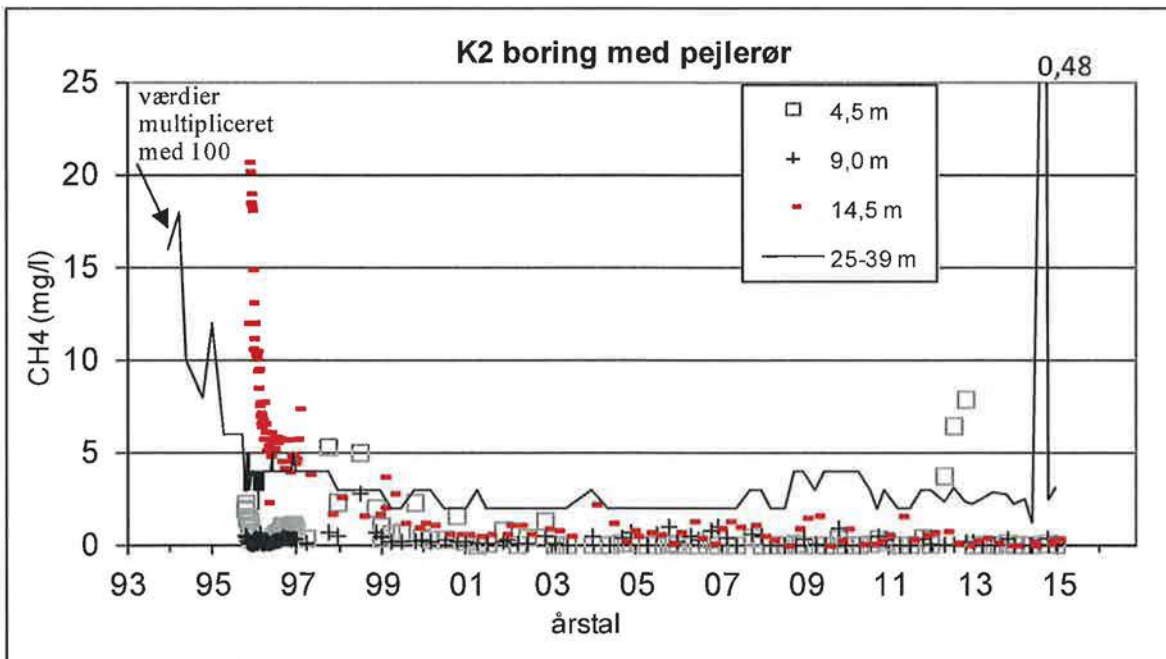
Methanindholdet i vandprøver udtaget fra de to kontrolboringer over Stenlille gaslager for hele overvågningsperioden siden 1989 er vist i figur 3 og 4. Bemærk, at skalaen på y-aksen er forskellig på de to figurer. Analyseresultaterne for 2014 er vist i tabel for alle boringer i Appendiks 1.

Vandprøverne fra pejlerørene ved K2 boringen blev frem til september 1995 kun analyseret mht. klorid for at kontrollere om der skete en forurening i forbindelse med boreaktiviteterne på pladsen. Efter gasudslippet ved ST14 ønskede DONG A/S, at vandprøverne fra pejlerørene også blev analyseret for methan. Det er værd at bemærke, at methanindholdet i de første vandprøver fra kontrolboringerne og pejlerørene er betydeligt højere end i vandprøverne fra indvindingsboringerne (figur 3 og 4), og at methanindholdet falder med tiden. Det højere methanindhold stammer dog ikke fra udsivende naturgas fra lageret, da der er en betydelig forskel på to typer af gas med hensyn til kemisk og isotopmæssig sammensætning, som tidligere påvist /2/.

Efter lækagen ved ST14 steg methanindholdet brat i det dybe filter i K1 boringen, hvor der også blev målt andre lette kulbrinter, Appendiks 2. Derimod faldt methanindholdet i sandlaget (35-45 m) til baggrundsværdien, under 0,05 mg/l, i perioden efter gasudslippet i 1995. I denne periode blev der pumpet hyppigt på boringerne, normalt 2 gange om ugen. Siden januar 1998 er der sket en lille, men signifikant stigning i methanindholdet i vandprøverne fra det øverste filter i K1 boringen. I samme periode blev der kun udtaget een prøve per kvartal, hvilket kunne tyde på, at der er en vis sammenhæng mellem hyppigheden af prøvetagninger og methanindhold, figur 3.



Figur 3. Methanindhold i grundvand fra 2 niveauer i kontrolboring K1 placeret ca. 10 m fra ST2 boringen. Afstand til ST14 er ca. 250 m. Efter lækagen blev der også fundet andre lette kulbrinter (C2-C6) i vandet fra det dybe indtag.

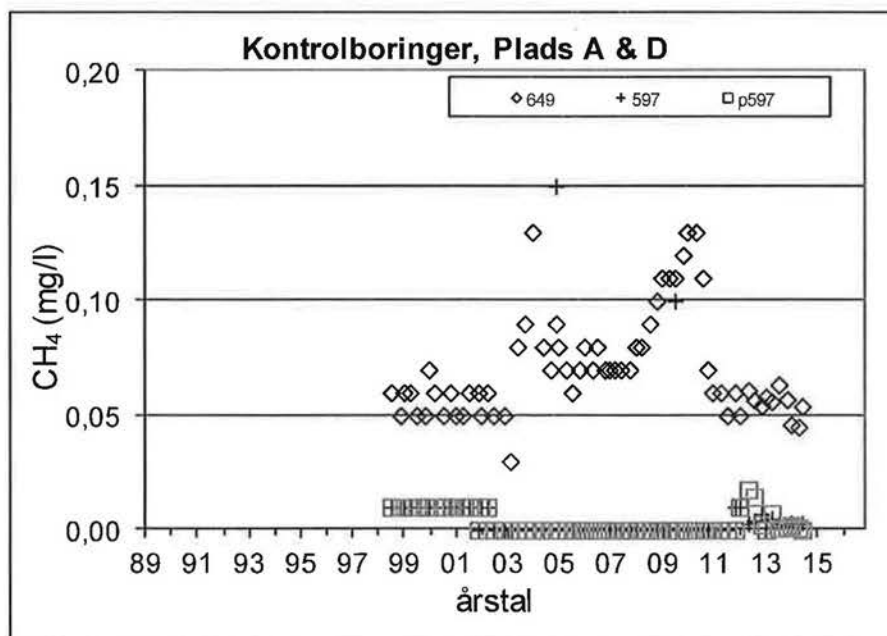


Figur 4. Methanindhold i grundvand fra kontrolboring K2 (25-39 m) og fra 3 pejlerør i forskellig dybde. Boring og pejlerør er placeret ca. 30 m fra ST14 boringen.

Stigningen i methanindhold med faldende prøvetagnings-hyppighed, ses kun for K1 og ikke for K2 boringen, figur 4. Da der ikke er målt ethan eller andre lette kulbrinter i prøver fra øverste filter i K1

er det mest sandsynligt, at det svagt stigende methanindhold skyldes lokal dannelse af methan ved mikrobiel aktivitet /2/. Det forøgede methanindhold i K2 den 25. september, figur 4, viste sig at være midlertidigt, Appendiks 3, og var ikke ledsaget af et forøget indhold af højere kulbrinter. Derfor blev stigningen tolket som en naturlig variation, muligvis forårsaget af en ændret grundvandsstrømning pga. ny indvindingsboring nærved, Appendiks 4. Pejlemålinger i K2 viser tydeligt, at indvinding fra vandforsyningsboringerne påvirker det lokale grundvandsspejl i K2, Appendiks 5.

Siden juni 1998 er også methanindholdet i grundvand fra kontrolboringerne på borepladserne A og D blevet analyseret, se figur 5. De to borepladser ligger godt 0,6 km fra plads B, figur 2. Methanindholdet i boring 205.649 (plads A) er en anelse højere end i det dybde indtag i K2, men lavere end i det øverste indtag i K1. Methanindholdet i de to indtag i boring 205.597 på plads D er meget lavt, mellem 0,00 og 0,01 mg/l. Grundvandet fra det øverste indtag indeholder nitrat, ca. 10 mg/l, hvilket udelukker lokal methandannelse. Grundvandskemi i det dybe indtag afspejler også mindre reducerende forhold, markant højere sulfatindhold, end tilfældet er for de øvrige overvågningsboringer. Derfor er lokal methandannelse omkring denne boring også mindre sandsynlig.



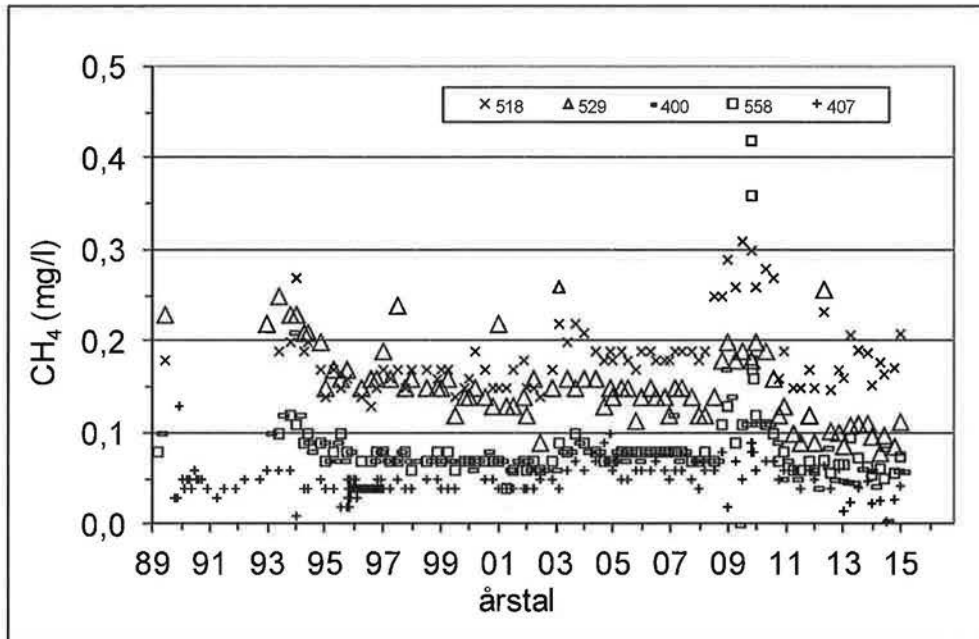
Figur 5. Methanindhold i grundvand fra kontrolboringerne på borepladserne A (205.649; 24-30 m), og D (205.597, 25-32 m & p 10-12 m)

Methan i vandværksboringer

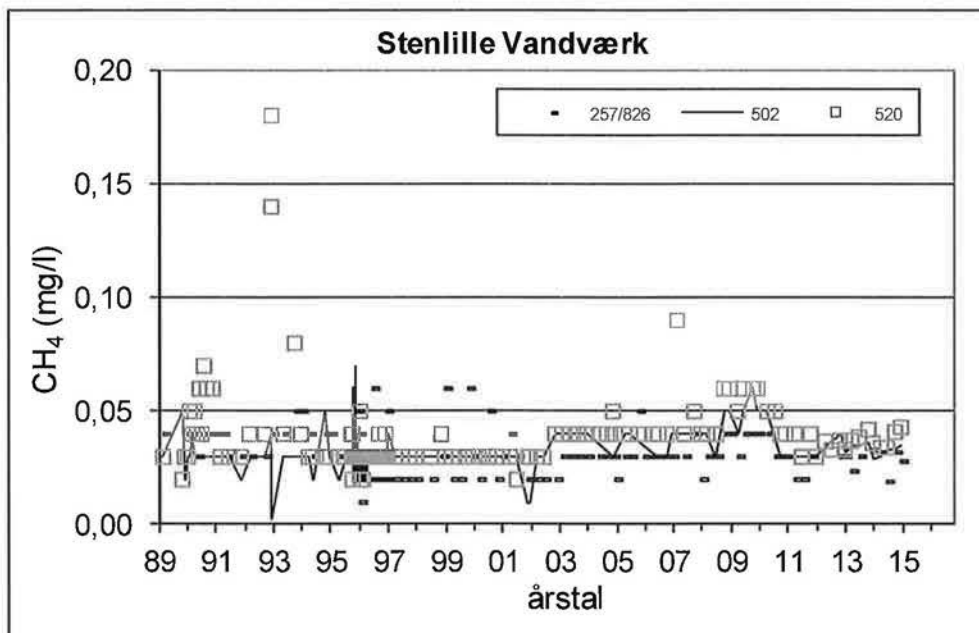
Methanindholdet i prøverne fra vandværksboringerne viser ikke store variationer for den enkelte borings vedkommende, men der er signifikante forskelle fra vandværk til vandværk, figur 6 og 7. Bemærk at y-aksens skala er forskellige på figurerne. Der synes at være et generelt fald i

grundvandets methanindhold i perioden fra januar 1994 til januar 1996, et fald der muligvis kan skyldes variationer i nedbørsforholdene, der var markante i den pågældende periode.

Forskellene i methanindhold fra vandværk til vandværk skyldes sandsynligvis at grundvandet stammer fra forskellige oplande, og forskellene synes at være nogenlunde stabile igennem hele overvågningsperioden.



Figur 6. Methanindhold i grundvand fra 5 vandværksboringer over eller ved Stenlille gaslager. Boringernes placering er vist på figur 1. 518 & 529 tilhører Døjringe Vv.; 400 & 558 Nyrup Vv. Og 407 Tuelsmosegård.



Figur 7. Methanindhold i grundvand fra Stenlille vandværk, 257 erstattet af 826 i oktober 2012.

Midlertidige spor af naturgas i Nyrup vandværksboring

Overvågningsrapporten for 2009 omtalte spor af naturgas i den ene af Nyrup vandværks indvindingsboringer, DGU nummer 205.558. Forekomsten af naturgas i vandet viste sig at være af midlertidig karakter, ca. 2 måneder, og faldt sammen med en periode med lav indvindingsrate for den pågældende boring. Problemerne med lav indvindingsrate blev opklaret i forbindelse med detailundersøgelser omkring Nyrup vandværk /3/. På baggrund af undersøgelserne konkluderede man, at naturgassen stammede fra det begrænsede underjordiske gasudslip, der fandt sted i efteråret 1995.

På grund af vandets naturlige methanindhold i Stenlille området, er methan knap så følsom en indikator for meget ringe spor af naturgas i grundvand. Ethan, der ikke findes naturligt i grundvandet, er en mere følsom indikator for eventuelle spor af naturgas. Analysemetoden tillader bestemmelse af ethan ned til 0,0002 mg/L. Med den følsomme metode er ringe spor af ethan fundet i tre af de boringer, der indgår i overvågningen af naturgaslageret, se tabel 1. Målingerne viser, at ethan kun er påvist i en ud af fire gange i løbet af 2014 i de tre boringer. At ethan indholdet i boringerne kun af og til ligger over detektionsgrænsen, viser at sikker sporing af naturgas i så ringe koncentration vanskeliggøres af små variationer i andre forhold, f. eks. vandindvindingen.

Tabel 1. Ethan i grundvand fra Nyrup Vv (558), Tuelsmosegård (407), og plads A (649)

Dato	205.558	205.407	205.649
08-10-09	0,0093	0,0008	
12-10-09	0,0084	0,0004	
16-10-09	0,0015	<0,0002	
21-10-09	0,0008	<0,0002	
06-11-09	0,0011	<0,0002	
03-12-09	<0,0002		
08-04-10	<0,0002	0,0006	0,0002
15-07-10	0,0002	0,0002	0,0002
20-09-10	<0,0002	<0,0002	<0,0002
23-11-10	<0,0002	<0,0002	<0,0002
22-03-11	<0,0002	0,0003	<0,0002
21-06-11	<0,0002	0,0003	<0,0002
11-10-11	<0,0002	<0,0002	<0,0002
13-12-11	<0,0002	0,0003	<0,0002
13-04-12	<0,0002	0,0003	<0,0002
05-07-12	<0,0002	0,0002	<0,0002
18-10-12	<0,0002	<0,0002	<0,0002
18-12-12	<0,0002	<0,0002	<0,0002
12-03-13	0,0003	<0,0002	<0,0002
20-06-13	<0,0002	0,0002	0,0002
15-10-13	<0,0002	<0,0002	<0,0002
09-12-13	<0,0002	<0,0002	<0,0002
25-03-14	<0,0002	<0,0002	<0,0002
13-06-14	<0,0002	<0,0002	<0,0002
25-09-14	<0,0002	0,0002	<0,0002
09-12-14	<0,0002	<0,0002	<0,0002

Koncentrationerne er angivet som mg/L C₂H₆

Ingen ethan, og dermed spor af naturgas har kunnet påvises i andre af de boringer, der indgår i miljøovervågningen af det underjordiske naturgaslager (figur 1-2).

Naturgas i gaslageret

Prøver af naturgas udtages på hovedanlægget fra en hane, der er placeret tæt ved udstyret for dugpunktsmålinger. Prøven opbevares ved 5 bars tryk i en 300 ml stålcyliner forsynet med 2 haner. Gassen analyseres med hensyn til sammensætning og methans kulstof-13 isotopværdi, som beskrevet nedenfor. Resultaterne viser, at den naturgas der pumpes ned stort set ikke har ændret sig siden lageret blev taget i brug i 1989, Tabel 2.

Isotopanalse. Methan blev separeret fra højere kulbrinter i en præparativ gaskromatograf og derefter oxideret over kobberoxid ved 900 °C. Oxidationsprodukterne kuldioxid og vand blev adskilt og opsamlet i glasampuller ved hjælp af et vakuumsystem forsynet med diverse frysefælder. Isotopmålingerne på kuldioxid i glasampul blev foretaget på et Finnigan MAT 251 massespektrometer. Resultaterne er angivet i den sædvanlige delta notation: $\delta^{13}\text{C}_{\text{prøve}} = (R_{\text{prøve}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000 \text{ ‰}$, hvor $R = {}^{13}\text{C}/{}^{12}\text{C}$ i prøve og standard. PeeDee Belminite (PDB) blev anvendt som standard.

Tabel 2. Naturgas i Stenlille gaslager - sammensætning og isotopværdier af methan

Kulbrinte	30-10-89 injektion	11-05-93 injektion	21-06-93 produktion	21-10-94 injektion	29-09-95 injektion	13-08-97 injektion	15-07-99 injektion	04-01-01 injektion	16-12-03 produktion	02-09-04 injektion	30-11-06 injektion
CH ₄	91,4	91,5	91,8	91,5	91,5	91,5	88,7	89,3	88,8	89,5	89,1
C ₂ H ₆	5,48	5,08	5,32	5,40	5,77	5,40	6,93	6,96	6,92	6,90	6,95
C ₃ H ₈	1,96	1,69	1,80	1,82	1,60	1,80	3,08	2,68	3,02	2,67	2,60
iC ₄ H ₁₀	0,37	0,37	0,42	0,37	0,29	0,37	0,50	0,38	0,48	0,38	0,40
nC ₄ H ₁₀	0,49	0,50	0,58	0,48	0,32	0,49	0,61	0,51	0,58	0,57	0,55
iC ₅ H ₁₂	0,12	0,21	0,25	0,21	0,14	0,22	0,11	0,07	0,24	0,10	0,15
nC ₅ H ₁₂	0,09	0,16	0,19	0,16	0,10	0,17	0,08	0,08	0,17	0,08	0,09
C ₆ H ₁₄		0,09	0,11	0,09	0,08	0,09	0,01	0,05	0,10	0,05	0,06
C ₂ H ₄	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C ₃ H ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4} \text{ ‰}$	-46,6	-47,5	-47,5	-47,3	-47,0	-47,2	-46,5	-46,6	-46,5	-46,5	-46,3
$\delta^2\text{H}_{\text{CH}_4} \text{ ‰}$	-184										

Indholdet af hver komponent er angivet i volumenprocent.

Udover kulbrinter indeholder naturgassen en smule CO₂ (mindre end 1 pct.)

Konklusion

Det naturlige methanindhold i grundvandet over gaslageret er ca. 0,05 mg/l og har stort set været konstant siden overvågningen påbegyndtes i 1989. Grundvandet i omegnen af gaslageret har et lidt højere methanindhold, op til 0,25 mg/l, men viste kun ubetydelige variationer i hele overvågningsperioden, når der ses bort fra det midlertidige fund af naturgas-spor i Nyrup-boringen i 2009.

Nye vandindvindingsboringer i området kan påvirke det lokale strømningsmønster og muligvis give anledning til ændringer i det naturlige methanindhold, som observeret i K2 miljøkontrolboringen den 25. september 2014.

Naturgassen, der pumpes ned i lageret, har stort set ikke ændret sammensætning siden lageret blev taget i brug i 1989, dvs. forudsætningerne for skelne mellem naturlig "sumpgas" og naturgas fra eventuel lækage stadig gælder.

Referencer

/1/ Stenlille Gas Storage – Study of naturally occurring hydrocarbon gases before injection. Geological Survey of Denmark. DGU report No. 15, (1989). 53 pp.

/2/ Overvågning af methan i grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989-2001. GEUS rapport 2002/31, 36 pp.

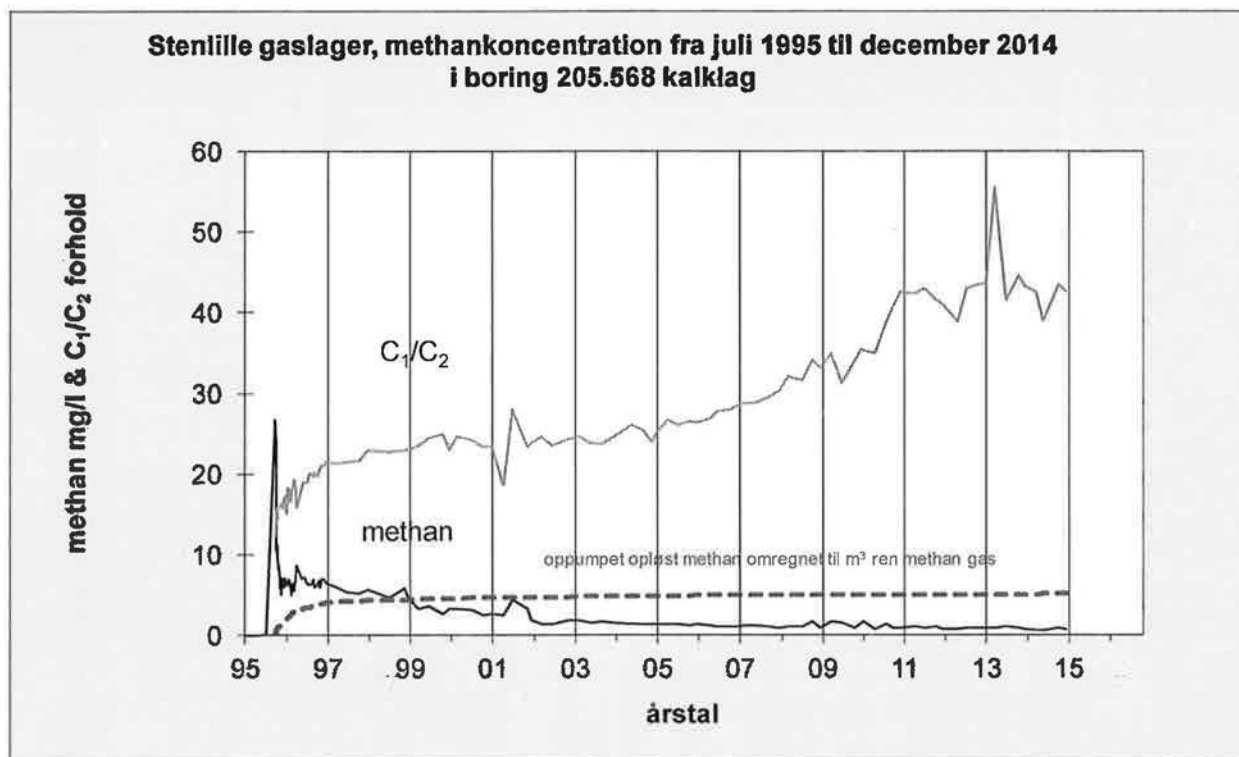
/3/ Spor af naturgas i Nyrup vandværksboring, oktober 2009. GEUS rapport 2010/1, 26 pp.

/4/ Grundvandskemiske og hydrauliske forhold i miljøkontrolboring K2, Stenlille Gaslager. GEUS Rapport 2004/46, 31 pp

Miljøovervågning Stenlille gaslager 13.06.2014								
				13.06.2014		25.03.2014		
	DGU nr.	Meter. u.t.		Methan mg/l		Methan mg/l		
Boreplads B, kontrolboring	205.568	31	²	0,00	0,08	0,03		
Boreplads B, kontrolboring	205.568	130	¹	0,50	0,61	0,62		
Boreplads B, miljøkontrolboring	205.606	25,5-39,5		0,01	0,02	0,02		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F1	205.606	4,5		0,00	0,00	0,00		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F2	205.606	9,5		0,00	0,00	0,00		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F3	205.606	14		0,00	0,00	0,26		
Boreplads A, miljøkontrolboring	205.649	23,7-29,7	⁴	0,05	0,06	0,05		
Boreplads D, miljøkontrolboring	211.597	24,5-31,5		0,00	0,00	0,00		
Boreplads D, miljøkontrolboring, pejlerør	211.597	9,5-11,5		- *)	-	0,00		
Tuelsemosegård	205.407	37	³	0,00	0,00	0,03		
Stenlille vandværk	205.502	27		0,03	0,03	0,03		
Stenlille vandværk	205.520	27		0,03	0,03	0,03		
Stenlille vandværk	205.826	19-28		0,02	0,00	0,03		
*) pumpe ude af drift								
				13.06.2014		25.03.2014		
		Meter. u.t.		Methan mg/l		Methan mg/l		
Nyrup vandværk	205.400	37	⁵	0,00	0,00	0,05		
Nyrup vandværk	205.558	33	⁶	0,05	0,04	0,06		
Døjringe vandværk	211.518	39		0,17	0,17	0,16		
Døjringe vandværk	211.529	38		0,10	0,05	0,10		
Bemærkninger:								
1) Højere kulbrinter, µmol/l, i kontrolboring 205.568, 130 meter u.t.:								
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C1/C2
1a:	31,25	1,50						21
1b:	38,19	1,81						21
2-6) Højere kulbrinter, µmol/l: Kontrolbor. 30m, Tuelsemosegård, Plads A & Nyrup Vv								
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C1/C2
2:	5,2	<0,005						
3:	0,3	<0,005						
4:	3,6	<0,005						
5:	0,2	<0,005						
6:	2,6	<0,005						

Miljøovervågning Stenlille gaslager 25.09.2014								
				25.09.2014		13.06.2014		
	DGU nr.	Meter. u.t.		Methan mg/l		Methan mg/l		
Boreplads B, kontrolboring	205,568	31	²	0.07	0.07	0.04		
Boreplads B, kontrolboring	205,568	130	¹	0.81	0.83	0.55		
Boreplads B, miljøkontrolboring	205,606	25,5-39,5		0.47	0.48	0.02		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F1	205,606	4.5		0.07	0.03	0.00		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F2	205,606	9.5		0.37	0.40	0.00		
Boreplads B, miljøkontrolboring, pejlerør F3	205,606	14		0.09	0.10	0.00		
Boreplads A, miljøkontrolboring	205,649	23,7-29,7	⁴	0.06	0.06	0.06		
Boreplads D, miljøkontrolboring	211,597	24,5-31.5		0.00	0.00	0.00		
Boreplads D, miljøkontrolboring, pejlerør	211,597	9,5-11,5		0.00	0.00	- *)		
Tuelsemosegård	205,407	37	³	0.03	0.03	0.00		
Stenlille vandværk	205,502	27		0.03	0.00	0.03		
Stenlille vandværk	205,520	27		0.04	0.04	0.03		
Stenlille vandværk	205,826	19-28		0.03	0.04	0.01		
*) pumpe ude af drift								
				25.09.2014		13.06.2014		
		Meter. u.t.		Methan mg/l		Methan mg/l		
Nyrup vandværk	205,400	37	⁵	0.06	0.05	0.00		
Nyrup vandværk	205,558	33	⁶	0.06	0.06	0.05		
Døjringe vandværk	211,518	39		0.17	0.16	0.17		
Døjringe vandværk	211,529	38		0.09	0.09	0.08		
Bemærkninger:								
1) Højere kulbrinter, µmol/l, i kontrolboring 205.568, 130 meter u.t.:								
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C1/C2
1a:	50,69	2,19						23
1b:	52,13	2,25						23
2-6) Højere kulbrinter, µmol/l: Kontrolbor. 30m, Tuelsemosegård, Plads A & Nyrup Vv								
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	iC ₅ H ₁₂	nC ₅ H ₁₂	C1/C2
2:	4,4	<0,005						
3:	1,8	0,005						
4:	3,6	<0,005						
5:	3,7	<0,005						
6:	3,6	<0,005						

Appendiks 2 - Naturgas i overvågningsboring K1, efter udslip



DONG A/S har beregnet, at ca. 5000 nM³ naturgas slap ud i undergrunden som følge af den midlertidige utæthed ved den ny gaslagerboring ST-14. Heraf er ca. 5 nM³ oppumpet i form af opløst gas med grundvand fra K1 boringen, beregnet ud fra det oppumpede volumen og vandets gasindhold.



GEUS

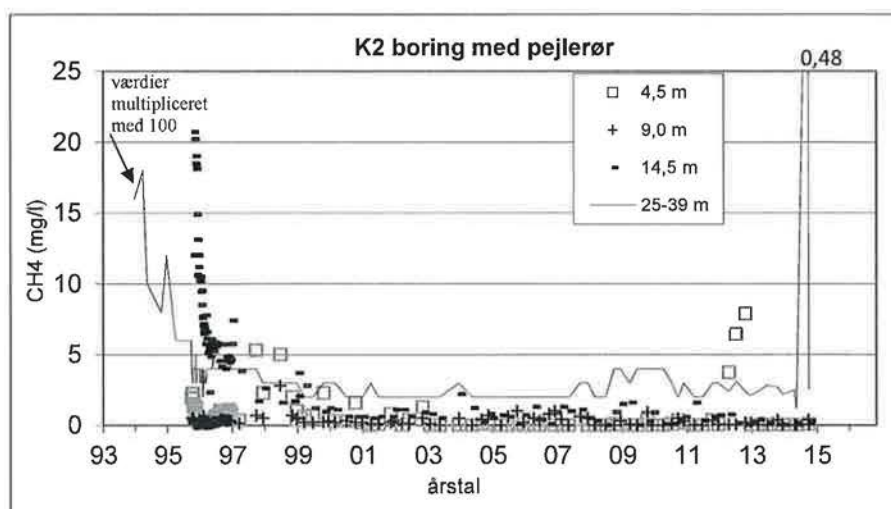
Dansk Naturgas A/S
 Agern Allé 24-26
 2970 Hørsholm
 Att.: Hr. Hans Øbro

Geokemisk afdeling
 J.nr. GEUS 319-00007
 Ref. TL

Den 3. oktober 2014

Miljøovervågning af Stenlille naturgaslager 2. oktober 2014

Der blev gennemført en ekstraordinær prøvetagning for kontrolboring K2 den 2. oktober for at kontrollere om det øgede methanindhold i boringen var af permanent karakter. Det viste sig ikke at være tilfældet, da methanindholdet igen lå på niveau med målingerne gennem de seneste 15 år, se nedenstående figur.



For at kontrollere om det forhøjede methanindhold, der blev målt den 25. september, kunne forklares ved forskelle i varigheden af renpumpning af boringen før udtagning af vandprøve, blev der jævnligt udtaget prøver under en 2 timers pumpning af boringen. Pumpens ydelse blev målt til 13,5 m³/t. Methanindholdet i de 18 prøver varierede mellem 0,021 og 0,030 mg/L, tabel 1, hvilket må betragtes som liggende inden for analyseusikkerheden, for et flygtigt stof som metan i grundvand.

GEUS
 De Nationale Geologiske
 Undersøgelser for Danmark
 og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K
 Tlf. 38 14 20 00
 Fax 38 14 20 50
 CVR-nr. 55 14 50 16
 EAN-nr. 5798000866003
 geus@geus.dk
 www.geus.dk

*GEUS er en forsknings- og
 rådgivningsinstitution
 i Klima- og
 Energiministeriet*

Tabel 1. Methan i vandprøver fra K2 boring, 2. oktober 2014

Kl	CH ₄ , mg/L
08:43	0,029
08:53	0,021
08:58	0,025
09:03	0,028
09:08	0,024
09:13	0,022
09:18	0,030
09:23	0,023
09:28	0,022
09:33	0,028
09:38	0,025
09:43	0,025
09:53	0,026
10:03	0,025
10:13	0,024
10:23	0,025
10:33	0,024
10:43	0,025

Der blev også foretaget methananalyse på vandprøver fra de tre pejleboringer etableret tæt ved K2 boring. Da pejleboringerne står i moræneler, sker tilstrømning af vand så langsomt, at renpumpning ikke er mulig. De udtagne prøver repræsenterer derfor det vand, der har stået i boringerne, hvorfor en større variation i methan må forventes. De fundne methanindhold i de tre pejleboringer ligger inden for variationerne gennem de seneste 10 år.

Tabel 2. Methan i pejlør september – oktober 2014

Dato	F1: 4,5 m	F2: 9,5 m	F3: 14 m
02-10-2014	0,06	0,03	0,29
25-09-2014	0,07	0,40	0,10

Med venlig hilsen

Troels Laier



GEUS

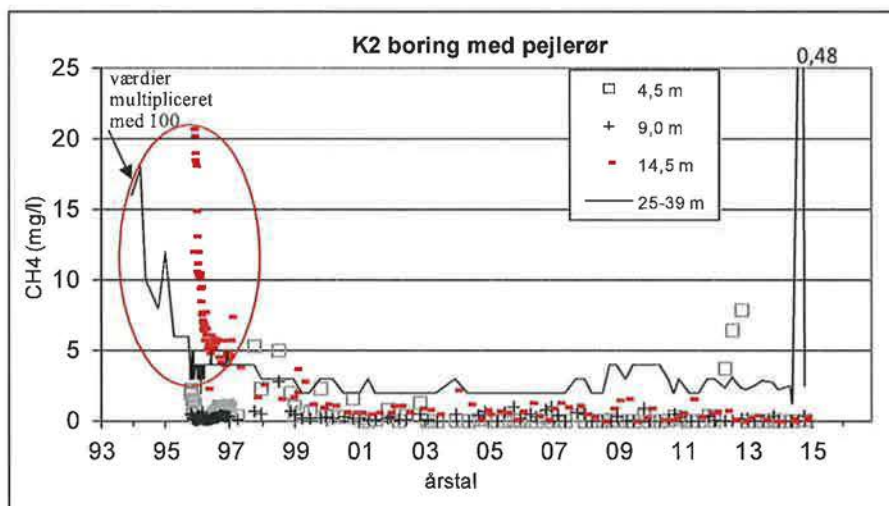
Dansk Naturgas A/S
 Agern Allé 24-26
 2970 Hørsholm
 Att.: Hr. Hans Øbro

Geokemisk afdeling
 J.nr. GEUS 319-00007
 Ref. TL

Den 7. oktober 2014

Forhøjet metan i K2 boring kan skyldes naturlig variation

Vi har gennemgået tidligere rapporter vedrørende miljøovervågning af Stenlille naturgaslager med henblik på at finde en mulig forklaring på det forhøjede methanindhold i K2 boringen den 25. september i år. Konklusionen er, at den midlertidige stigning, som ses af figur 1, skyldes en naturlig variation af methanindholdet i grundvandet.



Figur 1. Methanindhold i grundvand fra forskellige niveauer i K2 boringen.

De tre pejlerør, 4,5 – 14,5 m i figur 1, står i moræneler uden direkte hydraulisk kontakt med det underliggende sandlag, hvorfra de lokale vandforsyninger henter deres brugsvand. En signifikant forøgelse af methanindholdet i det kvartære sandlag er kun en gang tidligere konstateret, nemlig i den ene af Nyrup vandværks to indvindingsboringer. Stigningen i metan i boring DGU nr. 205.558 fra ca. 0,1 til godt 0,4 mg/L den 8. oktober 2009 var ledsaget af højere kulbrinter, ethan til

GEUS
 De Nationale Geologiske
 Undersøgelser for Danmark
 og Grønland
 Øster Voldgade 10
 1350 København K

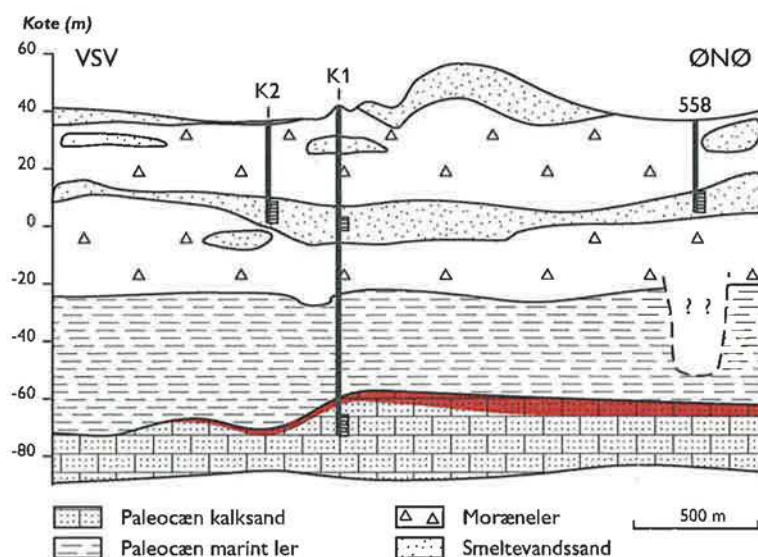
Tlf. 38 14 20 00
 Fax 38 14 20 50

CVR-nr. 55 14 50 16
 EAN-nr. 5798000866003

geus@geus.dk
 www.geus.dk

GEUS er en forsknings- og
 rådgivningsinstitution
 i Klima- og
 Energiministeriet

pentan, der ikke tidligere var fundet i boringen. Konklusionen dengang, var at gassen sandsynligvis stammede fra det midlertidige gasudslip fra St-14 boringen i september 1995 /1/. Gassens sandsynlige migrationsvej blev illustreret ved nedenstående figur.

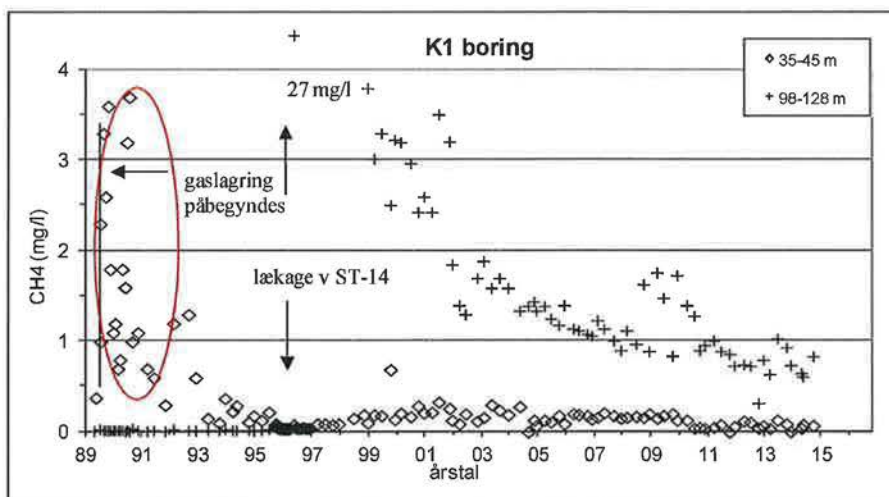


Figur 2. Geologisk tværsnit. Naturgassens mulige migrationsvej fra udslip nær K2 til boring 558 er antydnet med rødt.

Følgerne af gasudslippet i 1995 kunne kun måles i det dybe filter i K1 boringen, men ikke i det øvre filter, der henter vand fra samme sandlag som borerne K2 og 558. Lerlaget, der danner barriere mellem det Palæocæne kalksand og det kvartære smeltevandssand, er sandsynligvis tyndere ved Nyrup (558) pga. smeltevandsfloders erosion. En midlertidig nedgang i pumperaten i boring DGU nr. 205.558 i efteråret 2009 medførte mindre opblanding (fortynding) af det metan påvirkede grundvand, som resulterede i at sporene efter gasudslippet blev ”synlige” i en kort periode /1/.

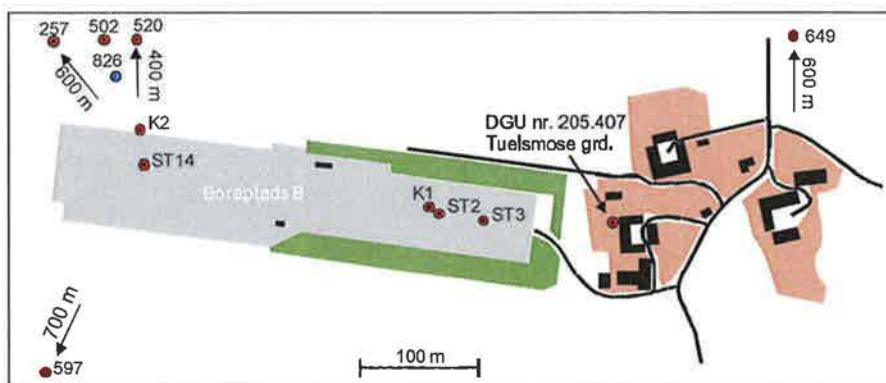
Det forhøjede methanindhold i K2 boringen, den 25. september, var ikke ledsaget af højere kulbrinter, som man skulle forvente, hvis det drejede sig om naturgas fra en eventuel lækage fra det underjordiske lager eller spor fra 1995-udslippet. Det forhøjede methanindhold skyldes sandsynligvis snarere variation i indhold af naturlig metan, der kan påvirkes af variationer i vandindvinding, enten via boringen selv, i forbindelse med prøveindsamling, eller via nærliggende indvindingsborin-

ger. Det betydelige fald i methanindhold gennem de første års prøvetagning for både K1 boring, rød markering på figur 3, og K2 boring, rød markering på figur 1, er sandsynligvis et resultat af ændrede strømingsforhold som følge af vandindvinding i forbindelse med prøvetagning. I forbindelse med de ugentlige prøvetagninger i K1 1995-96 faldt methan til 0,03 mg/L, for senere at stige til ca. 0,4 mg/L da prøvehyppigheden nedsattes til en gang i kvartalet, figur 3.



Figur 3. Methan i grundvand fra K1 boring 1989-2014.

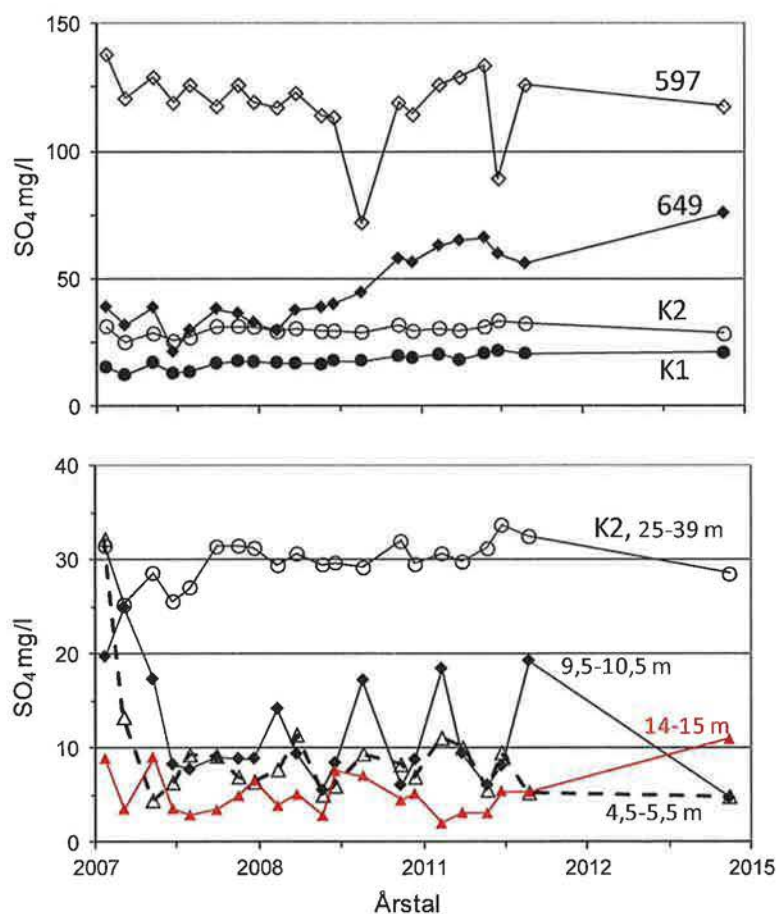
Stenlille vandværks ibrugtagning af en ny vandindvindingsboring ca. 300 m fra K2 boringen, figur 4, kan have påvirket grundvandets strømingsforhold omkring K2 boringen og muligvis være årsag til den midlertidige stigning i methanindholdet.



Figur 4. Boringer i og omkring Plads B. Ny boring siden 2013 er 826.

For at forstå hvordan ændrede forhold mht. vandindvinding kan påvirke grundvandets methanindhold vil vi i det følgende se på hvor og under hvilke betingelser methan dannes, og på strømningsforholdene i K2s nærrområde.

De væsentligt højere methanindhold (markeret med rød cirkel på figur 1 og 3), der blev målt de første år under overvågningen af K1 og K2 borerne blev tidligere tilskrevet midlertidige forhold skabt af borearbejdet [2]. Tolkningen var ikke underbygget med konkret viden, men var baseret på formodningen om, at de grundvandskemiske forhold i det kvartære sandmagasin måtte være relativt ensartede, hvilket senere har vist sig ikke at være tilfældet, illustreret ved f. eks. grundvandets forskellige sulfatindhold, figur 5.



Figur 5. Sulfat i grundvand fra overvågningsboringer vist i figur 4.

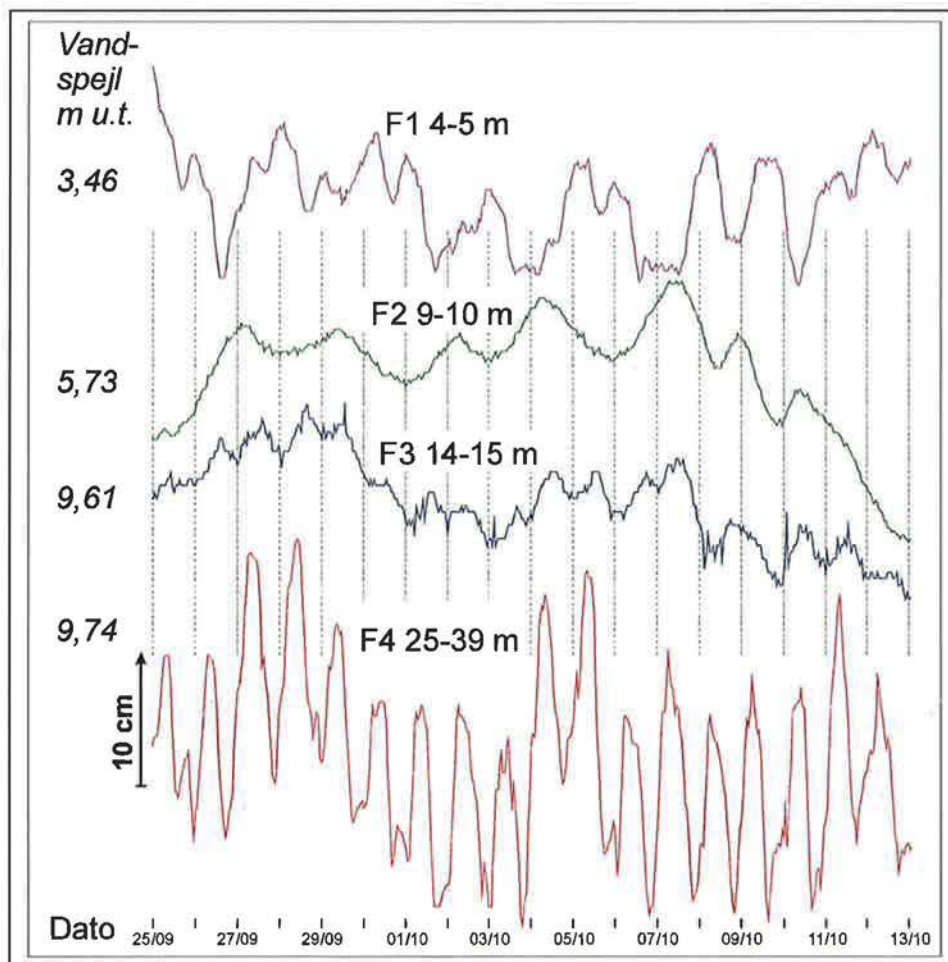
Dannelse af methan forudsætter stærkt reducerede forhold, dvs. hvor ilt og nitrat ikke er til stede og hvor sulfatindholdet er meget lavt. Det høje

sulfatindhold i boring 597, figur 5, er sandsynligvis forklaringen på at der ikke er fundet methan i vandprøverne fra denne boring /3/. Selve methandannelsen finder sandsynligvis sted i lerlaget over sandlaget, figur 2, hvor sulfatindholdet er markant lavere, figur 5. Sulfat er generelt mindst i den dybe pejleboring, figur 5, der også er kendetegnet ved det højeste methanindhold, figur 1. Forskellene i grundvandets sulfatindhold, kan bedst forklares ved forskelle i nedrivningsforholdene, og at lavere sulfat skyldes stærkere påvirkning fra de overliggende lerlag. Det faldende methanindhold i K1 og K2 borerne i starten af overvågningen kan derfor skyldes delvis udskiftning/fortynding det oprindelige methanholdige vand med vand, der er mindre påvirket af lerlagene pga. den øgede tilstrømning som følge af pumpningerne.

Grundvandsspejlet i K2 pejleboringerne står højere end i sandlaget og viser, at der ikke er direkte hydraulisk kontakt mellem lagene, men trykforholdene og dermed grundvandets strømning vil påvirkes ved pumpning, som det blev vist ved undersøgelser omkring K2 boringen i 2003, se figur 6 /4/. De markante udsving i vandspejlet i sandlaget (F4 25-39 m) følger en døgnrytme, der blev forklaret med indvindingen fra Stenlille vandværks borerne (502 og 520, figur 4) /4/.

Stenlille vandværk etablerede en ny boring (826, figur 4) som blev taget i brug i slutningen af 2012. Boringen ligger kun 300 m fra K2 boringen og kan have påvirket grundvandets strømningsforhold omkring K2 boringen således, at der lokalt er sket en midlertidig forøgelse i methanindholdet. På basis af de foreliggende data anses dette for at være den mest sandsynlige forklaring på det forhøjede methanindhold, der blev målt den 25. september i år.

Vi vil forsøge at skaffe yderligere information, der kan afklare årsagen til den midlertidige stigning i methan i K2 boringen, dels ved at indsamle data vedr. boring 826s betydning og ved udtage en serie prøver fra K2 boringen i forbindelse med næste ordinære miljøovervågning af Stenlille naturgaslager i december måned.



Figur 6. Pejling af vandspejl i forskellige niveauer i K2 boringen /4/

Referencer:

/1/ Spor af naturgas i Nyrup vandværksboring, oktober 2009. GEUS rapport 2010/1, 26 pp.

/2/ Overvågning af metan i grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989-2001. GEUS rapport 2002/31, 36 pp.

/3/ Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 – 2013. GEUS rapport 2014/10, 32 pp.

/4/ Grundvandskemiske og hydrauliske forhold i miljøkontrolboring K2, Stenlille Gaslager. GEUS Rapport 2004/46, 31 pp

Med venlig hilsen

Troels Laier

Appendiks 5 – Pejling af vandspejl i K2 okt-dec 2014

De relativ regelmæssige variationer i vandspejlet i K2 boringens sandmagasin, F4, tilskrives indvindingen fra Stenlille vandværks boringer. Mønsteret er nogenlunde det samme som sås i 2003, Appendiks 4. Variationerne i 2014 synes at være en smule mere markante muligvis pga. indvinding fra den nye boring DGU nr. 205. 826.

