

Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 - 2025

Christian Nyrop Albers

Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 - 2025

Christian Nyrop Albers

Resumé

Som et led i overvågningen af naturgaslageret ved Stenlille er grundvandet over lageret regelmæssigt blevet undersøgt for eventuelt indhold af lette kulbrinter, siden lageret blev taget i anvendelse i 1989. Allerede før nedpumpning af den første naturgas indeholdt grundvandet små mængder naturlig methan, ca. 0,05 mg/L. Efterfølgende er der kun set mindre udsving i grundvandets methanindhold. I omegnen af naturgaslageret indeholder det grundvand, der anvendes til vandindvinding, op til 0,4 mg/L methan. Dette 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 i grundvandet, da naturgas foruden methan indeholder ca. 10 procent højere kulbrinter (hovedsageligt ethan), som kan detekteres med stor følsomhed. Overvågningen siden 1989 tyder ikke på nogen direkte lækage fra naturgaslageret.

De kvartalsmæssige undersøgelser udført i 2025 viste ingen forhøjelser af koncentrationen af methan i grundvandet i området. Endvidere var der ingen spor af højere kulbrinter i grundvandet i området, bortset fra en rest i den dybe del af boring K1, stammende fra udslippet under ibrugtagning af ny injektionsboring i 1995.

De gentagne store udsving i methan-indholdet i de terrænnære pejlefiltre i K2-boringen bør ikke give anledning til bekymring om, hvorvidt methanen kan stamme fra gaslageret, da udsvingene ikke følges af en stigning i indholdet af ethan eller andre højere kulbrinter, og der ikke ses en stigning i den egentlige kontrolboring.

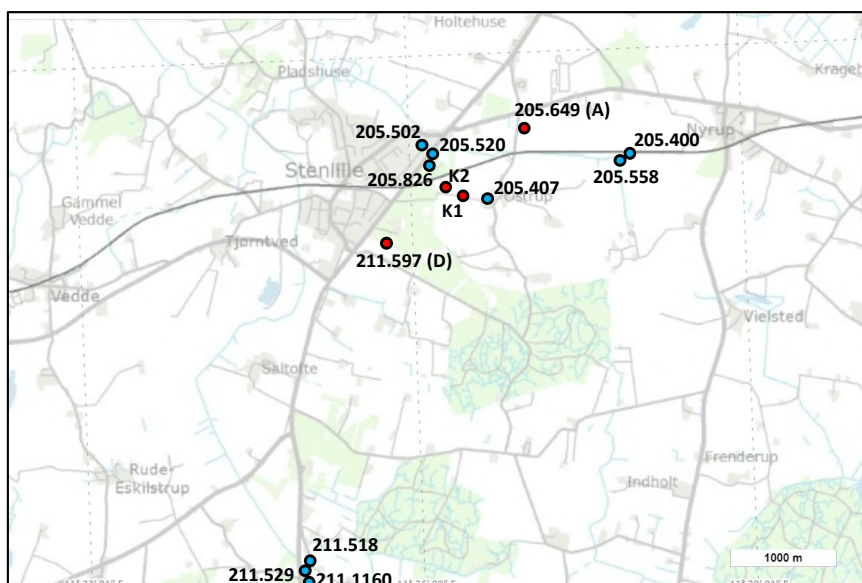
Indholdsfortegnelse

Resumé	3
Indholdsfortegnelse	4
Indledning	5
Methan i grundvand 1989 – 2025	7
Analysemetoder.....	7
Methan i kontrolboringer.....	8
Methan i vandværksboringer.....	11
Konklusion	13
Referencer	14
Appendiks 1 - Naturgas i overvågningsboring K1, efter udslip	15
Appendiks 2 - Sammensætning af naturgas i gaslageret	16

Indledning

Før gaslageret i Stenlille blev taget i brug udtog GEUS vandprøver fra indvindingsboringer i området, 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 /3/.

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 metanindhold og eventuelle andre lette kulbrinter (C₂-C₆) sker ved udtagning af prøver derfra, fra en boring på hver af gaslagerets øvrige to pladser i området og fra de nærliggende indvindingsboringer, se figur 1.



Figur 1. Lokalitetskort som viser placeringen af boringerne, der indgår i miljøundersøgelserne over og omkring Stenlille gaslager. Røde punkter er gaslagerets miljøkontrolboringer på hhv. plads A (205.649), plads B (K1 og K2) og plads D (211.597). Blå punkter er vandindvindingsboringer som indgår i monitoringen. Bortset fra K1 og K2 angiver nummerering DGU-nummer.

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 udslip fandt sted ved Stenlille gaslager i september 1995, i forbindelse med ibrugtagning af en ny gaslagerboring, Stenlille-14 (ST14). 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, viste forhøjede gasindhold i kalk-arenit-laget i 98-128 m dybde i kontrolboring K1 /4/. 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 har der også lejlighedsvis været foretaget karakterisering af den naturgas, der pumpes ned i lageret, se nedenstående note og Appendiks 2. Undersøgelserne fra 1989 til 2006 og igen i 2017 viste, at naturgassen var stort set uændret med hensyn til sammensætning - ca. 90 procent methan og ca. 10 procent andre lette kulbrinter, hvoraf ethan udgør størstedelen. Også methans isotopværdi er stort set uændret siden 1989 /1/. Siden 2015 har Energinet løbende målt og offentliggjort sammensætningen af den distribuerede gas (<https://www.energidataservice.dk/>) og trods en vis variation, har der altid været en betydelig andel lettere kulbrinter, som vil gøre et eventuelt udslip fra lageret sporbart.

Note om isotoper: Kulstof i naturen består af 99% ^{12}C og 1% ^{13}C med atomvægtene 12 og 13. Forholdet mellem de stabile isotoper $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ i methan afhænger af dannelsesprocessen, og forholdet ændres stort set ikke, når methan trænger op gennem de geologiske lag. Derfor er isotopmålinger egnede til at bestemme methanens oprindelse. Methan dannet af bakterier indeholder mindre ^{13}C end methan i naturgas og methan i den naturgas, der pumpes ned i lageret, adskiller sig derfor fra naturlig methan i grundvand, ved at den indeholder mere af den tunge kulstofisotop, ^{13}C . Isotopanalyser har i en række tilfælde været anvendt til at afgøre om methan stammede fra naturgas eller ej. Naturgassen, der pumpes ned i lageret ved Stenlille blev fulgt relativt tæt fra 1989 til 2006 og viste ingen større ændringer i denne periode, med hensyn til ^{13}C isotopværdi, $\delta^{13}\text{C}$ omkring -47 promille i forhold til isotopstandarden PeeDe Belemnite, se Appendiks 2. Der blev i januar 2017 udført en ekstraordinær prøvetagning til isotopanalyse, som bekræftede, at naturgassens sammensætning gennem de sidste godt 25 år ikke havde ændret sig meget, hverken mht. kemisk sammensætning eller methans isotopforhold /1/. Analyseresultater fra denne prøvetagning samt notat om lækagesporing ved isotopanalyse kontra højere kulbrinter blev afrapporteret i 2017 /2/. Isotopanalyserne af naturgassen (udført i samarbejde med KU, Prof. Per Ambus) er foreløbigt de sidste foretaget af GEUS, da GEUS ikke længere råder over de fornødne faciliteter og forekomst af højere kulbrinter har vist sig som en mere følsom måde at detektere spor af en evt. lækage på.

Methan i grundvand 1989 – 2025

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 vandindvindingsboringernes vedkommende blev det kontrolleret, om boringerne havde været i normal drift, og også her sikrede man sig, at pumpen arbejdede, mens prøverne blev udtaget.

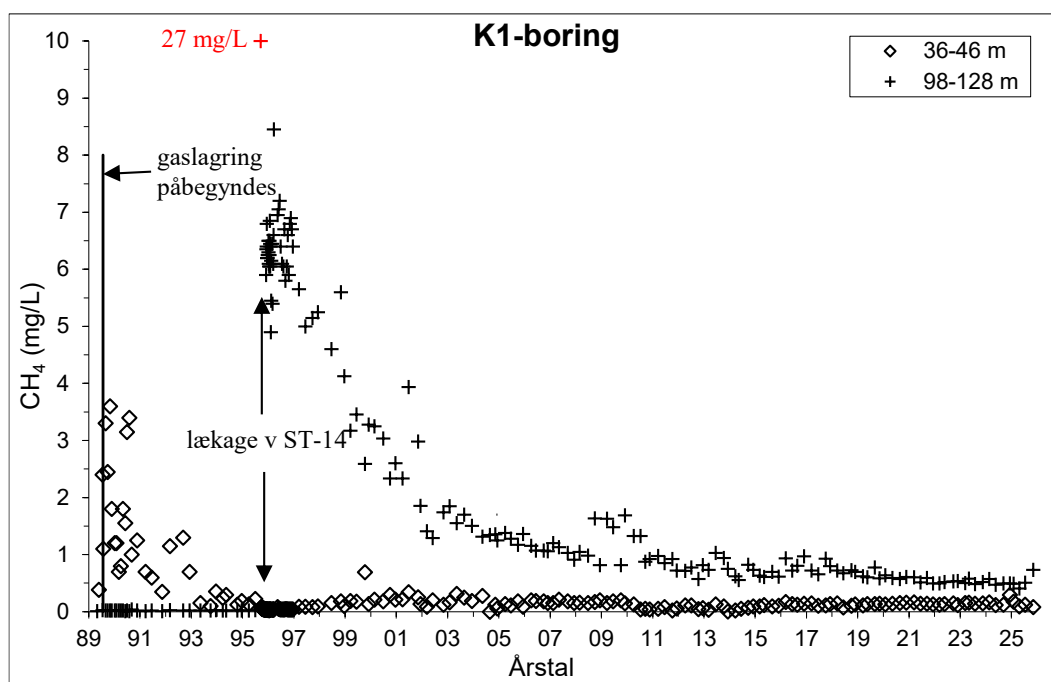
Vandprøver til methananalyse blev tidligere udtaget i enten 15 ml serumflasker eller i 12 ml Venoject[®] glas. Siden 2012 er prøver udelukkende udtaget i serumflasker, fordi butylgummiproppen i de seneste sendinger af Venoject glas afgav methan og andre lette kulbrinter.

De gaskromatografiske analyser blev indtil 2015 udført på en Shimadzu GC-9 gaskromatograf med pakket kolonne og FID-detektor. Detektionsgrænsen for methanindhold i grundvand lå omkring 0,005 mg/L og for andre lette kulbrinter på ca. 0,002 mg/L. Fra 2016 er analyserne udført på en Shimadzu GC2010 gaskromatograf med kappilarkolonne (GS-Gaspro, 60 m, 0.32 mm) og FID-detektor med en detektionsgrænse for methan såvel som for højere kulbrinter på ca. 0,002 mg/L.

Methan i kontrolboringer

Methanindholdet i vandprøver udtaget fra de to kontrolboringer K1 og K2 på boreplads B er vist for hele overvågningsperioden siden 1989 i figur 2 og 3. Bemærk, at skalaen på y-aksen er forskellig på de to figurer.

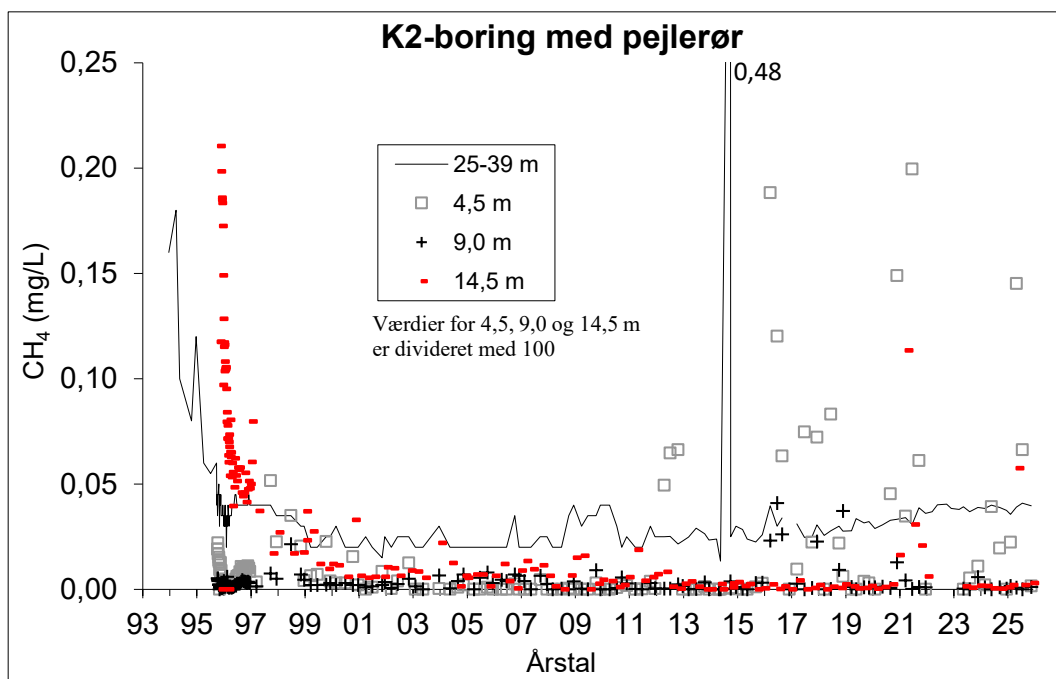
K1. Methan-koncentrationerne i den dybe del af K1-boringen er domineret af lækagen ved ST14 i 1995, figur 2. Før lækagen var methan knapt målbar i det dybe indtag, men umiddelbart efter steg methanindholdet brat til et niveau på ca. 7 mg/L og der blev også målt andre lette kulbrinter, se evt. Appendiks 1. Methan-koncentrationen i dette indtag ligger nu på ca. 0,5 mg/L og ser ud til at være fortsat svagt faldende. Omvendt faldt methanindholdet i sandlaget (øverste indtag, 36-46 m) til 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. Efter januar 1998 skete der en lille, men signifikant, stigning i methanindholdet i vandprøverne fra det øverste indtag i K1 boringen. I samme periode blev der kun udtaget én prøve per kvartal, hvilket kunne tyde på, at der er en vis sammenhæng mellem hyppigheden af prøvetagninger og methanindhold i dette indtag.



Figur 2. Methanindhold i grundvand fra 2 niveauer i kontrolboring K1 placeret ca. 10 m fra produktionsboring ST2. Afstand til produktionsboring ST14 er ca. 250 m. Efter lækagen blev der også fundet andre lette kulbrinter (C_2 - C_6) i vandet fra det dybe indtag. Ethan (C_2) kan stadig måles i det dybe indtag, se Appendiks 1.

K2. K2-indtaget i 25-39 m dybde har de sidste mange år vist meget lave methan-koncentrationer, $<0,05$ mg/L, figur 3. Siden lækagen i 1995 er der på foranledning af DONG A/S også udtaget vandprøver til methananalyse fra pejlerørene ved K2-boringen, figur 3. I

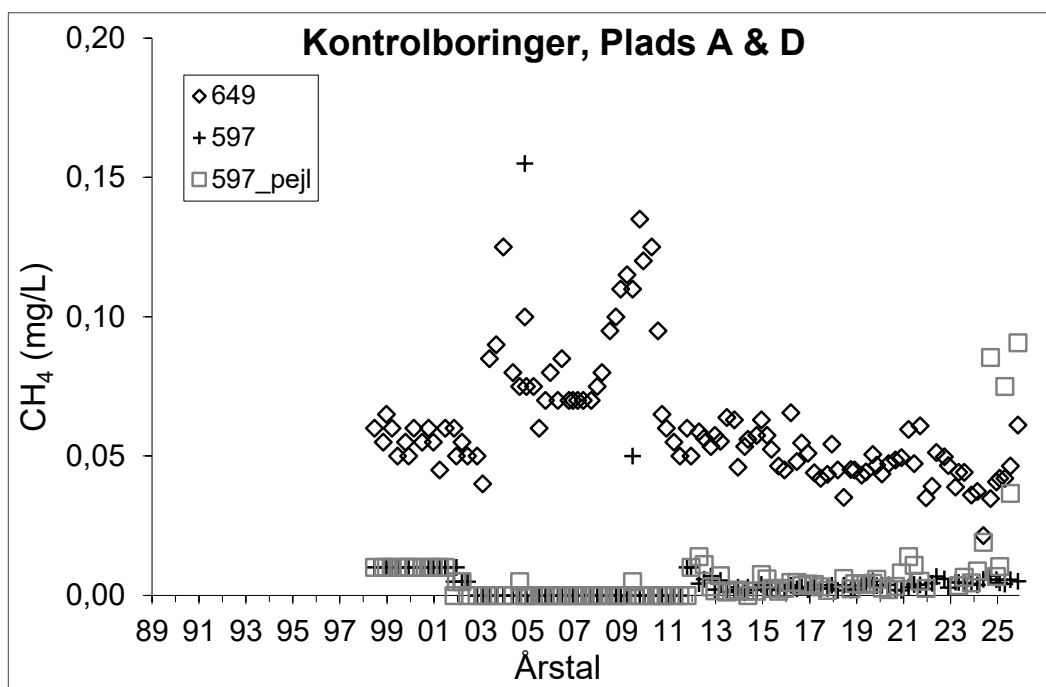
disse ses periodevis høj methankoncentration (op til 20 mg/L). Det tidvise højere methanindhold stammer dog ikke fra udsivende naturgas fra lageret, da der er en betydelig forskel på de to typer af gas med hensyn til kemisk og isotopmæssig sammensætning, som tidligere påvist /4/. Så længe stigningen ikke følges af en stigning i indholdet af ethan eller andre højere kulbrinter, og der endvidere ikke ses en stigning i det egentlige kontrolindtag, bør det altså ikke give anledning til bekymring om, hvorvidt metanen kan stamme fra gaslageret.



Figur 3. Methanindhold i grundvand fra kontrolboring K2 (25-39 m) og fra 3 pejlerør i forskellig dybde. Bemærk, at værdier for pejleboringerne er divideret med 100, for at kunne vises på samme graf som selve K2-boringen. Det vil med andre ord sige, at værdier for de tre øverste dybder var 100 gange højere, end det man kan aflæse på y-aksen. Boring og pejlerør er placeret ca. 30 m fra ST14-boringen.

Plads A og D. Siden juni 1998 er også methanindholdet i grundvand fra kontrolboringerne på borepladserne A og D blevet analyseret, se figur 4. De to borepladser ligger knap 1 km fra plads B (se evt. figur 1) og indtagene er placeret i ca. 30 m dybde, svarende nogenlunde til det dybe indtag i K2 og det øvre indtag i K1. Methanindholdet i boring 205.649 (plads A) er en anelse højere end i det dybeste indtag i K2, men på højde med det øverste indtag i K1. Methanindholdet i de to indtag i boring 205.597 på plads D er generelt meget lavt, $<0,01$ mg/L, dog periodevist lidt højere i det øverste indtag (Pejl). Grundvandskemien i boringen afspejler også mindre reducerende forhold (markant højere sulfatindhold i det dybe indtag og nitrat i det øverste indtag) end tilfældet er for de øvrige overvågningsboringer. Derfor er lokal methandannelse omkring denne boring også mindre sandsynlig. I 2024-2025 har methankoncentrationen i det øverste indtag i flere

tilfælde været op mod 0,1 mg/L, hvilket dog stadig er en meget lav methankoncentration for grundvand. Prøver med forhøjet methan var altid fulgt af et lavere nitratindhold (ca. det halve af det typiske niveau på ca. 8 mg/L) og et højere indhold af chlorid og sulfat. Det periodevist lidt højere methanindhold i det øverste indtag i 2024-2025 ser altså ud til at hænge sammen med et indslag af en lidt anden type grundvand fra området, og ikke at stamme fra naturgas fra gaslageret, hvilket understøttes af, at der ikke er målt højere kulbrinter i indtaget.



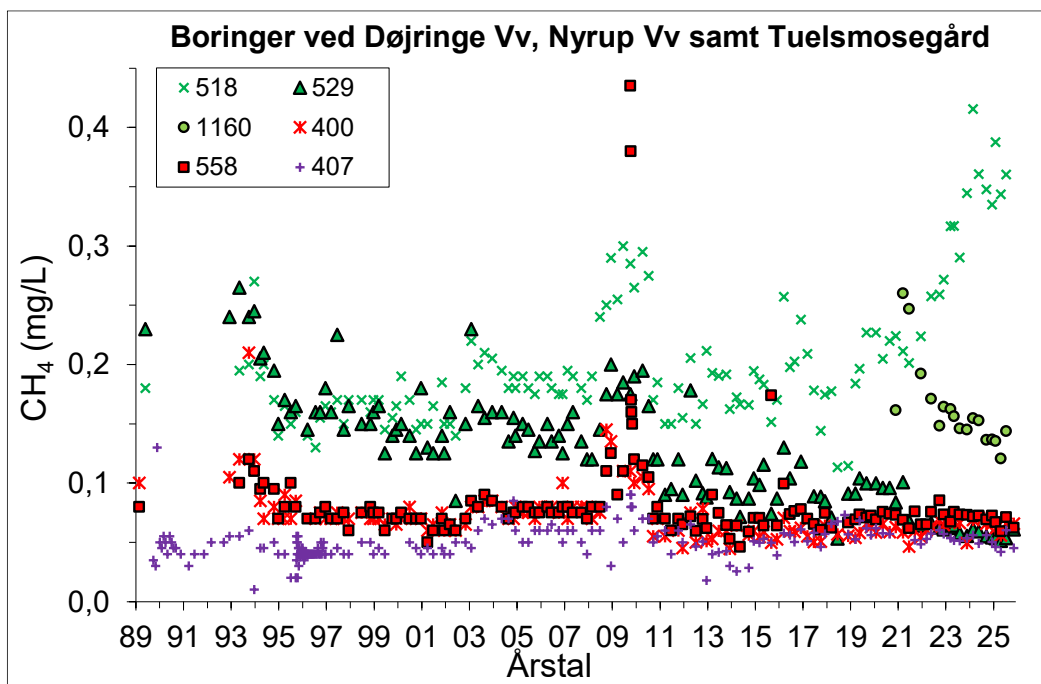
Figur 4. Methanindhold i grundvand fra kontrolboringerne på borepladserne A (205.649; 24-30 m), og D (205.597, 25-32 m og 10-12 m (pejl))

Methan i vandværksboringer

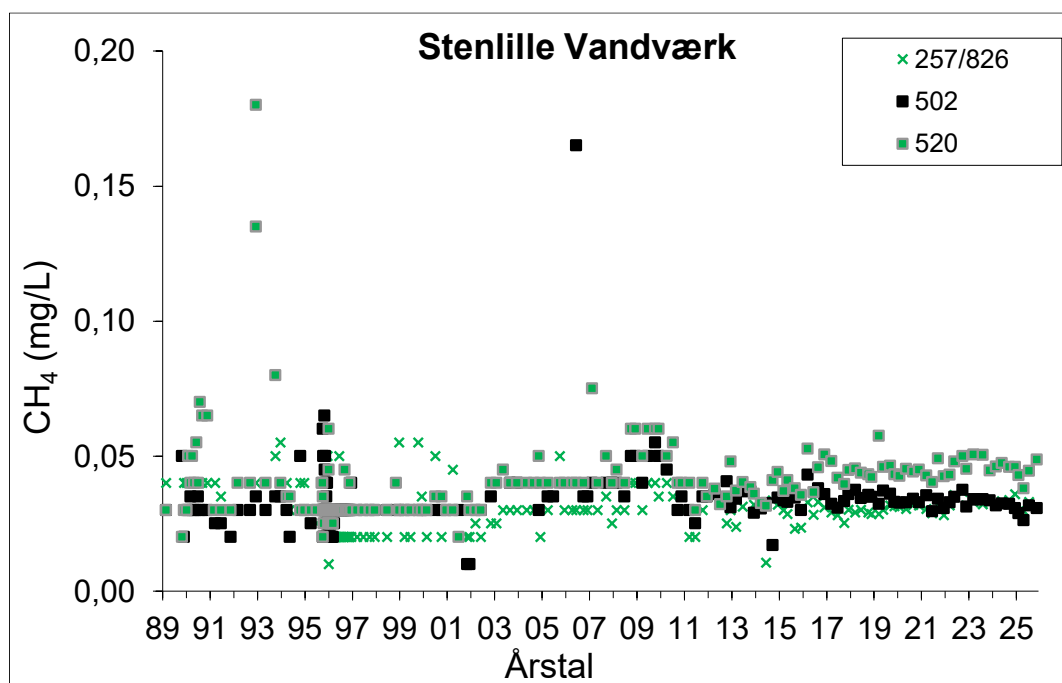
Methanindholdet i prøverne fra vandværksboringerne viser generelt ikke store variationer for den enkelte borings vedkommende, men der er signifikante forskelle fra vandværk til vandværk, figur 5 og 6. Bemærk, at y-aksens skala er forskellig på de to figurer.

Forskellene i methanindhold fra vandværk til vandværk synes at være nogenlunde stabile igennem hele overvågningsperioden og skyldes sandsynligvis at grundvandet stammer fra forskellige oplande. Dog ses en vis tidslig variation i boringerne tilhørende Døjringe Vandværk, hvor koncentrationen i f.eks. boring 211.518 periodevist stiger til ca. det dobbelte af det generelle niveau. Årsagen til dette kendes ikke, men kan have at gøre med pumpestrategier, fx som følge af ibrugtagning af ny boring i 2020. Stigningerne følges aldrig af stigning i højere kulbrinter og årsagen vurderes derfor ikke at have med gaslagers aktiviteter at gøre.

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 /5/. På baggrund af undersøgelserne konkluderede man, at naturgassen stammede fra det underjordiske gasudslip, der fandt sted i forbindelse med lækagen i efteråret 1995. Der har ikke siden da været registreret tilsvarende forhøjet methanindhold i boring 205.558 eller andre af vandindvindingsboringerne, og der har heller ikke været spor af ethan i nogen af disse.



Figur 5. Methanindhold i grundvand fra 6 vandindvindingsboringer over eller ved Stenlille gaslager. Boringernes placering er vist på figur 1 (bemærk at kun sidste del af DGU-nummeret er vist i figur 5). Boringerne 518, 529 & 1160 tilhører Døjringe Vv.; 400 & 558 Nyrup Vv.; 407 Tuelsmosegård. Boring 1160 er en nyere boring, første gang prøvetaget november 2020.



Figur 6. Methanindhold i grundvand fra vandindvindingsboringer tilhørende Stenlille vandværk. Boringernes placering er vist på figur 1 (bemærk at kun sidste del af DGU-nummeret er vist i figur 6). Boring 257 blev erstattet af boring 826 i oktober 2012.

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, som benyttes til vandindvinding, har et lidt højere naturligt methanindhold, op til 0,4 mg/L. Methanindholdet i vandindvindingsboringer har kun vist ubetydelige variationer i hele overvågningsperioden, når der ses bort fra det midlertidige fund af naturgas-spor i Nyrup-boringen i 2009. Den kvartalsvise overvågning i 2025 har således heller ikke vist tegn på lækage fra gaslageret.

Referencer

/1/ Analyse af naturgas fra Stenlille naturgaslager 31. januar 2017. Christian N. Albers. Rapport af 14. september 2017, 2 pp.

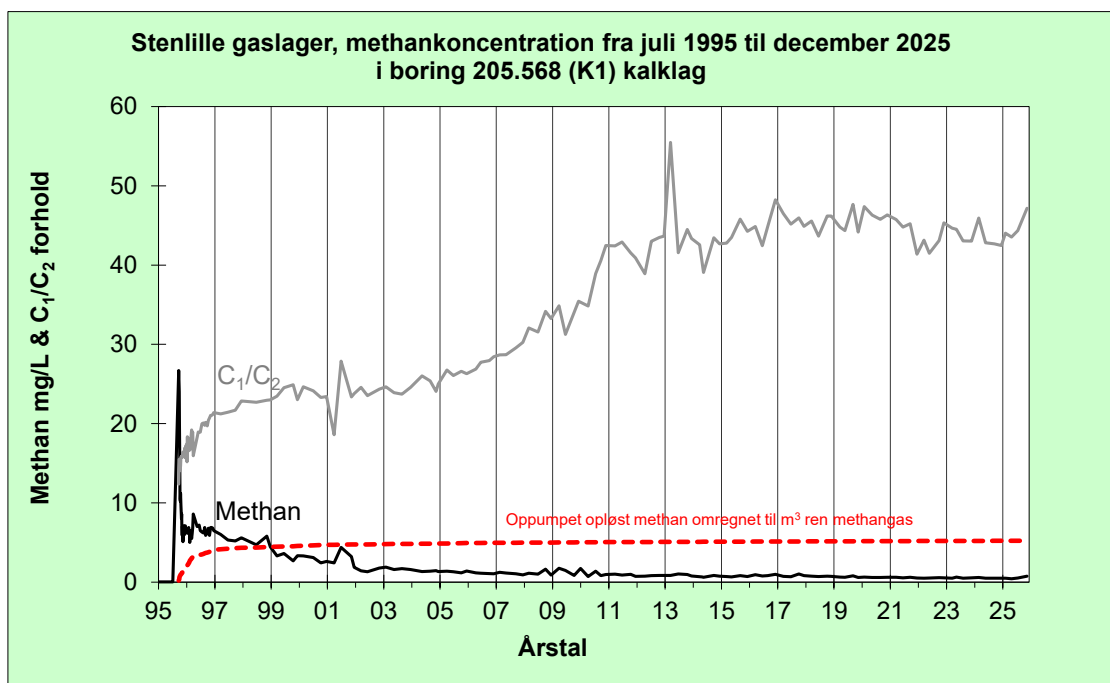
/2/ Lækagesporing i forbindelse med grundvandsovervågning over Stenlille naturgaslager. GEUS notat nr. 05-VA-17-07 (2017), 3 pp. Christian N. Albers & Troels Laier.

/3/ Stenlille Gas Storage – Study of naturally occurring hydrocarbon gases before injection. Geological Survey of Denmark. DGU report No. 15, (1989). 53 pp.

/4/ Overvågning af methan i grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989-2001. GEUS rapport 2002/31, 36 pp.

/5/ Spor af naturgas i Nyrup vandværksboring, oktober 2009. GEUS rapport 2010/1, 26 pp.

Appendiks 1 - Naturgas i overvågningsboring K1, efter udslip



Mængde af opløst methan, som er oppumpet i forbindelse med den kvartalsvise overvågning samt forhold mellem methan (C₁) og ethan (C₂). Stigning i dette forhold indikerer et mindre indhold af gas fra udslippet i 1995 i forhold til indhold af mikrobiel gas dannet i området.

Note: 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 forbindelse med overvågningen af K1-boringen i form af gas opløst i grundvand, beregnet ud fra det oppumpede volumen og vandets gasindhold.

Appendiks 2 - Sammensætning af naturgas i gaslageret

Metode: Prøver af naturgas udtages på hovedanlægget fra enten produktions- eller injektions-siden. Prøven opbevares ved 5 bars tryk i en 300 ml stålcylander forsynet med 2 haner. Gassen analyseres med hensyn til sammensætning og methans kulstof-13 isotopværdi.

Resultaterne viser, at den naturgas der pumpes ned, stort set ikke har ændret sig fra lageret blev taget i brug i 1989 og indtil 2017, Tabel 2.

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

Kulbrinte	30-10-89	11-05-93	21-06-93	21-10-94	29-09-95	13-08-97	15-07-99	04-01-01	16-12-03	02-09-04	30-11-06	31-01-17
	injektion	injektion	produktion	injektion	injektion	injektion	injektion	injektion	produktion	injektion	injektion	produktion
CH ₄	91,4	91,5	91,8	91,5	91,5	91,5	88,7	89,3	88,8	89,5	89,1	89,2
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	6,11
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	2,32
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	0,31
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	0,41
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	0,07
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	0,05
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	0
C ₃ H ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
δ ¹³ C _{CH4} ‰	-46,6	-47,5	-47,5	-47,3	-47,0	-47,2	-46,5	-46,6	-46,5	-46,5	-46,3	-45,3
δ ² H _{CH4} ‰	-184											

Indholdet af hver komponent er angivet i volumenprocent.

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

Note om Isotopanalyse. Resultaterne er angivet i den sædvanlige delta notation: $\delta^{13}C_{prøve} = (R_{prøve}/R_{standard} - 1) \times 1000$ ‰, hvor $R = {}^{13}C/{}^{12}C$ i prøve og standard.

Overvågning af grundvand over Stenlille naturgaslager, 1989 - 2025

Christian Nyrop Albers

