



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

42-VA-21-02  
J.nr. GEUS 014-00250  
Ref. CAL

17.05.2021

## Dateringer i GRUMO 2020

### 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. Disse blev afrapporteret i december 2019 (Albers, 2019). Datering af yderligere 30 indtag 2020 blev udbudt ultimo 2019. Dette notat beskriver prøvetagning og analyser af disse 30 indtag.

GEUS råder ikke selv over analyseudstyr for isotoper til datering af grundvand, og selve analysen af  $^3\text{H}$  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.

36 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 30 indtag, som blev prøvetaget i perioden februar-april. Der måtte dog undervejs justeres i, hvilke indtag, som blev prøvetaget pga. nedlukninger i forbindelse med COVID19-pandemien. De endeligt prøvetagne indtag fremgår af figur 1 og tabel 1.

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

Tlf. 38 14 20 00

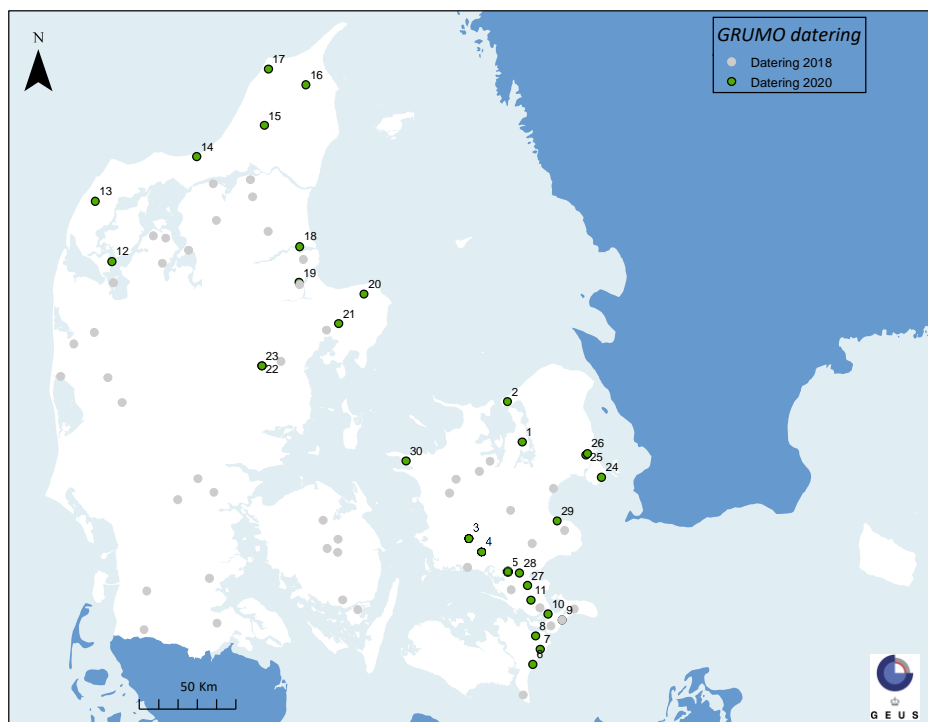
CVR-nr. 55 14 50 16  
EAN-nr. 5798000866003

geus@geus.dk  
www.geus.dk

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

# NOTAT

Side 2 af 9



Figur 1. GRUMO-indtag udtaget til datering i 2020 (med prøvenumre, se også tabel 1). Prøver dateret i 2018 ses som grå punkter i baggrunden.

## Prøvetagning

Fra hvert indtag blev udtaget to kobberør til analyse for ædelgasser (helium og neon) samt én 1L-plastflaske til analyse for tritium efter forskrift 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 (mindst 1 L/min).

Prøver blev afsendt samlet til Universitetet i Bremen i maj 2020, og analyse-resultater blev modtaget 1. april 2021. Aldre yngre end 5 år er sat til <5 da det erfaringsmæssigt er højst usikkert at datere så ungt vand mere præcist. Aldre som estimeres til mere end 60 år er sat til >60, da der er en større usikkerhed på dateringer før 1960, hvor tritiumindholdet

# NOTAT

Side 3 af 9

i atmosfæren for alvor begyndte at stige på grund af atomprøvesprængninger og anden menneskelig aktivitet (i dette tilfælde svarende til 60 år før prøvetagning).



Figur 2. Prøvetagning af boring med DGU-nr. 199.1820, Koholm ved Skibby.

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 9

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.

Prøve-nr.	Prøvetag-nings-dato	DGU-nr.	Lokalitetsnavn	Filtertop (m.u.t.)	Filter-længde (m)	Pejling (m.u.pp)	Mættet zone (m)	Pejling v. prøve (m.u.pp)
1	24-02-2020	199. 1820	Koholm	12,5	1	3,0	10,0	4,5
2	24-02-2020	186. 981	Hundested	62	1	23,5	39,0	31,9
3	25-02-2020	215. 1199-2	Haldagerlille	31	1	14,7	16,8	18,6
4	25-02-2020	216. 859	Vallensved	23,5	1	0,3	23,7	5,8
5	25-02-2020	221. 1318-1	Mogenstrup	22	1	2,3	4,2	4,2
6	26-02-2020	238. 1091	Ulslev	30,5	1	4,4	26,6	4,5
7	26-02-2020	238. 1099	Halskov Vænge	14	1	2,1	12,4	10,1
8	26-02-2020	232. 645	Maglebrænde	38	1	4,8	33,8	13,8
9	26-02-2020	233. 370 -1	Hjelm	61	4	32,7	28,8	33,6
10	28-02-2020	233. 386	Borrensbjerg	31	1	0,9	30,6	6,5
11	28-02-2020	226. 1416	Øster Egesborg	51	1	0,3	51,2	9,9
12	02-03-2020	45. 945	Jegindø	25	1	2,1	23,4	5,1
13	02-03-2020	29. 387 -2	Faddersbøl Bro	66	3	1,4	65,1	1,7
14	03-03-2020	24. 1164	Klim	10	1	7,5	3,0	8,9
15	03-03-2020	16. 1349	Brønderslev	68,5	1	2,1	66,9	15,1
16	04-03-2020	6. 888	Sindal	31	1	8,0	23,5	-.**
17	04-03-2020	5. 945	Tornby	27	2	0,4	27,1	-.**
18	04-03-2020	50. 770	Havnø	17	1	0,5	17,0	6,9
19	05-03-2020	59. 466	Tvede	26,4	1	13,4	13,5	14,7
20	05-03-2020	71. 997 -2	Glesborg	51,5	1	17,6	34,5	20,7
21	05-03-2020	80. 957	Skarresø	43,5	1	5,2	38,8	5,7
22*	06-03-2020	88. 1452 -1	Låsby (GKO)	68	3	-	68	-
23*	06-03-2020	88. 1452 -2	Låsby GKO 2	55	3	-	55	-
24	20-04-2020	208. 5614	Amager By	12	1	3,1	9,4	4,8
25	20-04-2020	201. 5870	Frederiksberg	13,3	1	8,6	5,2	12,3
26	20-04-2020	201. 5935-2	Frederiksberg	6	3	3,1	3,4	4,1
27	21-04-2020	226. 1229	Faksinge	3,3	1	0,7	3,1	1,0
28	21-04-2020	222. 717	Snesere	26	1	4,4	22,2	9,0
29	21-04-2020	213. 617	Strøby	10,7	1	6,9	4,3	8,5
30	22-04-2020	196. 435	Kalundborg	18	1	2,1	16,4	8,2

\*Artesisk indtag. Prøvetaget, men ikke analyseret, da det er meget tvivlsomt, om der er tilstrækkeligt renpumpet.

\*\*Pejling ikke muligt under prøvetagning.

## 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  $\text{N}_2$  fra denitrifikation)
- Forurening af prøven med atmosfærisk luft under prøvetagning påvirker koncentrationen af ædelgasser (f.eks. ved for stor afsenkning 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

# NOTAT

Side 5 af 9

forskellig alder (de fleste af de 30 filtre er dog kun 1 m, og den maksimale filterlængde er 4 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  $^4\text{He}$ -indholdet, hvilket vanskeliggør analysen af  $^3\text{He}$ , 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 medmindre 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  $^3\text{H}$ -koncentrationen, men især på baggrund af  $^4\text{He}$ .

Analyse- og daterings-resultater for alle prøver ses i tabel 2 nedenfor. Prøvetagningsmæssigt ser alle 28 prøver (altså de 30 minus prøve 22 og 23) ud til at være OK. Analyseteknisk mislykkedes ædelgasanalysen for to prøver (nr. 9 og 15), men da der i begge tilfælde var tale om vand med en alder over 60 år (baseret på tritium-analysen) betyder det i princippet ikke noget for bestemmelse af alder.

# NOTAT

Side 6 af 9

Tabel 2. Datering 2020 af GRUMO-indtag. Koncentrationer er i de fleste tilfælde mid- del af to analyser. Den unge fraktion er den fraktion som indeholder tritium og som dermed har en alder på mindre end ca. 60 år (og altså den fraktion som kan aldersda- teres 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 vurderes til at være højere end 60 er sat til >60, da der er stor usikkerhed på dateringer før 1960, hvor tritiumindholdet i atmosfæren for alvor begyndte at stige. <DG betyder under detektionsgrænsen. TU er "tritium units".

Nr.	DGU-nr.	<sup>3</sup> H (TU)	Tritiogen- <sup>3</sup> He (TU)	Ung frak- tion (%)*	<sup>3</sup> H/ <sup>3</sup> He-al- der (år)	Egnet til Jupiter?	Øvrige kommentarer
1	199. 1820	6,22	77,7	100	46	Ja	Korrigeret for afgangning af lidt overskudsluft.
2	186. 981	0,01	-	0	>60	Ja	
3	215.1199 -2	4,67	43,9	93	42	Ja	
4	216. 859	0,14	-	3	>60	Ja	Høj radiogen <sup>4</sup> He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
5	221. 1318-1	0,07	-	1	>60	Ja	Kun én rep.
6	238. 1091	0,79	4,2	16	33	Konc., men ikke alder	Blandingsvand, med lille (10-20%) ung andel som kan dateres og også en meget gammel komponent (høj radiogen <sup>4</sup> He)
7	238. 1099	2,84	34,1	57	46	Ja	Er nok lidt blandet vand, men der er ikke noget meget ungt eller meget gammelt vand og alder må være OK til Jupiter
8	232. 645	0,06	-	1	>60	Ja	Høj radiogen <sup>4</sup> He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
9	233.370 -1	0,08	-	2	>60	Ja	He-prøver tabt under analyse, men tritium viser det er gammelt vand
10	233. 386	0,17	0,6	3	>60	Ikke He-konc. Alder og tritium OK.	Lav tritium og lav tritiogen <sup>3</sup> He og meget forskellig He og beregnet alder på replikate prøver. Lidt mystiske resultater, men mere end 95% af vandet må have en alder på mere end 60 år. Meget lavt sulfatindhold og højt Na/Cl-forhold understøtter den høje alder.
11	226. 1416	0,13	-	3	>60	Ja	Kun én rep. Høj radiogen <sup>4</sup> He - indeholder meget gammel komponent (>500 år)
12	45. 945	5,48	101,0	100	53	Ja	
13	29. 387 -2	0,13	-	3	>60	Ja	
14	24. 1164	7,14	<DG	100	<5	Ja	
15	16. 1349	0,04	-	1	>60	Ja	He-prøver tabt under analyse, men tritium viser det er gammelt vand
16	6. 888	6,75	75,8	100	45	Ja	
17	5. 945	3,96	13,3	79	26	Ja	
18	50. 770	0,06	-	1	>60	Ja	
19	59. 466	4,63	17,4	93	28	Ja	
20	71.997 -2	0,05	-	1	>60	Ja	
21	80. 957	5,14	70,8	100	48	Ja	
22	88. 1452 -1					Nej	Ikke analyseret - artesisk og prøvetagningsmetode ikke egnet til datering

# NOTAT

Side 7 af 9

23	88.1452-2					Nej	Ikke analyseret - artesisk og prøvetagningsmetode ikke egnet til datering
24	208.5614	4,52	15,5	90	26	Ja	
25	201.5870	6,86	13,9	100	20	Ja	
26	201.5935-2	4,18	49,9	84	45	Ja	Korrigeret for afgasning af lidt overskudsluft.
27	226.1229	7,50	<DG	100	<5	Ja	
28	222.717	3,84	49,9	77	47	Ja	
29	213.617	3,99	25,9	80	36	Ja	
30	196.435	5,04	7,6	100	16	Ja	

\* Beregnet ud fra  $^3\text{H}$ -data som  $(x\text{TU} / 5\text{TU}) * 100$ , se uddybning i Albers, 2019. Værdier under 60% kombineret med en  $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder under 50 år antyder blandingsvand med en ældre komponent >60 år og en (eller flere) væsentlig yngre komponent(er).

## 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 6 (DGU-nr. 238.1091) gælder det, at det prøvetagne filter indeholder både en meget gammel komponent, detekteret med  $^4\text{He}$ , samt en mindre komponent med en alder noget yngre end 60 år. Det er altså oplagt et eksempel på blandingsvand, hvor en mindre yngre komponent (<60 år) ses sammen med en meget ældre komponent (>500 år) og med en ukendt fraktion med alder derimellem. Dette indikerer, at dette indtag er uegnet til overvågningsformål, hvor der etableres tidsserier, idet det vil være vanskeligt at tolke disse. Det kan være egnet til tilstandsvurderinger.

Yderligere tre prøver (nr. 4, 8 og 11), indeholder vand med en meget gammel komponent (>500 år), men da alt vandet i disse tre prøver er over 60 år, betyder det ikke så meget i GRUMO-sammenhæng.

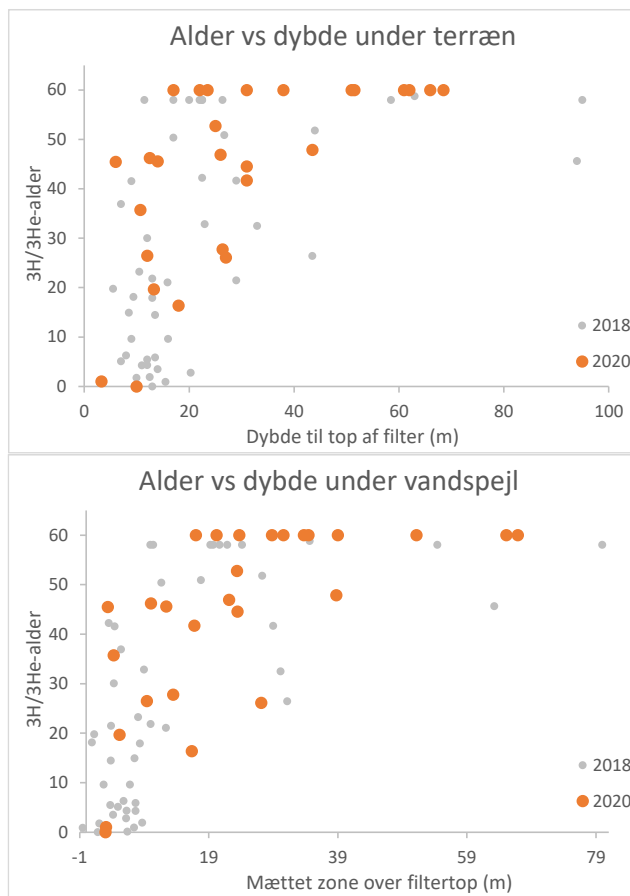
## Alder versus dybde

$^3\text{H}/^3\text{He}$ -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 grundvandspejlet kan i nogle sammenhænge være mere relevant. I figur 3 ses alderen af samtlige daterede filtre afbilledet i relation til begge typer dybde. Data fra 2018-dateringen er inkluderet til sammenligning. Mønsteret er nogenlunde det samme i de to dateringsrunder: Det helt unge vand (< 20 år) findes alene i filtre med mindre end 20 m til terræn og med mindre end 10 m mættet zone over filteret (bortset fra en enkelt prøve med 16 m mættet zone over filtret). Mere end 50 år gammelt vand findes i filtre med mindst 12 meter til jordoverfladen og med mindst 10 meter mættet zone. Aldre på 20 til 50 år findes i stort set alle prøvetagne dybder og med dybde under vandspejl fra 3 - 39 m i årets datasæt og 3 - 63 meter i det samlede datasæt. Dette hænger bl.a. sammen med, at grundvandet bevægelse hovedsageligt er horisontal, og at der udover nedadrettede

# NOTAT

Side 8 af 9

gradienter lokalt kan være en opadrettet gradient. Dertil kommer at strømningshastigheden af vandet kan variere betragteligt. Et eksempel fra årets prøvetagning, der kunne tolkes som opadgående gradient, er boring 201. 5935 i København (prøve 26), hvor filtret i blot 6 m dybde med 3 m mættet zone indeholder vand, der er ca. 45 år gammelt. En meget lille grundvandsdannelse vil dog også kunne betyde høj alder tæt på grundvandsspejl, og det kan måske netop være tilfældet i sådan en boring placeret midt i tætbeholdt område med høj befæstningsgrad.



Figur 3.  $^3\text{H}/^3\text{He}$ -alder versus dybde, enten som dybde under terræn (venstre) eller som dybde under vandspejl, målt lige før prøvetagning (højre). Prøver fra forrige undersøgelse i 2018 er inkluderet i baggrunden.



# NOTAT

Side 9 af 9

## Opsummering – data til Jupiter-databasen

I forhold til hvilke data der skal i Jupiter, bør der skelnes mellem rådata (koncentration af  $^3\text{H}$  og ædelgasser) og ældre 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 brugbare  $^3\text{H}$ -data for 28 prøver og brugbare tritiogen- $^3\text{He}$ -koncentrationer på 15 prøver. Disse kan alle indrapporteres til Jupiter. For 27 indtag kan der desuden indrapporteres en alder (evt. i form af ”mindre end” eller ”større end”). For prøve 6 (DGU-nummer 238.1091) kan der ikke opnås en tilstrækkelig sikker alderstolkning, og der kan ikke angives en alder for denne i Jupiter.

## Referencer

Albers, 2019. Dateringer i GRUMO 2018. GEUS-notat nr. 05-VA-19-04.

Laier, 2015. Aldersbestemmelse af ungt grundvand i overvågningsboringer ved T-He metoden. GEUS-notat nr. 05-VA-14-04.

## Bilag 1

Noter fra dateringslaboratoriet i Bremen angående prøvetagning