

Tests af metoder til immobilisering af arsen på Collstrop grunden

Adgang forbudt
forurenede jord



engineers | scientists | innovators

UNIVERSITY OF
COPENHAGEN



COWI: Torben Højbjerg Jørgensen, Bastian Germundsson

Region Hovedstaden: John Flyvbjerg og Nina Tuxen

Geosyntec: Neal Durant og Dimin Fan

GEUS: Rasmus Jakobsen , Case van Genuchten

Pernille Stockmarr, Christina Rosenberg Lyng

Københavns Universitet KU-PLN: Dominique J. Tobler, Hans Chr. Bruun Hansen

& Ida Huusmann Knøfler

Columbia University, NY ,NY : Benjamin Bostick, Adelina Rolea mfl.



GEUS



FREDENSBORG

NØDEBO

Esrum Sø

Sørup

Bramaholm Bæk

Hillerødvejen

Grøftesystem

Jespersvej

Collstrop grunden

STENHOLT SVANG

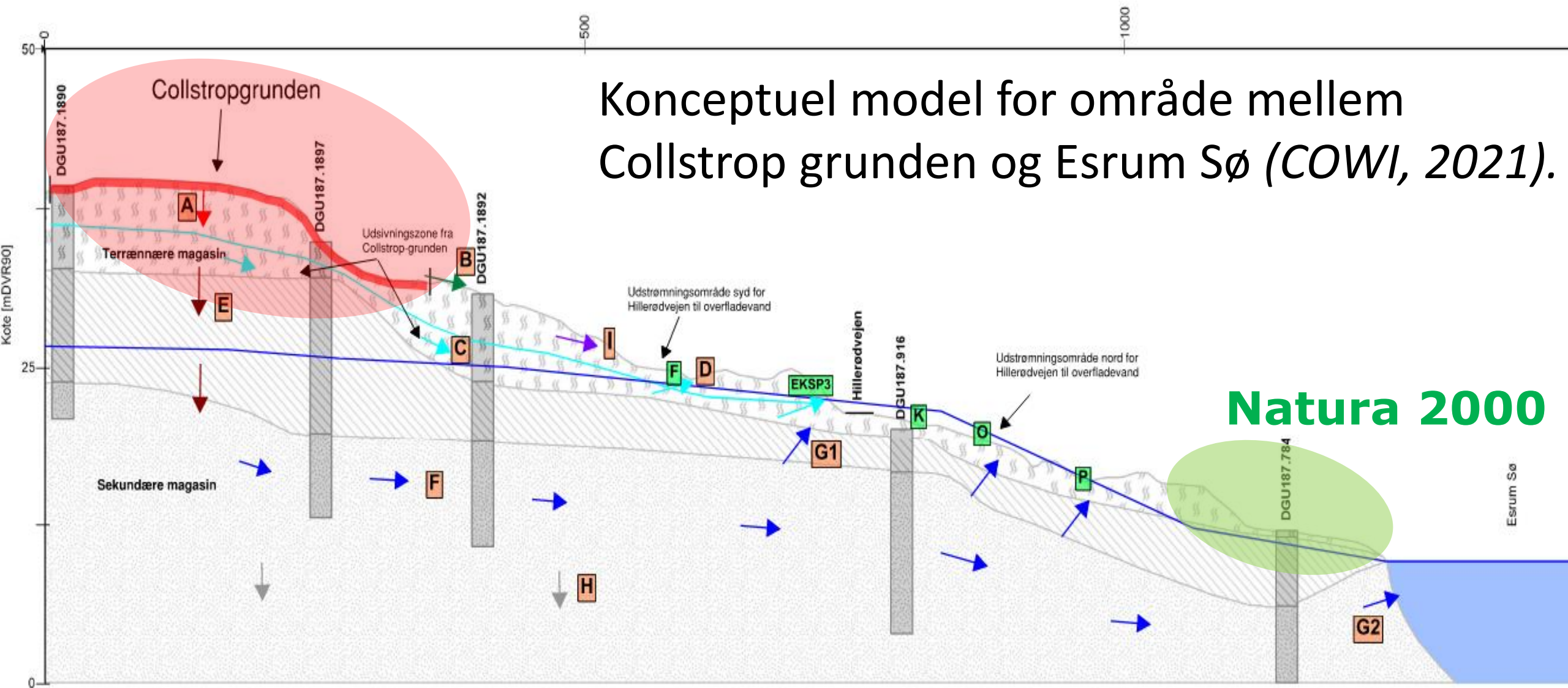
**Natura2000
område.**







**6 ha, 100.000 kg Arsen
(100 mill. g ~ 500 mill. akut dødelige doser)**






Konceptuel model for område mellem Collstrop grunden og Esrum Sø (COWI, 2021).

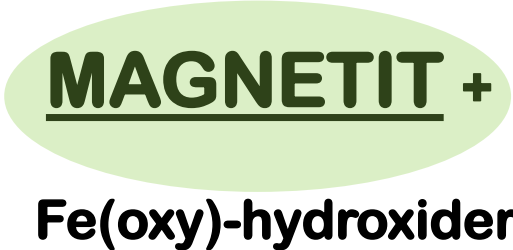


 Potentiale sekundært magasin
 Potentiale terrænnært magasin

 Spredningsvej
 Forhøjet As i sediment

 Muld / vekslende sand og ler
 Moræneler
 Sand, sekundært magasin



METODE/REAKTANT	BINDINGSMINERALER	PARTNER
Elektrocoagulation med Fe elektroder	 <p>MAGNETIT + Fe(oxy)-hydroxider</p>	GEUS
Injektion/infiltration af opløst Fe(II)		Københavns Universitet
Injektion a Grøn Rust + Fe(OH) ₃ suspension		Københavns Universitet
Mikrobielt katalyseret magnetitdannelse		Columbia University
Injektion/infiltration af opløst Al(III)	Al(oxy)-hydroxides	Københavns Universitet
*Injektion af Metafix [®] + Geoform [®] komposit suspension	Fe(oxy)-hydroxider, magnetit, Fe-sulfider, Fe(0)/ZVI, mm.	GEUS

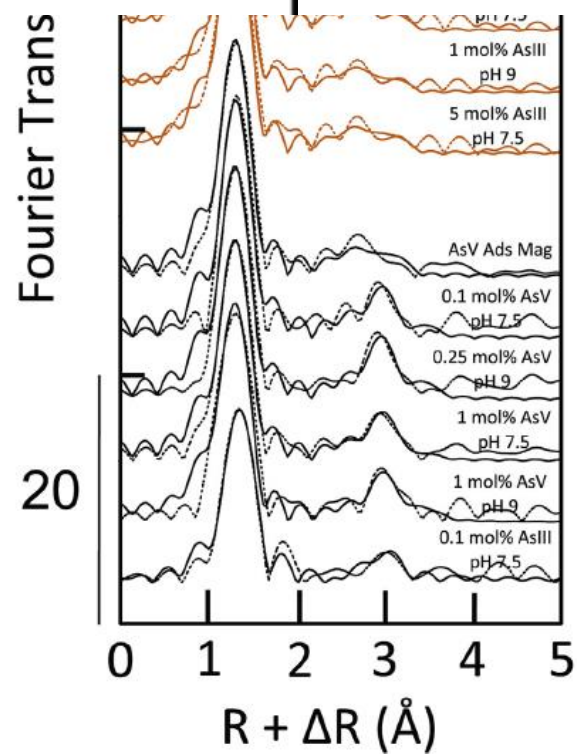
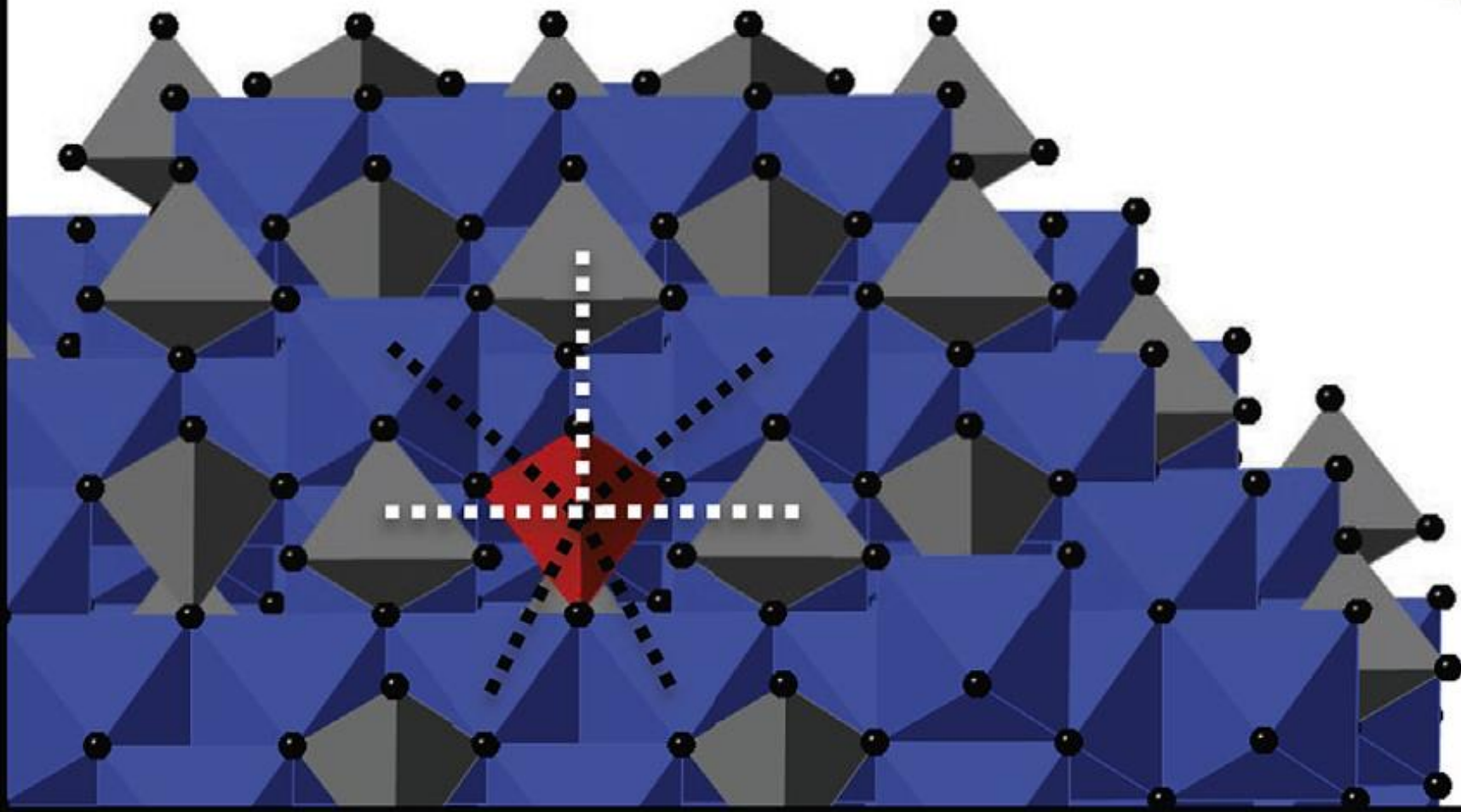
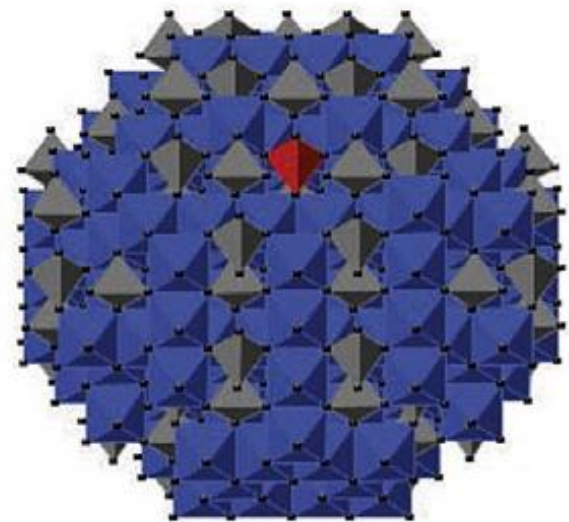
D

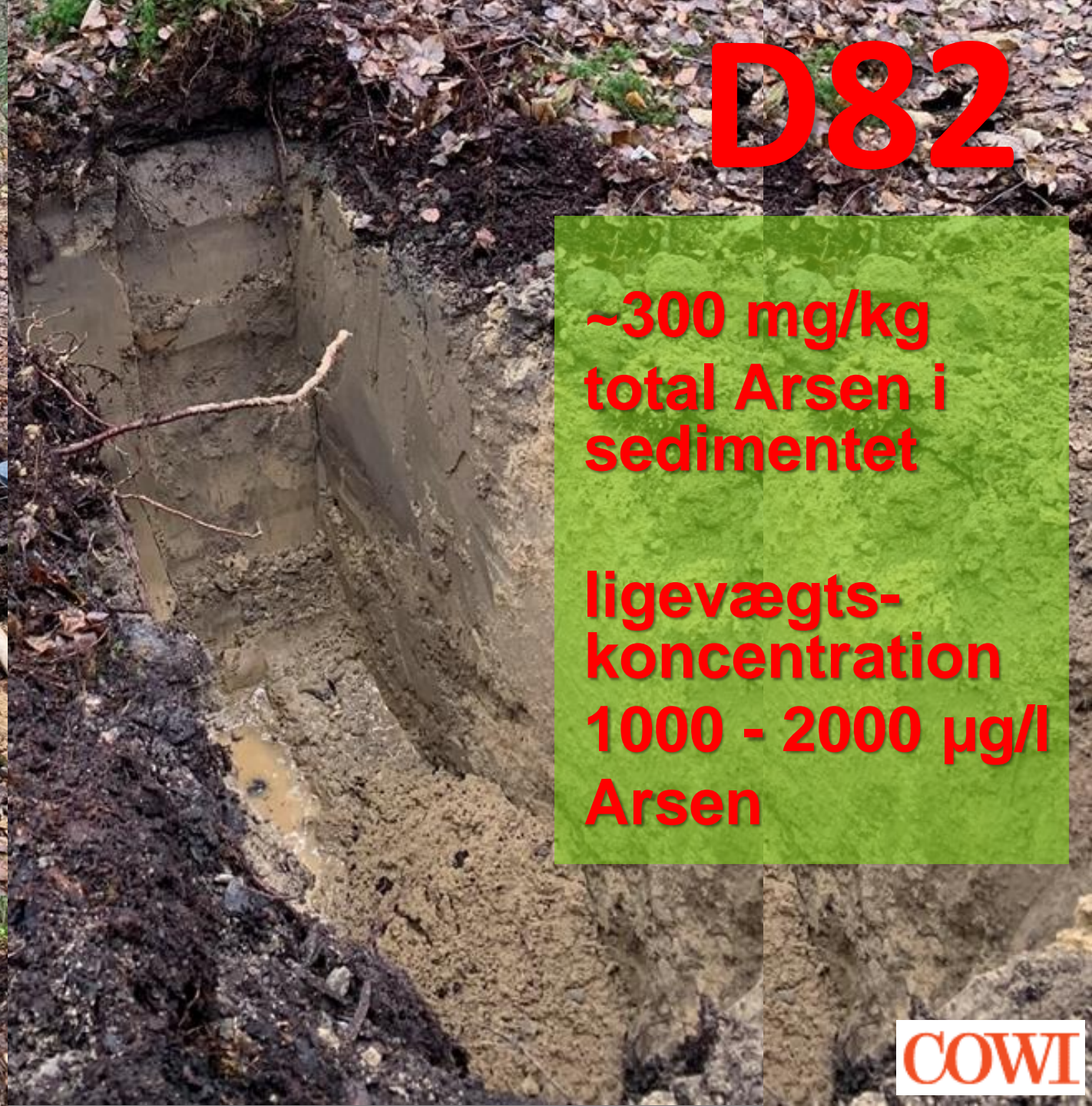
$$R_{\text{As-Fe1}} = 3.44 \text{ \AA}$$

$$\text{CN}_{\text{As-Fe1}} = 7.3$$

$$R_{\text{As-Fe2}} = 3.65 \text{ \AA}$$

$$\text{CN}_{\text{As-Fe2}} = 5.0$$





D82

**~300 mg/kg
total Arsen i
sedimentet**

**ligevægts-
koncentration
1000 - 2000 µg/l
Arsen**

Syntetisk Grundvand (SGV) i ligevægt med ubehandlet sediment 1000-2000 $\mu\text{g/l}$



SGV i ligevægt med behandlet sediment:

**Elektrocoagulation med Fe elektroder
blandet sediment $\sim 50 \mu\text{g/l}$**

**Injektion/infiltration af opløst Fe(II)
 $\sim 10 \mu\text{g/l}$**

**Injektion af Grøn Rust + Ferrihydrit susp.
 $\sim 6 \mu\text{g/l}$**

**Mikrobielt katalyseret magnetitdannelse
 $\sim 4 \mu\text{g/l}$**

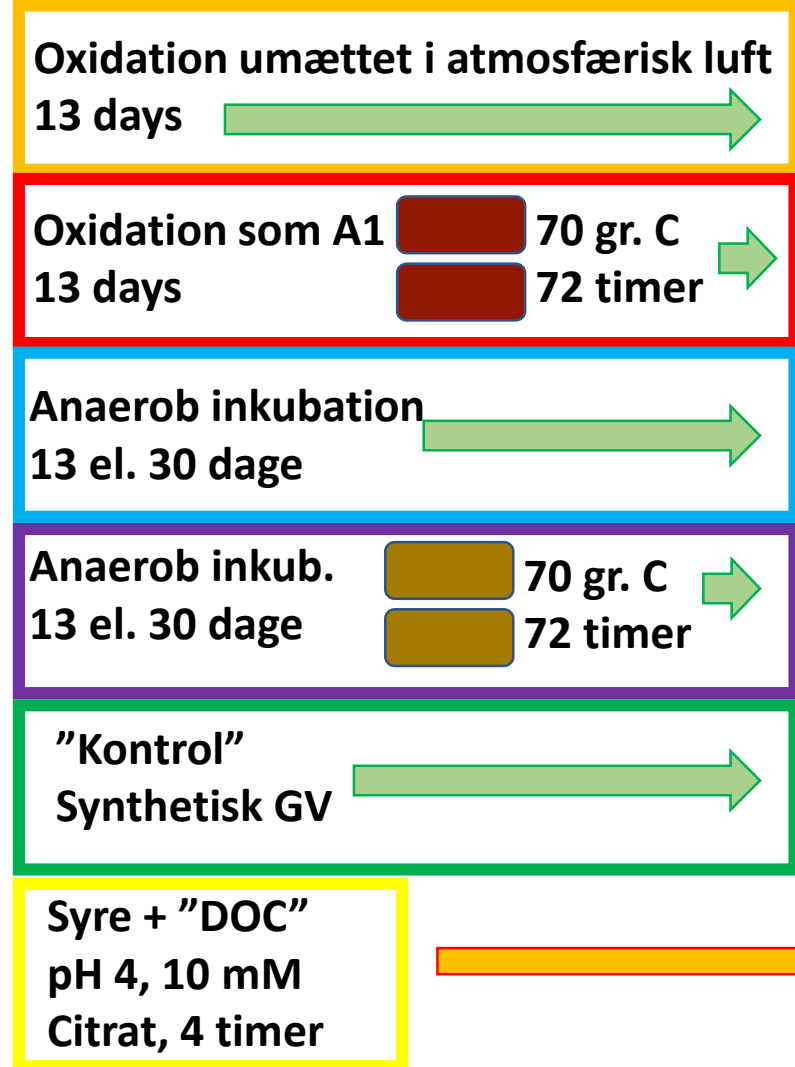
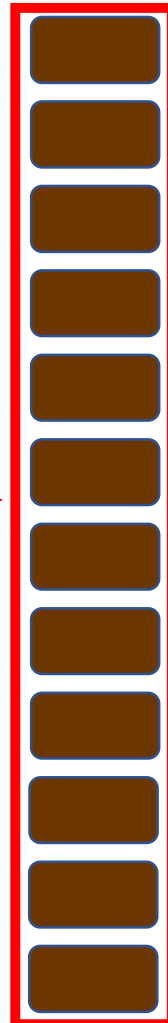
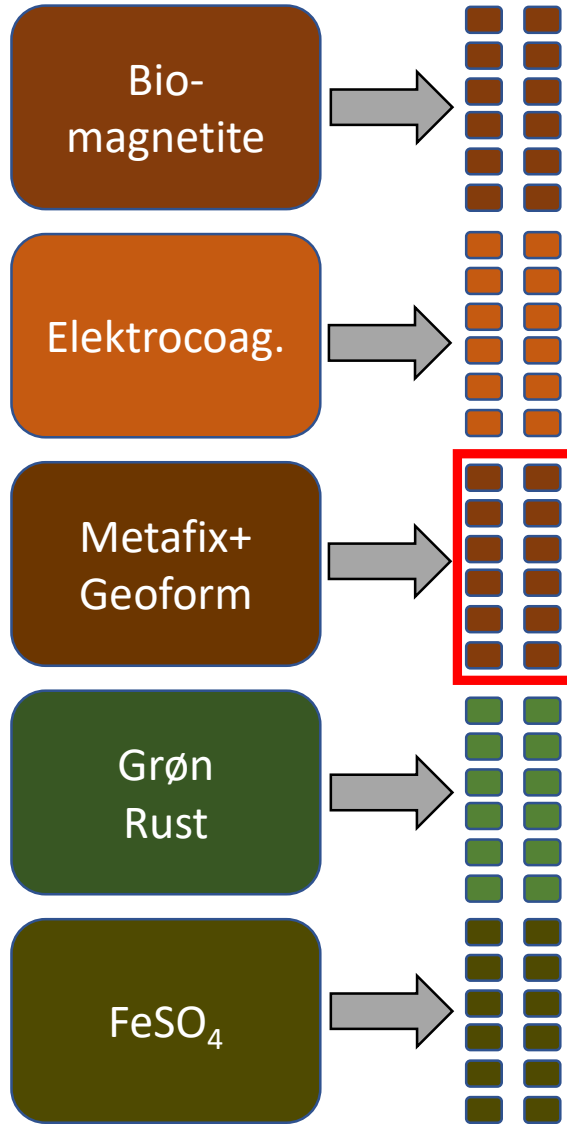
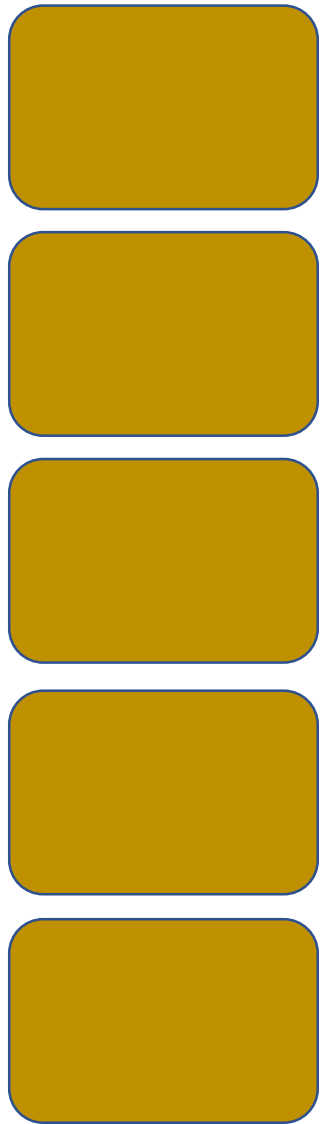
**Injektion/infiltration af opløst Al(III)
 $\sim 70 \mu\text{g/l}$**

**Injektion af Metafix[®] + Geoform[®]
 $\sim 6 \mu\text{g/l}$**

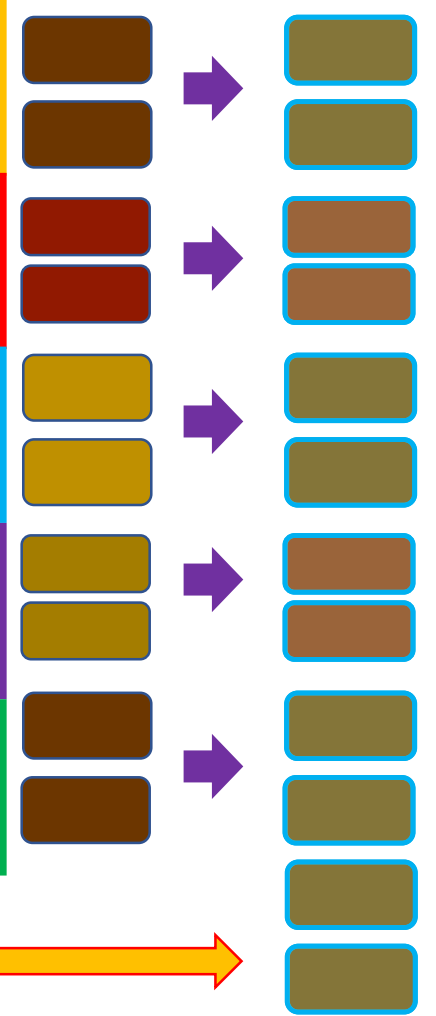
Collstrop
D82 sand

Fase 3
behandling

Fase 4 STRESS tests



Ligevægt
10 dage Vand
analyse





GEUS

Ligevægt efter Fase 3

Oxidation umættet i atmosfærisk luft 13d

Oxidation 13d + 72 timer ved 70 grader

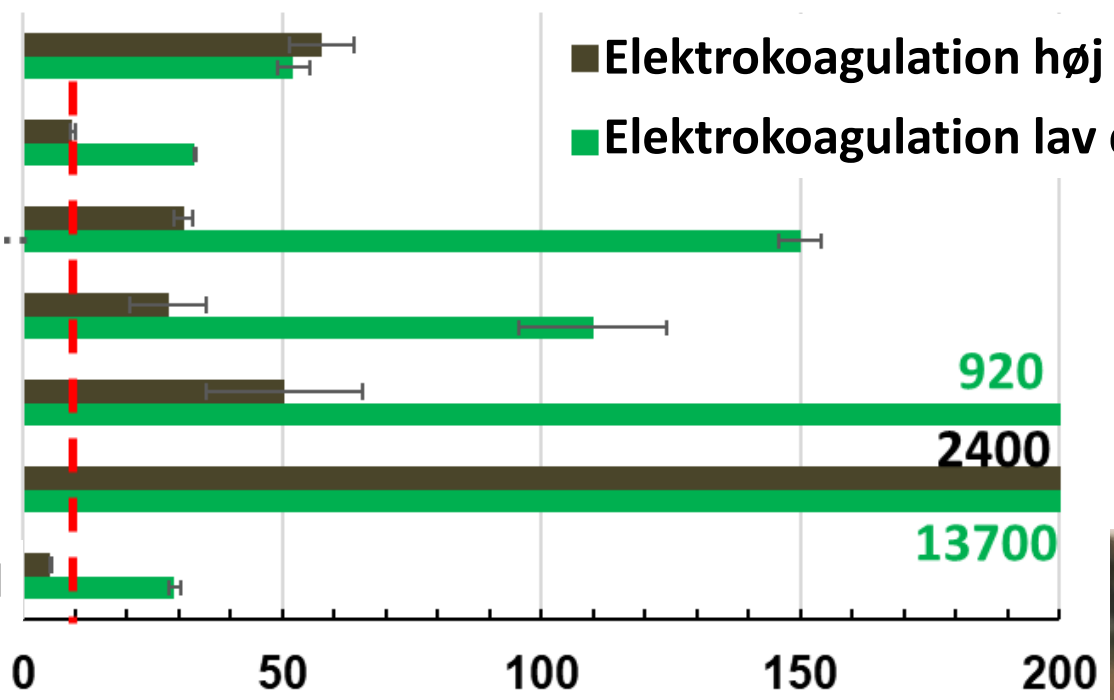
Anaerob inkubation 30d

Anaerob inkub. 30d + 72 t ved 70 grader

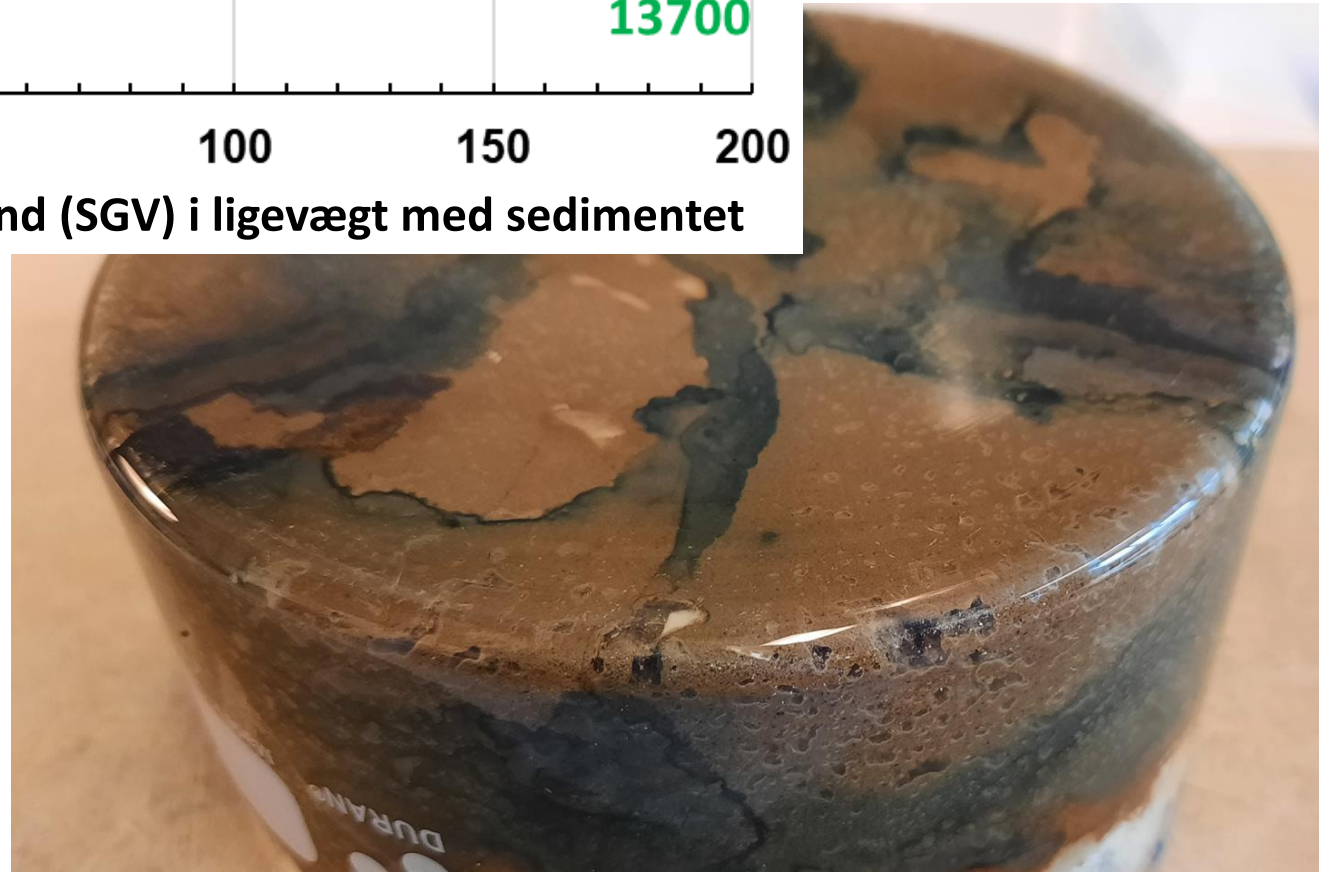
Citronsyre buffer pH4

"Kontrol" ligevægt med synt. grundvand

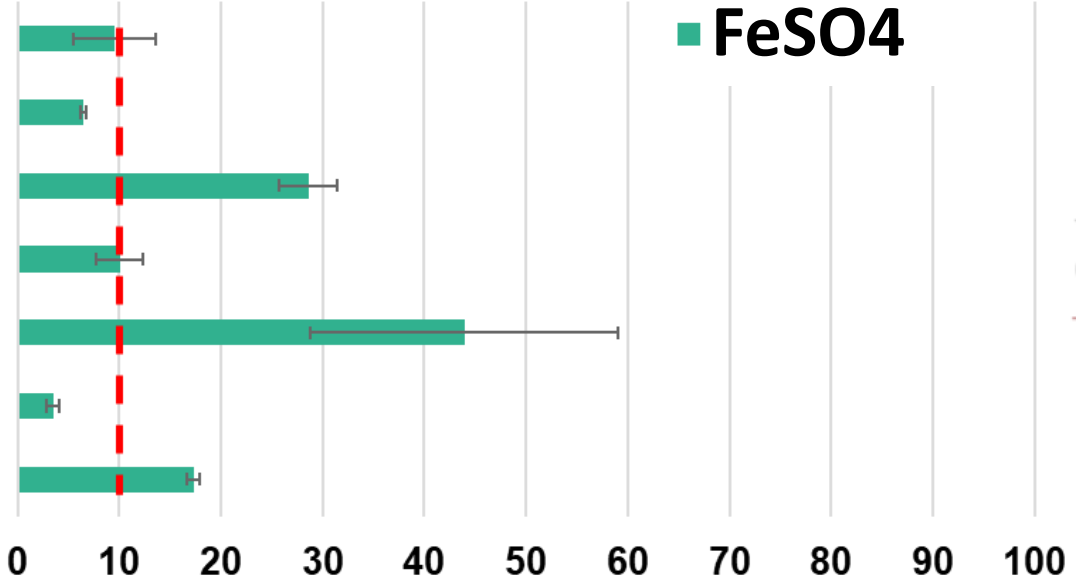
■ Elektrokoagulation høj dose
■ Elektrokoagulation lav dose



Arsen koncentration i syntetisk grundvand (SGV) i ligevægt med sedimentet



Ligevægt efter Fase 3
 Oxidation umættet i atmosfærisk luft 13d
 Oxidation 13d + 72 timer ved 70 grader
 Anaerob inkubation 13d
 Anaerob inkub. 13d + 72 t ved 70 grader
 Citronsyre buffer pH4
 "Kontrol" ligevægt med synt. grundvand

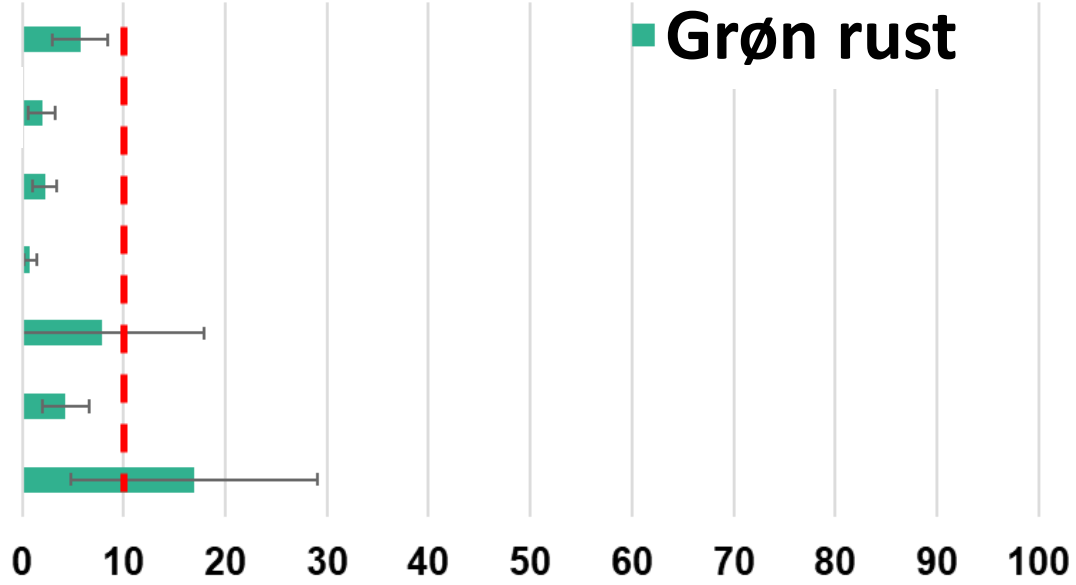


■ FeSO4



Arsen koncentration i SGV i ligevægt med sedimentet

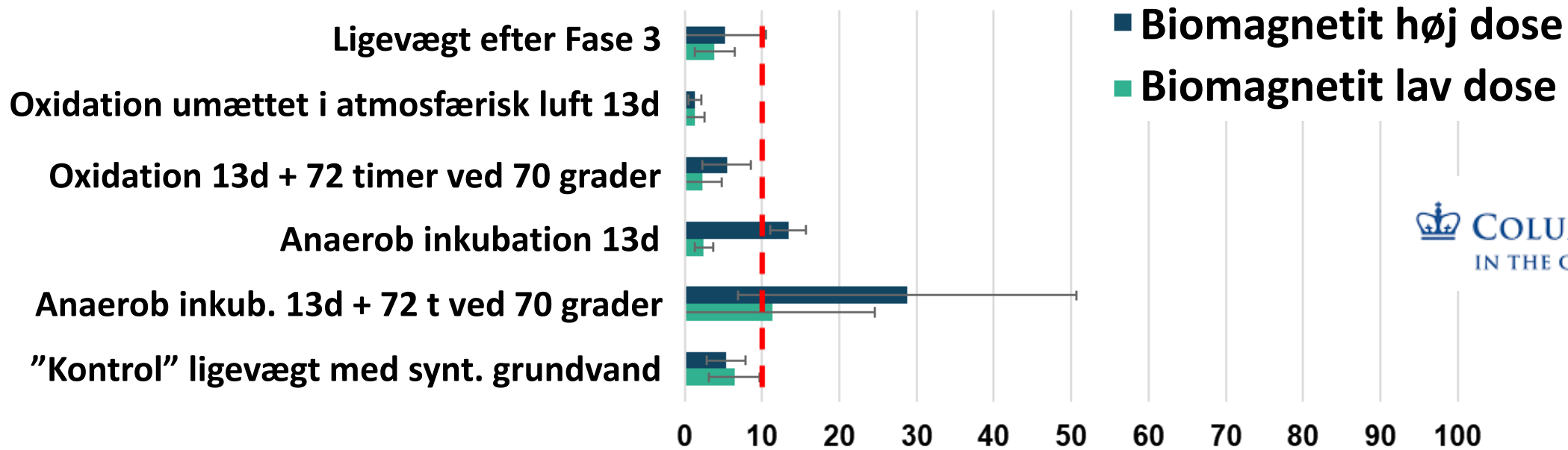
Ligevægt efter Fase 3
 Oxidation umættet i atmosfærisk luft 13d
 Oxidation 13d + 72 timer ved 70 grader
 Anaerob inkubation 13d
 Anaerob inkub. 13d + 72 t ved 70 grader
 Citronsyre buffer pH4
 "Kontrol" ligevægt med synt. grundvand



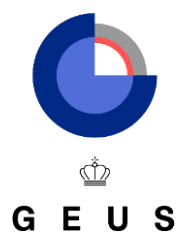
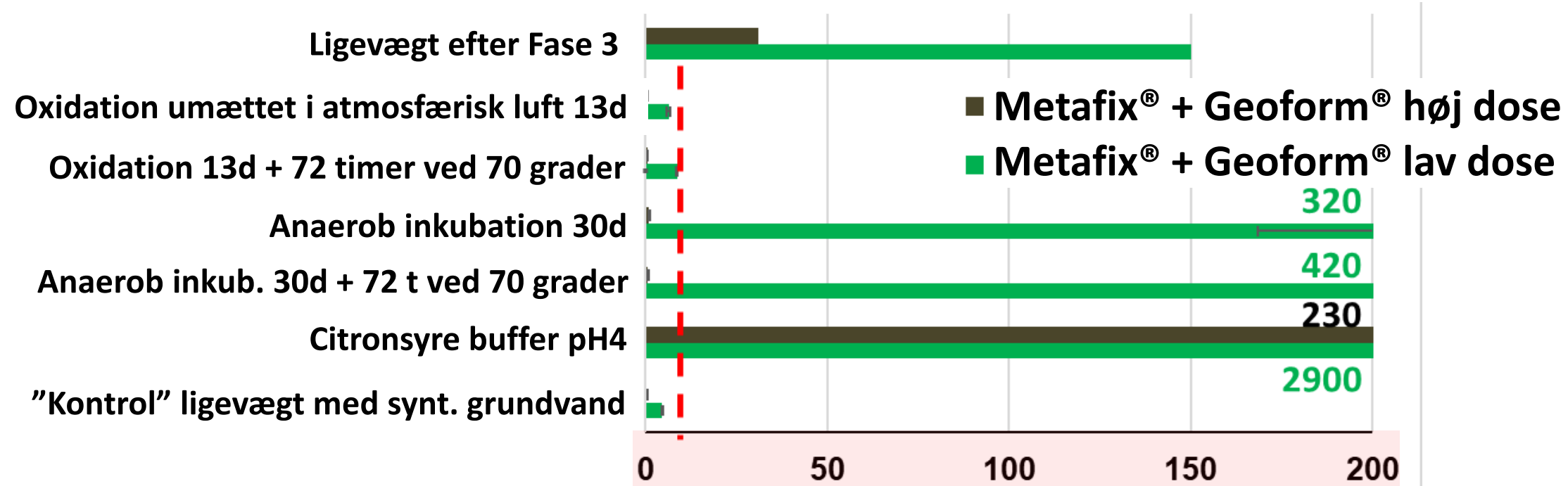
■ Grøn rust



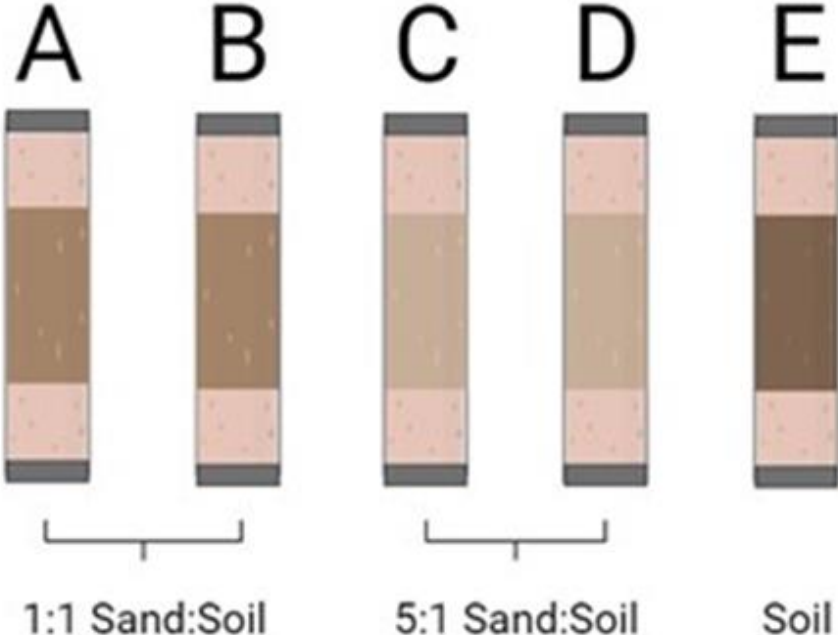
Arsen koncentration i SGV i ligevægt med sedimentet



Arsen koncentration i SGV i ligevægt med sedimentet



BIOMAGNETIT TEST SØJLER



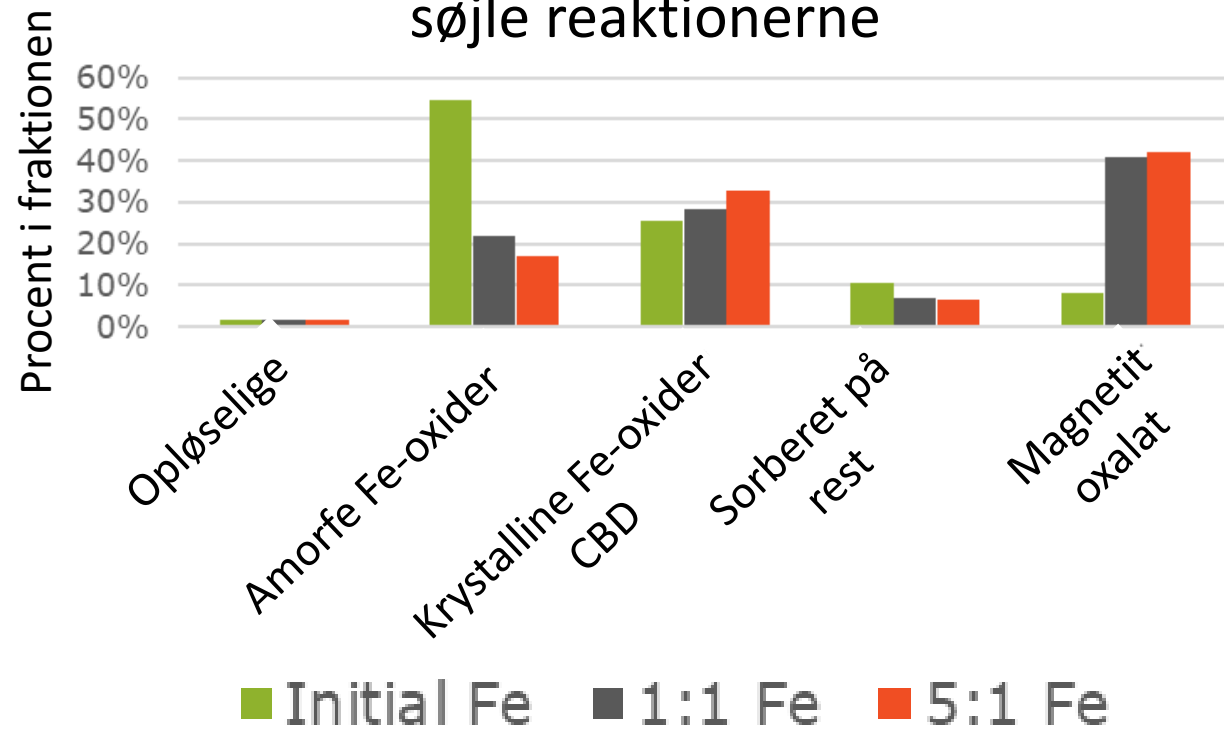
5 søjler:

1 kontrol med Collstrop sediment

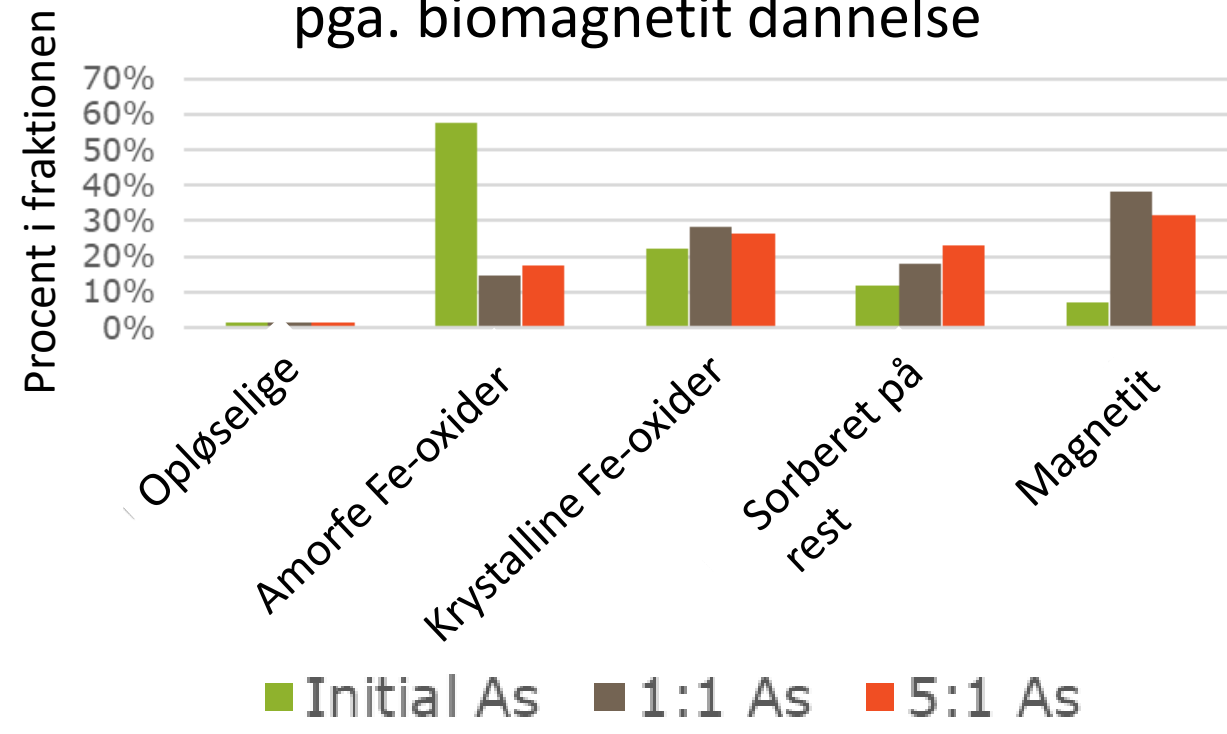
2 stk 1:1 søjler fortyndet 1:1 (kvaltssand + sediment) ~+++ forurennet

2 stk 5:1 søjler fortyndet 5:1 (kvaltssand + sediment) ~+ forurennet

Ændringer i Fe-mineralogi under søjle reaktionerne



Ændringer i As mineral associationen pga. biomagnetit dannelse



Behandlede søjler:

Collstrop sand +
groft sand 1:1 +

Grøn rust:



+

Ferrihydrit:



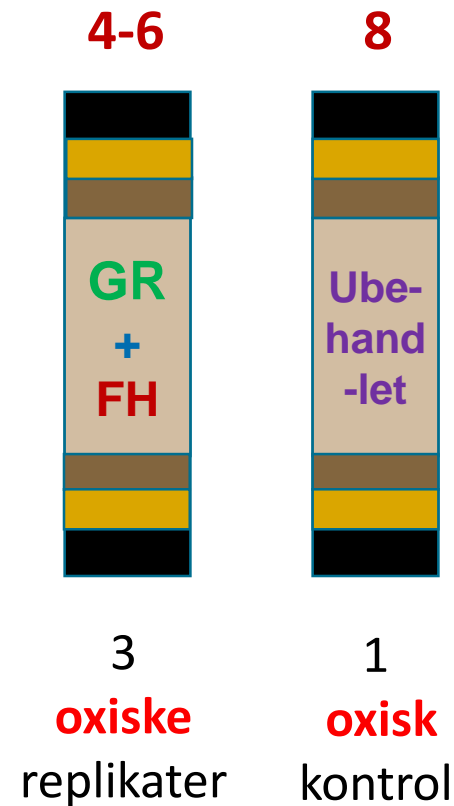
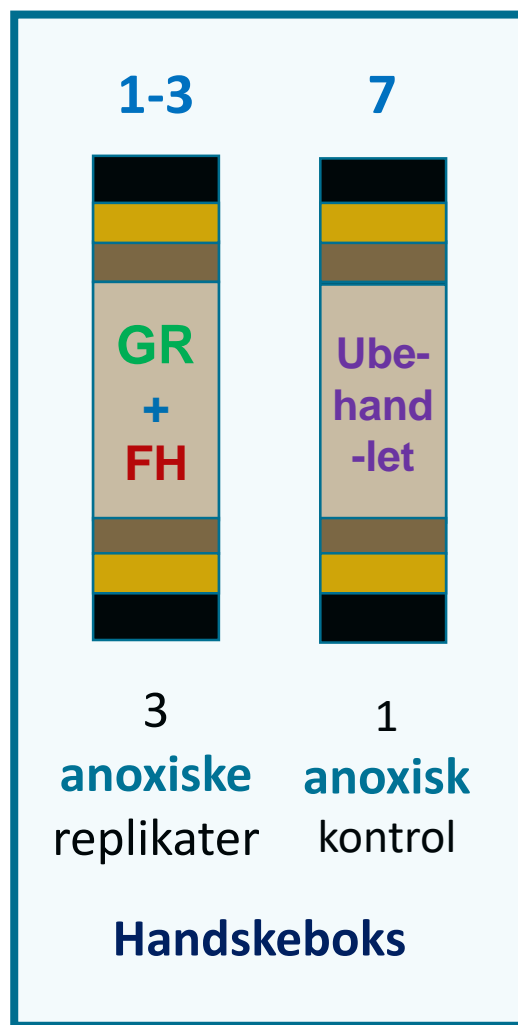
reageret 7 d og fyldt i
søjlerne i handskebox

Kontrol søjler:

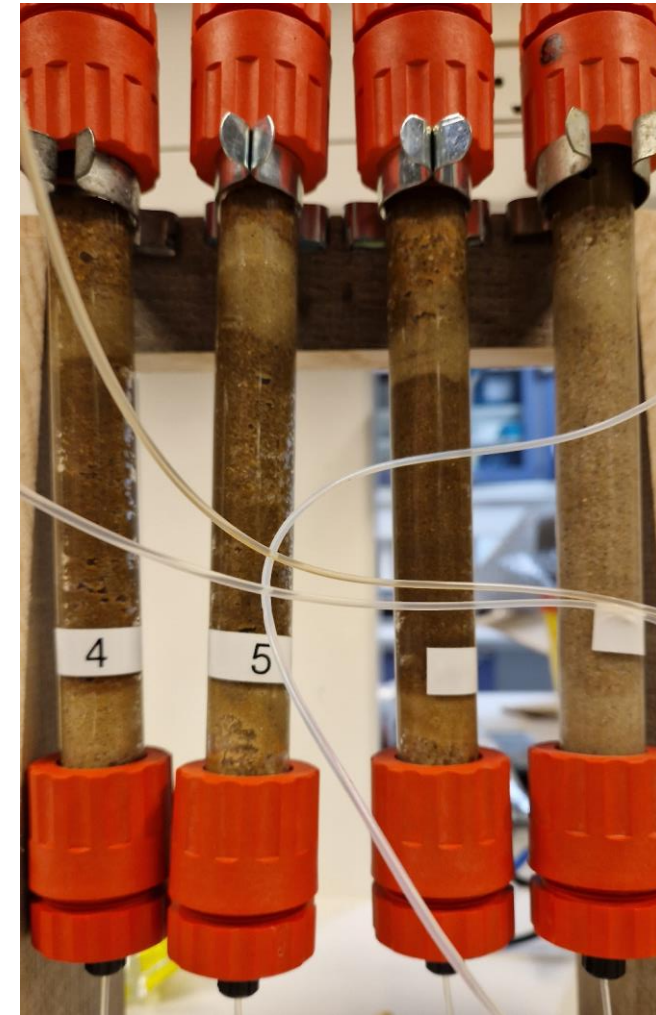
Collstrop sand +
groft sand 1:1

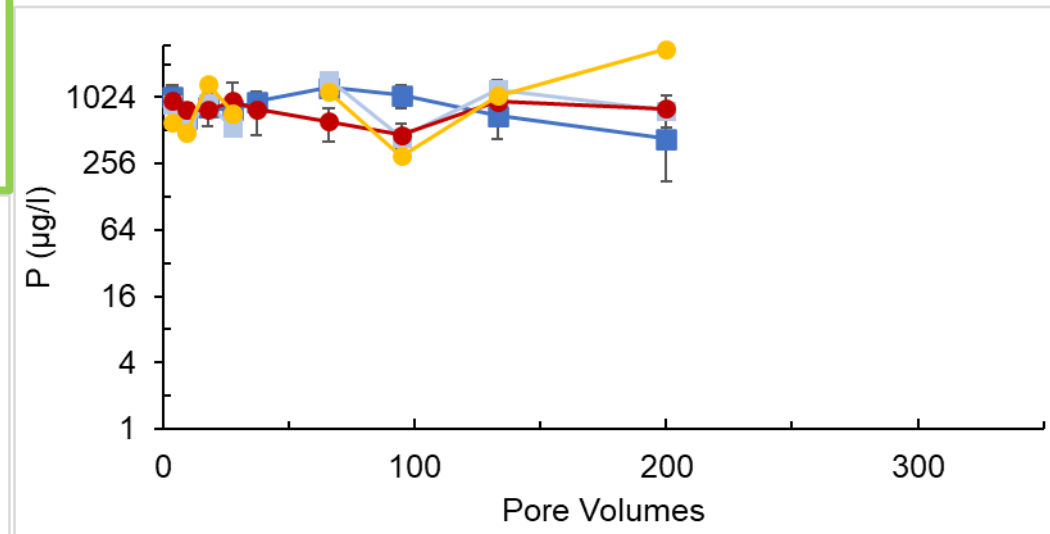
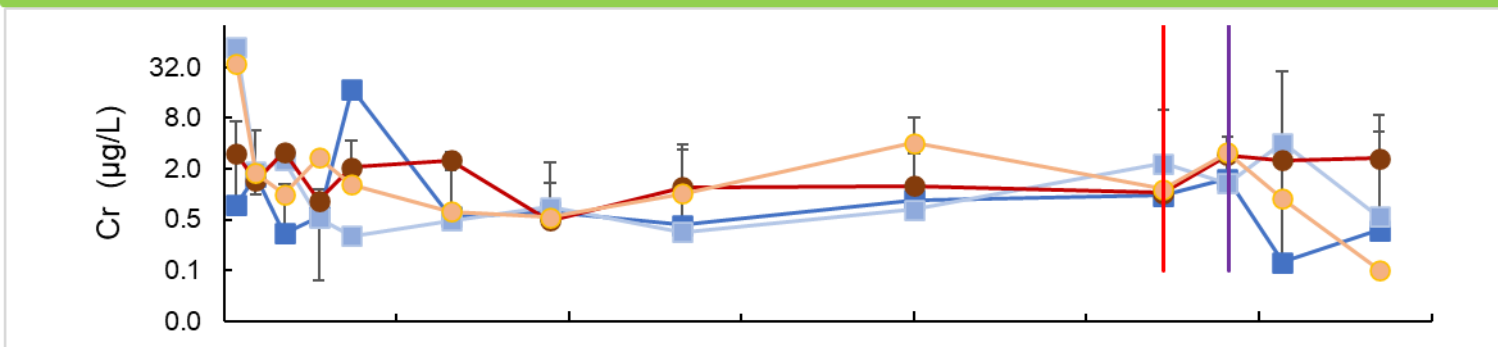
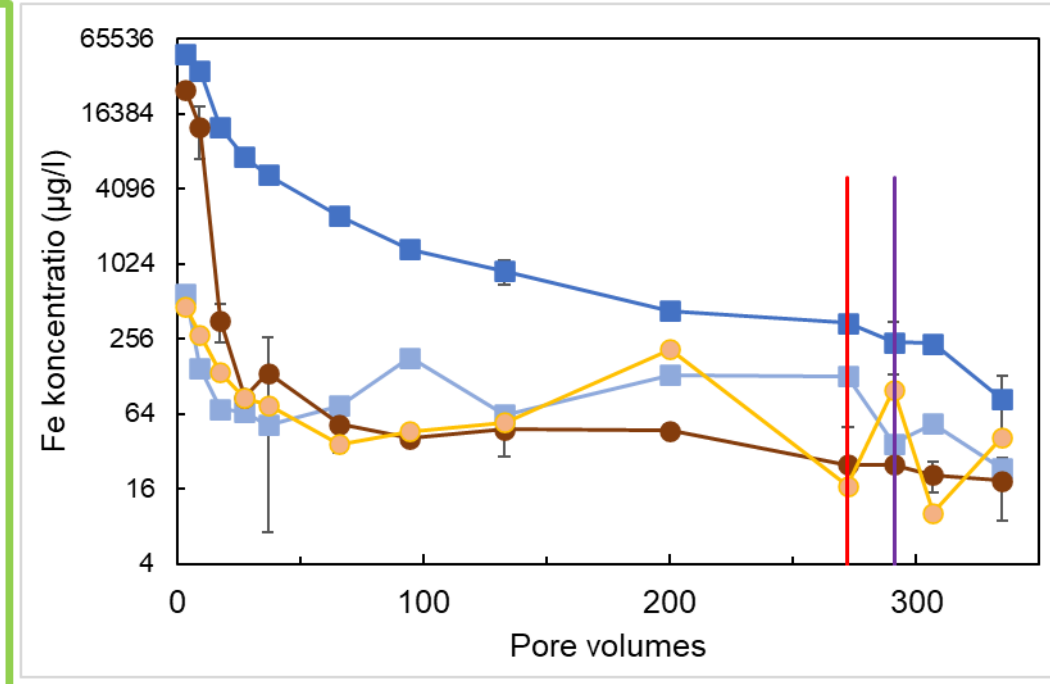
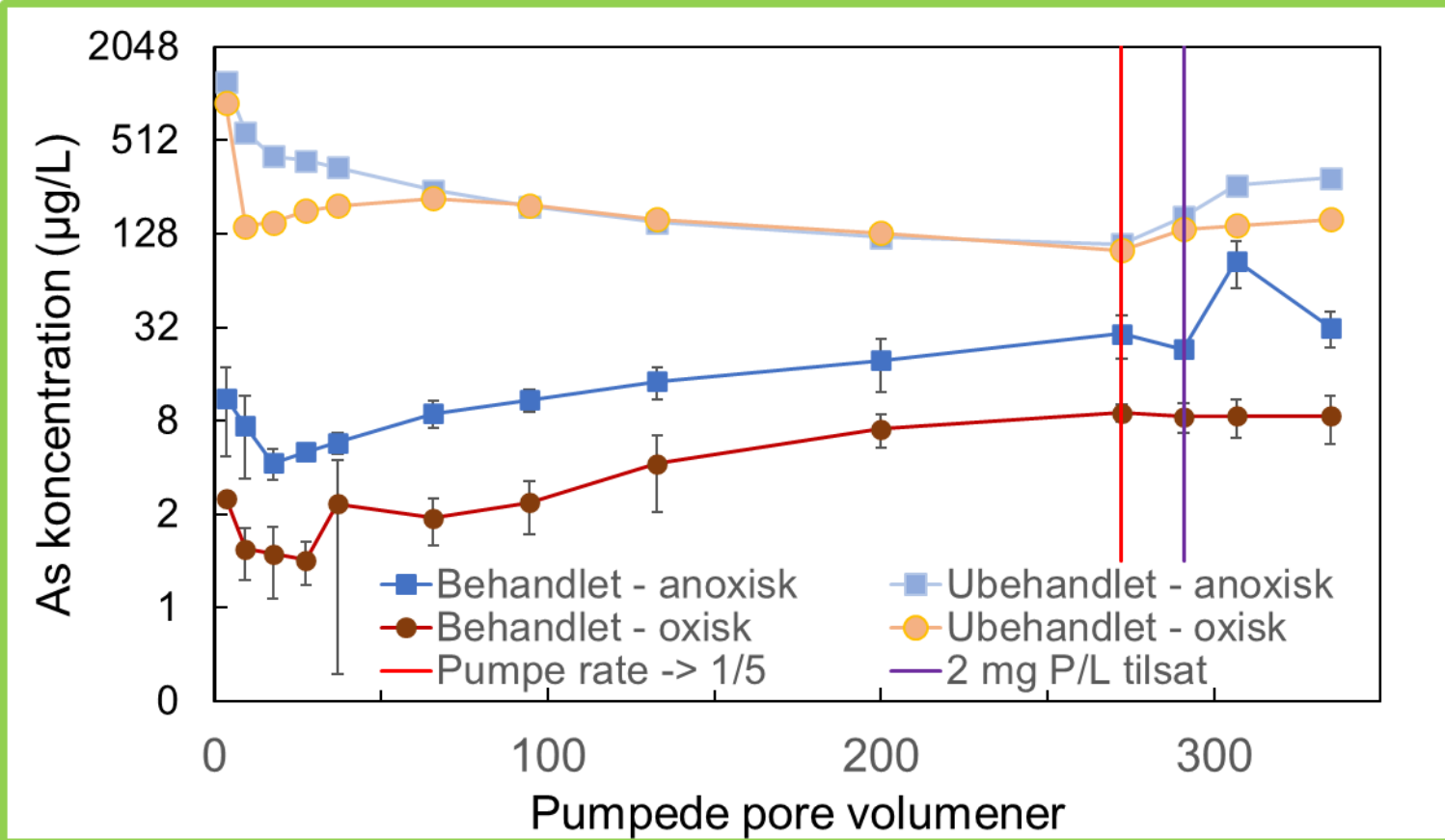
7 d i handskeboks

-> søjler

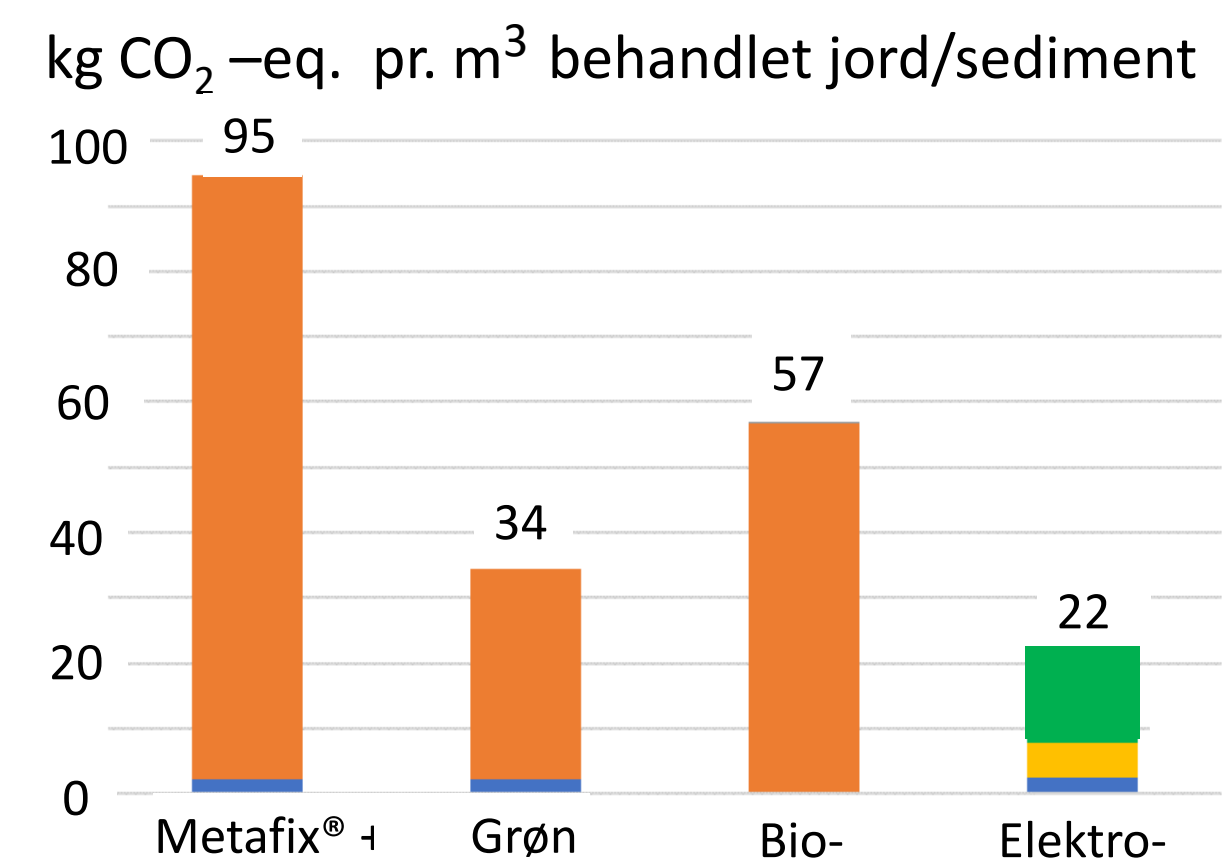
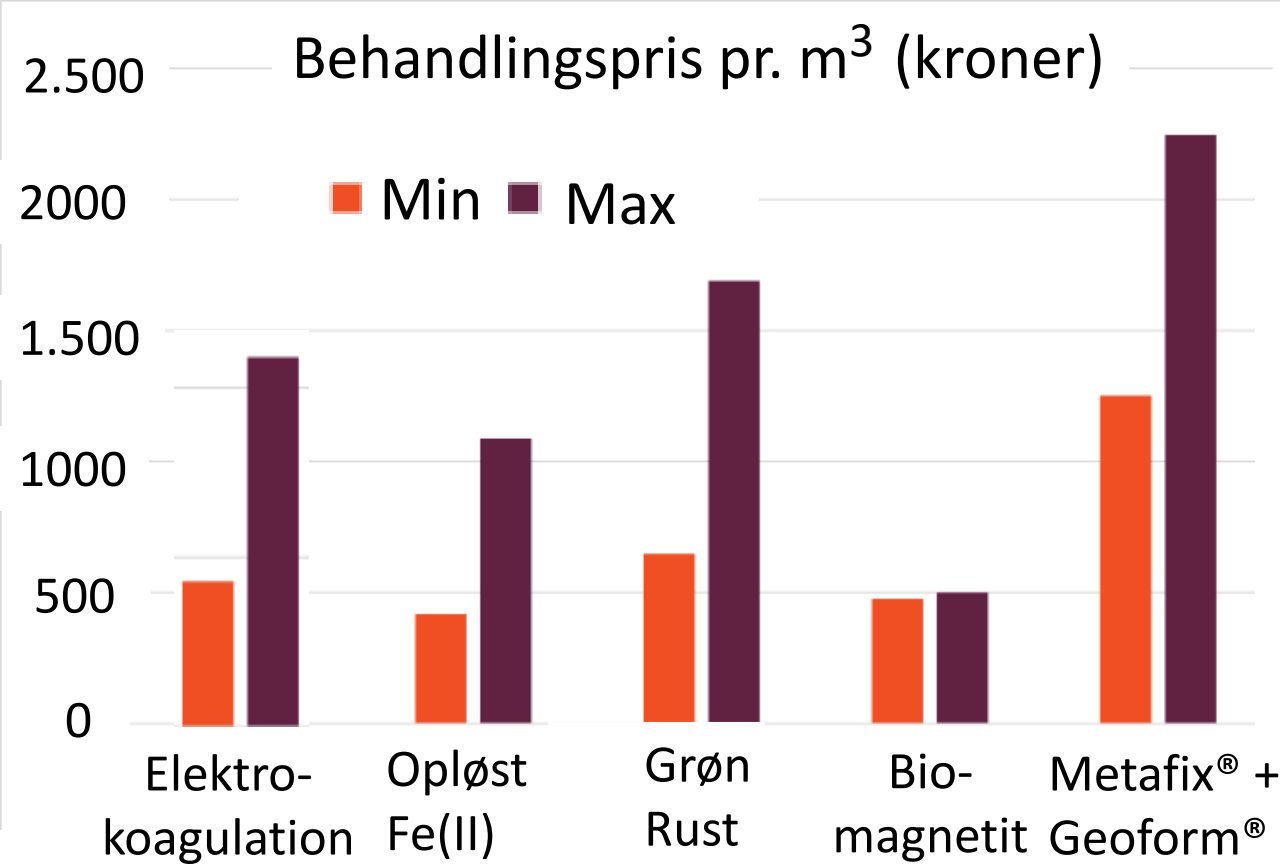


Søjleforsøg GRØN RUST

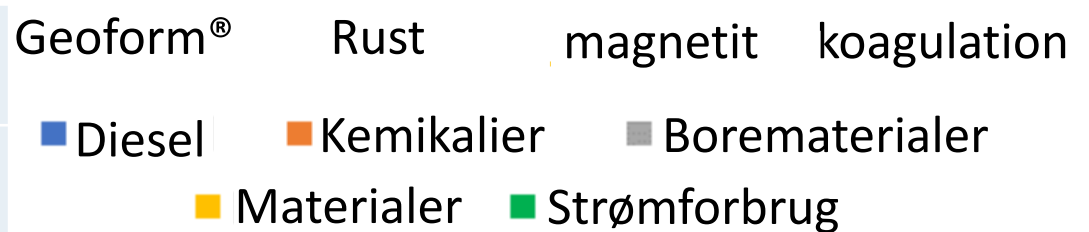




~Fe(III)-oxider ~Magnetit	ANOXISK SØJLE		OXISK SØJLE	
	Gennemsnit	stdafv.	Gennemsnit	stdafv.
% As i oxalat ekstrakt (af CBD + oxalat)	63	24	48	35
% Fe i oxalat ekstrakt (of CBD + oxalat)	10	1	10	4
As/Fe (vægt %) i oxalat ekstrakt	3.9	0	4.0	2.0
As/Fe mol% i oxalat ekstrakt	2.9	0	3.0	1.0



ELECTRO-KOAGULATION	Fe tilført ~ 0.27	vægt %
FE(II) OPLØSN. + FH	FeSO ₄ = 2.3 ; Ferrihydrite = 0.5	
GRØN RUST + FH	Green rust = 1.3 ; Ferrihydrite = 0.5	
BIOMAGNETIT	FeSO ₄ = 0.5 ; NaNO ₃ = 1.5 ; Glukose = 0.1	
METAFIX® +GEOFORM®	Metafix® = 2 ; Geoform® = 2	



Konklusioner

Lovende effekt på As(Cu,Cr) med alle Fe baserede metoder

lave ligevægts koncentrationer for behandlet i forhold til ubehandlet sediment

Søjle forsøg med 2 af metoderne indikerer robusthed

mod udvaskning min. 150-350 PV med stor andel af As i magnetit

burde gælde alle (optimerede) Fe-metoder da mineralogien er sammenlignelig



The Capital Region
of Denmark

Geosyntec
consultants
engineers | scientists | innovators

COWI

UNIVERSITY OF
COPENHAGEN



COLUMBIA UNIVERSITY
IN THE CITY OF NEW YORK



GEUS

?

?

?

?