

# Geokemiske forhold i forbindelse med driften af geotermiske værker – nyt fra ”PERFORM” projektet

(projektet vil blive afsluttet ultimo 2021)

## PERFORM Projektet - et EU forskningsprojekt

Præsentation i forbindelse med det afsluttende seminar om Geotherm projektet

Lars Kristensen, [LK@GEUS.DK](mailto:LK@GEUS.DK)

Hanne Dahl Holmslykke, GEUS

Knud Dideriksen, GEUS

Claus Kjøller, GEUS

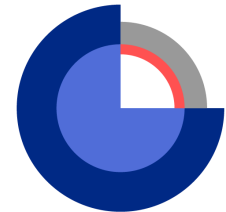
Uffe Larsen, GEUS

Simona Regenspurg, GFZ

Shoeibi Omrani, P.S.(Pejman), TNO

Wasch, L.J. (Laura), TNO

Viola Pul-Verboom van (Viola), TNO



**GEUS**

# Formål

med *PERFORM* projektet

## 1. Opnå *forøget viden om de geokemiske årsager til evt. driftsproblemer i geotermiske anlæg, gennem:*

- Samarbejde mellem industri, fjernvarmeselskaber og forskningsinstitutioner fra flere europæiske lande.
- Opbygning af en geokemisk database (og generelle geotermiske data)
- Præsentation af data og resultater på en offentlig **hjemmeside**.

<https://www.geothermperform.eu>

## 2. Foreslå *løsninger* til at afbøde evt. driftsproblemer, fx via:.

- **Udvikling af nye metoder** til håndtering af typiske driftsproblemer.

# PERFORM - deltagende institutioner/firmaer

## Konsortium:

- De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland, GEUS, Danmark
- FORCE Technology (FT), Danmark,
- Helmholtz Centre Potsdam Research Centre for Geosciences (GFZ), Tyskland
- Hydroisotop GmbH, Tyskland
- Ammerlaan Geothermie B.V., Holland
- Greenwell Westland B.V., Holland
- Wageningen Food & Biobased Research, Holland
- TNO, Holland

## Financiering:

- GEOTHERMICA (EU)
- EUDP (Det Energiteknologiske Udviklings- og Demonstrationsprogram, DK)
- Ovennævnte institutioner

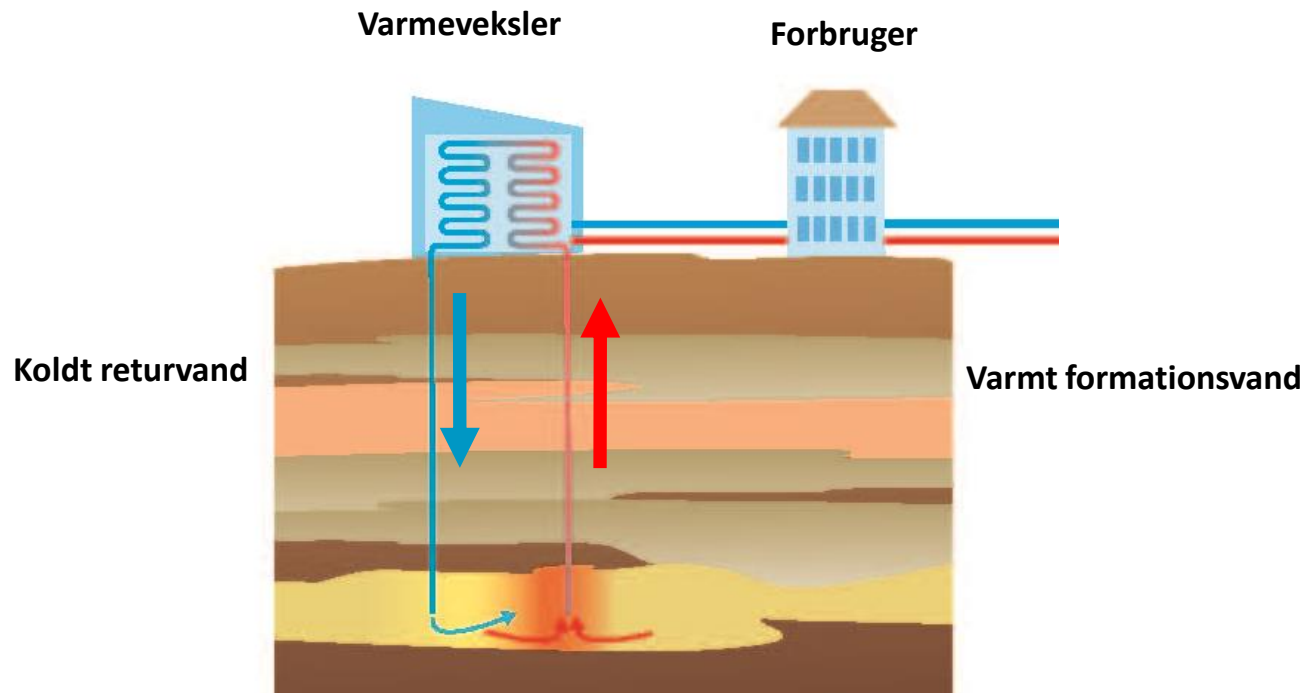
## Nedennævnte selskaber har bidraget med data mv.:

HOFOR, Sønderborg Varme og Thisted Varmeforsyning (DK);



# Problemstillinger (1)

Driftsproblemer opstår typisk efter af et geotermisk værk har produceret varmt vand over en vis periode. Ligevægten i undergrunden forstyrres, når energien trækkes ud.



Figur fra .ppt af Anders Mathiesen, **GEUS**

# Problemstillinger (2)

Vanskeligheder ved at re-injicere det afkølede vand i reservoiret.

## *Karakteristiske problemer:*

- ❖ Tilstopning med partikler ('particles clogging')
- ❖ Udfældning af mineraler ('mineral scaling')
- ❖ Korrosion af materialer i det geotermiske anlæg
- ❖ Temperatur-effekter på grund af nedkøling/opvarmning af geotermisk vand.

# PERFORM projektet består af 4 pakker

(PERFORM projektet er planlagt til at kunne afsluttes i 2021)

## 1. Opbygning af en database og offentlig hjemmeside

<https://www.geothermperform.eu>

## 2. Modellering af geokemiske processer (med belysning af usikkerheder).

- Modellering af mineral-udfældninger baseret på formationsvandets kemi.

## 3. Udvikling og demonstration af forbedrede partikel- og kationfiltre

- Med henblik på løsning og forebyggelse af driftsproblemer.

## 4. Udvikle en “værktøjskasse”. Et idé-katalog, der bl.a. skal bruges til:

- Operationel rådgivning til værkerne indenfor bl.a. geokemi, materialevalg, mulige løsninger på evt. operationelle problemer.



GEUS

# Hvad findes der på PERFORM hjemmesiden?

<https://www.geothermperform.eu>

The logo for PERFORM, with 'PER' in blue and 'FORM' in red. The letter 'O' is replaced by a circular icon containing a blue arrow pointing up and a red arrow pointing right.

Welcome

Download Data

List of Plants

Map

Tools

Publications

About us



## DATA:

- Kort. Placering af anlæg og bor. samt info om temp. og dybder.
- Liste over anlæg.
- Fakta-ark om det enkelte værk
- Datafiler med data, der trukket ud fra databasen (Excel format).

## PUBLICATIONS:

- Liste m.m.

## TOOLS:

- Skema med beskrivelse af driftsproblemer og tilhørende løsningsforslag.

## ABOUT THE PROJECT:

- Projektbeskrivelse.
- Partnere i projektet.
- Information om funding.

## THE PERFORM PROJECT

Geothermal plants are often exposed to problems that affect the performance of the plant.

Typical problems are mineral scaling, particles clogging, corrosion and temperature/stress related effects of geothermal flow and injectivity.

In the PERFORM project we collect data about the properties and geology of the reservoirs, the chemistry of the water and precipitates and the construction of the plants. We also conduct experiments at the plants and in laboratories.

The goal is to give recommendations that can help the operators to avoid or mitigate the problems

The PERFORM project especially focuses on the deep reservoirs (> 1 km deep).

### DATA

Download data

Map

List of Plants

### TOOLS

Summary problems-learnings

### PUBLICATIONS

List of publications

### ABOUT THE PROJECT

Description

Partners

Funding



GEUS

# Data fra 28 værker og 40 boringer. Fakta-ark på det enkelte værk

*Hvis information er tilgængelig, så:*

## Beskrivelse af reservoiret, f.eks.:

Geologisk formation.

Porøsitet af reservoir-sandstenen.

Dybde. Temperatur.

## Observerede problemer:

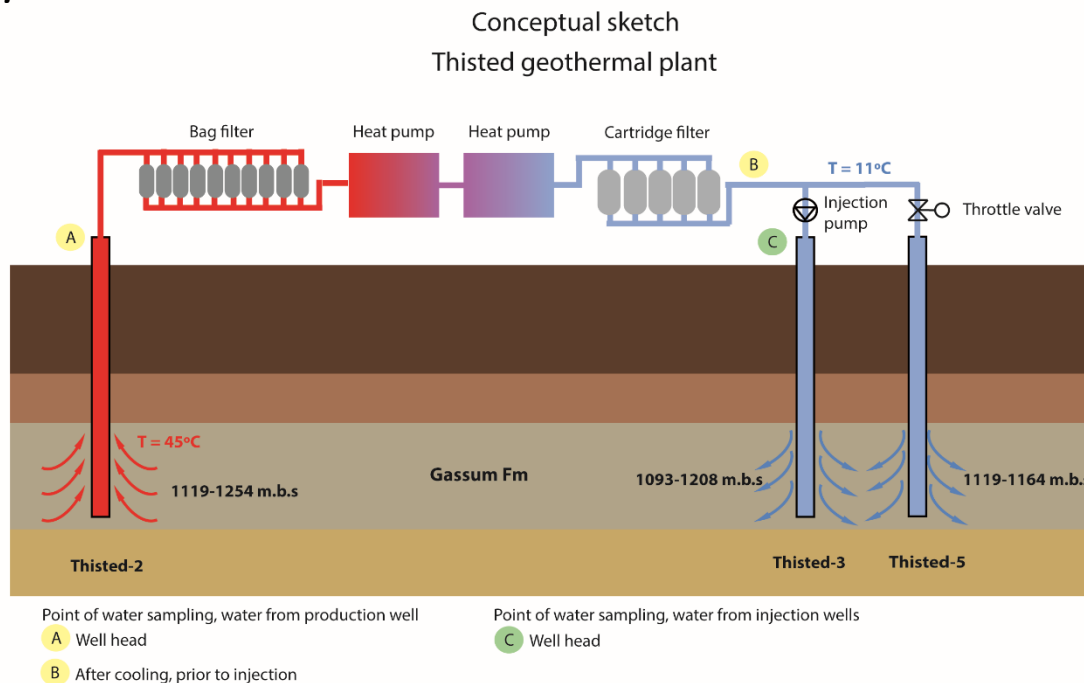
Hvad er der gjort for at afbøde problemerne.

## Geologisk model

For reservoirbjergarten mv.

## Completion design

well completions and casing sizes





# Filer på hjemmesiden med data til 'Download' (Excel format)

➤ **Øversigt over anlæg og boringer.**

➤ **Vandanalyser.** Kemiske analyser af sammensætningen af det geotermiske vand (**mg/L**); både i produktions- og injektionsvand, **f.eks.** i Margretheholm:

SO4	Na	Ca	Mg	Sr	K	Fe	Fe2+	Mn	NH4	Zn	Ba	Li	Pb	Cl	Cu	TDS
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	g/l
240	53650	23480	2910	905	690	0		27		7	5.8	13	0.3	137000	0.3	220

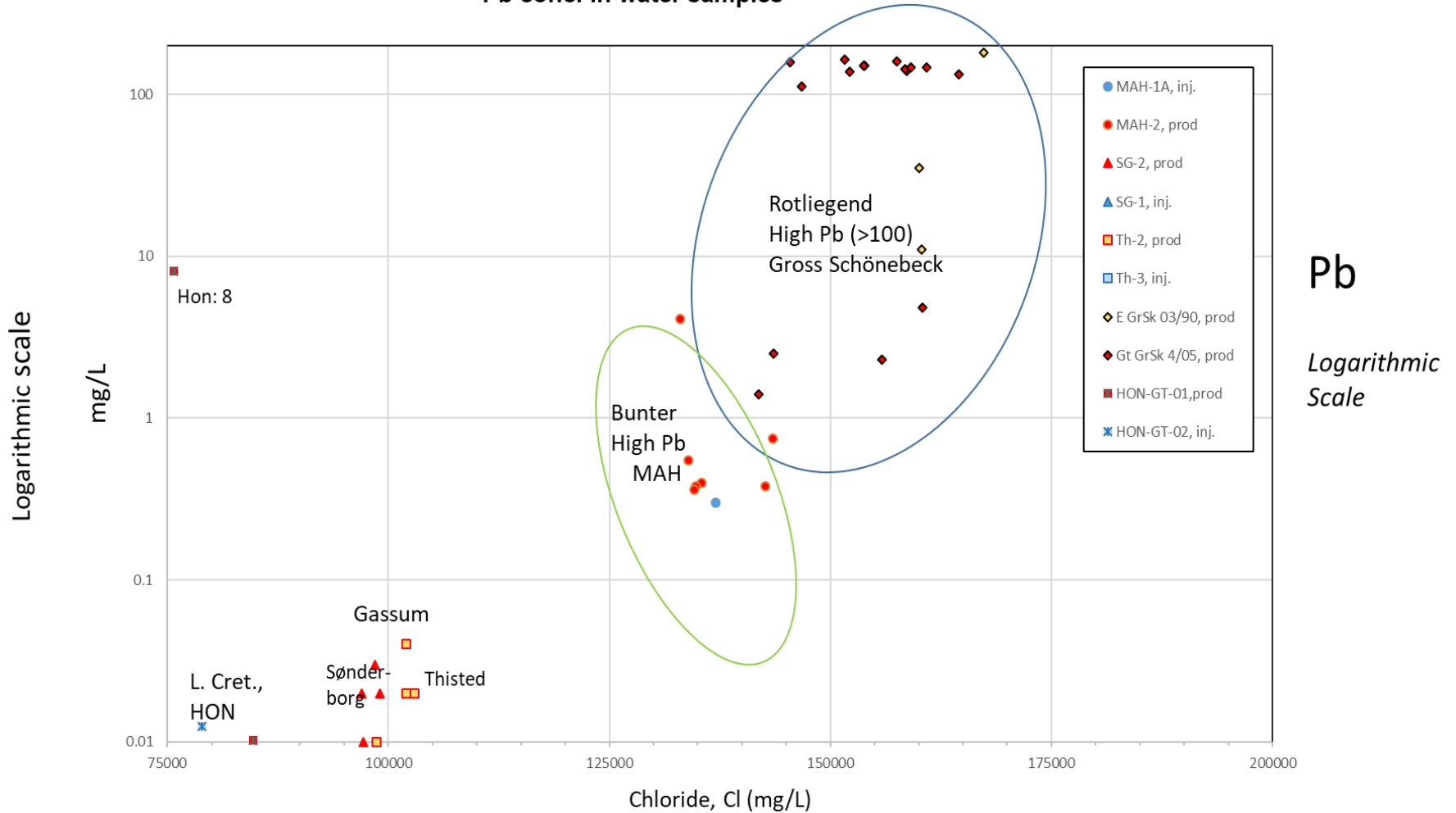
➤ **Partikelanalyser.** Kemiske analyser af sammensætning af partikler i produktions- og injektionsvand (**vægt-%**), **f.eks.** i Gross Schönebeck:

- | Si  | Fe   | Ca   | S    | Ba  | Cu   | As  | Pb  | Site             |
|-----|------|------|------|-----|------|-----|-----|------------------|
| 1.3 | 1.26 | 2.23 | 3.09 | 8.4 | 49.1 | 0.7 | 7.6 | Gross Schönebeck |

➤ **Mineralogisk sammensætning** af reservoirbjergarten, dvs. **%-andel** af kvarts, kalcit, feltspat osv.

# Eksempel: Vandanalyse

Pb conc. in water samples



# Operationelle problemer i geotermiske anlæg/værker

## *Vedrørende håndtering af typiske driftsproblemer:*

- *Hvilke problemer taler vi om, og hvornår opstår de typisk?*
- *Hvad kan man gøre for at løse problemerne?*
- *Hvilke nye metoder til håndtering af driftsproblemer er under udvikling i PERFORM projektet?*

# Udvikling af en ny type partikel-filter

## Problem:

- Tilstopning af porerne i reservoir-sandstenen
- Tilstopning af perforationer med partikler, der er tilstede i det termale vand

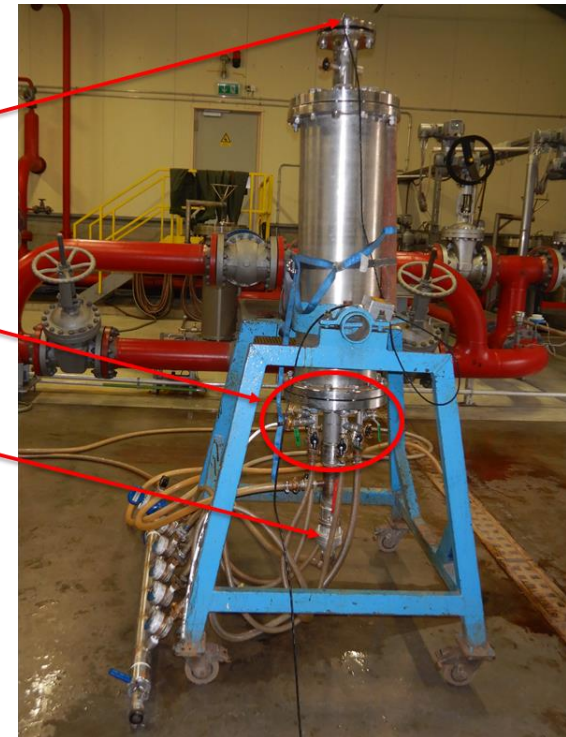
## Løsningsforslag:

- Brug af et selvrensende partikel-filter el.lign.  
Her billede af “HydroGeoFilt” Particle Filter.

- Ultrasonic device for cleaning of filter candles
- Test of 5 different filter candles (5, 10, 25, 50 and 100 $\mu$ m)
- Inflow of thermal water after heat exchanger (T = 62°C)

Figure: Test of the “HydroGeoFilt” Particle Filter at the sites Oberlaa and Insheim

*Photo and text based on ppt. by Simona Regensburg, GFZ*



# Udfældning af kalcit (kalk, $\text{CaCO}_3$ )

## Problem:

Udfældning af kalcit i installationerne er et almindeligt kendt problem i de geotermiske værker/anlæg.

- Kalcit-udfældning skyldes primært **afgasning af  $\text{CO}_2$**  – eller **temperatur stigning**, idet opløseligheden af kalcit bliver mindre, når temperaturen forøges, og der dannes 'kedel-sten'.

## Løsningsforslag:

- a) Undgå  $\text{CO}_2$  af-gasning ved at opretholde et højt operationstryk
- b) Brug af en inhibitor – for at holde kalcium (Ca) i opløsning.
- c) Brug af kation filter, der kan fjerne  $\text{Ca}^{2+}$ , f.eks. et **FACT filter**. Et **FACT filter** bygger på **podet krystallisation** – de herved dannede karbonat-krystaller kan så fjernes ved hjælp af et partikel filter.
- d) Tilsæt  $\text{CO}_2$  til det termale vand for at undgå afgasning ( $\text{CO}_2$  kontrol).



## Bemærkninger:

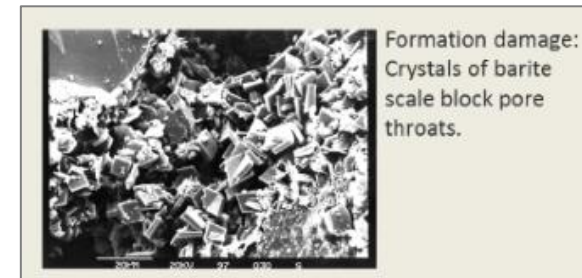
- Udfældning af kalcit er generelt en udfordring i værker med højt  $\text{CO}_2$  og  $\text{Ca}^{2+}$  indhold.
- I visse tilfælde kan man (operatørerne) løse problemet ved at øge trykket i systemet.
- Eksempel: et **FACT filter**, *FACT: Filtration Assisted Crystallization Technology*.

# Udfældning af baryt (barite, BaSO<sub>4</sub>)

## Problem:

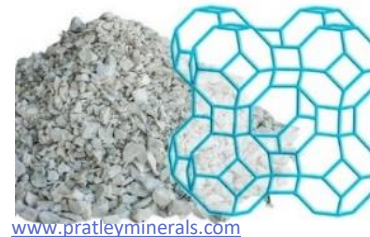
**Udfældning af baryt ses ofte i anlæg, der producerer termalt vand med højt saltindhold og høj temperatur.** Udfældning med baryt er specielt et problem, hvis formationsvandet er overmættet med baryt. Risikoen for baryt udfældninger er størst ved overfladeforhold på grund af vandets afkøling (lavere temperatur). Opløseligheden af baryt bliver væsentligt mindre, når temperaturen aftager.

DK: Kan være et problem i Bunter Sandsten Fm. (MAH).



## Løsningsforslag:

- **Brug (scaling) inhibitorer.**
- **Brug kation-filtre med stor adsorptionskapacitet**, således at Barium kan fjernes fra det termale vand før det re-injiceres. Eksempelvis har materialer som chitosan og zeolite stor adsorptionskapacitet.



## Bemærkninger:

Disse special-filtre er under udvikling i PERFORM.

Flere tests, både i laboratoriet og i værkerne, er nødvendige.

# Korrosion på grund af tilførsel (indtrængning) af ilt

## Problem:

Ødelægger i særlig grad jernholdige materialer, idet der **dannes jern-oxider**. **Oxiderne kan føre til tilstopning** af screens/filtre og gruskastninger, specielt i injektionsboringerne.

## Løsningsforslag:

- Undgå (eller begræns) indtrængning af ilt i systemet, f.eks. ved at **opretholde et højt operationstryk**.
- Brug casings af komposit materialer (glasfiber eller lign.).



## Bemærkninger:

Korrosion på grund af ilt tilførsel er observeret i værkerne ved Sønderborg, Lund and andre steder.

# H<sub>2</sub>S-induceret korrosion



## Problem:

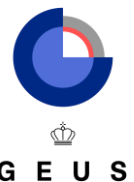
- **Tilstedeværelse af H<sub>2</sub>S i det geotermale vand** kan føre til dannelse af korrosionsprodukter i form af sulfider (e.g. FeS).
- H<sub>2</sub>S i det termale vand kan også stamme fra reduktion af sulfater som følge af bakteriel aktivitet.
- Sulfiderne kan korrodere og tilstoppe installationerne, både overfladeanlæg og i borerne..

## Løsningsforslag:

- **PERFORM har udviklet en metode til at fjerne H<sub>2</sub>S ved at tilsætte jern-baserede additiver**, f.eks. granulat af jern-hydroxid (FGH) eller en jern-klorid opløsning (FeCl<sub>3</sub> solution).
- Denne proces fører almindeligvis til dannelse og udfældning af **partikler** bestående af jern-sulfid (FeS). De dannede partikler kan så efterfølgende fjernes gennem filtrering (ved brug af partikel filter). Artikel publiceret af Regenspurg et al. (2020).

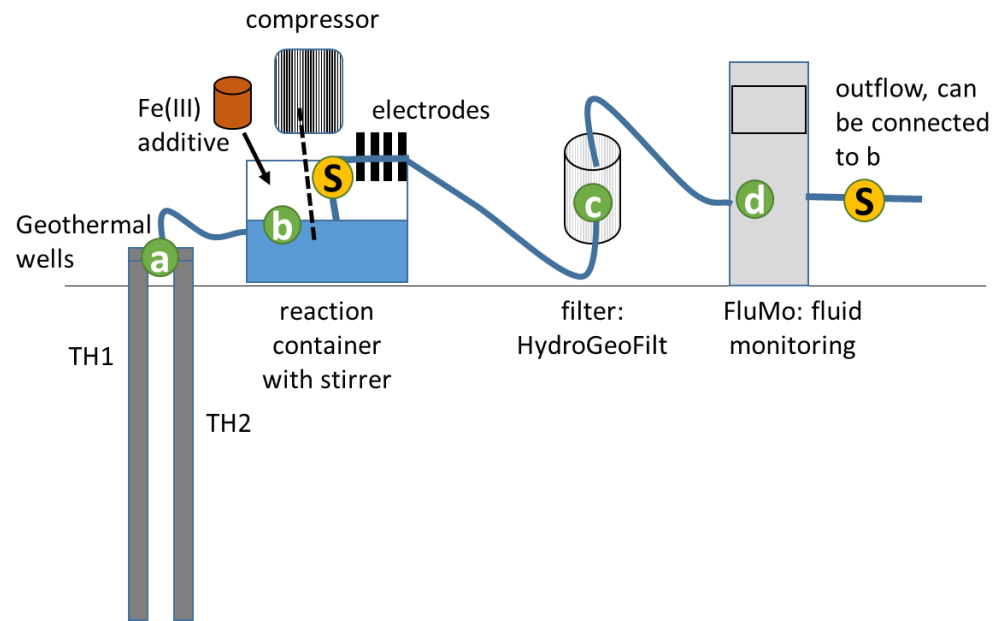
## Bemærkninger:

- Observeret ved Sønderborg, Pырzyce og Oberlaa.
- H<sub>2</sub>S-induceret korrosion er specielt et problem ved **stærkt reducerende forhold**.

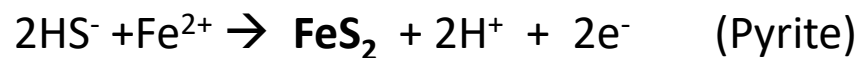
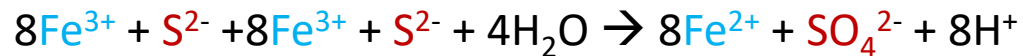




## Removing H<sub>2</sub>S by adding iron-based additives:



Fe(III) addition to remove H<sub>2</sub>S from the thermal water:



*Drawing and text based on an article by Simona Regenspurg, GFZ*

# Galvanisk korrosion

## Problem:

- a) Galvanisk korrosion af f.eks. jern-holdige materialer på grund af opløst  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  i formationsvandet.
- b) Galvanisk korrosion er særlig udtalt, hvis formationsvandet har høj salinitet, dvs. klorid koncentration  $> 100$  g/L.
- c) Giver anledning til dannelse af metallisk bly ( $Pb(0)$ ) og kobber ( $Cu(0)$ ) i de geotermiske borer.

## Løsningsforslag:

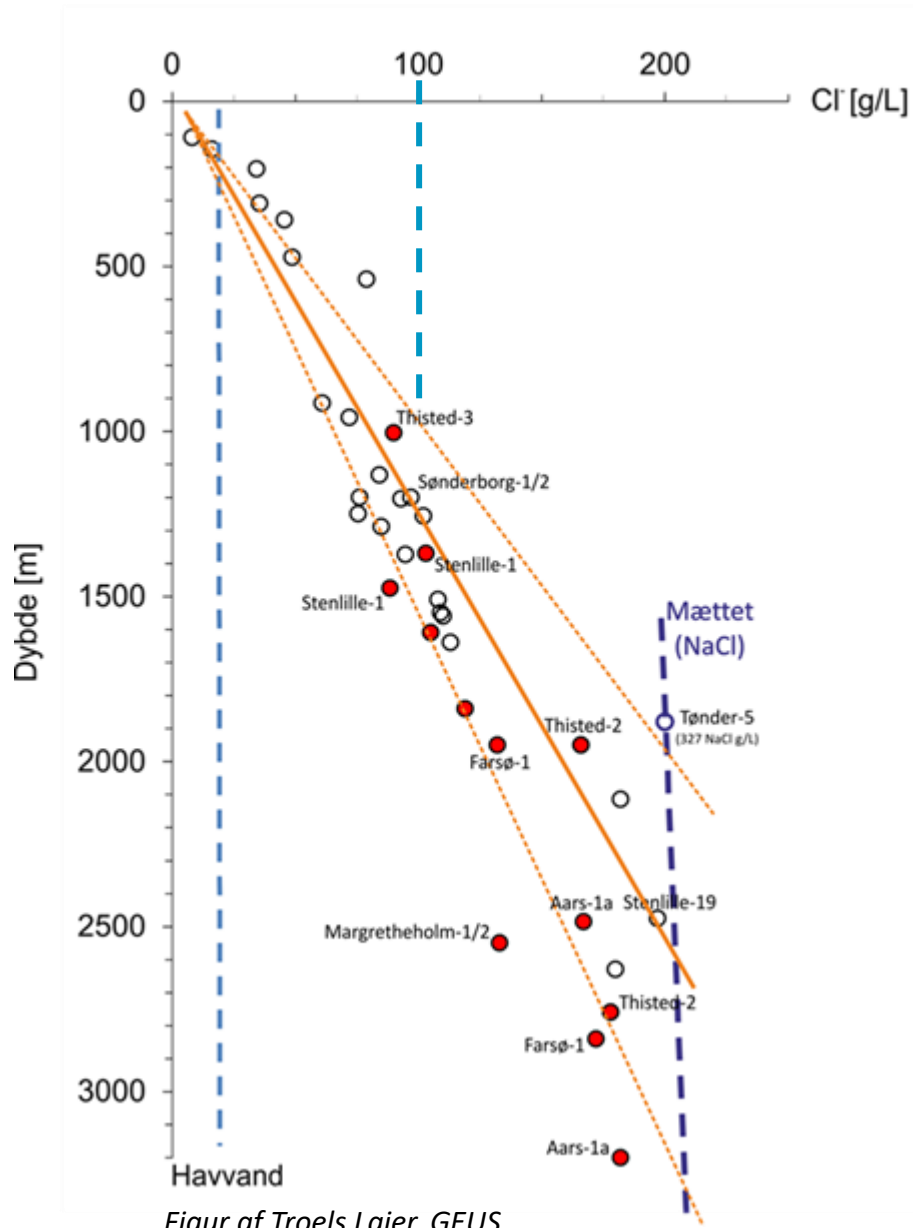
- i. **Brug partikel filtre** til at fjerne metallisk bly (Pb) og kobber (Cu) fra det geotermiske vand.
- ii. **Brug kation filtre med stor adsorptionskapacitet til at fjerne  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  fra vandet.**  
Indenfor PERFORM har forsøg med adsorptionsmaterialer som chitosan, Fe-oxid og zeolit givet positive resultater. Erfaring: Zeolit bedst for Cu adsorption, chitosan bedst for Pb adsorption.
- iii. Tilsætning af **korrosions-inhibitor**.
- iv. **Byg installationer korrosions-resistent materiale, f.eks. rustfri stål, og anvend casings af kompositmateriale.**

## Bemærkninger:

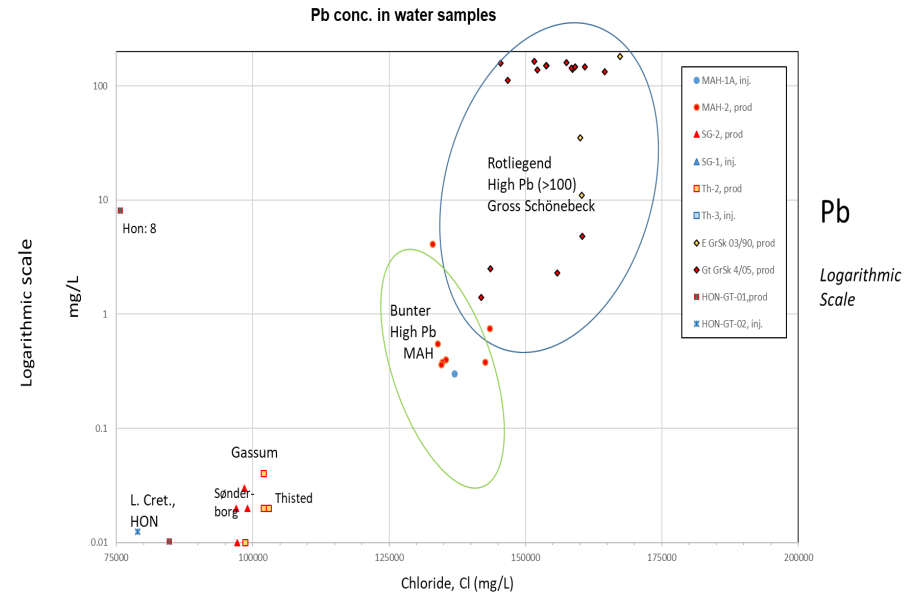
- Galvanisk korrosion observeret ved værkerne ved Margretheholm (Pb), Sønderborg (Pb) og Gross Schönebeck (Cu).
- De nævnte special filtre er foreløbigt testet med succes i laboratoriet, men en test på et geotermisk værk mangler pt.

# Klorid [Cl<sup>-</sup>] conc.

Saltholdigheden i dybt formationsvand




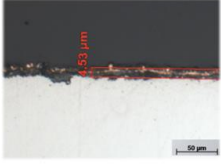

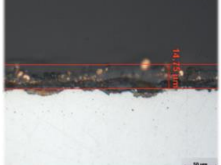
Figur af Troels Laier, GEUS



# Vandanalyse [Pb<sup>2+</sup>] conc.

# Laboratory tests to investigate galvanic corrosion by Cu and Pb

## Examining the effect of corrosion on various types of steel

Exposure duration	Carbon steel	Cross section
24 hours		
1 week		

Reaction/corrosion on carbon steel surfaces increases over time, both for dissolved  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  in the formation brine.

Exposure duration	Stainless steel					
	1.4438	1.4404	1.4429	1.4439	1.4462	1.4539
7 days						
1 month						

Highly alloyed steels (stainless steel) are practically corrosion resistant, both for dissolved  $Pb^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  in the formation brine.

Photos by Simona Regensburg, GFZ

# Fremtid

**Forbedrede kation- og partikelfiltre** forventes udviklet indenfor i PERFORM projektet inden det afsluttes (ultimo 2021). Filtre er testet med succes i laboratoriet, men flere fuld-skala tests er nødvendige.

## **Udgivelse af en 'best practice' manual. Hensigt:**

- Rådgivning til værkerne indenfor bl.a. geokemi og materialevalg.
- Opregne mulige løsninger på operationelle problemer.

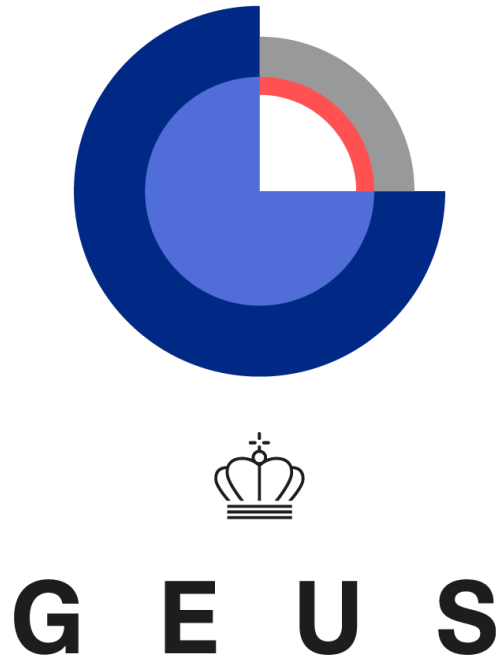
# Konklusioner,

## PERFORM projektet

- **Der er etableret en offentlig hjemmeside med *geotermiske og geokemiske data*.** Hjemmesiden indeholder data fra andre europæiske lande end blot Danmark. Link: <https://www.geothermperform.eu>
- **Den kemiske sammensætning af vand- og partikelprøver er analyseret** med henblik på at belyse årsagen (årsagerne) til evt. driftsproblemer - og for at belyse forskelle og ligheder på tværs af landegrænser.
- **Korrosionsproblemer og udfældning af mineraler** i reservoirlagene og i installationerne i de geotermiske anlæg er adresseret. Forslag til løsning af disse typiske driftsmæssige problemer og udfordringer er foreslået. Specifikke valg af filtre, inhibitorer, metoder og materialer er adresseret.
- **Der er udarbejdet flere artikler og en rapport**, der indeholder evalueringer af de indsamlede data. Publikationerne er lagt på hjemmesiden.

## ABOUT PERFORM

The objective of the trans-European PERFORM project is to improve geothermal plant performance, lower operational expenses and extend the life-time of infrastructure by combining data collection, predictive modelling, innovative technology development and in-situ validation



*Further reading: Report on Learn and Understand. Knowledge database for understanding the current problems. Work Package 1 of the PERFORM Project, January 2020. See Website.*