

ATV Vintermøde 4-5 marts 2025

# Undersøgelse af den komplekse interaktion mellem grundvand og Vesterhavet, nyt undersøgelseskoncept

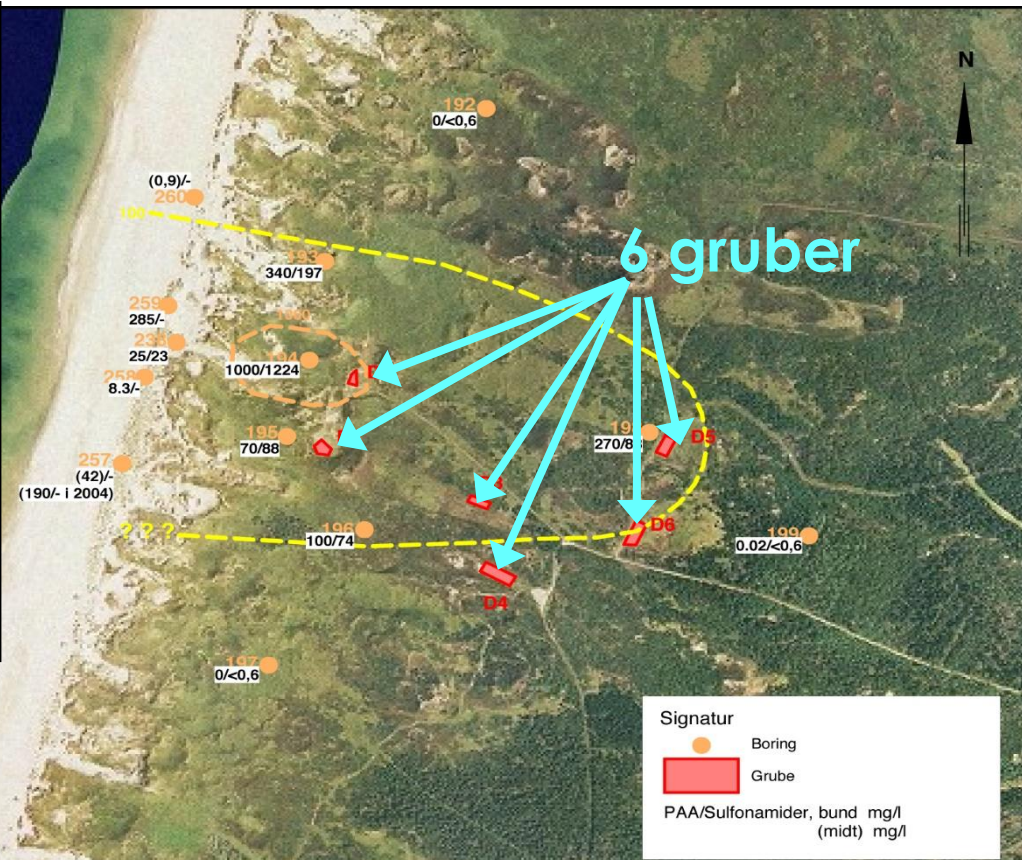
Region Syddanmark: Jette Balslev Sørensen og Klaus Bundgaard Mortensen  
COWI: [Torben Højbjerg Jørgensen \(tjr@cowi.com\)](mailto:tjr@cowi.com), Bastian Germundsson, Thea Hedegaard Jensen, Christian Helweg, Mikkel Kristensen  
Geosyntec: Leah Mackinnon, Felipe Solano og Neal Durant  
Storm Marine: Morten Christensen



# Kærgård Klitplantage – Forureningen



- ✓ Deponeret 1956-73
- ✓ 286.000 m<sup>3</sup> affald (tykt spildevand):
- 340 tons klorerede opløsningsmidler
- 1.500 tons sulfonamider, barbiturater, anilin, pyridin, phenoler, benzen, toluen.
- 15.000 tons organic syrer
- Lithium, Kviksølv, cyanid, uorganiske salte

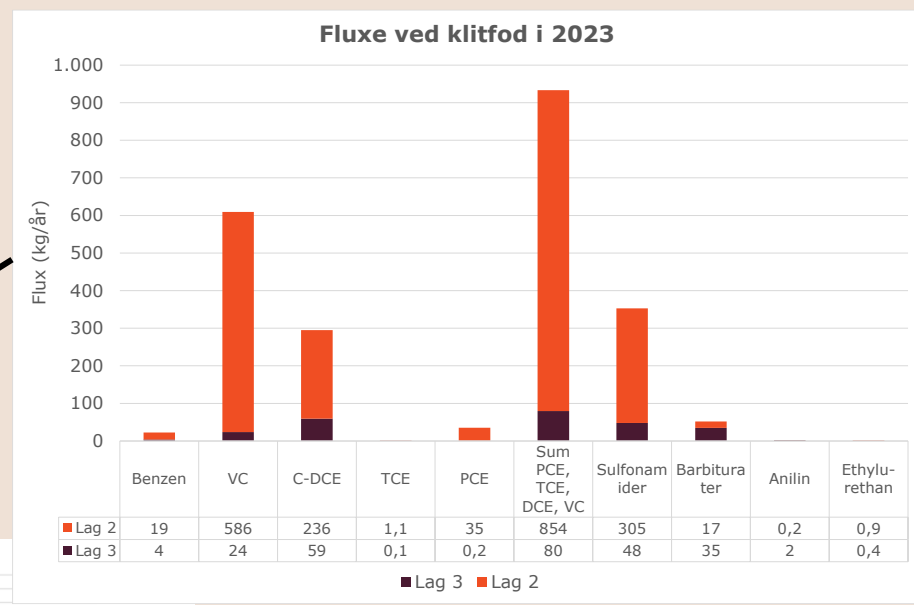
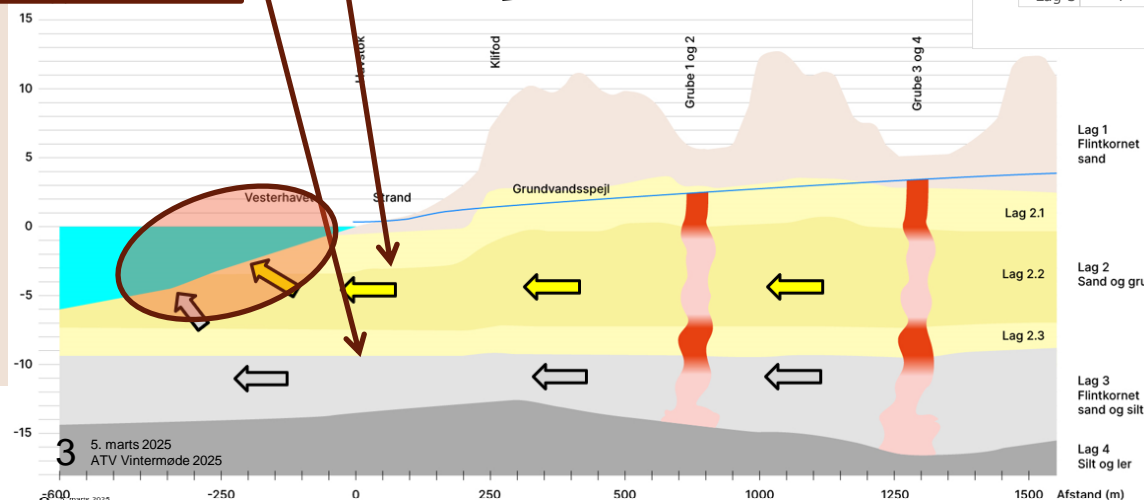


# Spredningsveje mod havet.

## Indledende fluxberegninger ved klitfod

Primært klorerede

Primært farma



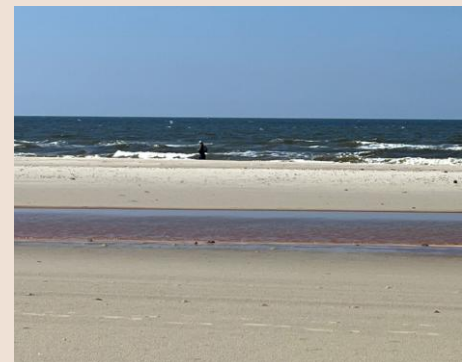
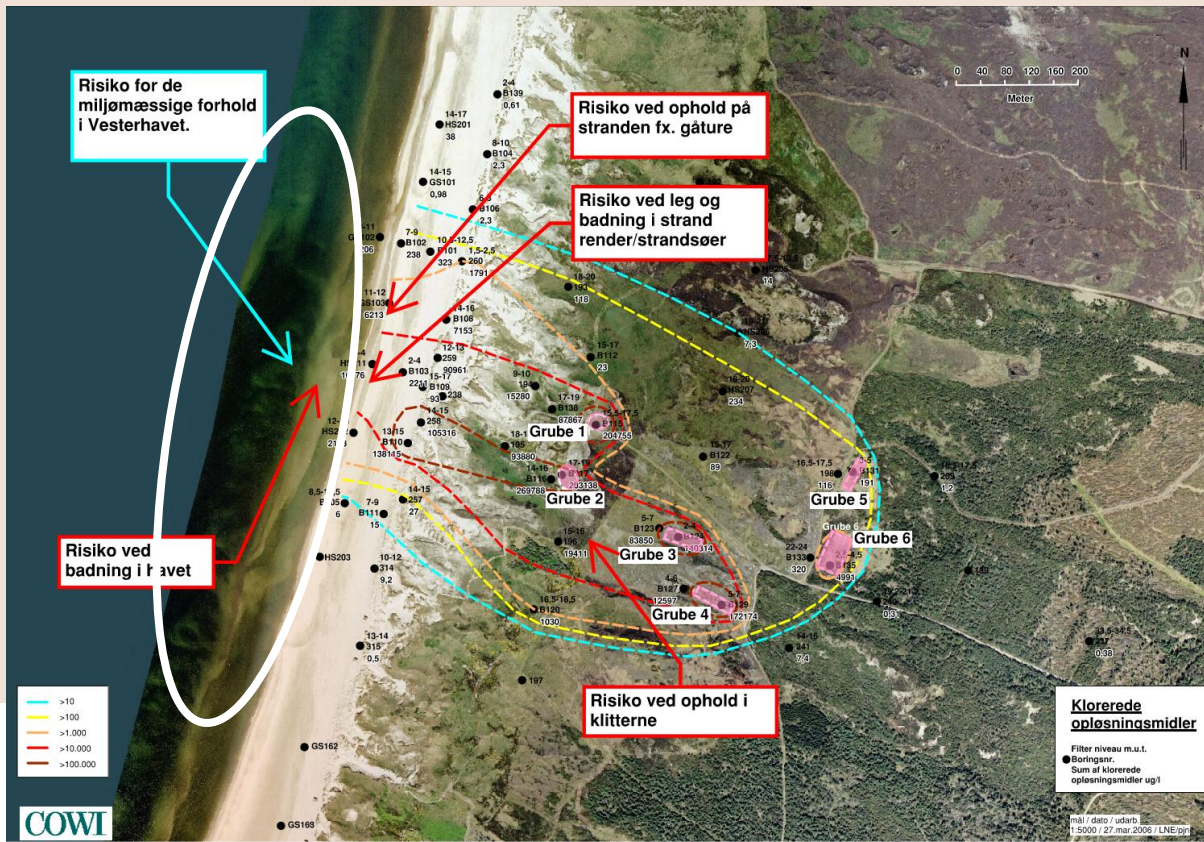
Lag 2

Lag 3



# Risikoforhold

Fokus i dette indlæg er Vesterhavet

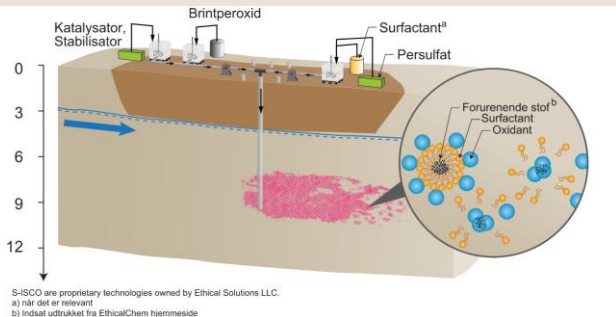


# Miljø- og sundhedskriterier - Vesterhavet

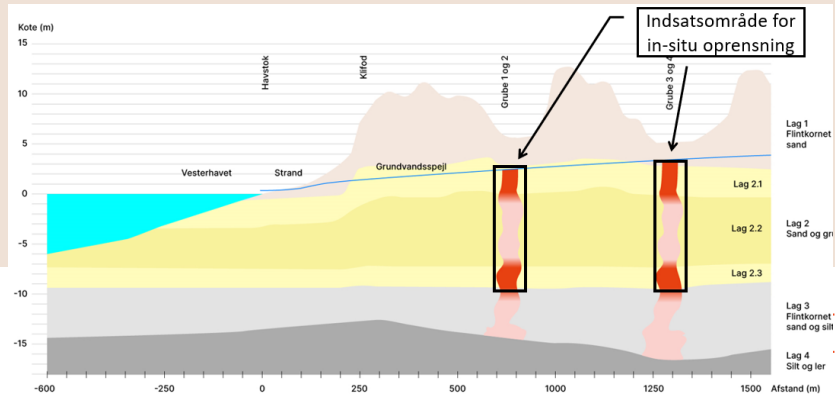
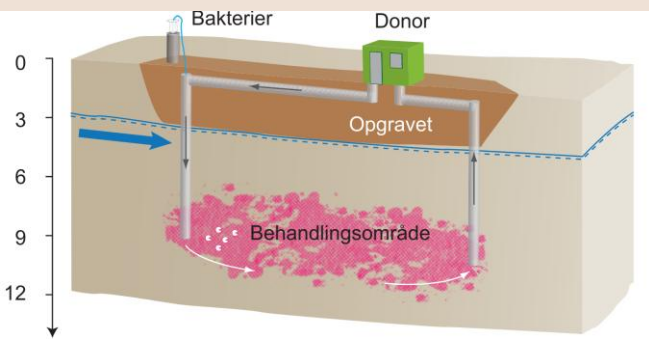
STOF/STOF-GRUPPE	RISIKO VED BADNING I HAVET, µg/L	MILJØKVALI-TETSKRITERIER FOR VESTER-HAVET, µg/L
<b>Barbiturater (sum)</b>	50	<b>0,7</b>
Sulfonamider (sum) - resistens	<b>16</b>	-
<b>Sulfonamider (sum)</b>	7.600	<b>3,9</b>
Sulfanilsyre + acetylsulfanilsyre	32.500	28
Anilin	5	0,04
Ethylurethan	0,005-0,25	50
Benzen	2-20	8
Tetrachlorethylen (PCE)	-	10
Trichlorethylen (TCE)	-	10
<b>Dichlorethylen (DCE)</b>	200-3.610	<b>0,68</b>
<b>Vinylklorid (VC)</b>	<b>0,3</b>	<b>0,05</b>

# In-situ oprensning i grube 1-4 med kemisk oxidation og biologisk metode

## Kemisk oxidation



## Biologisk metode





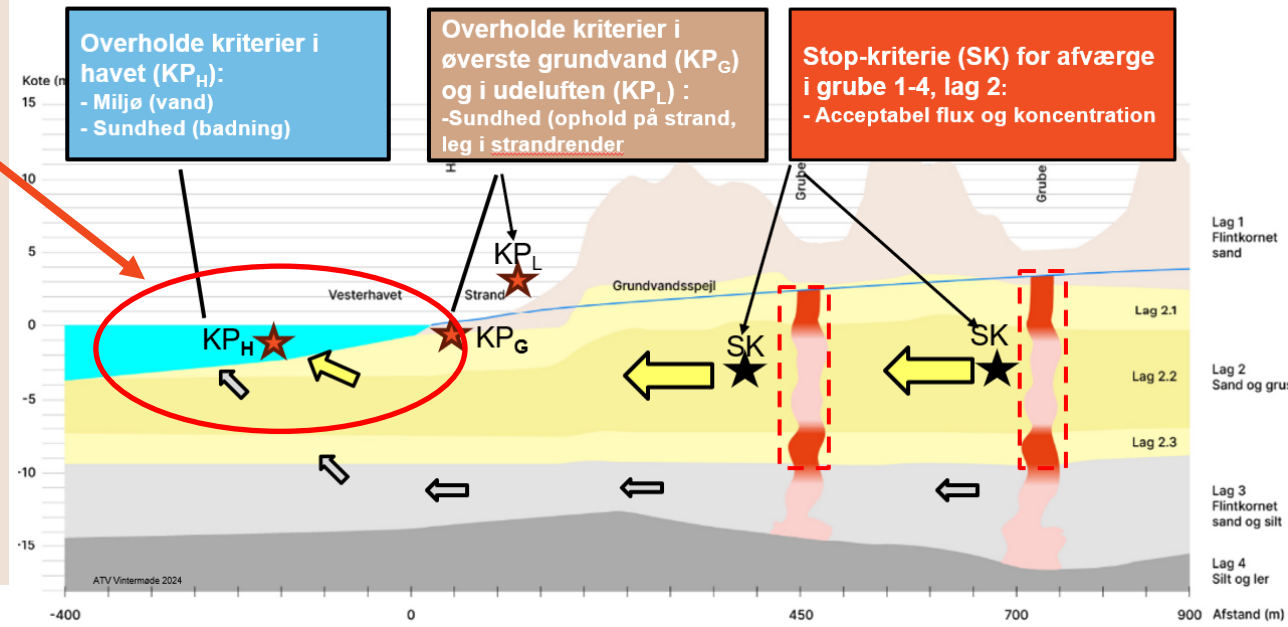


# Stopkriterier for afværgelse i grube 1-4

Den største usikkerhed er estimering af fortyndingen, når det ferske grundvand udstrømmer til Vesterhavet

*Fokus i dette indlæg er Vesterhavet*

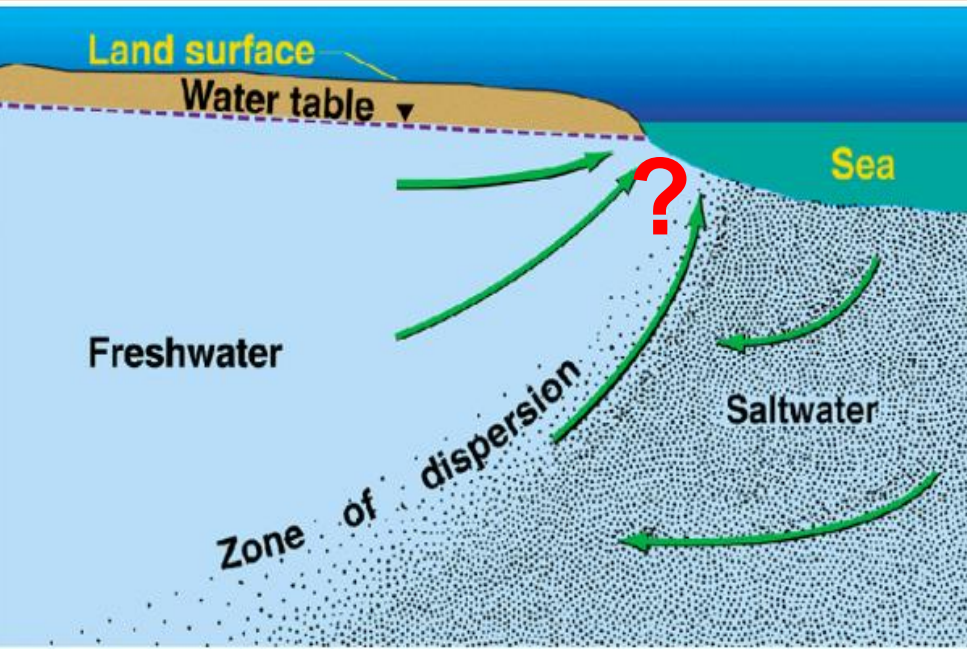
## Stopkriterier for afværgelse - princip





# Konceptuel udstrømning af grundvandet til havet

- I teorien vil det ferske grundvand presses tæt på havstokken af det salte grundvand (saltvandskile)
- Undersøgelser i Kærgård tyder på en mere kompliceret udstrømning.
- Udstrømning har stor betydning for fortyndingen

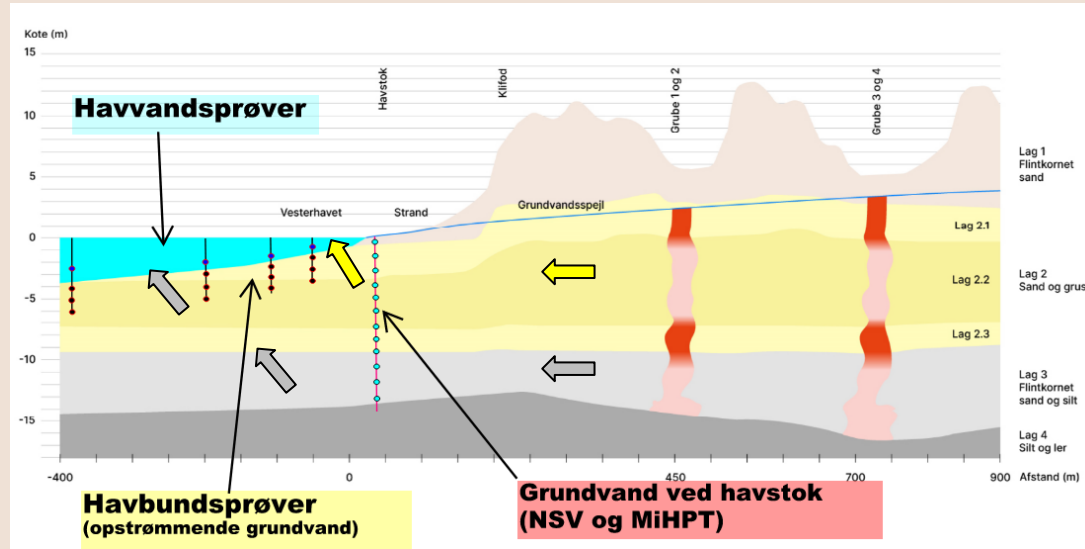
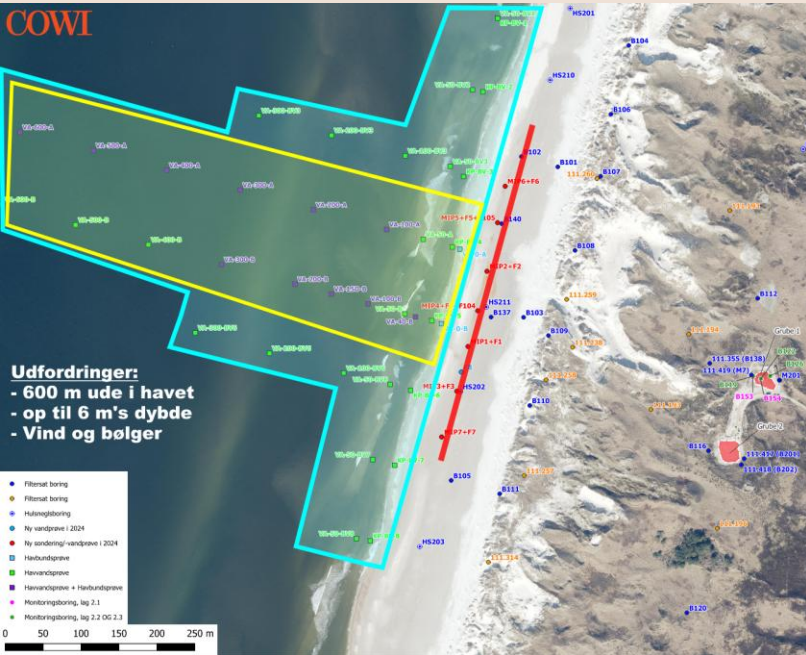


Afstand fra kysten	Min fortyndingsfaktor (DHI, 2006)
Tæt på havstok	Ca. 600
200 m	Ca. 2.000
400 m	Ca. 4.000
600 m	Ca. 6.000

# Undersøgelser af udstrømning til havet i 2024

1. *Undersøgelsestransekt i GV zonen ved havstok (grundvandsundersøgelser)*

2. *Udsivningsforhold fra grundvand til havet (havundersøgelser)*

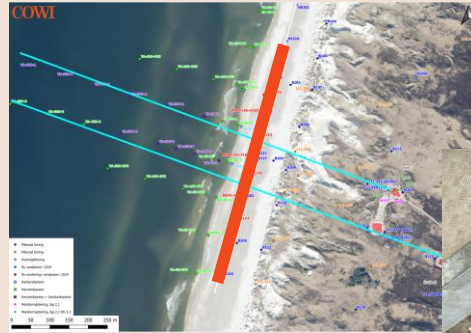




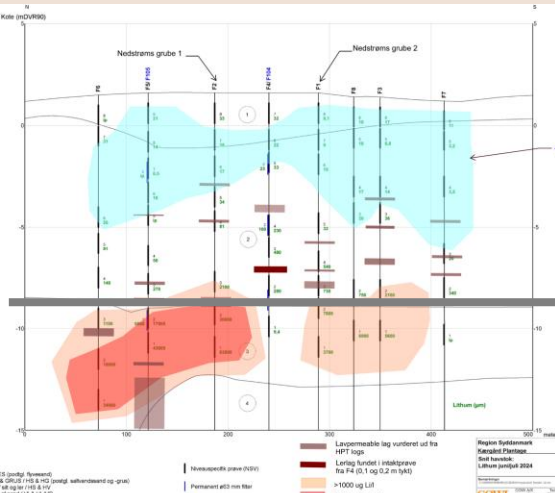
# Resultater-grundvandsforurening ved havstok

## Undersøgelsestransekt:

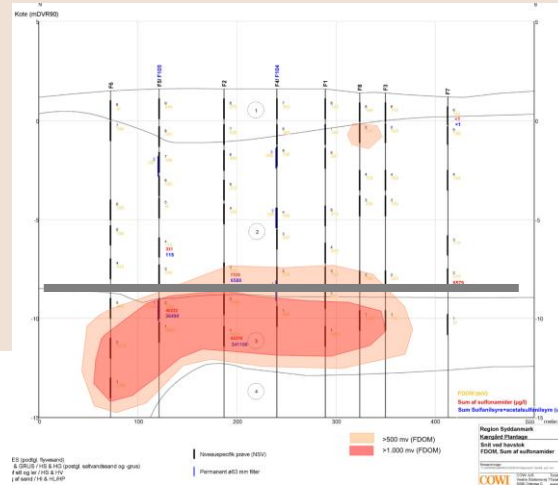
- Mihpt
- NSV
- Intaktprøver
- Filtersatte boringer
- Slug test



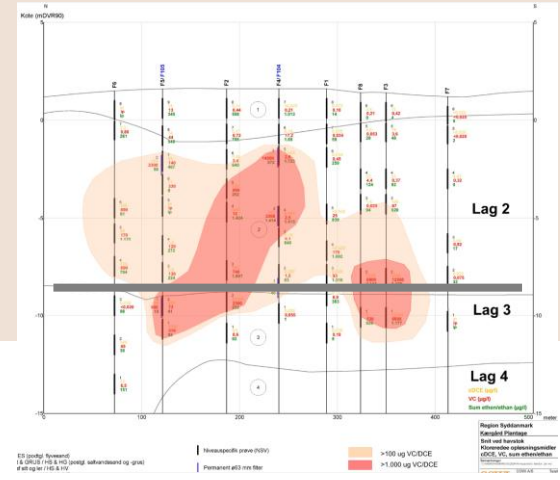
## Lithium Primært i lag 3



## Sulfonamider: Primært i lag 3



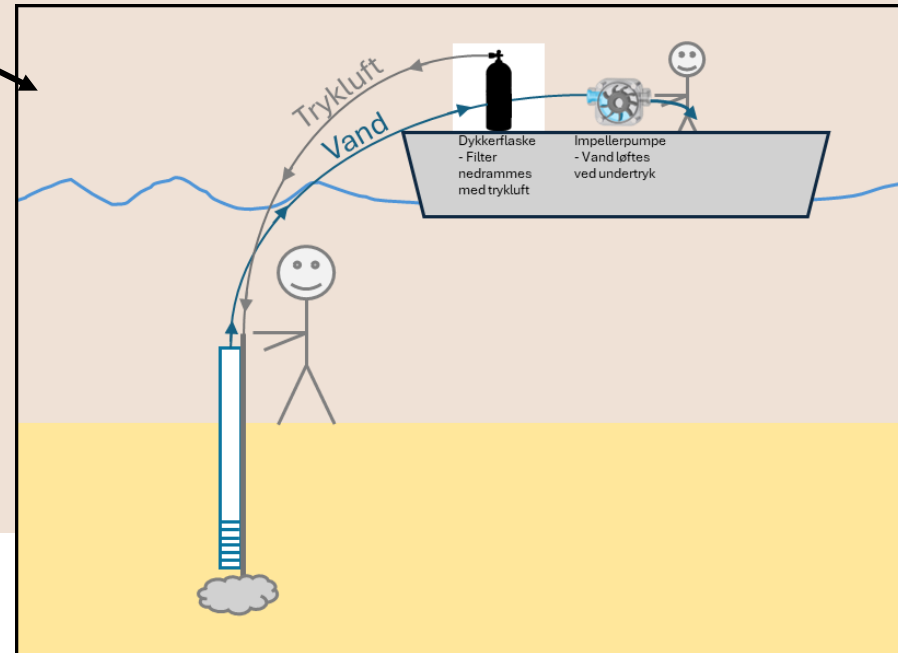
## Klor. opløsningsmidler: VC og DCE, Primært i lag 2



# Undersøgelse i havet

- Havvandsprøver ca. 1 m over havbund (udtaget med Haps vandprøvetager)
- Havbundsprøver (ca. 1-2 m under havbund) med udtagning af vandprøver.
- Temperaturmålinger i havbund

Analyser: Forureningsstoffer, feltparametre, redoxparametre, nedbrydningskomponenter, uorganiske indikatorparametre



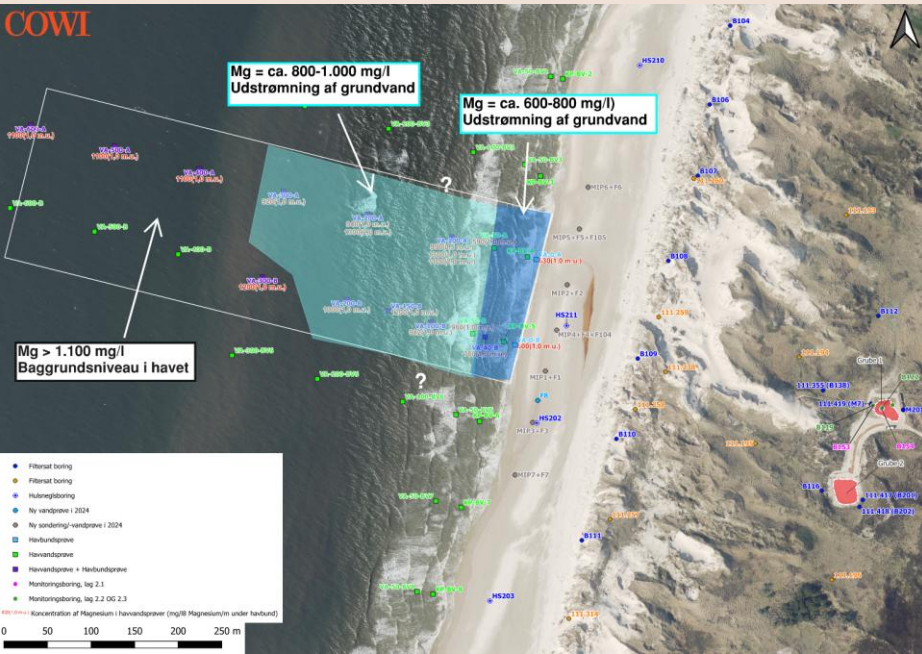




# Resultater: Magnesium og lithium i havbundsprøver

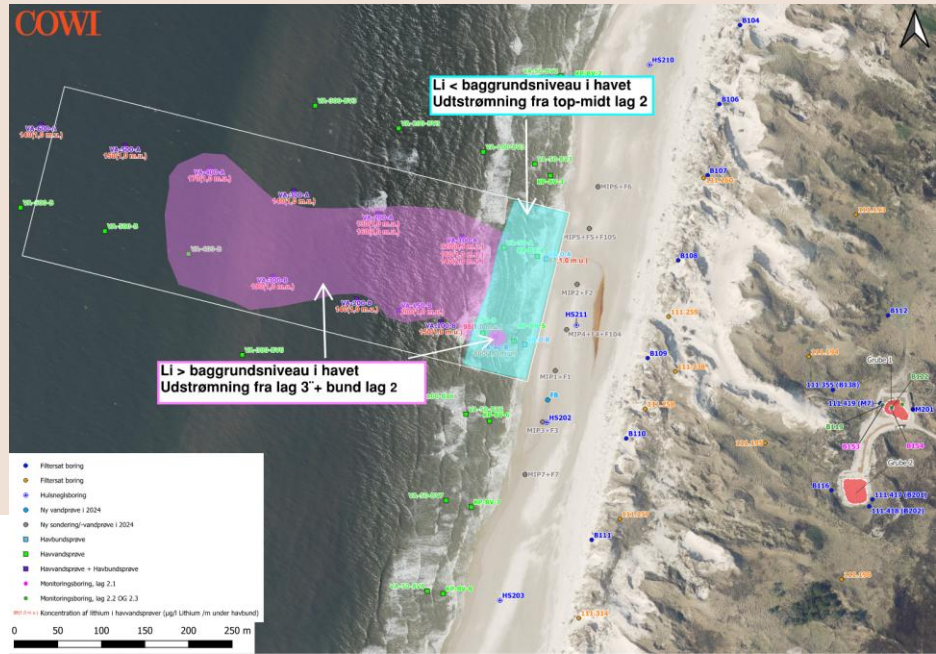
## Magnesium i havbundsprøver

- Udstrømning af grundvand i op til 300 m fra kysten?



## Lithium i havbundsprøver:

- Udstrømning fra top-midt af lag 2 tæt på kysten
- Udstrømning fra bund af lag 2/lag 3 i større afstand fra kysten – op til 400 m?

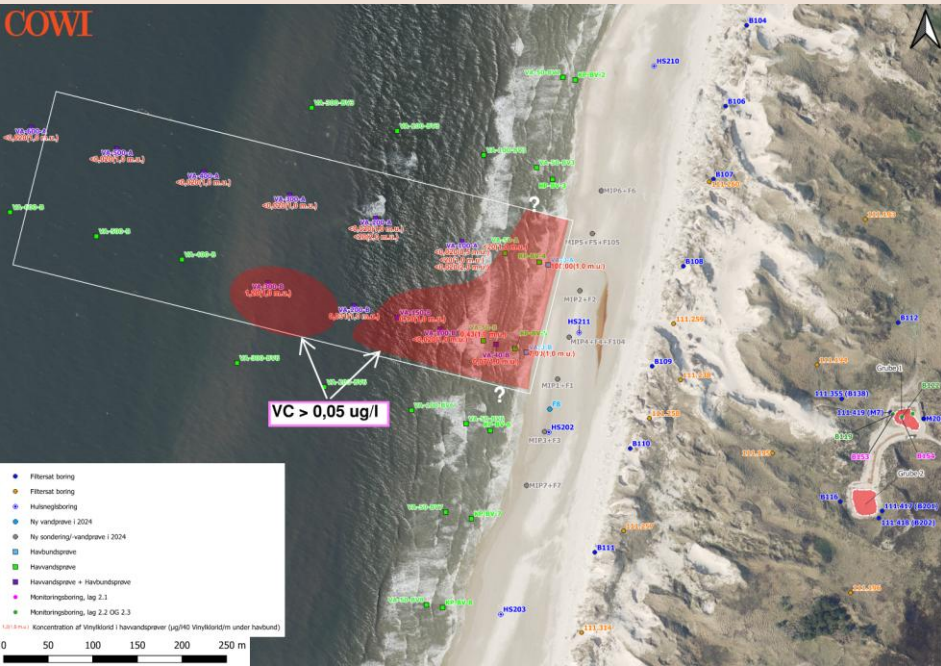




# Resultater: Vinylklorid i havbunds og havvandsprøver

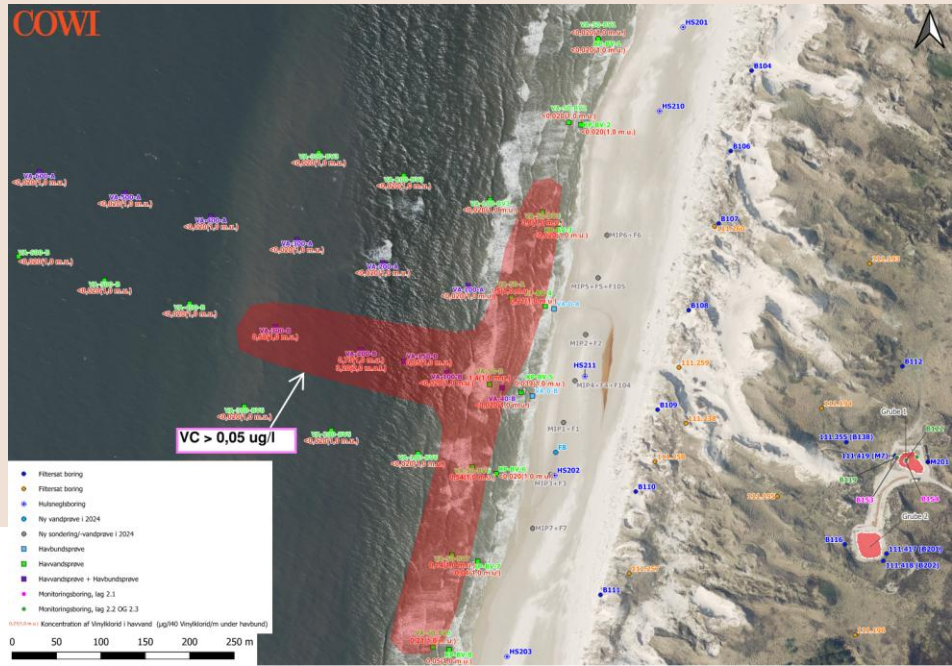
## VC i havbundsprøver:

- Opstrømning op til 300 m fra kysten



## VC i havvandsprøver

- Overskridelse af VC KK tæt på kysten samt op til 200 m fra kysten



# Beregning af fortynding i havet

Fortyndingsmodel fra DHI (2006) for tre væsentlige og kritiske strømningsscenarier langs kysten:

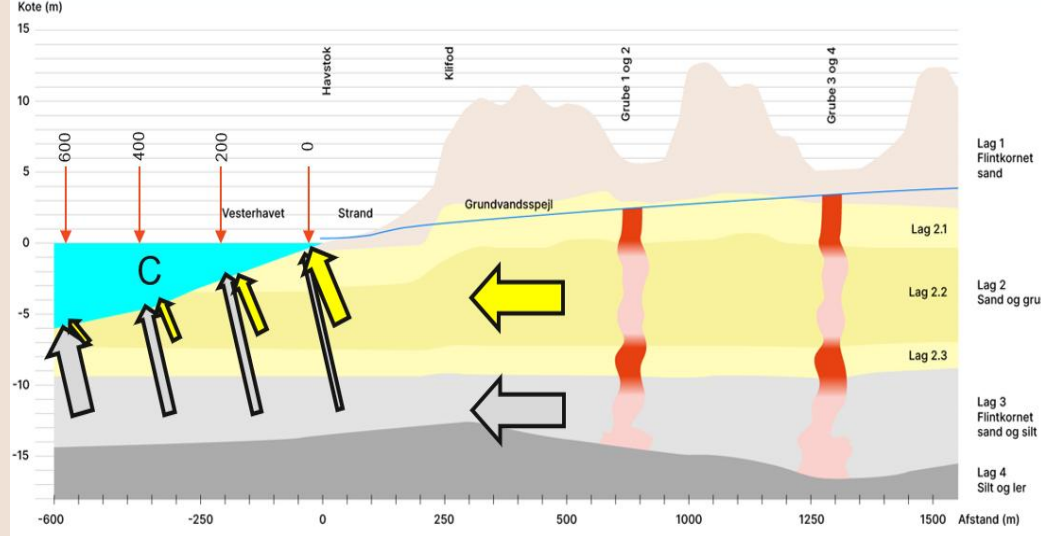
1. En ren tidevandsstrøm,
2. En ren bølgeinduceret strøm med 1 meter høje bølger fra NV
3. En kombination af ovenstående.

## Input:

- Forureningsflux fra Kærgård plantage

## Output:

- Koncentrationer i havet

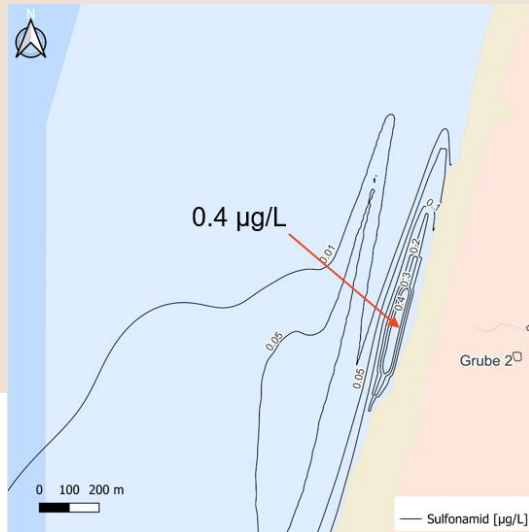


Udstørningsfraktion	Fra lag 2	Fra lag 3
Havstok	80%	20%
200 m ude	20%	80%

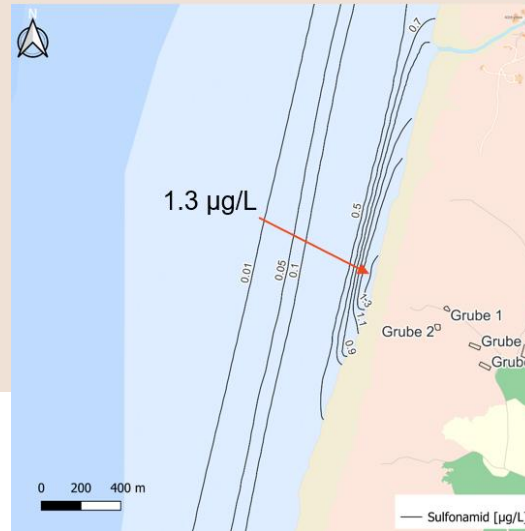
# Resultater: Indledende beregning af fortynding i havet af sulfonamider

	Koncentration ( $\mu\text{l}$ )
Beregnet max koncentration	1,3
Målt max koncentration i 2023-2024	<1
Laveste kvalitetskvalitetskriterie (havmiljø)	3,9

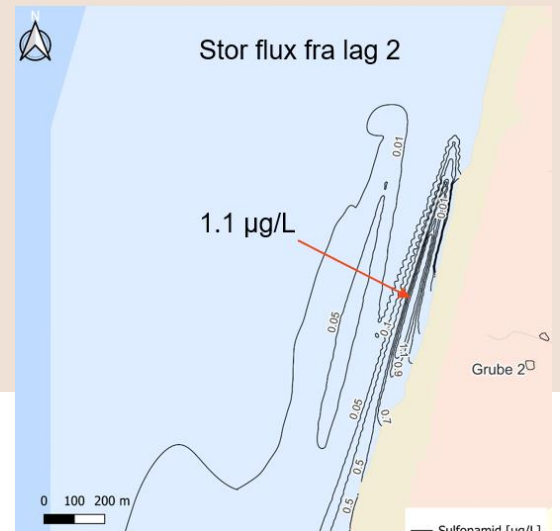
## Med bølger



## Med strøm (tidevand)



## Med strøm og bølger

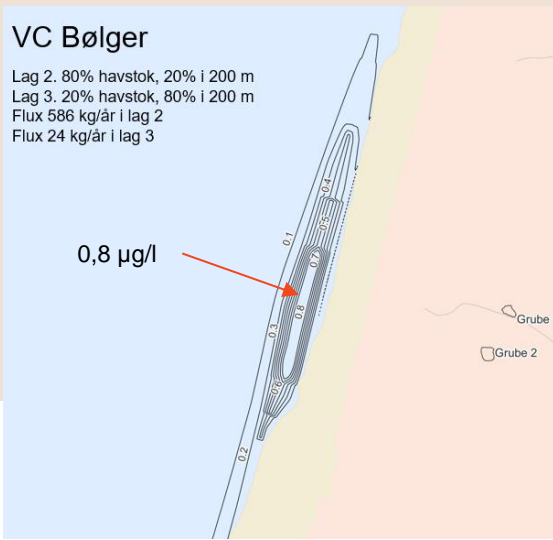




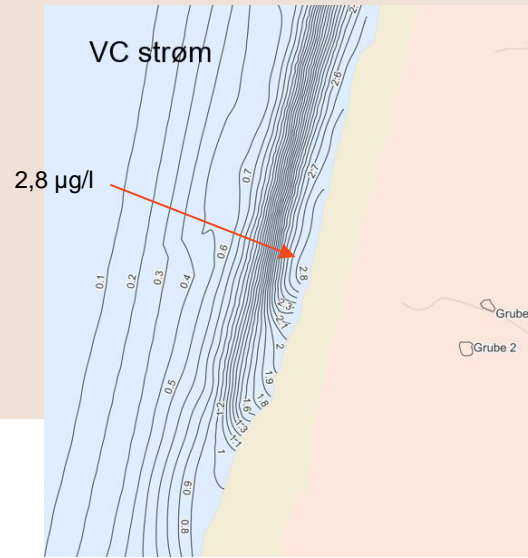
# Resultater: Indledende beregning af fortynding i havet af vinylklorid

	Koncentration ( $\mu\text{l}$ )
Beregnet max koncentration	2,8
Målt max koncentration i 2023-2024	3,8
Laveste kvalitetskvalitetskriterie (havmiljø)	0,05

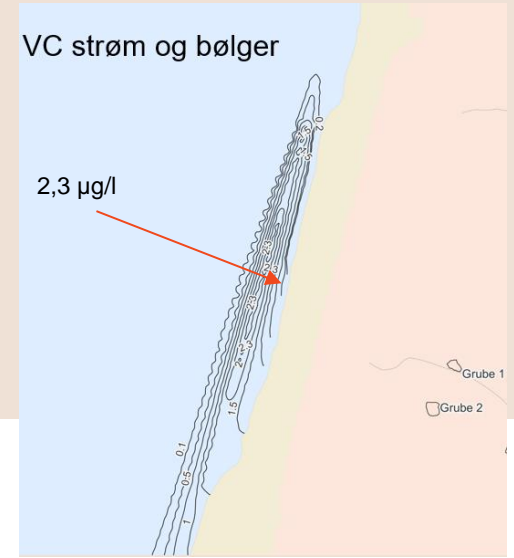
## Med bølger



## Med strøm

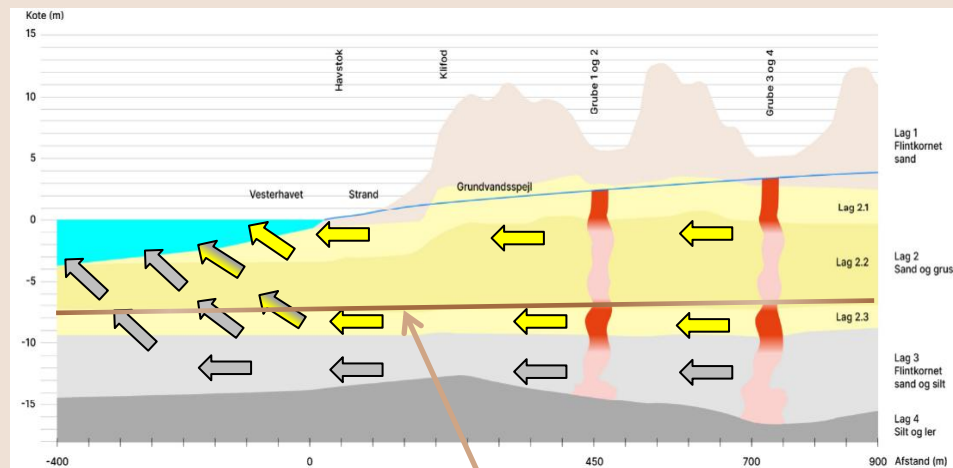


## Med strøm og bølger



# Lessons learned

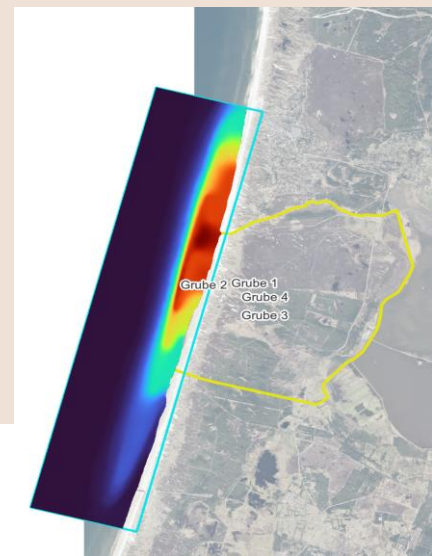
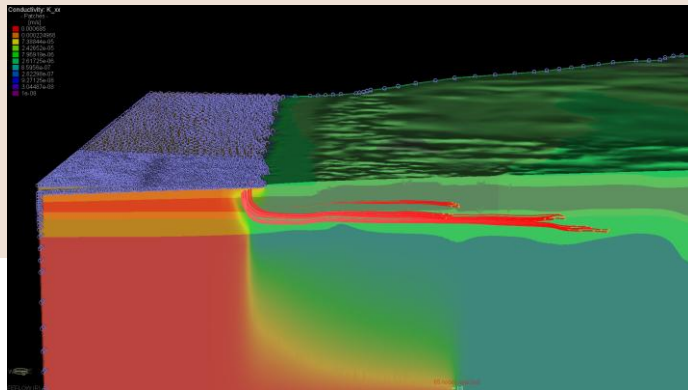
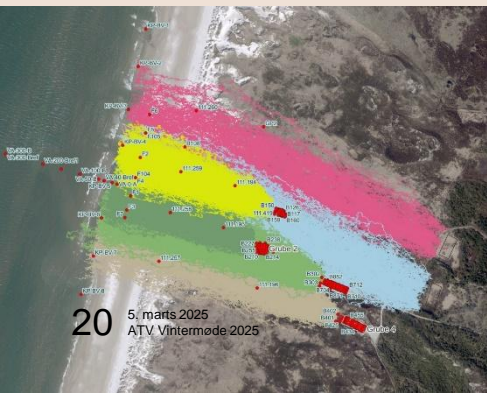
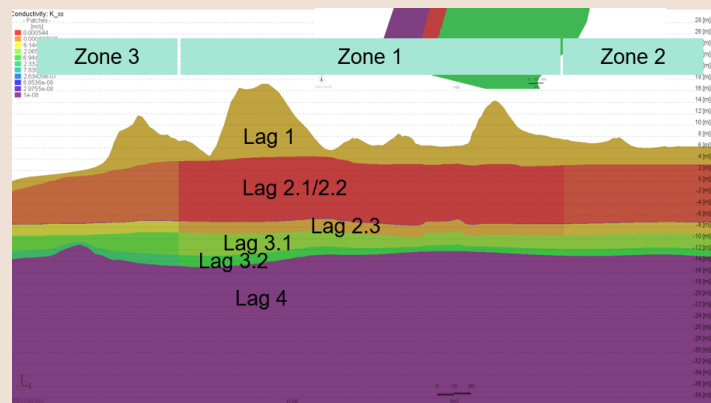
- Indledende undersøgelser bekræfter "tese" om at udstrømningen også sker i større afstand fra kysten
- Evt. styret af mere lavpermeable aflejringer
- Modelberegninger passer med "virkeligheden" – og kan bruges som redskab til fremtidig risikovurdering/-stopkriterier i havet -
- Ny udviklet metode til undersøgelser af udstrømningsforholdene til havet har været et nyttigt redskab -



Evt. lavpermeabelt lag ?

# Videre arbejde

- Opdatering af den konceptuelle geologiske/hydrogeologiske forståelsesmodel ved udstrømningszonen -
- Grundvandsmodel opdateres resultater fra stor monitoringsrunde i 2024-25 i hele Kærgård Plantage
  - Nye beregninger af udstrømning og fluxe til havet
- Nye fortyndingsberegninger i havet
- Ny kalibrering med havvandsmålinger
- Yderligere undersøgelser af opstrømning til havet?
  - Temperaturmålinger?
  - Basis for udviklingsprojekt?





# Tak



Region Syddanmark: Jette Balslev Sørensen og Klaus Bundgaard Mortensen  
COWI: Torben Højbjerg Jørgensen (tjr@cowi.com), Bastian Germundsson, Thea Hegaard Jensen,  
Mikkel Kristensen, Christian Helweg, Thomas Ruby Bentzen  
Geosyntec, USA: Leah Mackinnon, Felipe Solano og Neal Durant  
Storm Marine: Morten Christensen

DTU: Tak til Mette Broholm for udlån af måleudstyr til feltmåling af sulfonamider (FDOM)