

NOTAT



GEUS

Til: Miljøstyrelsen, att. Lisbeth Møllerhøj
Fra: GEUS, Geokemisk Afd.

05-VA-19-04
J.nr. GEUS 014-00250
Ref. CAL

09.12.2019

Dateringer i GRUMO 2018

Baggrund

GEUS blev i 2018, af Miljøstyrelsen, bedt om at forestå datering af 50 primært nye GRUMO-indtag ved hjælp af tritium-helium- ($^3\text{H}/^3\text{He}$) metoden. GEUS råder ikke selv over analyseudstyr for disse isotoper, og selve analysen af ^3H og ædelgasser blev derfor udført hos en underleverandør (Universitet i Bremen). GEUS har stået for prøvetagning samt efterfølgende tolkning af data. Data-tolkning blev udført i samarbejde med Universitetet i Bremen. Principperne bag metoden er tidligere beskrevet i et GEUS-notat (Laier, 2015) samt i diverse videnskabelige publikationer.

57 indtag til datering blev udvalgt af Miljøstyrelsen, bl.a. ud fra kriterier om tilstrækkelig ydeevne, som er en nødvendighed for en succesfuld datering med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden. Heraf udvalgte GEUS 50 indtag, som blev prøvetaget i perioden august-november (se figurer og tabel nedenfor).

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

Tlf. 38 14 20 00

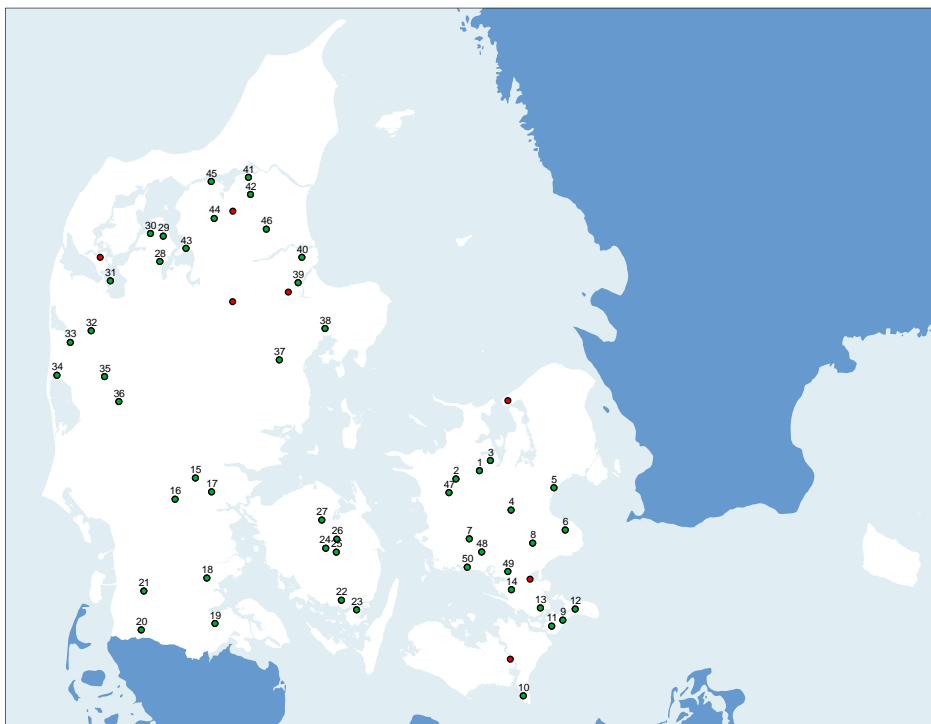
CVR-nr. 55 14 50 16
EAN-nr. 5798000866003

geus@geus.dk
www.geus.dk

*GEUS er en forsknings-
og rådgivningsinstitution
i Klima-, Energi- og
Forsyningsministeriet*

NOTAT

Side 2 af 12



Figur 1. GRUMO-indtag udvalgt til mulig datering (57 borer), hvoraf 50 blev udtaget i 2018 (grønne punkter med prøvenumre, se også tabel 1).

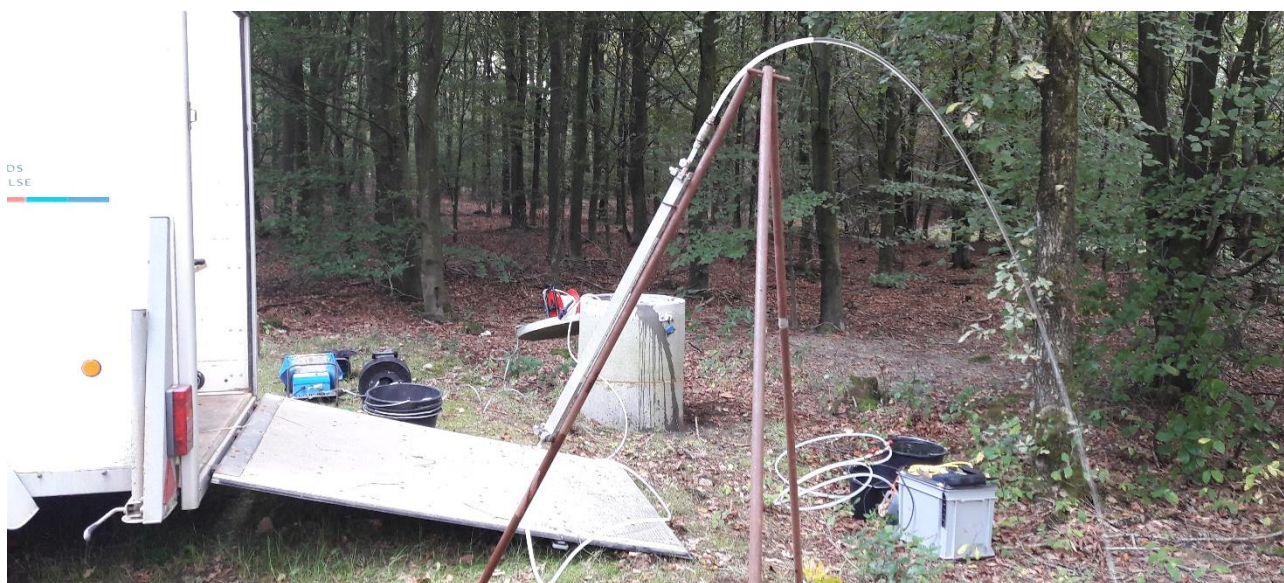
Prøvetagning

Fra hvert indtag blev udtaget to kobberør til analyse for ædelgasser (helium og neon) samt én 1L-plastflaske til analyse for tritium efter foreskrift fra universitetet i Bremen (se bilag 1). Til kobberørerne blev anvendt en opstilling og metode, som minimerer risikoen for at fange luftbobler, hvilket er særdeles kritisk for den efterfølgende analyse (se figur 2). Som pumpe blev anvendt enten en fastmonteret SQE-pumpe eller GEUS' egen MP1-pumpe. Når der anvendtes egen MP1-pumpe, blev denne placeret et stykke over filterindtaget og så sænket til lige over indtaget når prøven skulle tages. Dette blev gjort for at sikre en opadgående strøm af grundvand men med længst mulig afstand fra vandspejl til pumpe. Da borerne var meget forskellige i ydelse og højde fra filterindtag til vandspejl måtte den eksakte fremgangsmåde dog altid bero på en vurdering på stedet. Filtret blev typisk renpumpet 40-60 minutter, men som minimum således at det vand der stod i filtret var udskiftet tre gange. Selve prøven blev udtaget i en delstrøm ved hjælp af en tregangshane, således at der blev opnået et passende flow gennem kobberøret. Det blev nøje tjekket, at der ikke var luftbobler i vandet på afgangssiden af kobberøret. I tilfælde af lavtydende borer måtte hele vandstrømmen anvendes til prøvetagning. Det skal her bemærkes at den laveste ydelse, der kunne opnås i de 50 borer (1,0 L/min i prøve 4, se tabel 1), er et minimum for, at det er muligt at prøvetage til $^3\text{H}/^3\text{He}$ -datering, og selvom det lykkedes i konkrete tilfælde, skal man nok ikke føle sig sikker på, at prøver med så lav ydelse kan prøvetages succesfuldt til $^3\text{H}/^3\text{He}$ -datering.

NOTAT

Side 3 af 12

Prøver blev afsendt samlet til Universitetet i Bremen i november 2018, og analyse-resultater blev modtaget i maj 2019. Aldre yngre end 5 år er sat til <5 , da det erfaringsmæssigt er højst usikkert at datere så ungt vand mere præcist. Aldre, som af laboratoriet er angivet til mellem 59 og ≥ 63 år, er sat til >58 , da der er en større usikkerhed på dateringer før 1960, hvor tritiumindholdet i atmosfæren for alvor begyndte at stige på grund af atomprøvesprængninger og anden menneskelig aktivitet (i dette tilfælde svarende til 58 år før prøvetagning).



Figur 2. Prøvetagning af boring 159. 1558, Døstrup ved Løgumkloster.

Udover prøver til datering, blev der udtaget prøver til måling for hovedbestanddele, herunder feltmålinger jf. de tekniske anvisninger for Grundvandsovervågningen (<https://www.geus.dk/media/16123/g02-proevetagning-version-12.pdf>). Det er således muligt efterfølgende at se, om der skulle være afvigelser fra den sædvanlige kemiske sammensætning i forhold til de øvrige prøver fra samme indtag.

NOTAT

Side 4 af 12

Tabel 1. Oversigt over prøvenumre med lokalitet og vigtige lokalitetsparametre. Pejledata og beregnet mættet zone over filtertop er fra prøvetagningsdagen, men før prøvetagning. "Pejling v. prøve" er pejling umiddelbart før udtagning af prøven. "Pumpeydelse" er pumpeydelsen ved tidspunktet for "Pejling v. prøve".

Prøve-nr.	Prøvetagnings-dato	DGU-nr.	Lokalitetsnavn	Filtertop (m.u.t.)	Filter-længde (m)	Pejling (m.u.pp)	Mættet zone (m)	Pejling v. prøve (m.u.pp)	Pumpeydelse (L/min)
1	22-08-2018	205. 1056	Sdr. Jernløse	13,5	1	10,2	3,9	10,3	15
2	22-08-2018	204. 714	Holmstrup 3	12,5	1	4,3	8,7	4,4	2,4
3	23-08-2018	198. 592	Sdr. Asmindrup	3	2	4,0	-0,5	4,2	4
4	23-08-2018	212. 1869	Kværkeby	9,4	1	9,0	0,9	9,6	1,0
5	23-08-2018	207. 5681	Karlstrup	26,4	1	2,7	24,2	3,7	12
6	24-08-2018	218. 2224	Klippinge	18,5	1	0,9	18,1	3,1	13
7	24-08-2018	215. 1199	Haldagerlille	44	1	17,2	27,3	17,5	20
8	27-08-2018	217.1263 -2	Olstrup (Rode)	17	1	7,1	10,4	9,5	30
9	27-08-2018	233. 370 -2	Hjelm	43,5	2	12,8	31,2	13,0	9
10	28-08-2018	242. 380	Gedesby	24	1	11,5	13,0	14,6	1,2
11	28-08-2018	233. 387	Kokseby	5,5	1	4,7	1,3	4,9	3,5
12	29-08-2018	227. 250 -2	Keldby, Møn	12	1	8,7	3,8	9,3	3,5
13	29-08-2018	226.1415 -2	Kalvehave	33	1	3,4	30,2	4,8	18
14	29-08-2018	226. 1414	Sværdborg	22,5	3	1,1	21,9	1,4	10
15	17-09-2018	124. 1397	Egtved	94	1	31,2	63,3	32,3	10
16	17-09-2018	123. 1207	Stauskede Plant.	10,5	1	2,9	8,1	4,4	10
17	18-09-2018	124. 1395	Viuf	13	1	11,7	1,8	11,8	5,5
18	19-09-2018	151. 2028	Skovby, Vedsted	63	1	28,9	34,7	29,3	11
19	19-09-2018	168. 1590	Felsted	95	1	15,5	80,0	16,1	12
20	19-09-2018	166. 786	Tønder	7	1	2,1	5,4	2,3	19
21	19-09-2018	159. 1558	Døstrup	21,5	2	8,3	13,7	8,8	16
22	20-09-2018	165. 582	Oure	9	1	5,1	4,4	5,5	11
23	20-09-2018	164. 2042	Bregninge	9,7	1	3,8	6,4	5,1	13
24	21-09-2018	146. 3364	Nr. Lyndelse	15,5	1	8,6	7,5	8,7	15
25	21-09-2018	146.3418-2	Sdr. Højrup	13	1	3,5	10,0	5,0	15
26	24-09-2018	146. 3369	Allerup	58,5	1	4,6	54,5	14,6	9
27	24-09-2018	136. 1816	Næsbyhoved-Broyby	11	1	3,8	7,7	5,0	13
28	25-09-2018	46. 1307	Lyby	23	1	14,5	9,0	14,9	20
29	25-09-2018	38. 891	Thorum	20	1	0,8	19,7	1,0	16
30	25-09-2018	38. 890	Åsted	7	1	2,6	5,0	3,0	10
31	26-09-2018	54. 954	Venø	8,5	1	1,5	7,5	1,7	16
32	26-09-2018	73. 1228	Råsted	20,3	1	14,6	6,2	15,2	15
33	26-09-2018	73. 1229	Staby	26,7	1	9,4	17,8	9,6	12
34	26-09-2018	82. 615 -2	Kloster	12	1	6,2	6,3	6,6	14
35	27-09-2018	84. 2831	Brejning	9	1	2,7	6,8	7,6	2,5
36	27-09-2018	94. 3009	Sdr. Borris	13	1	5,1	8,4	5,1	15
37	22-10-2018	88. 1827	Borum	29	1	Artesisk	29,0	6,3	3,5
38	22-10-2018	80. 1032	Mørke	17	1	5,8	11,7	8,0	16
39	23-10-2018	59. 474	Tvede	15,9	1	4,0	12,4	4,1	17
40	24-10-2018	50. 779	Udbyneder	14	1	10,3	4,2	11,2	7
41	24-10-2018	34. 3948	Sønderholm	8	1	2,7	5,8	3,6	10
42	24-10-2018	34. 3896	Guldbæk	22,5	1	19,5	3,5	19,7	10
43	25-10-2018	47. 1298	Ullits	13,5	1	6,3	7,7	6,5	15
44	25-10-2018	40. 1781	Blære	16	1	13,8	2,8	14,3	7
45	25-10-2018	33. 1295	Vår	12	1	8,2	4,3	8,3	16
46	25-10-2018	41. 1697	Madum Sø	29	1	25,6	3,9	26,0	9
47	12-11-2018	204. 688	Ruds Vedby	10	1	8,5	2,1	9,1	6
48	12-11-2018	216.859 -2	Vallensved	11,5	1	2,0	10,0	3,1	39
49	13-11-2018	221.1318-1	Mogensstrup	22	1	3,2	19,3	10,4	7
50	13-11-2018	220. 742	Bisserup	22,5	1	2,3	20,7	2,5	15

NOTAT

Side 5 af 12

Resultater

Når grundvand dateres med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden, skal der tages en række forbehold, som alle er meget vigtige at huske før resultaterne tolkes:

Dels nogle som skyldes prøvetagning og analyseteknik, f.eks.:

- Afgasning under prøvetagning kan strippe prøven for ædelgasser (f.eks. fra overmætning med N_2 fra denitrifikation)
- Forurening af prøven med atmosfærisk luft under prøvetagning påvirker koncentrationen af ædelgasser (f.eks. ved for stor afsækning under pumpning)
- $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen er typisk mere præcist bestemt, desto kortere filterlængden er, idet vand fra forskellig dybde typisk vil være af forskellig alder (de fleste af de 50 filtre er dog kun 1 m, og maksimale filterlængde er 3 m, se tabel ovenfor).
- $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen reflekterer den gennemsnitlige alder alene for den del af vandet, der indeholder tritium (altså den ”unge” fraktion, yngre end ca. 60 år).
- En meget gammel vandkomponent (> 500 år) øger ^4He -indholdet, hvilket vanskeliggør analysen af ^3He , og dermed øger usikkerheden på bestemmelsen af det unge vand.

Dels nogle som skyldes generiske forhold, som er knyttet til især (hydro)geologien, især:

- $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen er ikke alderen fra vandet faldt som regn, men fra det gik fra umættet til mættet zone, idet isotoperne i vandet er i ligevægt med atmosfæren indtil denne overgang.
- Alle prøver vil indeholde vand, som har en vis spredning omkring den bestemte alder. Jo ældre vand, desto større vil denne spredning typisk være, men det afhænger også af geologien.
- Udover den ukendte spredning omkring den bestemte alder kan grundvand være en blanding af vand med forskellige aldre. Dette gælder især i områder med heterogen geologi et eller andet sted fra overfladen til indtaget (dvs. de fleste områder i Danmark med mindre indtaget ligger meget terrænnært). $^3\text{H}/^3\text{He}$ -analysen giver dog i nogle tilfælde en indikation af, om vandet er blandingsvand, dels på baggrund af ^3H -koncentrationen, men især på baggrund af ^4He .

Analyse- og daterings-resultater for alle prøver ses i tabel 2 nedenfor. Prøvetagningsmæssigt ser alle 50 prøver ud til at være OK. Analyseteknisk mislykkedes ædelgasanalysen for tre prøver, og derudover var ^4He -

NOTAT

Side 6 af 12

indholdet så stort i én prøve, at det ikke var muligt at bestemme ^3He ordenligt. For prøve 5 er dette ligegyldigt, da tritium-analysen viste, at det var gammelt vand. For prøverne 6, 10 og 21 betyder de manglende ædelgas-bestemmelser, at der kun kan laves delvise konklusioner om vandets alder. Prøve 6 og 21 ville med fordel kunne inkluderes i en fremtidig dateringsrunde, da der alene var tale om en fejl i laboratoriet mens selve prøvetagningen af disse borer var uproblematisk.

Tabel 2. Datering 2018 af GRUMO indtag. Koncentrationer er i de fleste tilfælde middel af to analyser. Den unge fraktion er den fraktion som indeholder tritium og som dermed har en alder på mindre end ca. 58 år (og altså den fraktion som kan aldersdateres i tilfælde af blandingsvand med yngre og ældre komponent – se uddybning i teksten). Aldre yngre end 5 år er sat til <5 da det erfaringsmæssigt er højst usikkert at datere så ungt vand mere præcist. Aldre som af laboratoriet er angivet til mellem 59 og ≥63 år er sat til >58, da der er en større usikkerhed på dateringer før 1960, hvor tritiumindholdet i atmosfæren for alvor begyndte at stige.

Prøve-nr.	^3H (TU)	Tritiogen- ^3He (TU)	Ung fraktion (%)	$^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder	Egnet til Jupiter?	Øvrige kommentarer
1	3,50	4,5	70	14	Ja	
2	5,15	0,6	100	<5	Ja	
3	7,54	0,5	100	<5	Delvist (<5 år + He-data)	Koncentrationsdata uegnet (for høj ^3H), men det er ungt vand (<5 år) og He-data kan komme i Jupiter.
4	3,41	6,1	68	18	Ja	
5	0,03	Fejlanalyse	1	>58	Ja	Høj ^4He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
6	0,49	Fejlanalyse	10	Langt det meste af vandet (hvis ikke det hele) er >50 år	Delvist (>50 år + ^3H -konc.)	Ingen He-analyse, men ^3H -data kan rapporteres og det kan konkluderes at langt det meste af vandet (hvis ikke det hele) er >50 år
7	1,88	34,6	38	52	Ja	
8	0,00	-	0	>58	Ja	Høj ^4He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
9	3,02	13,3	60	26	Ja	På vippen til at måtte indeholde komponent >58 år trods ret lav alder
10	0,98	For meget radiogent ^4He	20	Det meste er >58 år, men der er en komponent (ca. 20%) der er yngre end dette	Nej, men med bemærkning	Det meste er >58 år, men der er en komponent (ca. 20%) der er yngre end dette. Høj ^4He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
11	3,71	8,1	74	20	Ja	Alder OK, trods afgangning
12	4,22	1,6	84	5	Ja	
13	3,41	17,8	68	32	Ja	Excess air i den høje ende (0.00044 ccSTP/kg), men ikke kritisk.
14	0,02	-	0	>58	Ja	Høj ^4He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
15	2,17	26,4	43	46	Ja, med bemærkning	Overraskende det ikke er ældre ifht. dybde, men analyse OK. Bemærkning: Formentlig blandingsvand.
16	1,55	4,6	31	23	Nej, men med bemærkning	Formentlig blandingsvand med flere aldersfraktioner, derfor ikke egnet.
17	4,89	-0,3	98	<5	Ja	Atmosfærisk luft i prøven - vandspejl er tæt på filtertop, så mest sandsynligt er det bare meget ungt vand, så OK.
18	0,36	9,7	7	>58	Ja	
19	0,02	1,0	0	>58	Ja	
20	3,37	23,8	67	37	Ja	Alder OK, trods afgangning
21	3,35	Fejlanalyse	67	Det meste af vandet er i hvert fald yngre end 58 år	Nej, men med bemærkning	^3H -data kan evt. rapporteres og det meste af vandet er i hvert fald yngre end 58 år
22	2,35	23,3	47	42	Ja, med bemærkning	Bemærkning: Formentlig blandingsvand.
23	5,11	0,1	100	<5	Ja	
24	4,77	0,3	95	<5	Ja	

NOTAT

Side 7 af 12

25	3,06	7,5	61	22	Ja	På vippen til at måtte indeholde komponent >58 år trods ret lav alder
26	0,01	-	0	>58	Ja	Høj ⁴ He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
27	4,64	1,3	93	<5	Ja	
28	2,28	10,9	46	33	Ja, med bemærkning	Bemærkning: Formentlig blandingsvand.
29	0,01	-1,4	0	>58	Ja	
30	4,09	1,4	82	5	Ja	
31	3,80	5,1	76	15	Ja	
32	4,36	0,8	87	<5	Ja	
33	3,00	49,4	60	51	Ja	
34	4,76	1,4	95	<5	Ja	
35	3,76	2,8	75	10	Ja	
36	3,15	5,6	63	18	Ja	På vippen til at måtte indeholde komponent >58 år trods ret lav alder
37	1,73	16,6	35	42	Ja, med bemærkning	Bemærkning: Formentlig blandingsvand.
38	2,77	45,0	55	50	Ja	
39	3,67	8,6	73	21	Ja	
40	4,15	1,0	83	<5	Ja	
41	3,86	2,2	77	6	Ja	
42	3,31	32,7	66	42	Ja	Alder OK, trods afgasning
43	4,12	1,7	82	6	Ja	
44	3,48	2,6	70	10	Ja	
45	3,06	13,8	61	30	Ja	På vippen til at måtte indeholde komponent >58 år trods ret lav alder (også overraskende høj alder ifht dybde så måske sandsynligt med gammel komponent?)
46	3,48	8,3	70	21	Ja	
47	4,49	0,2	90	<5	Ja	
48	0,12	-	2	>58	Ja	Gammel ifht. dybde + høj ⁴ He – meget gammel komponent >500 år
49	-0,01	-	0	>58	Ja	
50	0,01	-	0	>58	Ja	

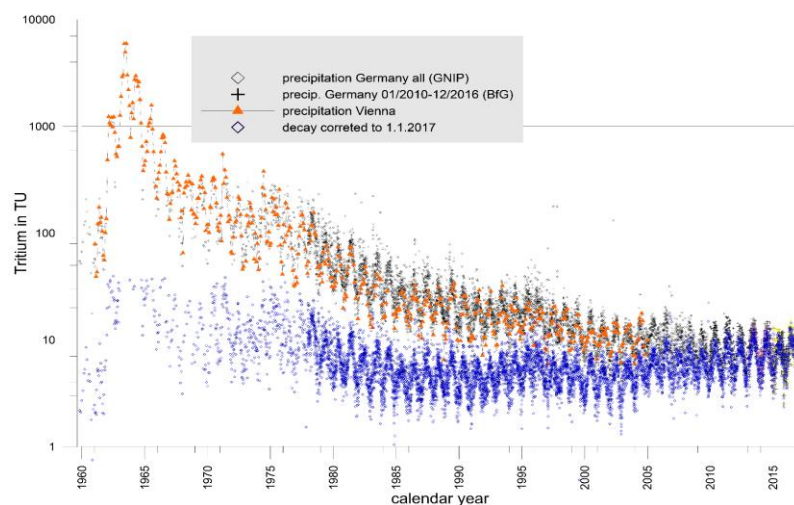
Blandingsvand

Den helt store usikkerhed i forbindelse med datering er, at grundvandets alder har en ukendt spredning og ikke mindst, at det kan være en blanding af vand med endog særdeles forskellige aldre. For prøve 10 (DGU-nr. 242.380) gælder det, at det prøvetagne filter indeholder både en meget gammel komponent, detekteret med ⁴He, samt en komponent yngre end 58 år. Det er altså oplagt et eksempel på blandingsvand, hvor en yngre komponent (<58 år) ses sammen med en meget ældre komponent (>500 år) og med en ukendt fraktion med alder derimellem. Dette viser, at denne prøve er uegnet til overvågningsformål, hvor der etableres tidsserier, idet det vil være umuligt at tolke disse. Den kan være egnet til tilstandsvurderinger.

Yderligere mindst fem prøver, som indeholder vand yngre end 50 år, indeholder sandsynligvis også en komponent, der er ældre end 58 år, og må altså også være blandingsvand. Det drejer sig om prøverne 15, 16, 22, 28 og 37 (DGU-numre 124.1397, 123.1207, 165.582, 46.1307 og 88.1827). I det efterfølgende forklares, hvorfor det formodes, at disse er blandingsvand. Denne gennemgang vurderes nødvendig for at kunne vurdere, hvor kritisk usikkerheden omkring blandingsvand er, og om og hvordan den estimerede alder kan anvendes. Også prøve 9, 25, 36 og 45 (DGU-numre 233.370-2, 146.3418-2, 94.3009 og 33.1295) kan indeholde en komponent ældre end 58 år, trods deres lave ³H-³He-alder (18-30 år), som angivet i kommentaren i tabellen.

NOTAT

Side 8 af 12



Figur 3. Tritium i nedbør (orange og sorte symboler) siden 1960, som er den periode $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden er bedst egnet indenfor. De blå symboler er omregning til, hvad disse koncentrationer vil svare til pr. 1/1-2017. Der er en vis årstidsvariation, men laveste årsmiddel ligger mellem 4 og 5 (svarende til nedbør faldet omkring 1990). Grundvand med tritium-indhold mellem 1 og 3 er derfor meget sandsynligt blandingsvand med gammel komponent fra før 1960 og yngre komponent efter 1960.

Af figur 3 ses ^3H i nedbør siden 1960 og den beregnede tilbageværende mængde i 2017 (^3H har en halveringstid på 12,4 år). Der er en vis årstidsvariation, men laveste årsmiddel for tilbageværende ^3H ligger omkring 5 TU (svarende til nedbør faldet i perioden 1985-2005). I år 2018 bør der derfor ikke kunne findes grundvand med ^3H -indhold væsentligt under 5 TU, med mindre alt vandet er mere end ca. 50 år gammelt eller er en blanding af ungt og gammelt vand. Som et groft estimat af om det daterede vand indeholder en tritium-fri komponent (her defineret som en komponent >58 år) foretager universitetet i Bremen derfor beregningen $x\text{TU} / 5\text{TU}$, hvor x er koncentrationen af ^3H i prøven. Værdier på 1 eller over vil så angive en ung fraktion (dvs. tritium-holdig fraktion, som kan dateres med metoden) på 100%, mens værdier mindre end 1 vil angive en ung fraktion på mindre end 100%. Det er dog først hvis brøken giver en værdi på mindre end 0,6 i en prøve med ungt vand at man med sikkerhed kan sige, at vandet må være en blanding af ungt og gammelt vand. Med andre ord, hvis dateringen angiver en alder yngre end ca. 50 år og man samtidig får en andel af ungt vand på mindre end 60% (dvs. ^3H -koncentrationen i vandprøven har været mindre end 3 TU) må det vurderes som meget sandsynligt, at der er tale om blandingsvand. Hvorvidt der er tale om vand med en meget stor spredning på alderen eller der er tale om vand sat sammen af flere fraktioner med forskellig alder, kan til gengæld ikke afgøres uden at inkludere yderligere analyser (f.eks. ^{39}Ar -datering).

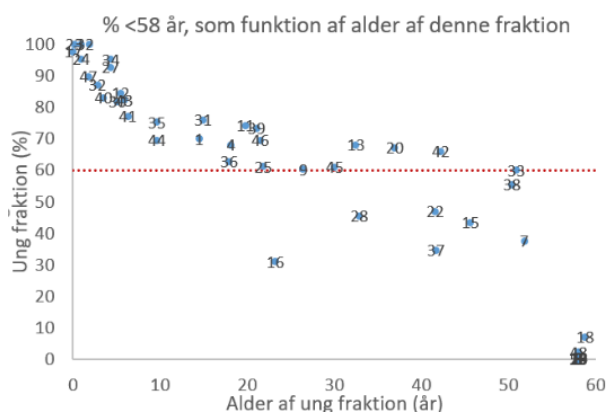
Af tabel 2 ovenfor og figur 4 nedenfor, ses det, at fem prøver, nr. 15, 16, 22, 28 og 37 (DGU-numre 124.1397, 123.1207, 165.582, 46.1307 og 88.1827) har en beregnet ung fraktion mindre end 60% og samtidig

NOTAT

Side 9 af 12

en alder af den unge fraktion på under 50 år. Særligt prøve 16 (DGU 123.1207) stikker ud med en beregnet andel ungt vand på ca. 30 % og samtidig en alder af denne unge komponent på kun 23 år. For denne prøve er der altså næppe kun tale om en spredning omkring den beregnede alder, men om en decideret blanding af vand. Det samme kan være tilfældet for de øvrige fire nævnte prøver, samt for prøverne 9, 25, 36 og 45 (DGU-numre 233.370-2, 146.3418-2, 94.3009 og 33.1295), der som nævnt ligger på vippen til at måtte indeholde en gammel komponent. For samtlige disse prøver udgør den beregnede unge fraktion dog en større andel end for prøve 16, og den angivne alder repræsenterer derfor sandsynligvis en større fraktion af vandet for disse og er dermed måske mere relevant at bruge i anden sammenhæng.

Det anbefales derfor ikke at angive alderen for prøve 16 (DGU 123.1207) i Jupiter, mens alderen for nr. 15, 22, 28 og 37 (DGU-numre 124.1397, 165.582, 46.1307 og 88.1827) kan angives, men med bemærkning om, at der sandsynligvis er tale om blandingsvand. For nr. 9, 25, 36 og 45 (DGU-numre 233.370-2, 146.3418-2, 94.3009 og 33.1295) vurderes det, at alderen kan angives i Jupiter uden bemærkning.



Figur 4. Beregnet ung fraktion (<math>< 58</math> år gammelt, beregnet som $x\text{TU} / 5\text{TU}$) som funktion af alder af den selvsamme unge fraktion, bestemt med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden. Prøver som indeholder mindre end 60% ungt vand (tritium-indhold <math>< 3</math> TU) og som har en alder væsentligt under 58 år (den maksimale alder som kan bestemmes med $^3\text{H}/^3\text{He}$ -metoden) må formodes at være blandingsvand med en ældre komponent >58 år og en (eller flere) væsentlig yngre komponent(er).

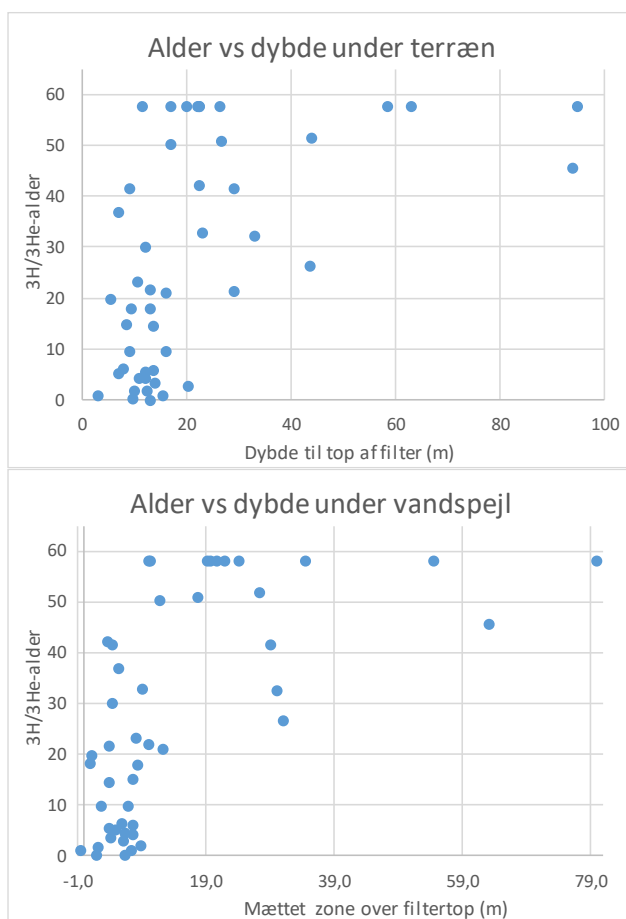
Alder versus dybde

$^3\text{H}/^3\text{He}$ -alderen er som nævnt ikke alderen fra vandet faldt som regn, men fra det gik fra umættet til mættet zone. Der bør derfor ikke nødvendigvis være en simpel sammenhæng mellem filterdybde og $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder, og alderen set i forhold til dybden under grundvandsspejlet kan i nogle sammenhænge være mere relevant. I figur 5 ses alderen af samtlige daterede filtre afbilledet i relation til begge typer dybde. Som det ses, findes det helt unge vand (<math>< 20</math> år) alene i filtre med mindre end 20 m til terræn og med mindre end 10 m mættet zone over filteret. Mere

NOTAT

Side 10 af 12

end 50 år gammelt vand findes i filtre med mere end 10 meter til jordoverfladen og med mere end 10 meter mættet zone. Aldre på 20 til 50 år findes i stort set alle prøvetagne dybder og med dybde under vandspejl fra 1 til 63 meter. Dette hænger bl.a. sammen med, at grundvandets bevægelse hovedsageligt er horisontal, og at der udover nedadrettede gradienter lokalt kan være en opadrettet gradient. Dertil kommer, at strømningshastigheden af vandet kan variere betragteligt. Et eksempel, der nok bedst kan tolkes som opadgående gradient er boring 216.859 ved Vallensved (prøve 48), hvor filtret i blot 12 m dybde udelukkende indeholder vand, der er mere end 58 år gammelt og sågar indeholder en betydelig komponent, som er mere end 500 år (i princippet kunne alt vandet være mere end 500 år - det kan ikke afgøres med den foretagne $^3\text{H}/^3\text{He}$ -datering).



Figur 5. $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder versus dybde, enten som dybde under terræn (venstre) eller som dybde under vandspejl, målt lige før prøvetagning (højre). For grundvand med angivet alder på 58 år er der tale om en minimumsalder (se tekst for uddybning).

NOTAT

Side 11 af 12

Opsummering – data til Jupiter-databasen

I forhold til hvilke data der skal i Jupiter, bør der skelnes mellem rådata (koncentration af ^3H og ædelgasser) og aldre tolket på baggrund af rådata. Medmindre laboratoriet angiver stor usikkerhed på en analyse, bør alle rådata som udgangspunkt indrapporteres til Jupiter. Som det ses af tabel 2, er der ^3H -data for alle prøver og brugbare tritiogen- ^3He -koncentrationer på 40 prøver. Disse kan alle indrapporteres til Jupiter. For 47 indtag kan der desuden indrapporteres en alder (evt. i form af ”mindre end” eller ”større end”). I mange tilfælde skal der dog være en tilhørende bemærkning i kommentarfeltet i Jupiter (se tabel 2). For prøve 10, 16 og 21 (DGU-numre 242.380, 123.1207 og 159.1558-2) kan der ikke opnås en tilstrækkelig sikker alderstolkning, og der kan ikke angives en alder for disse i Jupiter.

NOTAT

Side 12 af 12

Bilag 1

Noter fra dateringslaboratoriet i Bremen angående prøvetagning

Notes for sampling:

most important in brief

Sampling of groundwater for noble gas analysis:

- use transparent hose to connect Copper tube with pumping line
- connect a short transparent hose with the other end of the tube and narrow it to increase the water pressure in the tube or connect a valve and a manometer
- raise the outlet of the tube by approx. 45°
- flush the tube (40 cc) at least 10 times
- meanwhile hit the aluminium rack with a stiff tool (ratchet wrench), to release air bubbles from the inner walls of the tube. IMPORTANT!!
- screw down real tight **first outlet, then inlet**
Planar surfaces of the clamps must rest on back-to-back
- don't bend, squeeze, or do the like to the ends of the tube
- don't forget to label the tube!!

The wall thickness of the tube is 1mm. The clamps are made in a manner, so that the copper will be squeezed down to 0.7mm. By that the Cu-tube is absolutely helium tight and can stand a high inner pressure and the sample can be stored for years.

Sampling of groundwater for tritium analysis:

- the sampling container (plastic or glass bottle) muss be dry.
- flush the bottle with low water pressure. Try to reduce foaming and bubbling.
- avoid contact of the hose with the ambient matter.
- amply spill the bottle gently
- pour out some water (1-5cc) and seal the bottle with a dry closing.

Contact of the sampled water with the ambient water should be reduced to a minimum. The tritium concentration of the ambient water might be 1000times higher than in your sample.

Luminescent watches can contain extremely high amounts of tritium. Wearing such watches should be strictly avoided.

any questions?

mail to suelten@uni-bremen.de

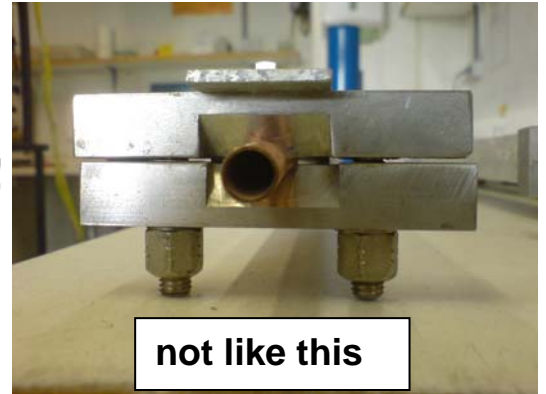
or call ++49 421 218 62152

Samples for Helium-Isotope-Analysis

sampling

IMPORTANT: close clamps completely!

There should be no gap visible!



Important: labeling

Name of institute resp. company /

sequential number of well in this campaign /

name of well /

sequential number of sample (each sample gets its own number!)

Inst.of Water / 3 / toad spring 3a , 70m / 7

wooden sticks in boxes need to be placed like they were found, i.e. to the outer end of the upright bars. So, tubes can not slide.

Send digital sample list when shipping the samples.

Samples for Tritium Analyses:

Sampling:

fill 1000ml water in dry bottles: plastic or glass is ok

leave some ml for volume change

Important: labeling

Name of institute resp. company /

sequential number of well in this campaign /

name of well /

sequential number of sample (each sample gets its own number!)

Inst.of Water / 3 / toad spring 3a , 70m / 7

Send digital sample list when shipping the samples.

Contact:
Jürgen Sültenfuß
Universität Bremen / Institut für Umweltphysik / Abt. Ozeanographie
Otto Hahn Allee 1 / building NW1 / room S0360
D-28359 Bremen/Germany
phone: ++49 421 218 62152 fax: ++49 421 218 98 62152
email: suelten@uni-bremen.de

background of the procedure for Helium-Sampling

(absolutely to read !)

Groundwater should be analysed for Helium- and Neon-Isotopes (^3He , ^4He , ^{20}Ne , ^{22}Ne).

These lightweight noble gases move very fast in water. Also most materials can not be used for sample-containers because of the mobility of the gases. Copper (Cu) tubes have been proved to be a good choice. Cu-tubes will be squeezed at their ends and also can be stored for years. It is important that the ends remain undamaged!

The quality of the analysis depends very much on the contamination of atmospheric air during the sampling. The concentration of the isotopes can be measured better than 0.5%. An air bubble of 2mm^3 contains such quantities of gases. The Cu-tube are degreased on the inner walls, so water can establish a good contact to the copper and air bubbles will lose their adhesive strength. During filling of the tube one should take care that no air bubbles will be released from the pumping line. To monitor that a transparent hose should be use to connect the pumping line with the tube. However we strongly recommend to hit the aluminium rack with a stiff object during flushing to remove possible air bubbles from the tube.

Groundwater from large depths can contain large amounts of gases according to the hydrostatic pressure. For example, water from a water column of 10m can contain twice as much gas (e.g. CO_2 , CH_4 , H_2S) as at surface conditions (altitude = 0m). If the water is transferred to the surface the hydrostatic pressure is reduces and the oversaturated gas escapes in form of bubbles. Other dissolved gases, like the noble gases, will diffuse into these bubbles, where the partial pressure is low at first. The time interval of this process is short. This means the degassed proportion of the faster helium is larger as the degassed proportion of the slower neon.

Because of possible degassing, one should try to obtain a high water pressure in the Cu-Tube ($>$ hydrostatic pressure of sampling depth). This can be achieved if a valve and a manometer is connected to the outlet of the tube. Is this not available one can put a hose clip onto the hose to increase the pressure and increase the flux.

Samples for noble gas analysis should be taken with submerged pumps. The pump MP1 made by Grundfos has been proven to be suitable.

Perfect for sampling are closed boreholes. Open wells may have equilibrated their gases with the atmosphere to a large extent. Boreholes should be flushed quite amply. Also the tube and all hoses should be flushed broadminded. If various hoses are connected the diameter should decrease in flow direction. Otherwise there might be cavities, where water can degas. Bubbles may form which move individually with the flow and therefore the gas concentration in the tube will fluctuate.

For the evaluation some sample parameters are needed:

- the temperature of the sampled water
- the salinity, if significant ($> 1\text{g/L}$)
- the altitude of the sampling location
- the altitude of the assumed infiltration area
- the assumed temperature of the infiltration temperature

necessary tools:

- ratchet wrench with 13mm-nut
- 2 transparent hoses with inner diameter of 10mm
- 1 valve and a manometer or a hose clip
- various other connecting pieces

At least 2 Cu-tubes should be fill for each sample.

Also if sampling conditions do not seem to be perfect (large gas build up in the aquifer) there is still a good chance to come to robust interpretation of the sample data.

Cu-tubes with aluminium rack will be provided by us in wooden boxes. One box can contain 24 racks and has the size of 43*107*27cm and a weight of 45kg.

Put the wooden stickes exactly like on the photo



Some photos:



fig. 1: flush the hose and attach it to the Cu tube. Fix the hose on the Cu with a clip

fig. 2: hit the aluminium rack with (most convenient here with the ratchet)

Keep the outlet upwards!!



fig. 3: close outlet first. fig. 4: keep hose on the Cu tube until also inlet is closed.

If water is salty please flush end to prevent corrosion like on the photo



Contact:

Jürgen Sültenfuß

Universität Bremen / Institut für Umweltphysik / Abt. Ozeanographie

Otto Hahn Allee 1 / building NW1 / room S0360

D-28359 Bremen/Germany

phone: ++49 421 218 62152 fax: ++49 421 218 98 62152

email: suelten@uni-bremen.de