

Cecilie Bang Ottosen, Vinni Rønde, Ursula S. McKnight, Mette M. Broholm, Poul L. Bjerg, Lone Dissing og Jørn Pedersen

# Nedbrydning af chlorerede ethener i forureningsfanen der strømmer ud i Grindsted Å

# Baggrund

## Den centrale del af fanen fra Grindstedværket



Primært nedbrydningsprodukterne cis-DCE og VC.

Betydelig forureningsflux ved den nordlige åbrink, gennem åbunden og i åen.

Nedbrydningsprocesser anderledes i ånære systemer.

Behov for en vurdering af nedbrydningsprocesserne ved Grindsted Å:

- Potentielle oprensningmetoder.
- Fagligt grundlag for videre undersøgelser af nedbrydningen i hele forureningsfanen.

# Formål

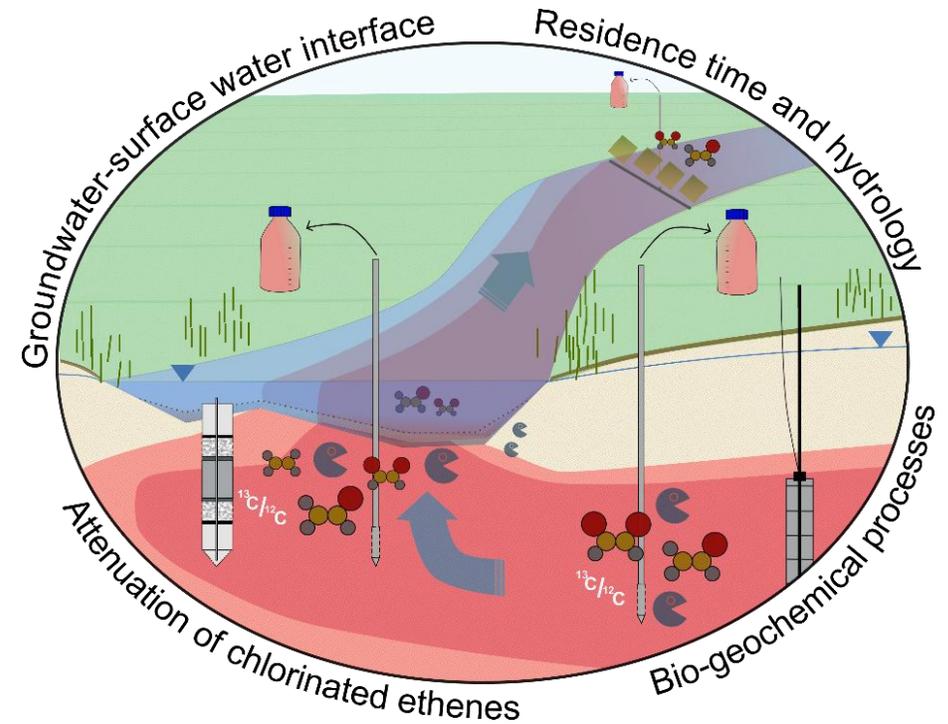
Potentialet og omfanget af nedbrydningen af chlorerede ethener i åbrink og åbund.

Specialanalyser til dokumentation og vurdering af:

- Betingelserne for nedbrydning
- Nedbrydningsforekomst
- Nedbrydningsrater/omfang

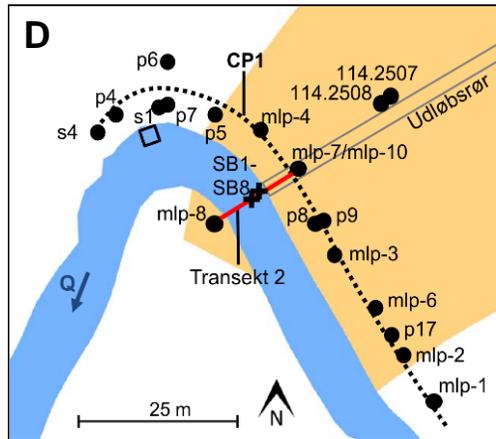
Feltundersøgelser over 7 år, forskellige metoder:

- Hydrogeokemiske
- Kemiske
- Mikrobielle

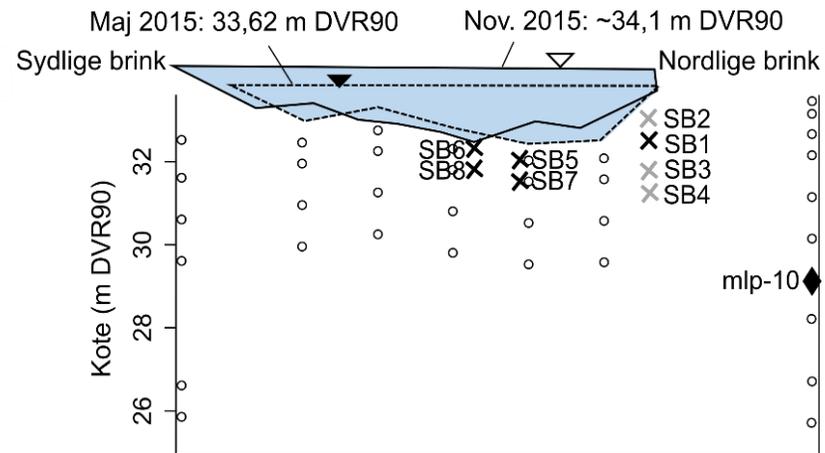


# Ånære system

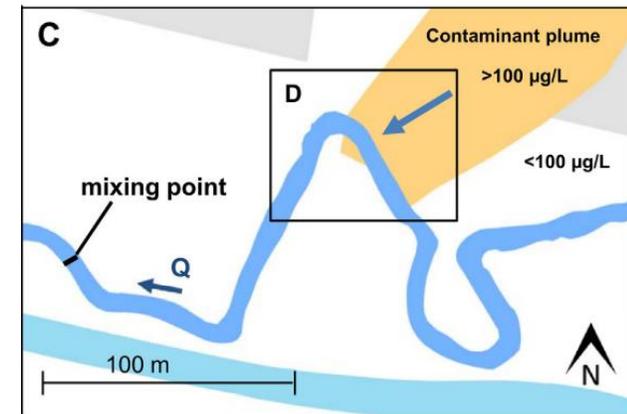
## I. Åbrink



## II. Åbund



## III. Åvand



# Hydrogeologi



## Åbrink:

- PFM: 0.3 m/dag
- PVP: 0.8 m/dag
- Darcy: 1.4 m/dag



## Åbund:

- SBPFM: 0.3 m/dag
- Darcy: 2.1 m/dag
- SBPVP: 5.9 m/dag

Estimerede porevandshastigheder fra åbrinken til åen er høje (0.3-5.9 m/dag).

Opholdstiden er 0.5-37 dage fra åbrink til å.

# Redoxforhold og NVOOC

Centralt i forureningsfanen:

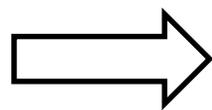
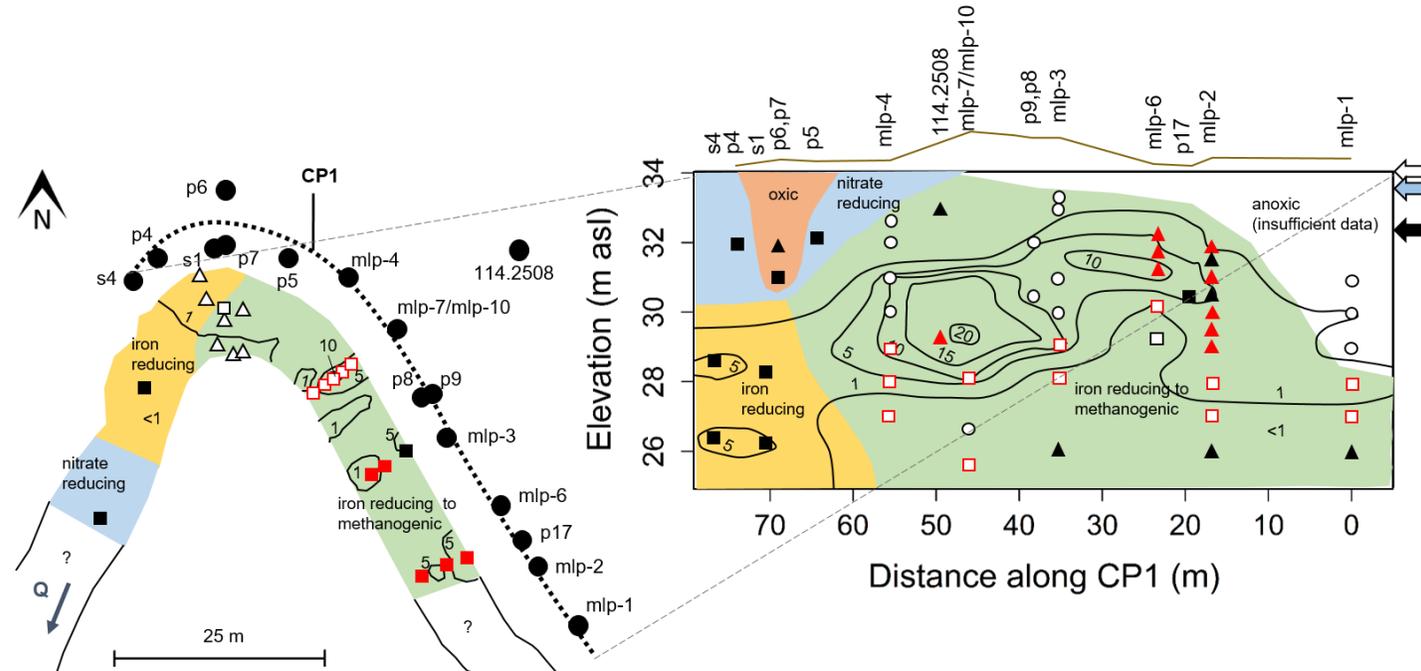
- Jernreducerende til metanproducerende

Udkanten af fanen:

- Mindre reducerede forhold

Elektrondonor til stede:

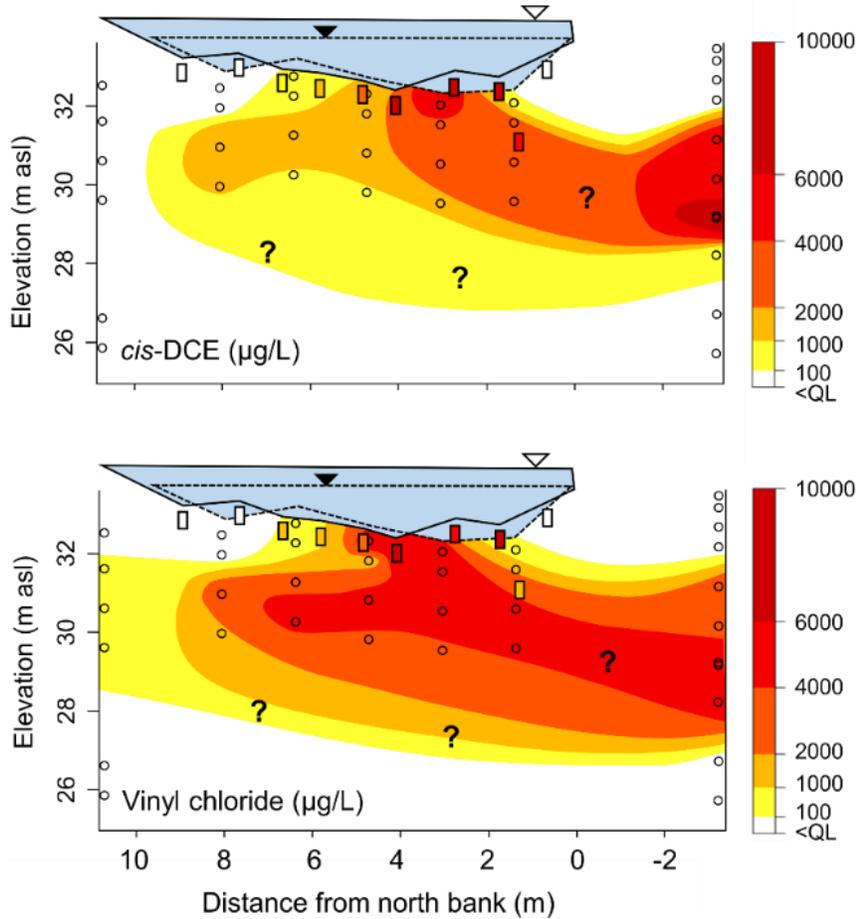
- Naturligt opløst organisk materiale.
- Forureningsstoffer, som benzen og farmaceutiske stoffer.



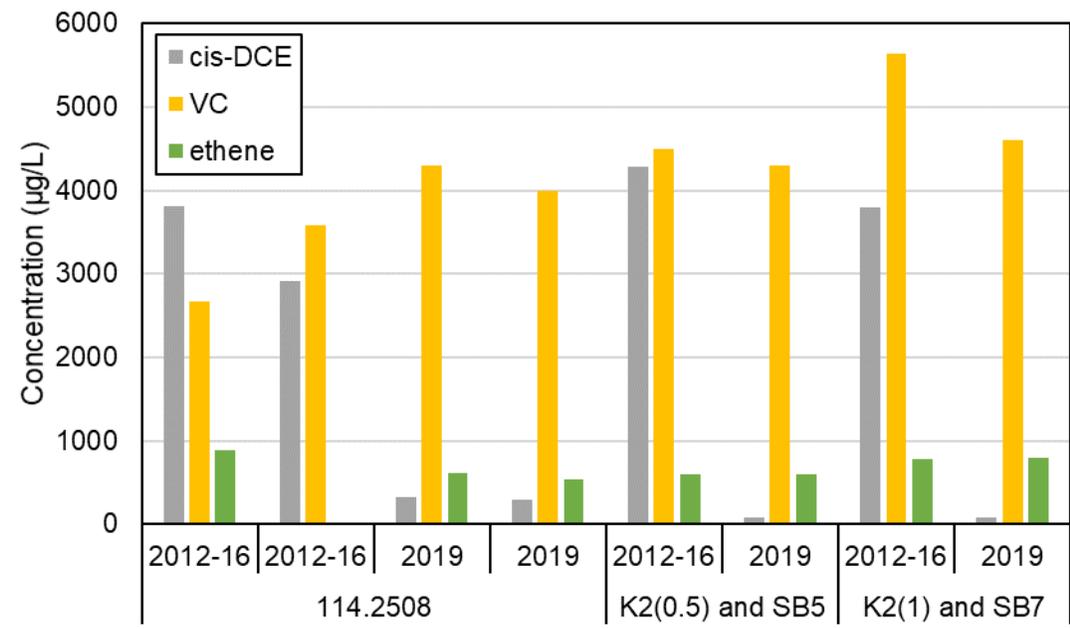
Stort potentiale for nedbrydning med komplet dechlorering af chlorerede ethener centralt i fanen.

# Koncentrationer af chlorerede ethener

2012-16:



2012-16: vs. 2019:



Fanen af de chlorerede ethener består primært af *cis*-DCE, VC og ethen.

Aftaget *cis*-DCE niveau i 2019 → Nedbrydning?

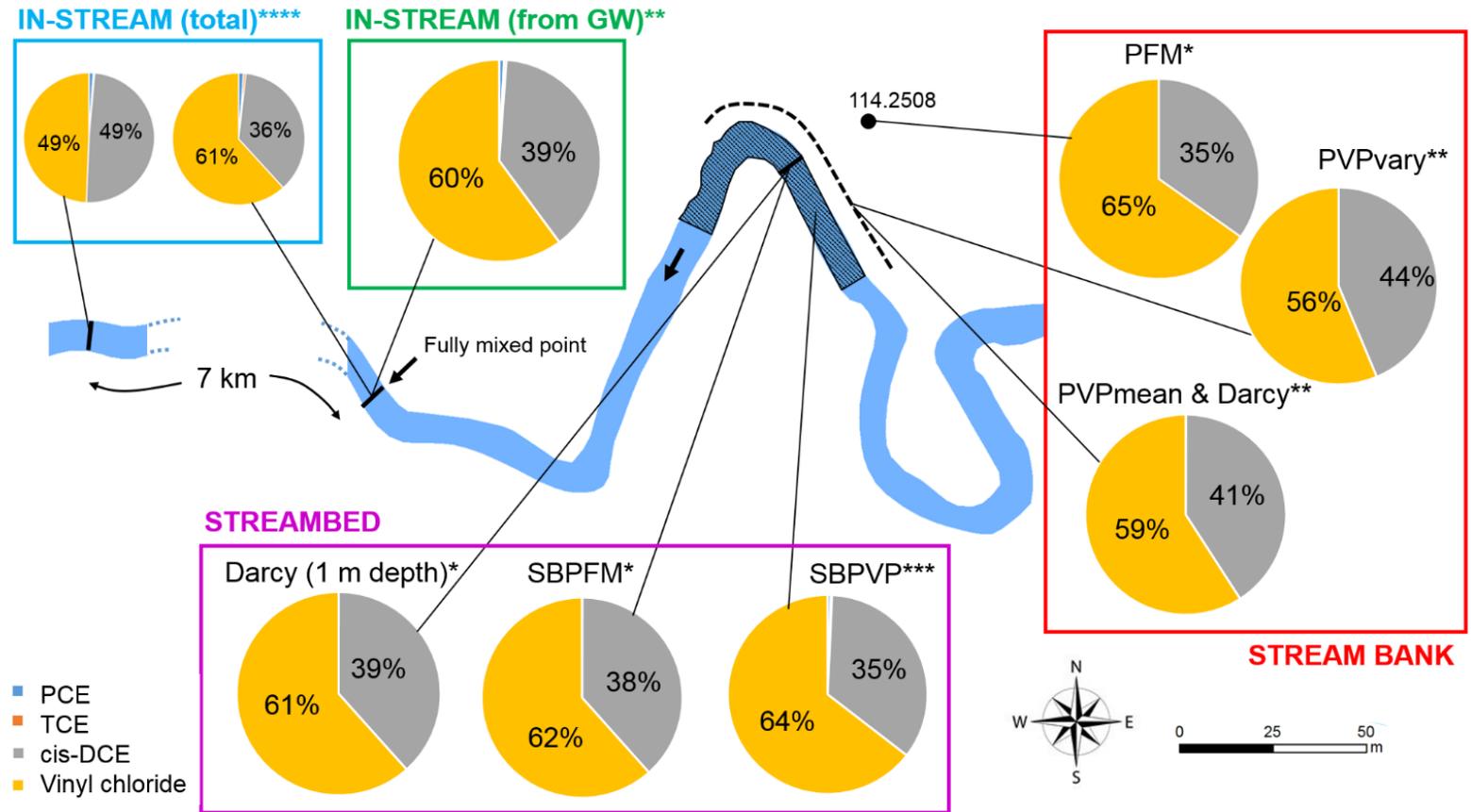
# Stofspecifik massebalance af chlorerede ethener

## 2012-16 (Figur):

- Stof-molfordeling baseret på forureningsflux.
- Konstant langs fanens strømningsretning.
- Lille/ingen reduktiv dechlorering eller fordampning.

## 2019:

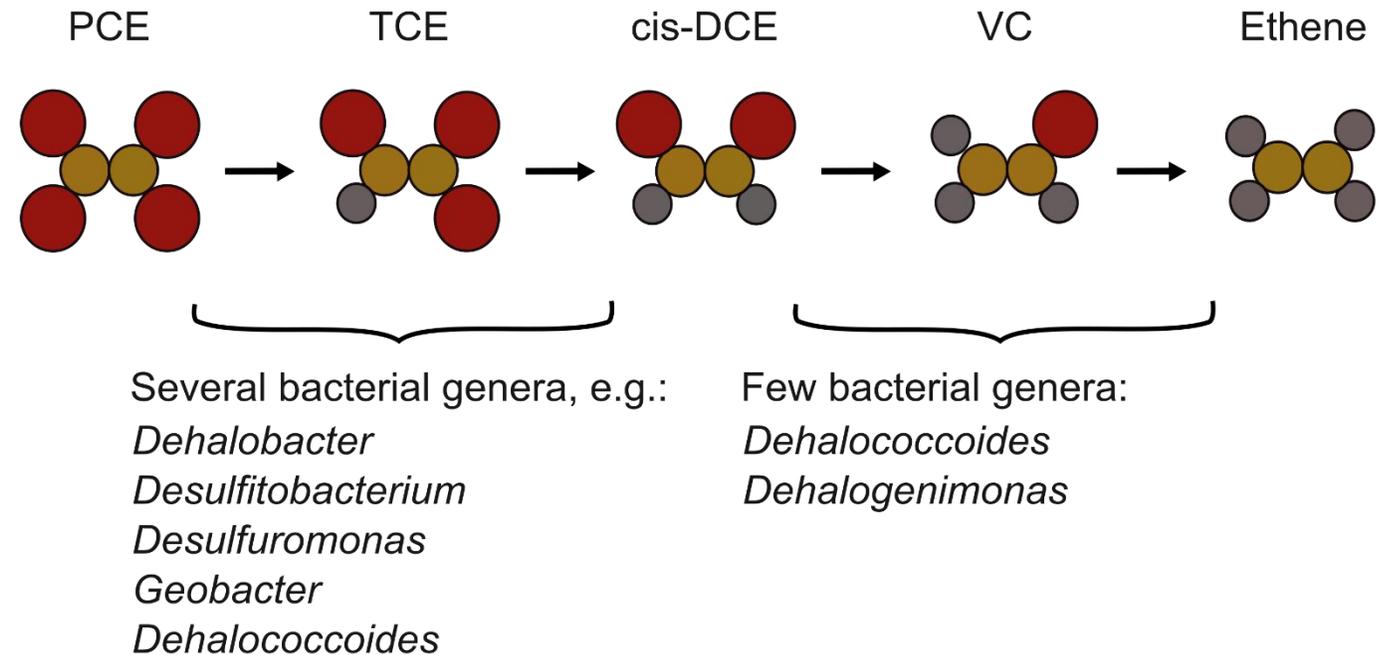
- Åbrink og åbund: (~95:5 for VC:cis-DCE).
- Åen: i den øvre ende af intervallet (~72:28 VC:cis-DCE).
- Lokal forøgelse i den reduktive dechlorering centralt i fanen.



# Specifikke bakterier: Teori

Nedbrydningspotentiale:

- Specifikke bakterier
- Funktionelle gener



# Specifikke bakterier: Resultater

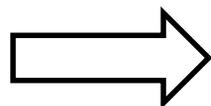
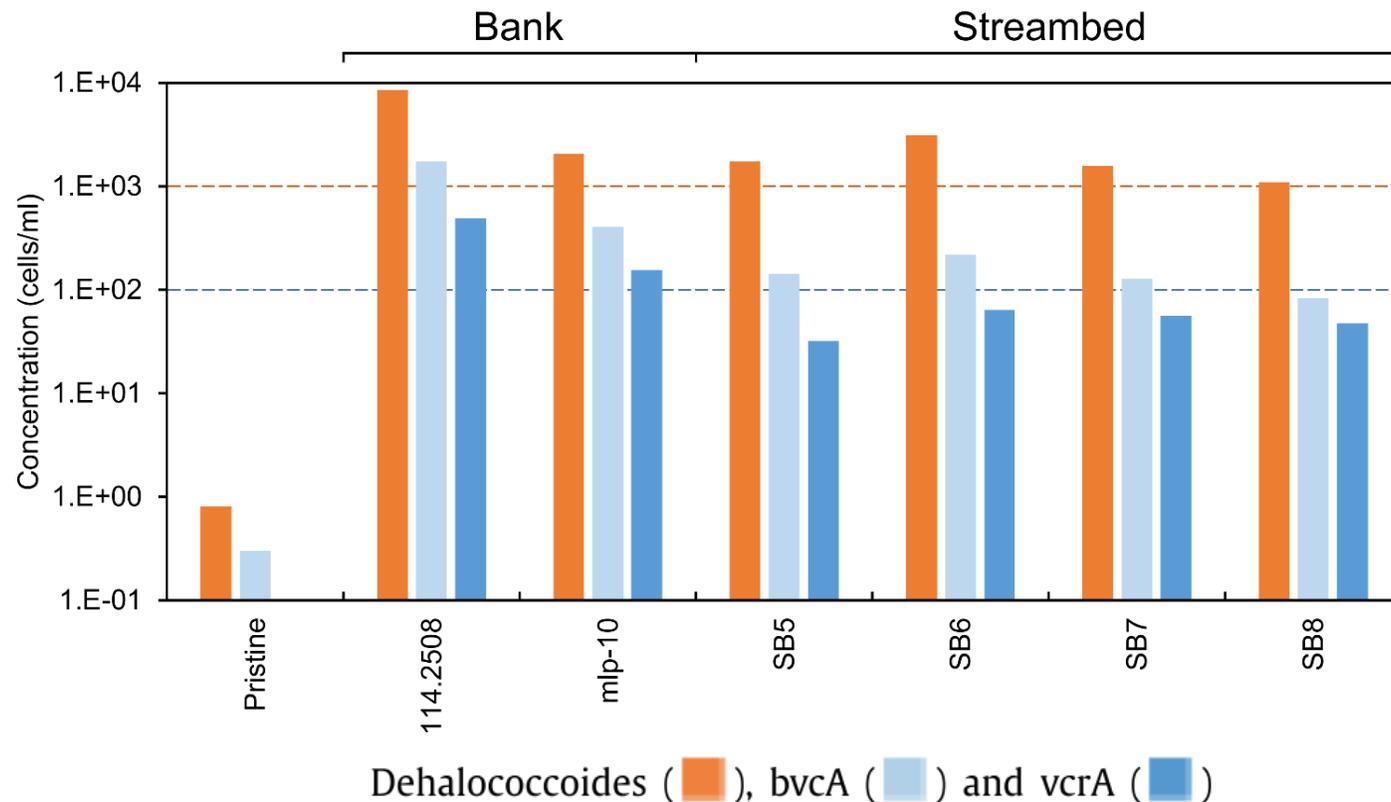
2019:

Centralt i fanen:

- Høje niveauer af *Dehalococcoides* med *vcrA* og *bvcA* gener.
- Størrelsesordener højere end referenceboringen.

Udkanten af fanen:

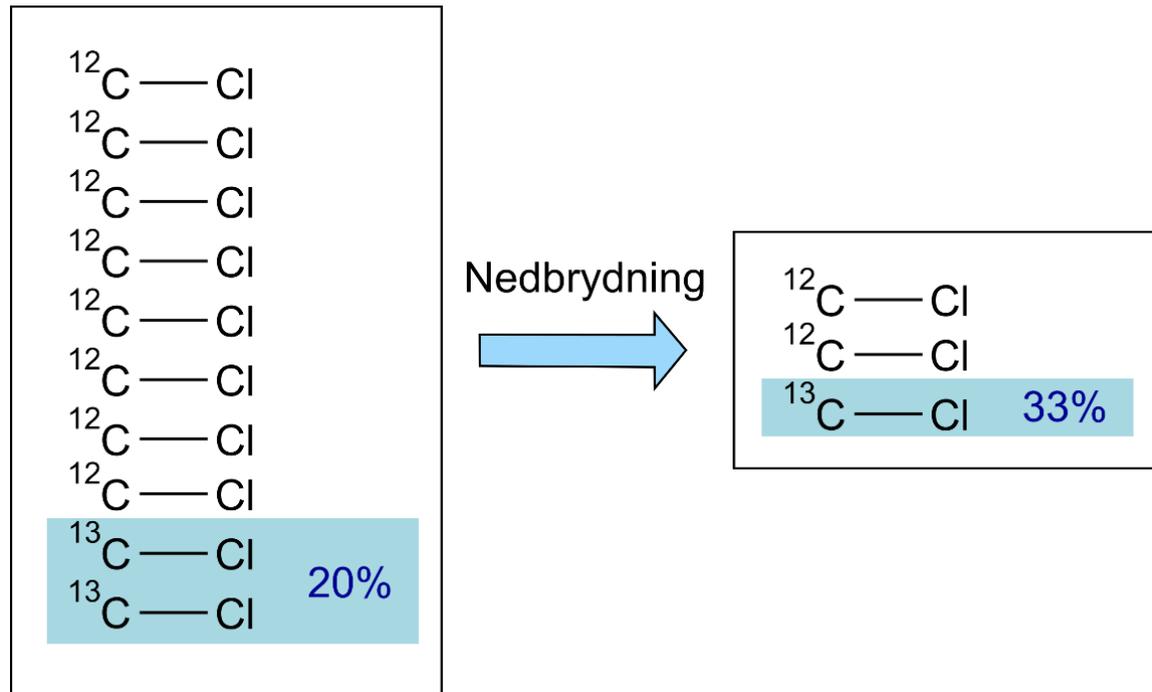
- Et lavere niveau (*Dehalococcoides* < 4E+02 celler/mL).



Stort potentiale for nedbrydning med komplet dechlorering af chlorerede ethener centralt i fanen.

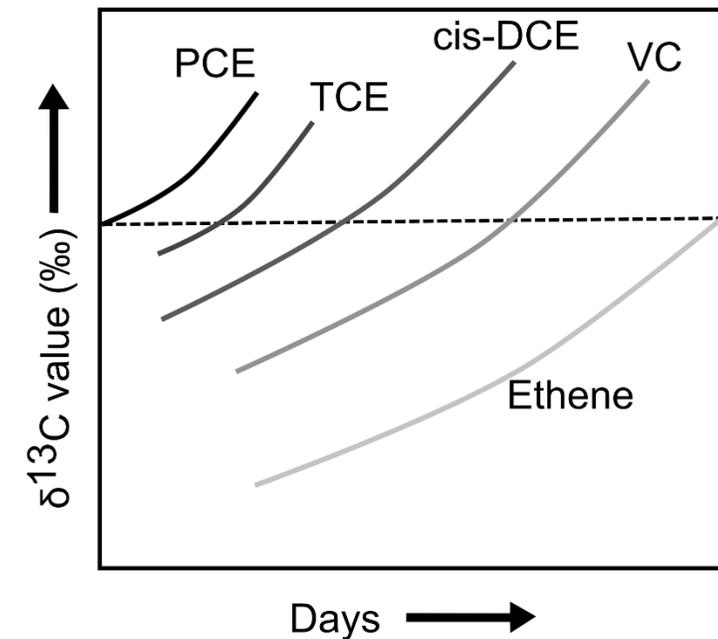
# CSIA ( $\delta^{13}\text{C}$ ): Teori

Bindinger til de lette isotoper brydes nemmere end bindinger til de tunge isotoper:



Nedbrydning fører til stigning i  $\delta^{13}\text{C}$  værdien.

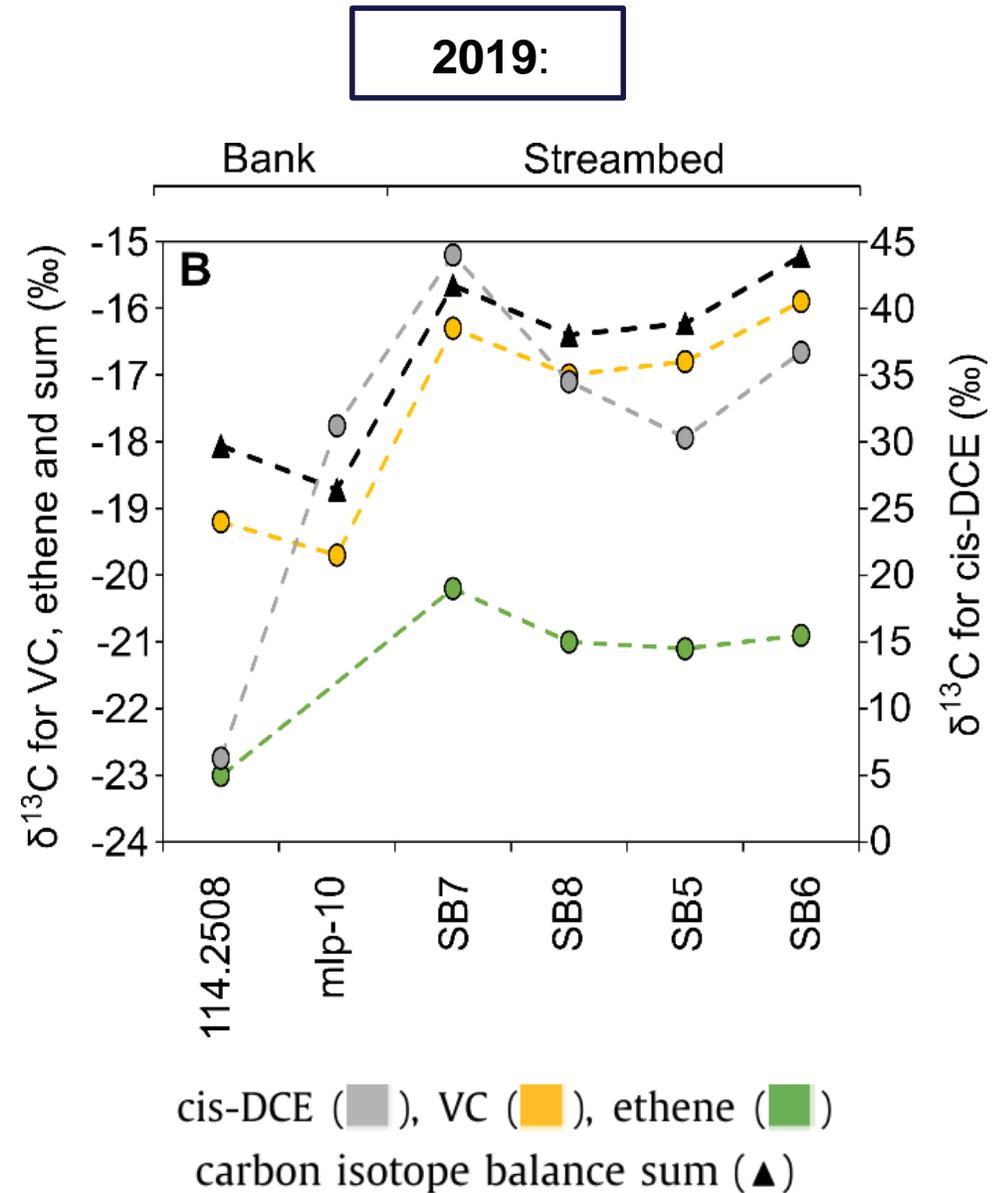
- Sekventiel nedbrydning



# CSIA ( $\delta^{13}\text{C}$ ): Resultater

Signifikant berigelse af  $^{13}\text{C}$  for cis-DCE:

- Ved åbrink.
- Fra åbrink til åbund.
- Isotopbalance for chlorerede ethener:
  - $\delta^{13}\text{C}_{\text{sum}} = -15$  til  $-19$  ‰.
  - En andel af de chlorerede ethener er nedbrudt til ethen.
  - Aktiv nedbrydning under åen.



# Konklusion: Nedbrydning

Høj grundvandshastighed/lav opholdstid fra åbrinken til åen.

Gode forhold for nedbrydning (redoxforhold, donor tilstedeværelse og bakterieniveauer) centralt i fanen.

Beskeden nedbrydning i 2012-2016.

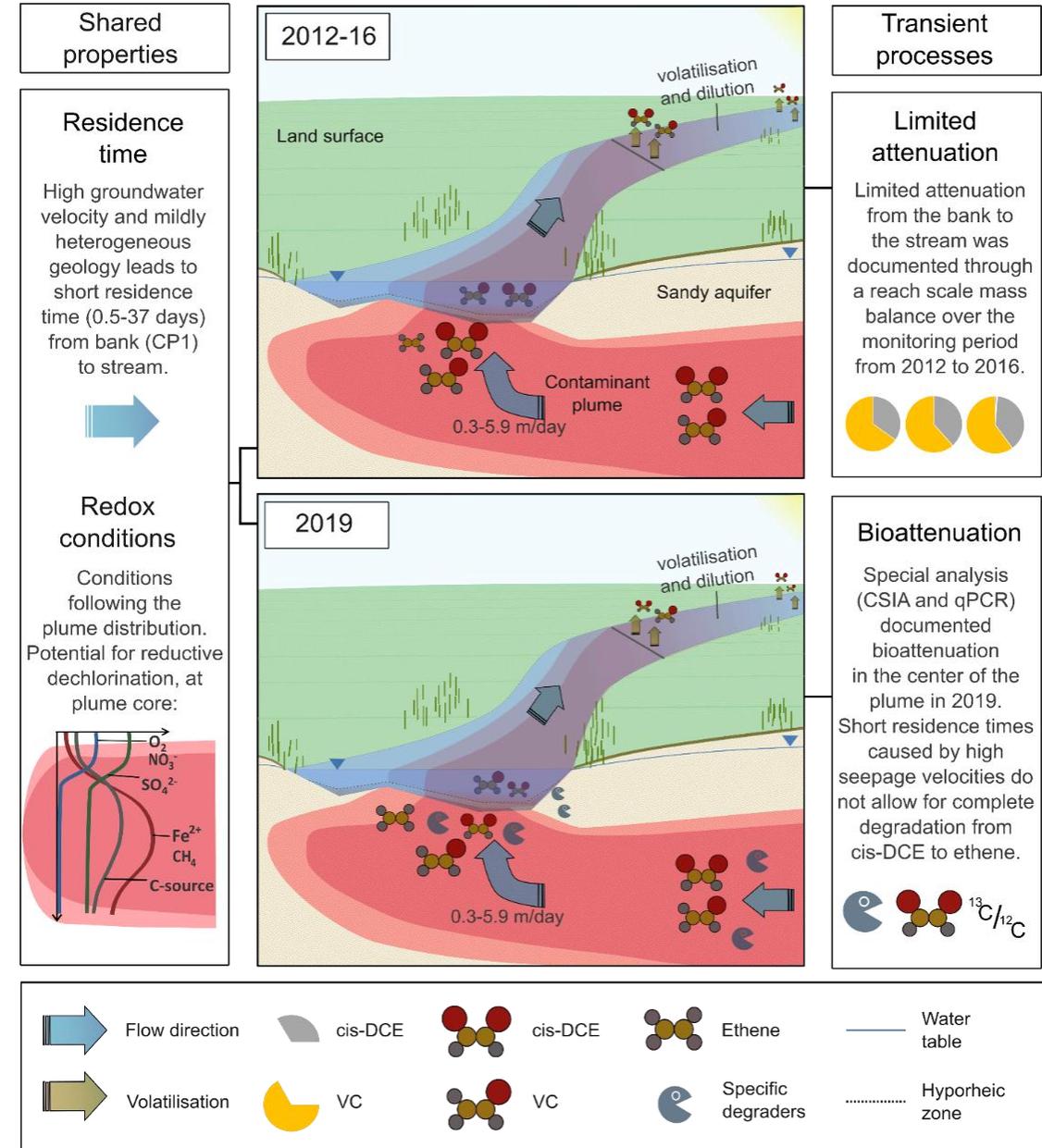
Betydelig nedbrydning i 2019.

## Samlet vurdering:

Kort opholdstid

→ For kort til fuldstændig nedbrydning

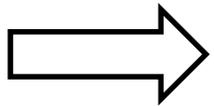
→ Primære udfordring for naturlig nedbrydning som afværge.



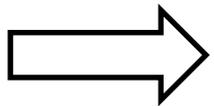
# Forureningsflux i åen

Forureningsflux i fuldt-opblandet punkt i åen i 2019:

- VC uændret sammenlignet med 2012-2016.
- cis-DCE faldt sammenlignet med 2012-2016.



- Øget nedbrydning i 2019.
- Overordnet aftagende risiko for overfladevand.
- Lovende for anvendelse af biologiske afværgemetoder.



Behov for stor-skala undersøgelse i fanen:

- Grunden til øget nedbrydning?
- Variation i systemet?
- Potentiale for nedbrydning som afværge af hele forureningen?



# Take home messages

1. Detaljeret hydrogeologisk beskrivelse er påkrævet for at udføre en nøjagtig risikovurdering.
2. Tidslig variation i forureningsflux og de drivende processer er nødvendige at betragte.
3. Monitoringsdesign essentielt:
  - En integreret metode bør bruges til at vurdere den kombinerede effekt af alle processer.
  - Isotop og mikrobielle værktøjer fordelagtige til vurdering af nedbrydning.



## Forskningsartikel (2020):

Water Research 186 (2020) 116332

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

 **Water Research**  
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres)



**Natural attenuation of a chlorinated ethene plume discharging to a stream: Integrated assessment of hydrogeological, chemical and microbial interactions**

Cecilie B. Ottosen<sup>a,†,\*</sup>, Vinni Rønde<sup>a,†</sup>, Ursula S. McKnight<sup>a</sup>, Michael D. Annable<sup>b</sup>, Mette M. Broholm<sup>a</sup>, John F. Devlin<sup>c</sup>, Poul L. Bjerg<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Department of Environmental Engineering, Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby, Denmark  
<sup>b</sup>Department of Environmental Engineering Sciences, University of Florida, FL, United States  
<sup>c</sup>Department of Geology, University of Kansas, Lawrence, KS, United States



ARTICLE INFO      ABSTRACT

## Dansk rapport (2020):



### Nedbrydning af chlorerede ethener i forureningsfanen fra Grindstedværkets grund i åbrink og åbund ved Grindsted Å

Cecilie B. Ottosen,  
Mette M. Broholm,  
Vinni Rønde,  
Poul L. Bjerg

05-08-2020

**DTU Miljø**  
Institut for Vand og Miljøteknologi

# HIMMARK STRAND

## EN FORURENING DER "VOKSEDE" UD UNDER HAVET OG BLEV TIL EN GENERATIONSFORURENING

Mette Christophersen og Lars Bennedsen (Rambøll)

Rasmus Hejlskov Olsen (Rambøll, nu Niras)

Martin Johanning og Jens Gaarde Gad (Danfoss)

**RAMBØLL**

Bright ideas. Sustainable change.

ENGINEERING  
TOMORROW

*Danfoss*

## MEDFORFATTERE

Samarbejdsprojekt med mange partnere.....

Sønderborg Kommune:

- Bjarke Eriksen
- Tina Callesen
- Susanna Esbersen
- Stine Jacobsen

Region Syddanmark:

- Ida Holm Olesen
- Kristian Dragsbæk Raun
- Jørgen Fjeldsø Christensen

Og en masse andre Rambøll kollegaer.....



## BAGGRUND

- Forureningen beliggende på stranden ved Himmarsk Strand på Als omfatter en kraftig forurening med bl.a. oliestoffer og klorerede opløsningsmidler
- Deponeringen af flydende affald fra Danfoss ca. 1950-67 i bl.a. brandhuller
- Forureningen ligger i to separate områder og spredes via grundvandet til havet, hvor forureningen bl.a. udgør en risiko for badning ved stranden
- Undersøgelser udført af Region Syddanmark i 2019 resulterede i, at der blev etableret et badeforbud på stranden
- Ikke så langt fra Himmarsk Strand er der planlagt etablering af et ferieresort, som skal være færdigt i 2023.
  - Danfoss ønsker undersøgt, hvordan der kan foretages en oprensning eller anden afværgelse af forureningen med henblik på at få ophævet badeforbuddet

# PLACERING – VED NORDBORG PÅ ALS.....



# FORMÅL

- Formål med projektet:
  - Danfoss: ophævelse af badeforbud (mest effektivt ift. tid, økonomi og sikkerhed for løsningen)
  - Region Syddanmarks: hindre skadelig virkning på overfladevand og internationalt beskyttede naturområder
  - Sønderborg Kommunes: hindre kontakt med forurenede jord og vand på alment tilgængelige arealer samt hindre uacceptabel afdampning til udeluften
- Formålet med præsentationen:
  - Udfordringer med kortlægning af forurening inkl. massive mængder fri fase ud under havet, og afværgetider til fjernelse af dette
  - Give et indblik i den komplicerede proces det er at få alle de nødvendige tilladelser i hus til et sådant anlægsprojekt, som skal udføres i §3 natur og Natura2000 område, samt sammenspillet med myndigheder om både selve projektet, formål med projektet og tilladelserne

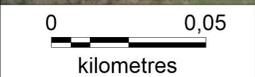
# GEOFYSIK

- **Formål:** Kortlægning af geologi – især lerlaget, og afgrænsning af fyld fra tidligere fyldområde og brandhuller
- Anvendt til at placere boringer
- Teknikker
  1. DualEM
  2. Georadar
  3. MEP til lands
  4. Marin MEP på havet
  5. Marin enkeltkanals seismik



# GEOFYSIK – DUALEM

NORD

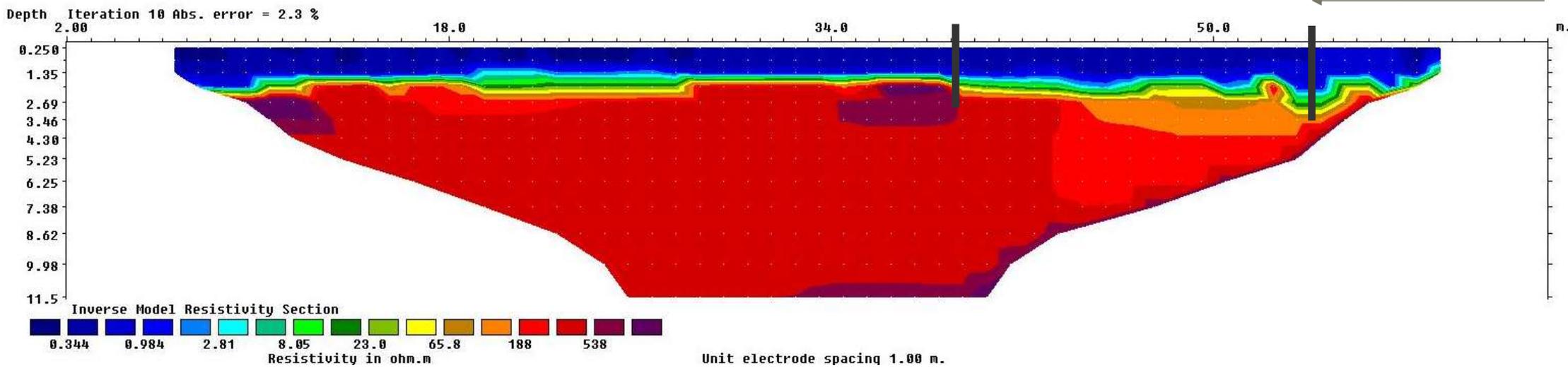


# GEOFYSIK – MARIN MEP

Strandbred

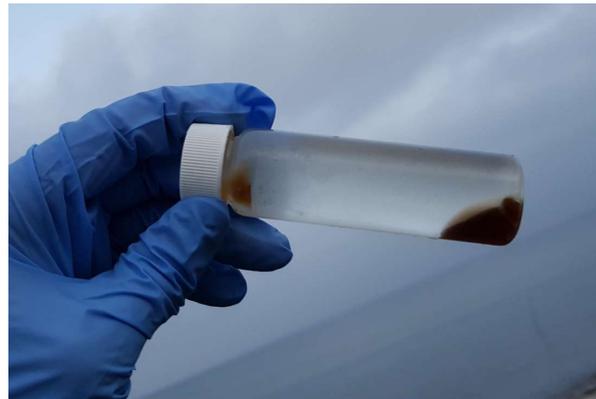
25 m

10 m

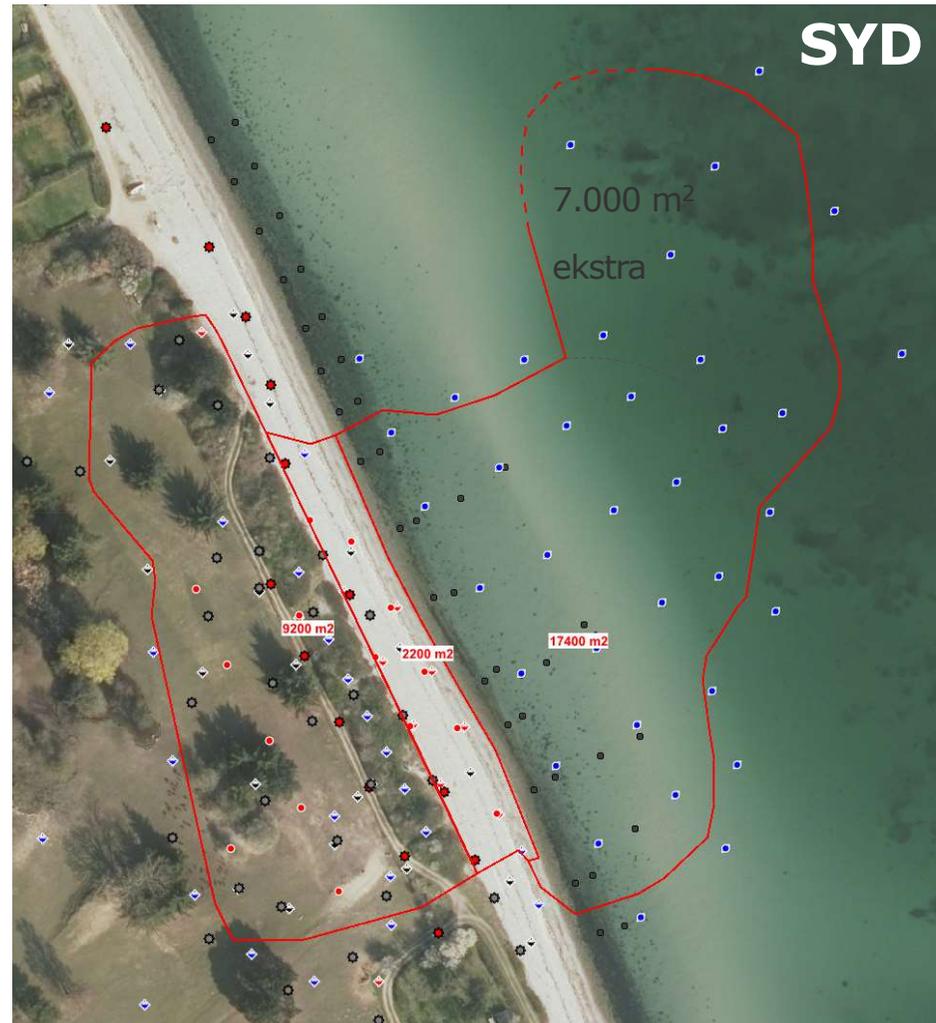
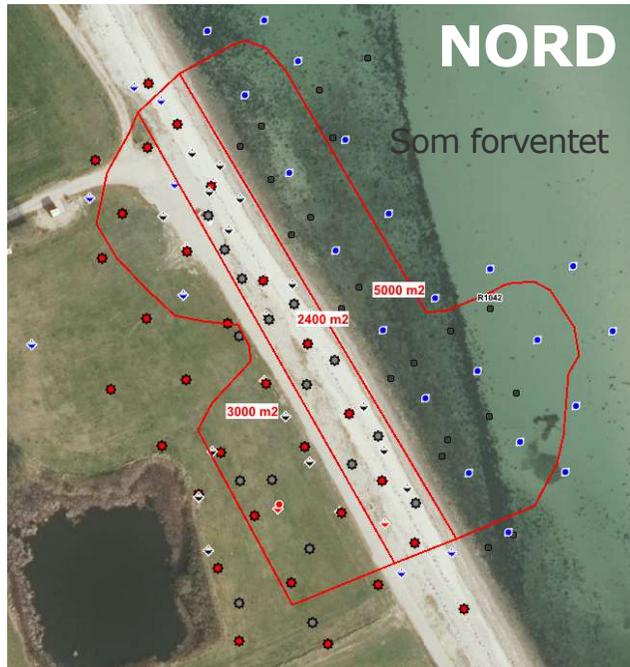


# HIMMARK STRAND

## - STEMNINGSBILDER FRA HIMMARK STRAND



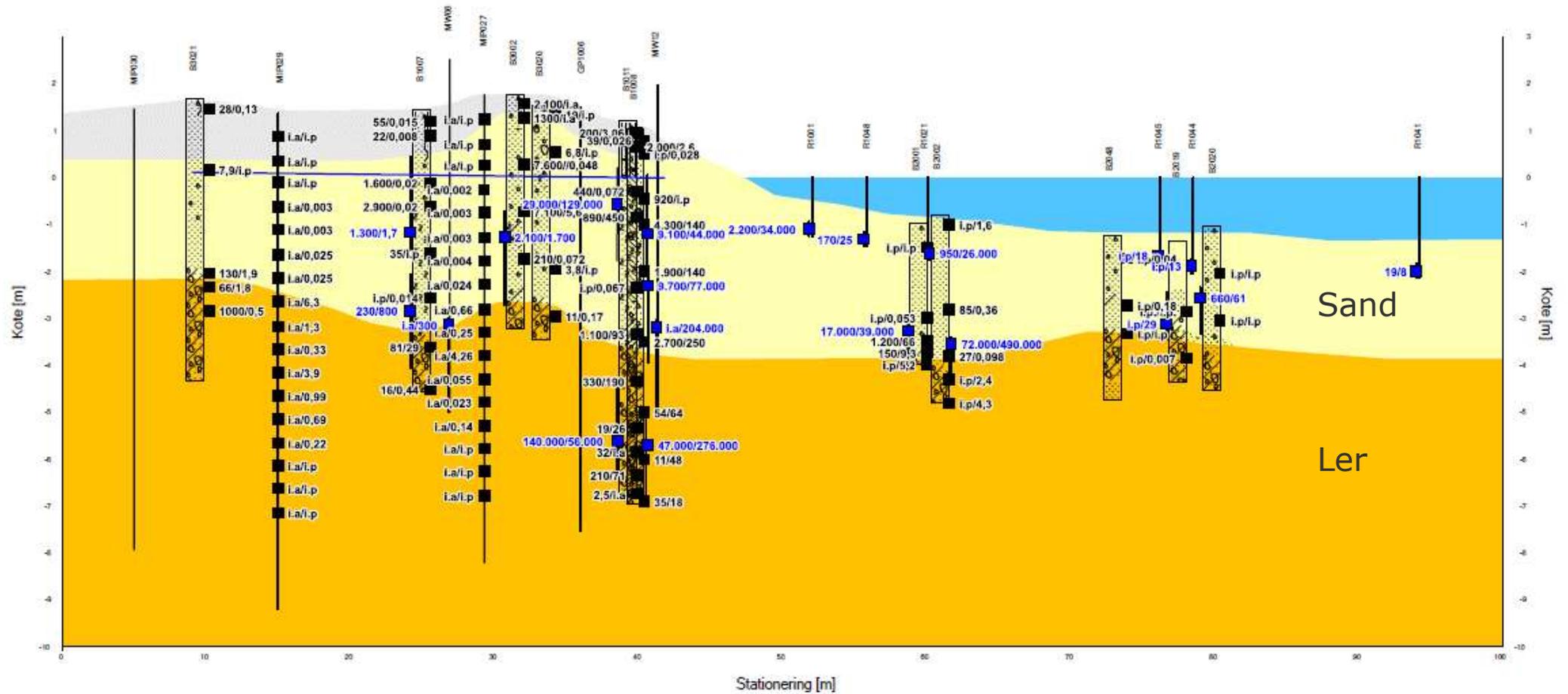
# KORTLÆGNING – STATUS FEBRUAR 2021



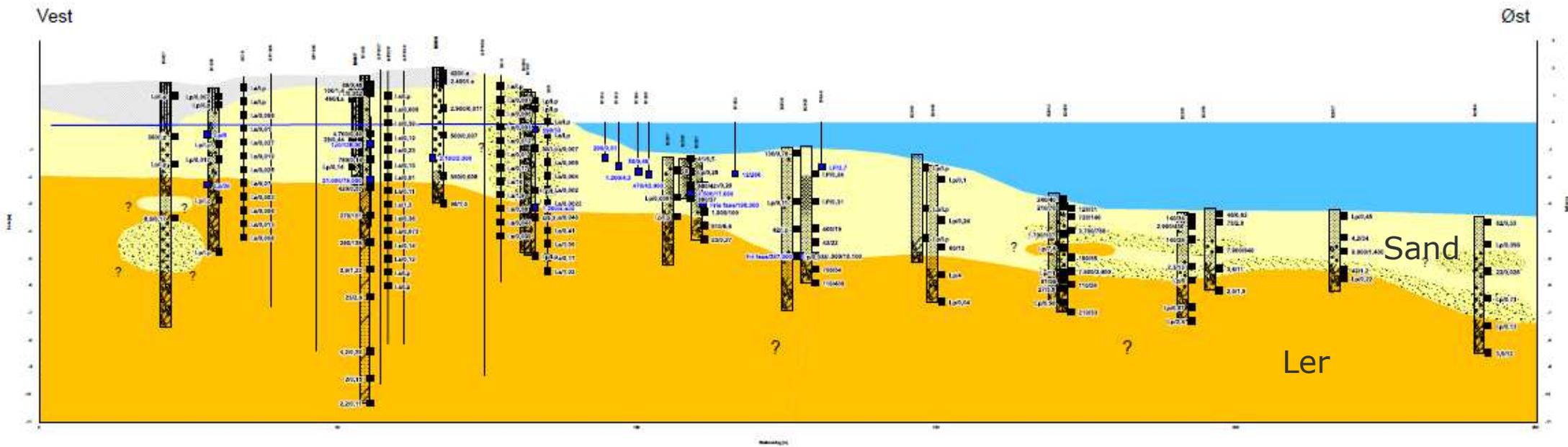
# TVÆRSNIT – NORDLIG SITE

Vest

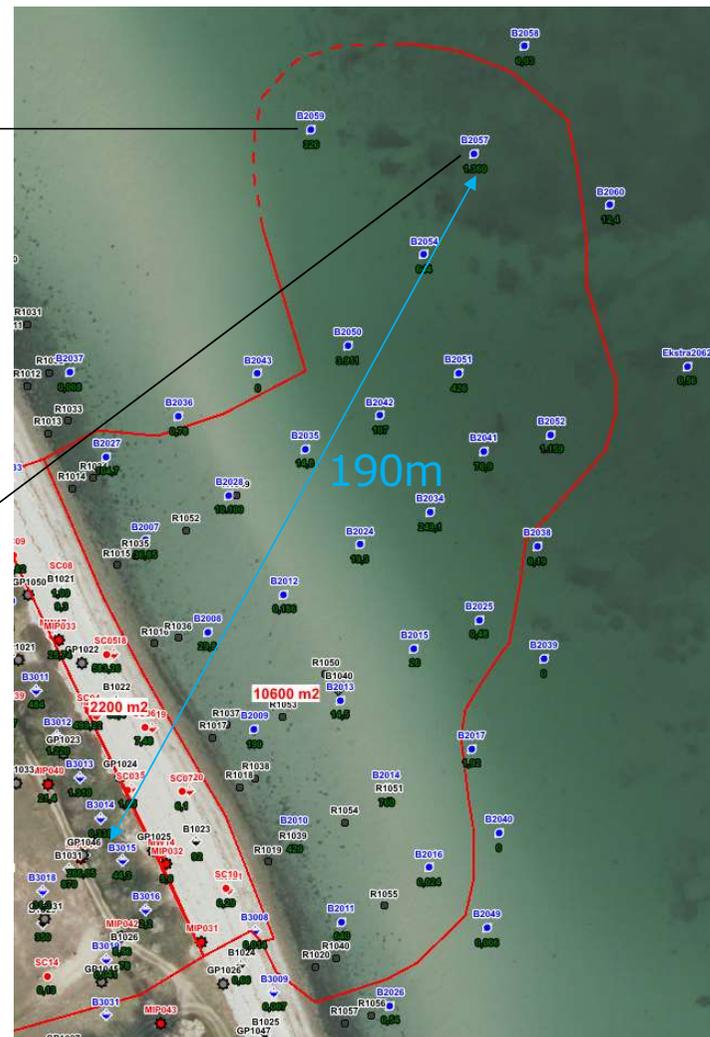
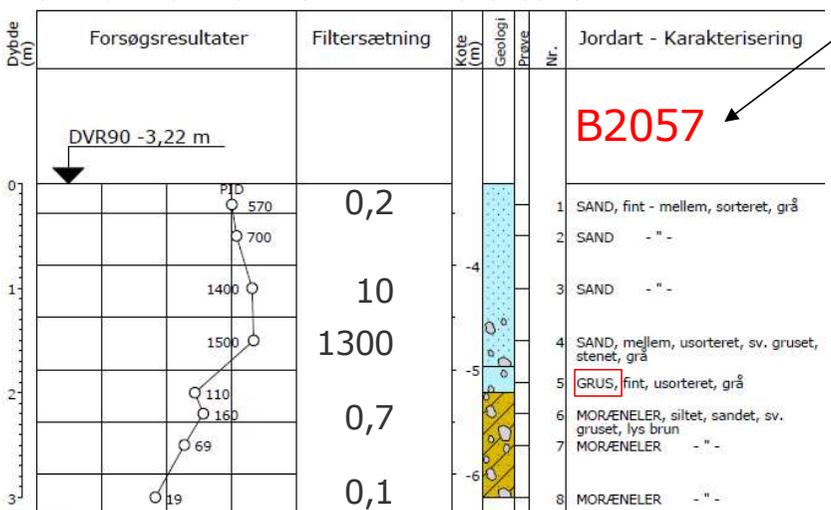
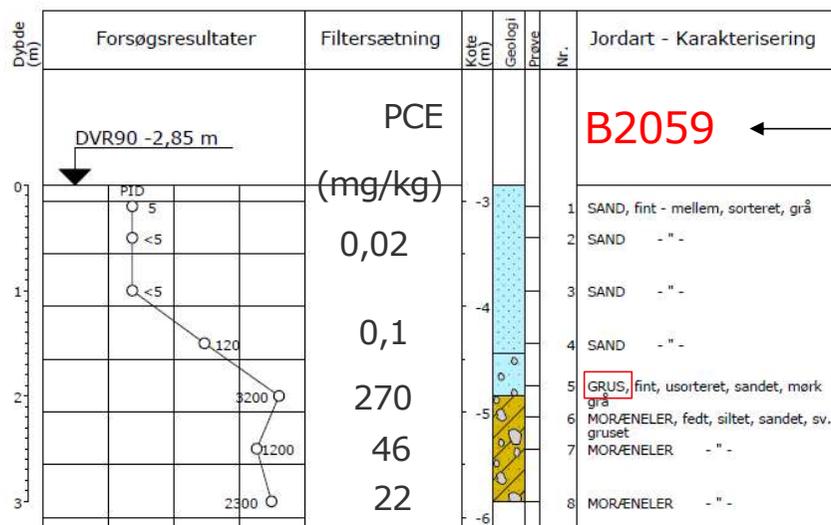
Øst



# TVÆRSNIT – SYDLIG SITE



# EKSEMPLER FRA DET "NYE" OMRÅDE PÅ HAVET



# INDSATSOMRÅDE

	Areal (m <sup>2</sup> )	Ren topjord (m <sup>3</sup> )	Forurennet sand (m <sup>3</sup> )	Forurennet ler (m <sup>3</sup> )
Nord land	6.100	9.900	14.000	5.500
Nord hav	4.300	7.500	1.000	940
Syd land	12.000	11.000	21.000	5.900
Syd hav	17.000	18.000	21.000	8.300
Total	39.000	46.000	57.000	21.000



## OPRENSNINGSKRITERIER

- Findes ikke kriterier for forureningsstofferne i badevand – har fået følgende administrative badevandskvalitetskriterier fra Miljøstyrelsen:
  - Vinylklorid (VC): 0,3 µg/l
  - Trichlorethylen (TCE): 3,5 µg/l
  - Cis-1,2-dichlorethen: 540 µg/l
- *"Miljøstyrelsen har i vurderingen ikke skelnet mellem eksponering fra vandsøjle og eksponering fra porevand..... Miljøstyrelsen understreger derfor vigtigheden af, at måleprogrammet designes på en måde, så der i prøvetagningen tages højde for opslæmning under et realistisk badescenarie."*
- Der findes fastlagte miljøkrav for indhold af forureningsstoffer i overfladevand i BEK nr. 1625 af 19/12/2017. Vinylklorid udgør også her den største overskridelse af det generelle kvalitetskrav, som er fastsat til 0,05 µg/l. Dette krav er 6 gange lavere end kravet til badevand.

## SCREENING - OVERORDNET

Technology	Description	Remarks	Contaminants treated		Geology/hydrogeology				Locations relevant for Himmark			Relevant
			Chlorinated solvents	Hydrocarbons	Sand/gravel	Clay/silt	Saturated	Unsaturated	Land/beach	Barrier at beach	Seabed	
PHYSICAL												
Excavation	Excavation and off-site disposal or possible on-site disposal/treatment	Needs to sheet pile and drain treatment area	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Dredging	Dredging and off-site disposal or possible on-site disposal or treatment	Needs effective control to prevent spreading of contaminants to the sea	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	Yes	Yes
Thermal	Thermal enhanced soil vapor extraction	Needs to sheet pile and drain treatment area at sea. Different technologies exist with different advantages	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
In-Situ Stabilization (ISS)	Addition of cement	Can be combined with e.g. chemical oxidation to degrade contaminants	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
In-Situ Soil mixing	Soil is mixed with reagents	Not a standalone technique. Needs to be combined with stabilization, oxidation, reduction or other techniques	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Capping	Install an impermeable barrier on top of the contamination	e.g. Aqua Blok or other material	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Containment	Sheet pile, bentonite slurry walls, etc.	Needs to treat excess water entering the contained area	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes
Hydraulic control	Pump and treat. On-site treatment of extracted water	Many different layouts. Needs continuous system to treat the extracted water	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Enhanced NAPL Recovery	Extraction of NAPL from wells, trenches etc.	Needs good characterization og NAPL distribution	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Air sparging	Injection of air in sparge wells to strip the contaminants.	Needs collection of stripped contaminants with e.g. a vacuum ventilation system	Yes	(Yes)	Yes	No	Yes	No	No	No	No	No
Vacuum ventilation	Ventilation of the unsaturated zone	Needs treatment of extracted air	Yes	(Yes)	Yes	No	No	Yes	No	No	No	No
CHEMICAL												
Oxidation	Inject oxidants such as hydrogen peroxide, permanganate or persulfate into the soil to degrade organic contaminants	Oxidant demand is correlated closely to the contaminant mass. Large NAPL amounts can be problematic/costly.	Yes	Yes	Yes	(Yes)	Yes	No	Yes	No	No	Yes
Reduction	Chemical reductants can be introduced to the soil in order to reduce e.g. chlorinated solvents or metals	Many different zero valent iron products exist	Yes	No	Yes	(Yes)	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes
Flushing	Surfactants or co-solvents used to flush the soil and extract NAPL	Needs careful hydraulic control and comprehensive above ground treatment of extracted water	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	No	No	No
Sorption	Sorbent material such as activated carbon is introduced to the soil	Can be combined with biological degradation	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	(Yes)	Yes	No	Yes
BIOLOGICAL												
Monitored natural degradation	Monitor the natural degradation	Still significant amounts of NAPL after more than 50 year. Natural degradation is not enough to reduce risk at this site.	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	No	No	No	No
Enhanced Bioremediation (EISB)	Stimulate bacteria to degrade contaminants. Many different approaches exist.	Not effective as a stand-alone technique with the current time schedule. Could be considered as a polishing step after a more aggressive method or as a long-term method for selected less contaminated areas or in combination with other technologies	Yes	Yes	Yes	No	Yes	No	Yes	Yes	(Yes)	Yes
Phytoremediation	Use of plants to extract/degrade contaminants	Not relevant due to significant NAPL and high flux	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	No	(Yes)	(Yes)	No	No

## LAND/STRAND

LAND/STRAND	Fordele	Ulemper	Sikkerhed	Tid	Pris
<b>Opgravning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alle typer forurening kan fjernes</li> <li>-Kendt metode og stor erfaring i DK</li> <li>-Flere strategier/metoder er tilgængelige</li> <li>-Overskudsjord fra lokale anlægsprojekter kan genanvendes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget trafik med jordtransport lokalt (stort CO<sub>2</sub> aftryk)</li> <li>-Stor mængde jord til ekstern behandling og deponering, formentligt i udlandet</li> <li>-Usikkerhed i pris for jordbehandling</li> <li>-Restforurening i lerlag kan fortsat medføre et mindre forureningsbidrag til havet</li> </ul>	Meget høj	1 år	\$\$\$\$\$
<b>ISS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Minimal transport af jord væk fra området</li> <li>-Minimerer grundvandstransporten gennem området og dermed udvaskning af restforurening</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Forurening behandles ikke, medmindre der anvendes tilsætningsstoffer</li> <li>-Kræver fremtidige monitoringer</li> <li>-Svært at rense yderligere op efterfølgende</li> </ul>	Høj	1 år	\$\$\$\$
<b>Termisk</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kun transport af rensset jord (genanvendelse i nærområdet)</li> <li>-Forurenede jord fra havet kan inkluderes i behandlingen</li> <li>-Forurening i toppen af lerlaget behandles også</li> <li>-mulighed for at udnytte varmen til efterfølgende biologisk nedbrydning af restforurening</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget energikrævende</li> <li>-Kræver at indsatsområdet er helt fastlagt på forhånd</li> <li>-Tunge kulbrinter behandles ikke</li> </ul>	Meget høj	2 år	\$\$\$\$\$

# HAVBUND

HAVBUND	Fordele	Ulemper	Sikkerhed	Tid	Pris
<b>Opgravning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Alle typer forurening kan fjernes</li> <li>-Kendt metode og stor erfaring</li> <li>-Flere strategier/metoder er tilgængelige</li> <li>-Overskudsjord kan genanvendes lokalt</li> <li>-Kan evt. kombineres med supplerende afværgetiltag i bunden af udgravningen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget trafik på små veje, hvis løsning med lastbiler vælges</li> <li>-Stor mængde jord til ekstern behandling og deponering, formentligt delvist i udlandet</li> <li>-Usikkerhed i pris for jordbehandling</li> </ul>	Meget høj	1 år	\$\$\$\$\$
<b>Capping</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Uafhængig af forureningsudbredelsen under kappen</li> <li>-Ingen transport af jord væk fra området</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Hele forureningen efterlades og påvirker stadig havmiljøet længere ude</li> <li>-Kræver fremtidige monitoringer</li> <li>-Begrænset erfaring i DK</li> </ul>	Høj	1 år	\$\$-\$\$\$
<b>ISS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Minimal transport af jord væk fra området</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Forurening behandles ikke, medmindre der anvendes tilsætningsstoffer</li> <li>-Svært at rense yderligere op efterfølgende</li> <li>-Kræver fremtidige monitoringer</li> <li>-Begrænsede erfaringer i DK</li> </ul>	Høj	1 år	\$\$\$
<b>Termisk on-site (pile)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kun transport af rensed jord (genanvendelse i nærområdet)</li> <li>-Renser også tungere stoffer pga. højere temperatur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget energikrævende</li> <li>-Behov for plads og tilladelser til opførsel af stor midlertidig betonkonstruktion</li> </ul>	Meget høj	2 år	\$\$\$\$\$
<b>Termisk on-site (inkl. landforurening)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Kan minimere omkostninger ved at behandle flere områder sammen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget energikrævende</li> <li>-Kræver at behandlingen foretages sammen med behandling af jordforureningen inde i land</li> </ul>	Meget høj	2 år	\$\$\$\$\$
<b>Termisk in-situ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Minimal transport af jord væk fra området</li> <li>-Forurening i toppen af lerlaget behandles også</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Meget energikrævende</li> <li>-Tungere kulbrinter behandles ikke</li> <li>-Kun få erfaringer med lignende implementeringer</li> </ul>	Høj	2 år	\$\$\$\$\$

# BARRIERE

BARRIERE	Fordele	Ulemper	Sikkerhed	Tid*	Pris*
<b>Impermeabel</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Spunsen kan indgå i andre afværgeløsninger på strand og inde i land, f.eks. opgravning eller termisk</li> <li>-Løsningen kan opgraderes med f.eks. oppumpning af fri fase og/eller recirkulation af grundvand og anvendes til en langsom behandling af forurening inde i land også</li> <li>-Der kommer ingen forurening forbi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Som udgangspunkt ingen fjernelse af forurening og derfor drift indtil forureningskilden fjernes</li> <li>-Permanent system og renseanlæg skal placeres i området</li> </ul>	Meget høj	1 år	\$\$
<b>Permeable reaktiv</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Forureningen nedbrydes</li> <li>-Behandlingen kan justeres baseret på monitoringen</li> <li>-Ikke nødvendigt med blivende installationer efter etablering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Med års mellemrum skal der tilsættes nye stoffer</li> <li>-Mobil fri fase kan være vanskelig at behandle</li> <li>-Grove lag med grus og kraftig forurening kan være svære at behandle tilstrækkeligt</li> <li>-De forskellige forureningsstoffer kræver forskellig behandling</li> <li>-Kræver løbende monitorering</li> </ul>	Moderat	1 år	\$\$\$

# EKSEMPEL PÅ OPGRAVNING



# GRAVEOMRÅDE - DÆMNING OG SPUNS



# EKSISTERENDE FORHOLD FOR BESKYTTET NATUR

Natura 2000-område ud for kysten

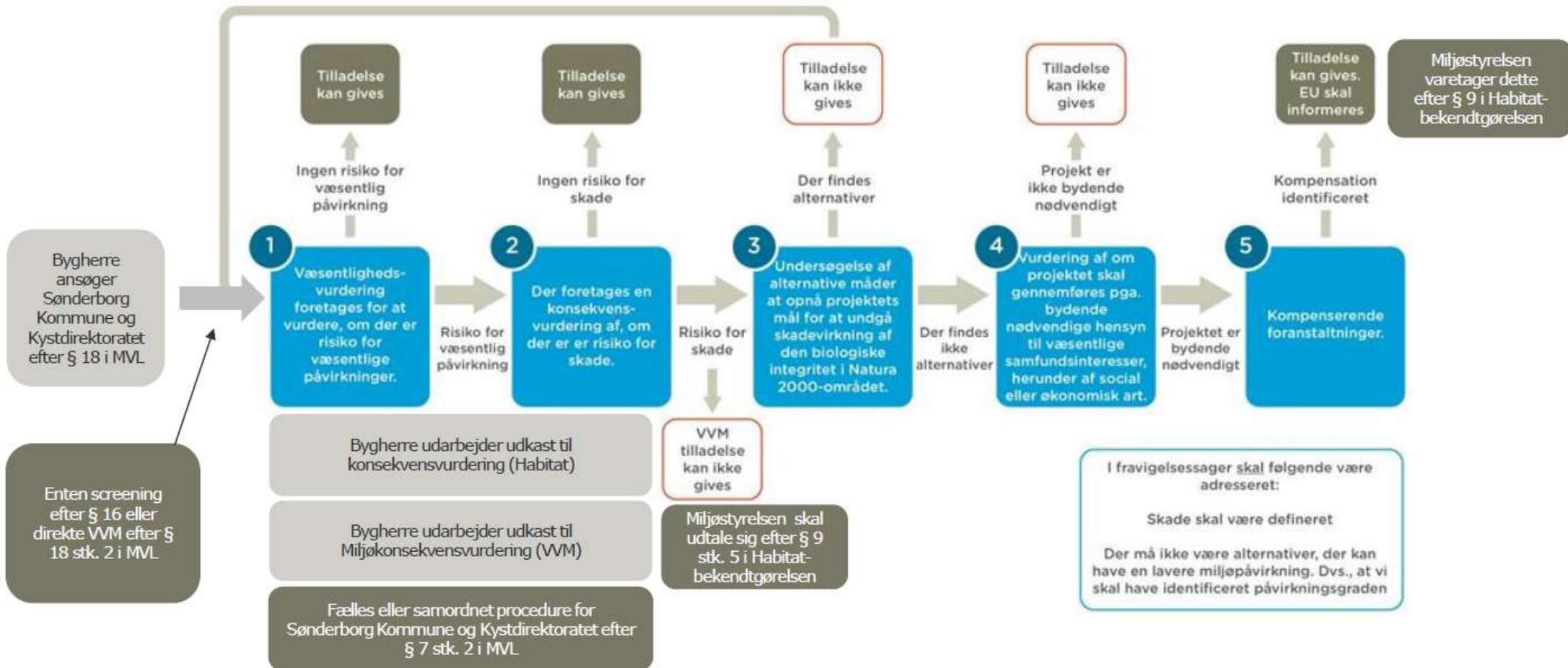
- Sandbanke
- Stenrev
- Marsvin

§ 3 beskyttet natur på land

- Vandløb
- Strandeng
- Søer



# PROCES FOR VVM OG HABITATVURDERING - HIMMARK STRAND



# OVERSIGT OVER MYNDIGHEDSROLLER

Myndighed der skal ansøges/træffer afgørelse	Aktivitet	Varighed
<b>Udarbejdelse af ansøgninger:</b>		
Sønderborg Kommune (MVL § 19) Kystdirektoratet (MVL § 19)	Ansøgning jf. miljøvurderingsloven, hvis projektet er omfattet af miljøvurderingslovens bilag 1 eller bilag 2 (evt. punkt 10I uddybning på søterritoriet (Kystdirektoratet) eller punkt 11b – anlæg til bortskaffelse af affald). (Habitatvurdering jf. Bek. 2018-12-06 nr. 1595 § 6 (Sub § 9))	
Sønderborg Kommune (NBL § 65 stk. 2) (Ufornøden jf. Jordforureningslovens § 63)	Ansøgning om dispensation fra § 3 i Naturbeskyttelsesloven (påvirkning af naturtilstanden af strandeng).	
Sønderborg Kommune (MBL § 27)	Tilførsel af stoffer der kan forurene havet	
Sønderborg Kommune (JFL § 8)	Ændret anvendelse, bygge og anlægsarbejder på kortlagt grund	
Kystdirektoratet (KBL § 19 stk. 2)	Kystbeskyttelseslovens § 16a – uddybning/gravning på søterritoriet og strandbredden. (Habitatvurdering jf. 2018-08-21 nr. 1062 § 3 (Sub § 6))	
Kystdirektoratet (NBL)	Ansøgning om dispensation for strandbeskyttelseslinjen jævnfør naturbeskyttelseslovens § 15 – ændring af terrænet.	
Sønderborg Kommune (PL § 35) Landzone ændret anvendelse (Ufornøden jf. Jordforureningslovens § 63)	Andet – afhænger lidt af projektet har sammenhæng til miljøvurderingsloven (MVL) hvis der ikke skal et plgrundlag til.	

## OVERSICHT OVER MYNDIGHEDSBEHANDLING

Sagsbehandling:		
Ansøgning	Når projektet kendes	
Sønderborg Kommune	Væsentlighedsvurdering jævnfør Habitatbekendtgørelsen – støj fra spunsning, påvirkning af marin habitatnatur.	1 – 2 mdr.
Kystdirektoratet	Væsentlighedsvurdering jævnfør Habitatbekendtgørelsen (KYST) – støj fra spunsning, påvirkning af marin habitatnatur.	1 – 2 mdr.
Sønderborg Kommune	Screening for udarbejdelse af miljøkonsekvensvurdering, hvis projektet er omfattet af miljøvurderingsloven (se ovenfor) og afgørelse om miljøvurderingspligt.	90 dage + klagefrist 4 uger
Kystdirektoratet	Screening for udarbejdelse af miljøkonsekvensvurdering, hvis projektet er omfattet af miljøvurderingsloven (se ovenfor) og afgørelse om miljøvurderingspligt.	1 mdr.
Kystdirektoratet (Sønderborg Kommune)	Hvis der vurderes at være en væsentlig påvirkning jævnfør Habitatdirektivet, skal der udarbejdes en naturkonsekvensvurdering. Denne kan indarbejdes i miljøkonsekvensrapporten (hvis den skal laves) eller som et selvstændigt dokument vedlagt øvrige tilladelse/dispensationer. Såfremt der konkluderes at der sker en skade så skal alle alternativer være vurderet og det skal begrundes hvorfor den valgte fremgangsmåde er den miljømæssigt bedste inden det fremsendes til miljøstyrelsen som en dispensationssag.	Afhænger af omfanget af feltundersøgelser/årstiden for feltundersøgelser
”Bygherre”	Hvis der er miljøvurderingspligt: Udarbejdelse af miljøkonsekvensrapport	5-6 mdr. + høring op til 8 uger.
Sønderborg Kommune	Tilladelser/dispensationer (NBL §3, MBL § 27, JFL § 8, MVL § 25)	Efter udarbejdelse af miljøkonsekvensrapport – ellers ca. 3 mdr.
Kystdirektoratet	Tilladelser (strandbeskyttelse § 15 og anlæg på søterritoriet § 16 a)	Ca. 4 mdr.

## OPSAMLING

- Regionen startede undersøgelserne men Danfoss overtog i november 2019
- Udført i tæt dialog med Sønderborg Kommune og Region Syddanmark med projektledergruppe og politisk styregruppe med løbende kontakt til både Miljøstyrelsen og Kystdirektoratet
- Udfordrende forurening med fri fase af både klorerede og kulbrinter samtidig (op til 76 cm) transporteret op til 190 m ud under havbunden
- Oprensningen foreslås udført som et stort anlægsprojekt med aktiviteter i både §3 natur og Natura2000-område, hvilket kræver en masse myndighedstilladelser



**TAK FOR  
OPMÆRKSOMHEDEN**

**SPØRGSMÅL?**

**Mette Christophersen**

**[METC@ramboll.dk](mailto:METC@ramboll.dk)**

**Tlf. 5161 5125**



# Afskæring af forureningsfane for at forebygge udsivning af PCE fane til vandløb

**NIRAS**

**SGU**  
Sveriges geologiska undersökning

---

Klaus Weber, Gro Lilbæk, Anders G. Christensen, NIRAS

Nicklas Larsson, NIRAS SE

Ulf Winnberg, Kristin Forsberg, Sveriges Geologiska Undersökning (SGU)

---

ATV VINTERMØDE, 10. MARTS 2021

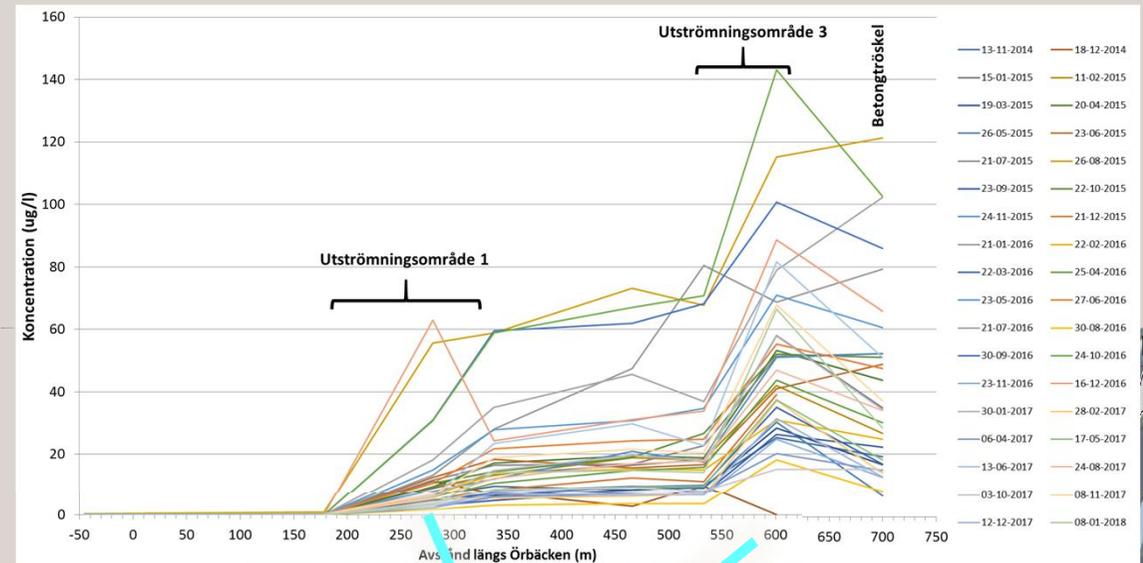
# Hagfors, Sweden

- Renseri (1970-1993)
- PCE spredning via afløb  
→ 2 kildeområder
- DNAPL 20+ m u.t.
- Örbäcken – 100-200 m nedströms  
→ masseflux  $\approx$  1-200 kg PCE/år



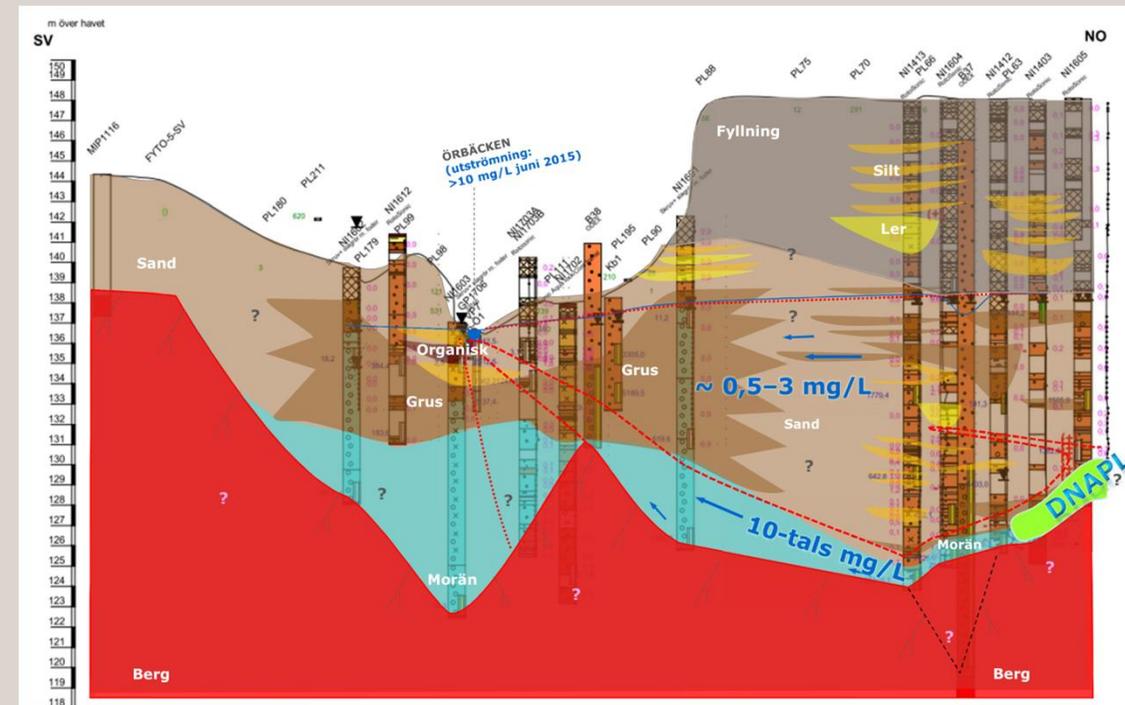
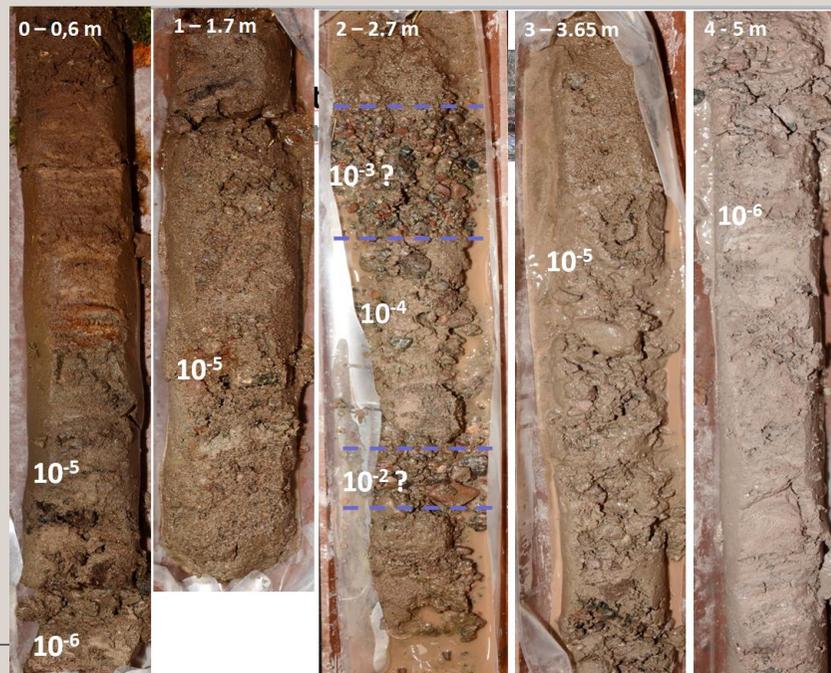
# Formål

- Problemstilling:  
Örbäcken – 100-200 m nedströms kilder → Koncentrationer overskrider kvalitetskriterier → masseflux  $\approx 200$  kg PCE/år
- Ønske:  
Minimere udsivningen til Örbäcken – indtil en samlet afværgeløsning er gennemført.
- Løsning:  
Etablering af en afværgepumpning fra horisontale dræn kombineret med et semi-mobilt vandbehandlingsanlæg



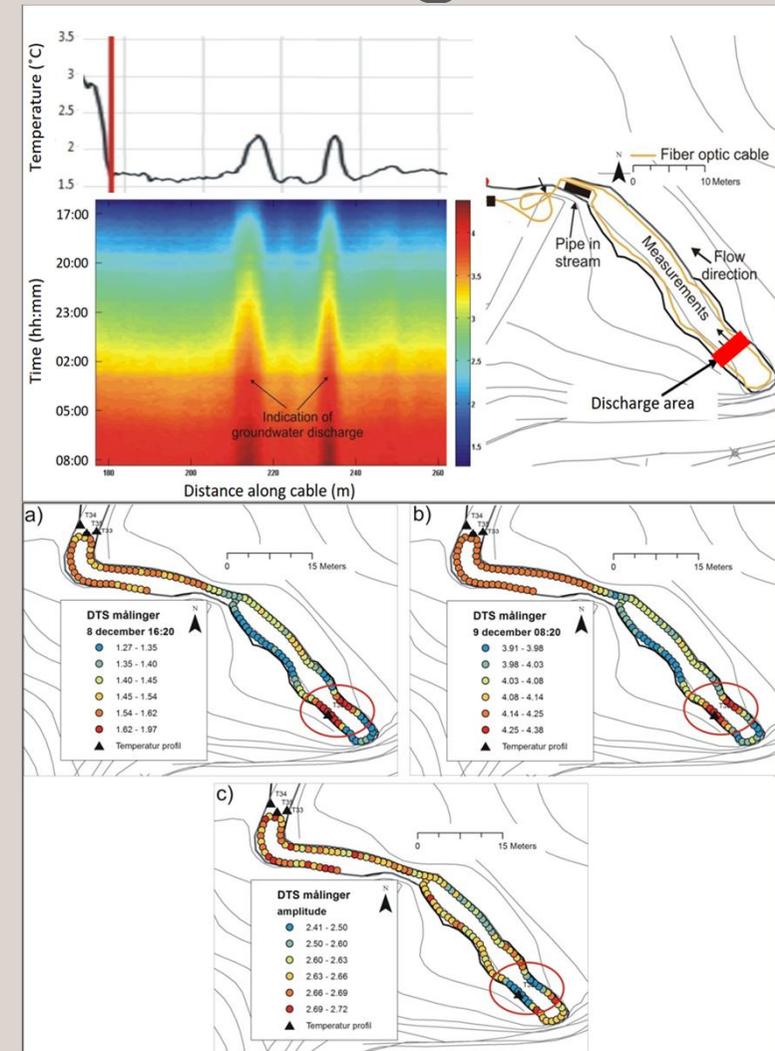
# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

- Sonic boringer  
→ Kendskab til geologi



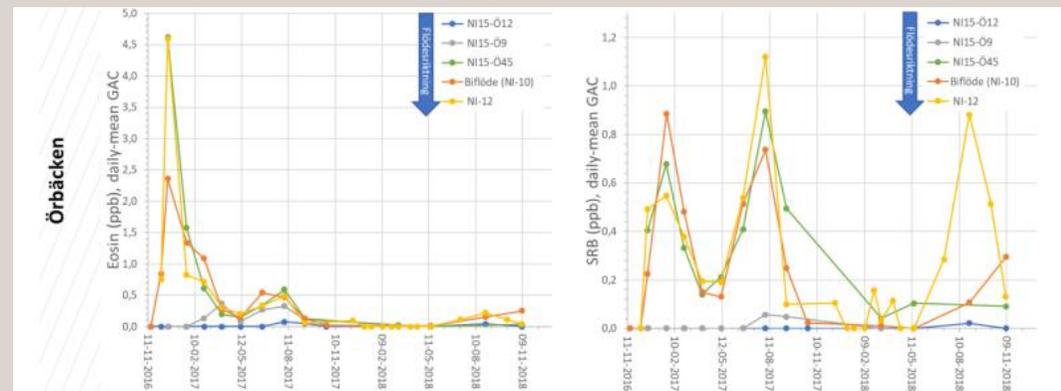
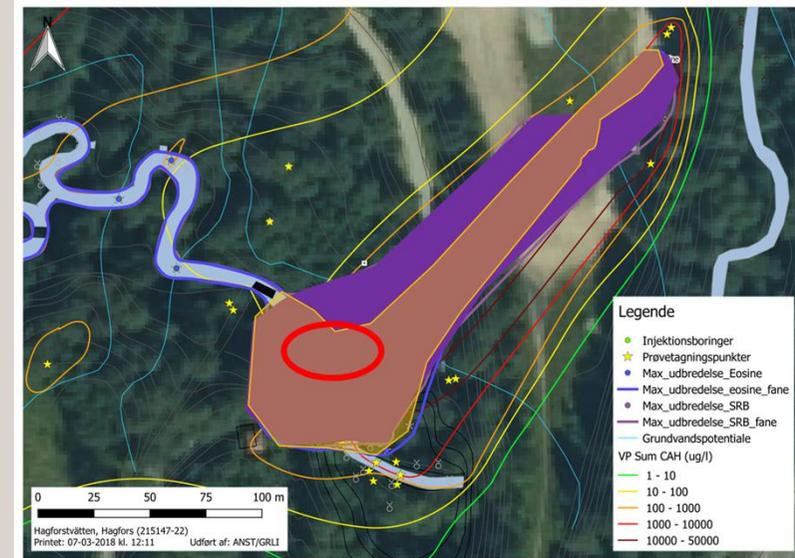
# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

- Sonic boringer  
→ Kendskab til geologisk
- DTS (distributed temperature sensing) →  
identifikation af udstrømningsområde



# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

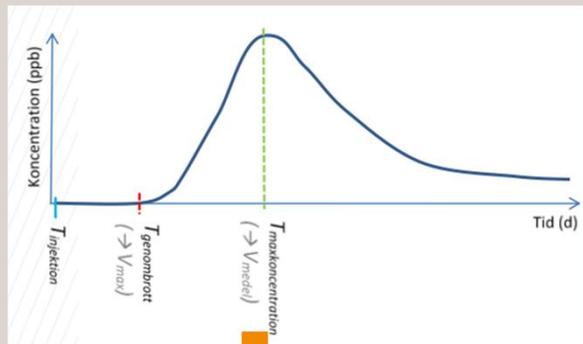
- Sonic boringer → Kendskab til geologisk
- DTS (distributed temperature sensing) → identifikation af udstrømningsområde
- Sporstofforsøg → transporthastighed og udstrømningsområde



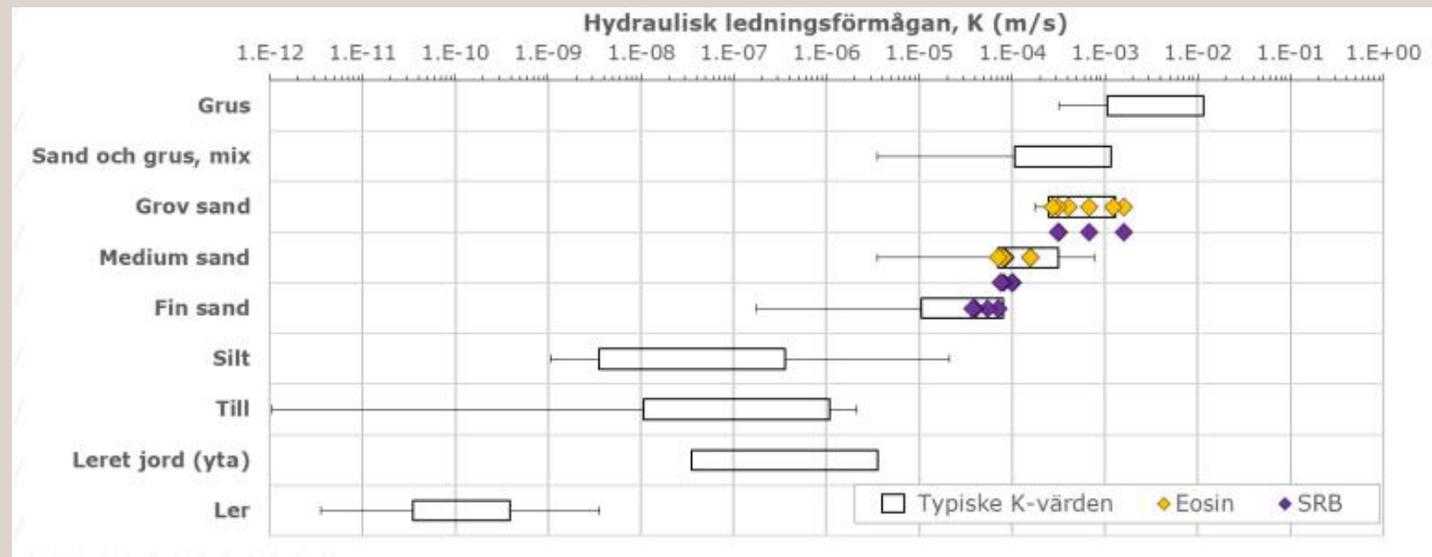
# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

Sporstofforsøg → transporthastighed og udstrømningsområde

- Sporstof fra magsinets top (Eosin) og bund (SRB) trænger ind i Örbäckens i samme område
- $V_{\max} \sim 9,3 \text{ m/d}$
- $V_{\text{middel}} \sim 0,7\text{-}1,1 \text{ m/d}$

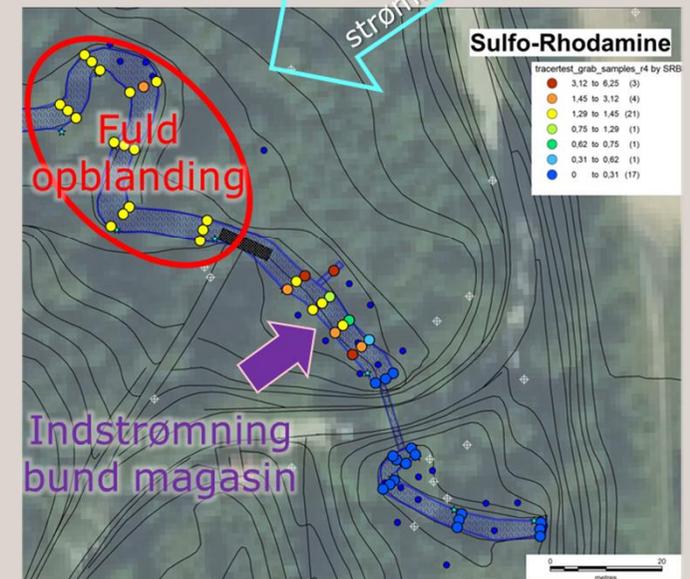
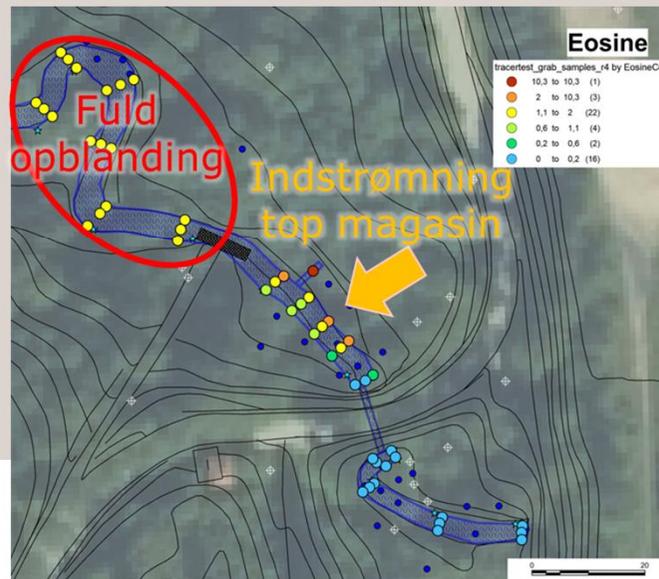


$$K = -\frac{v \cdot n_e}{l}$$



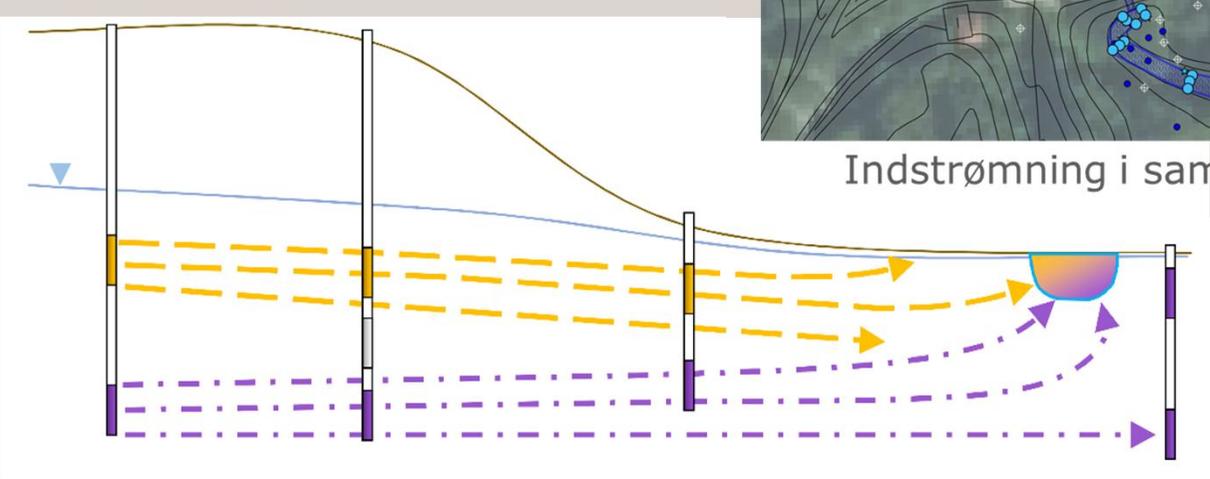
# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

Sporstofforsøg → transporthastighed og udstørningsområde



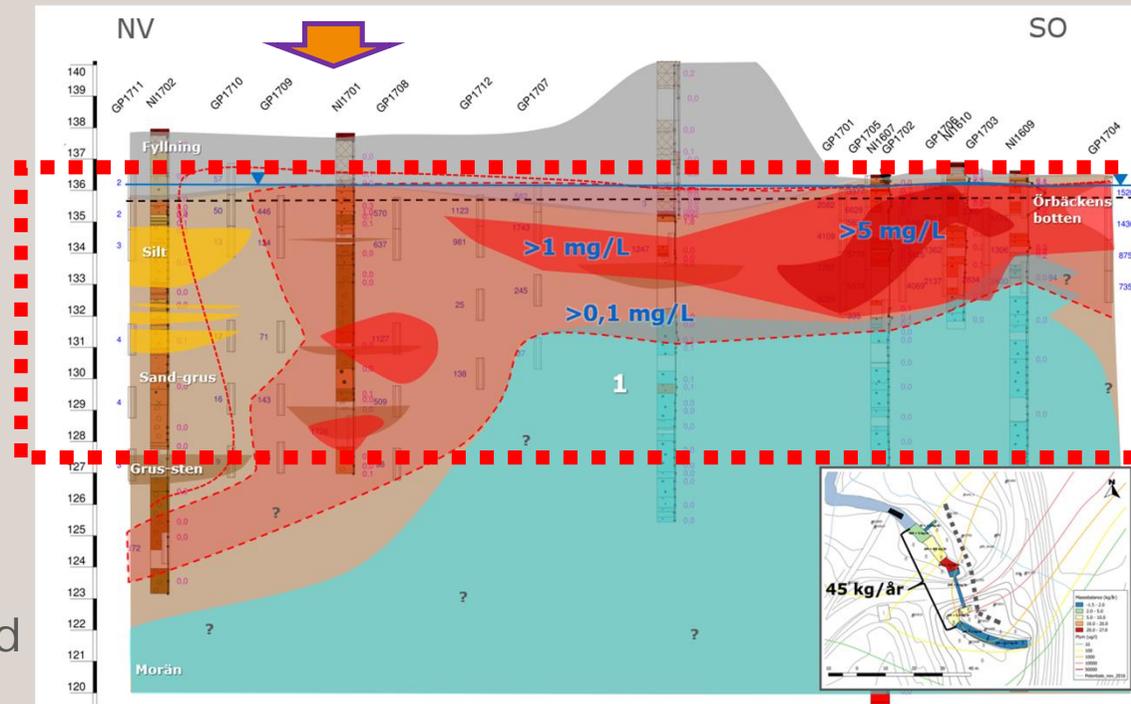
Grundvandsstrømningsretning

Indstrømning i samme område → men forskellig transportvej!



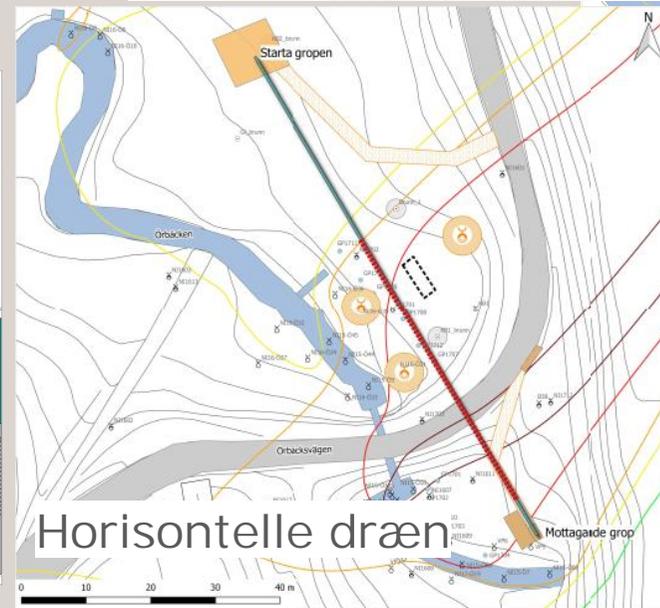
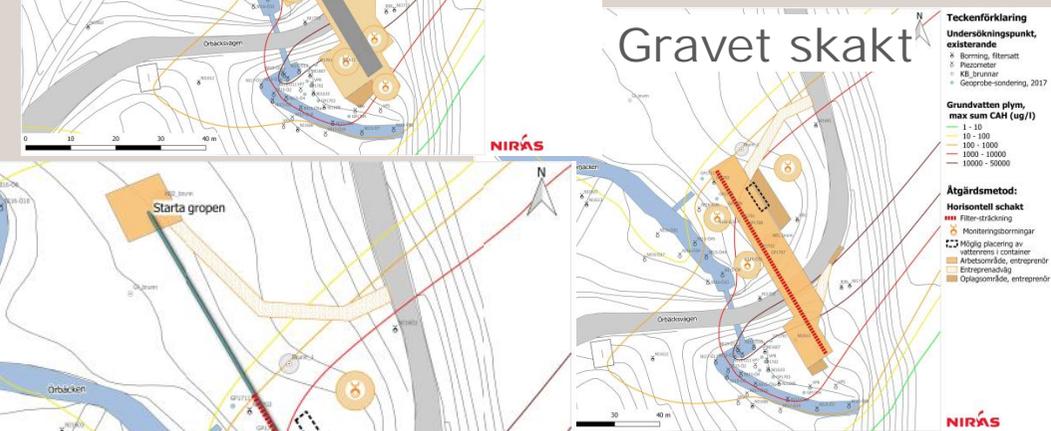
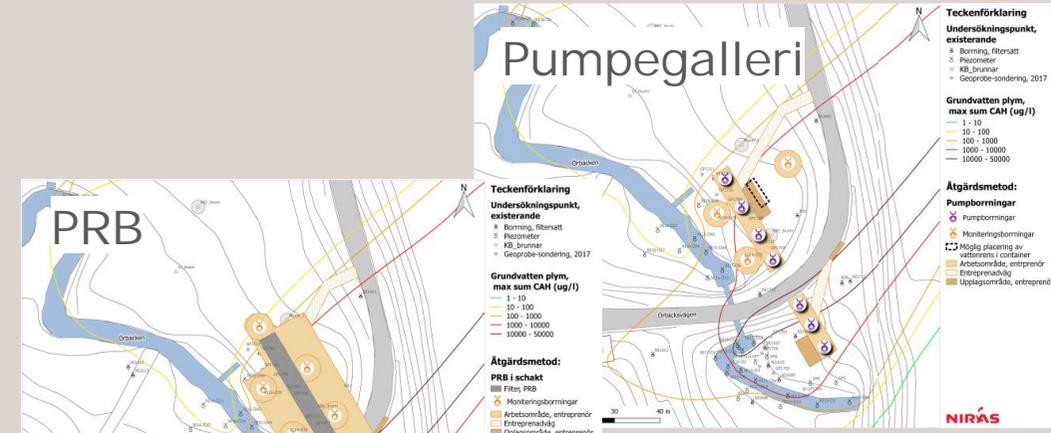
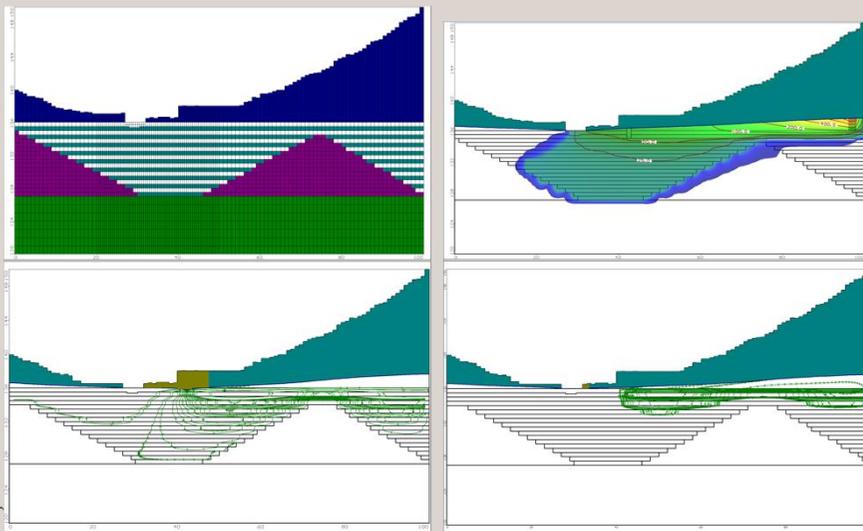
# Detaljeret hydrogeologisk undersøgelse

- Sonic boringer → Kendskab til geologisk
- DTS (distributed temperature sensing) → identifikation af udstrømningsområde
- Sporstofforsøg → transporthastighed og område
- Niveauspecifik vandprøvetagning med Geoprobe → Kendskab til forureningens fordeling → masseflux



# Modellering

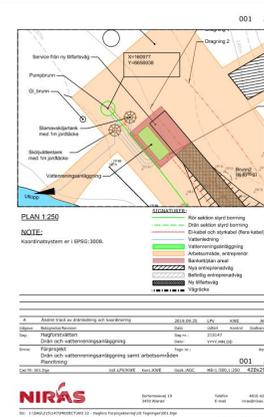
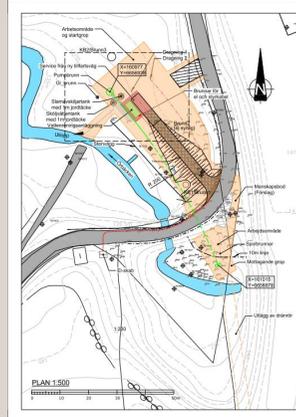
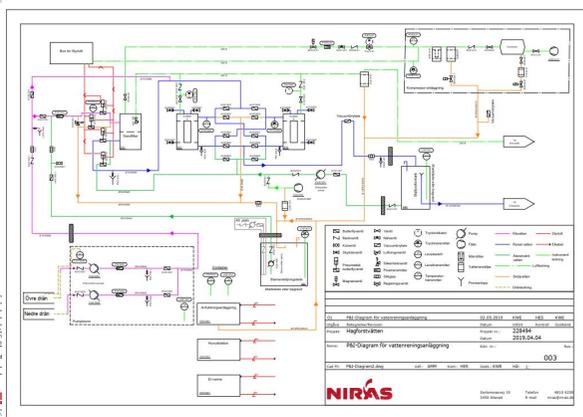
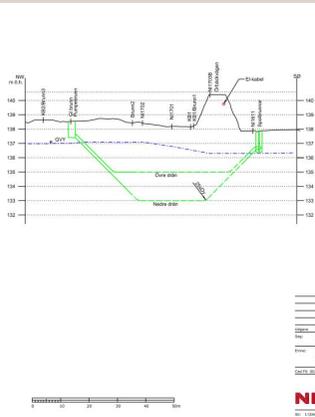
- Numerisk modellering af effektiviteten af forskellige konfigurationer af afværgeløsninger
- Design → 2 parallelle, horisontelle dræn



# Projektering, udbud og etablering

Det samlede anlæg blev projekteret som et relativt detaljeret funktionsbeskrivelse og udbudt som en totalentreprise. Hensigten var:

- at sikre indfrielse af bygherres forventninger til anlæggets fleksibilitet i design og kvalitet i udførelsen,
- give et råderum for entreprenøren til eksempelvis at tilrettelægge jordarbejder og vælge erfaringsmæssigt tekniske løsninger.



**NIRAS**

SDU  
Hafsløvsøen, Høfens  
6.2 Objekt-specifik teknisk beskrivelse (OTS)

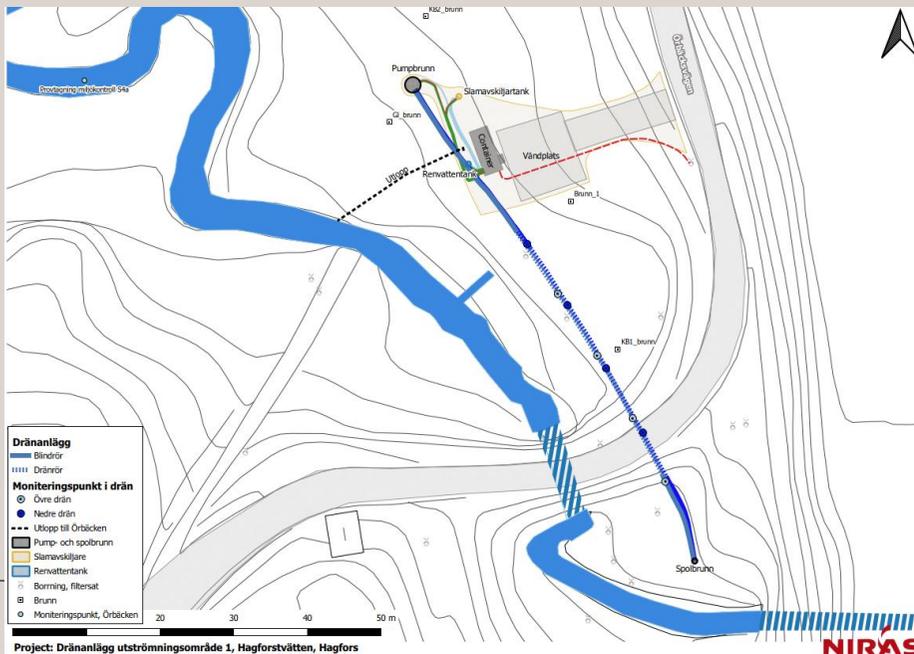
Innhold

1	Almindelig	4
1.1	Formål	4
2	Arbejdsområde	5
3	Trækkeskema af byggeplanerne	6
3.1	Objektets beskrivelse	6
3.2	Bestillets betingelser, formål, indholdsmæssige rammer	6
3.3	Bestillets form og indhold, omfang af forberedelse	7
3.4	Bestillets form og indhold, omfang af forberedelse, som ikke er indført	7
3.5	Bestillets form og indhold, Vegetation	8
3.6	Bestillets form og indhold, Vegetation	8
4	Mærkelisten	10
4.1	Levetider / levetider	10
4.2	Levetider / levetider	10
4.3	Tilførsels og plan	11
4.4	Skadestørrelser	12
4.5	Dokumentation	12
4.6	Andet	12
5	Driftsplanlægning	14
5.1	Generelt	14
5.2	Erhvervsplanlægning	14
5.3	Driftsplanlægning, driftsplanlægning	14
5.4	Driftsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	15
5.5	Driftsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning og udgifter, indtæktssikring af driftsplanlægning	17
5.6	Driftsplanlægning	17
5.7	Driftsplanlægning	17

5.8.1	Kontrolplan	19
5.8.2	Spildevands- og spildevandsplan	19
5.8.3	Sikketilstand og spildevandsplan	21
5.8.4	Spildevandsplan, spildevandsplan, spildevandsplanlægning	21
5.8.5	Driftsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	21
6	Vedligeholdelsesplanlægning	24
6.1	Generelt	24
6.1.1	Funktionsspecifik	24
6.1.2	Erhvervsplanlægning	25
6.2	Arbejdsplanlægning	26
6.3	Erhvervsplanlægning	26
6.3.1	Tilførsels og plan	27
6.4	Arbejdsplanlægning	28
6.4.1	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.2	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.3	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.4	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.5	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.6	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.7	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.8	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.9	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.10	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.11	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.12	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.13	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.14	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.15	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.16	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.17	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.18	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.19	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.20	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.21	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.22	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.23	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.24	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.25	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.26	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.27	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.28	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.29	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.30	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.31	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.32	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.33	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.34	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.35	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.36	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.37	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.38	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.39	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.40	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.41	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.42	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.43	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.44	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.45	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.46	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.47	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.48	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.49	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29
6.4.50	Arbejdsplanlægning, indtæktssikring af driftsplanlægning	29

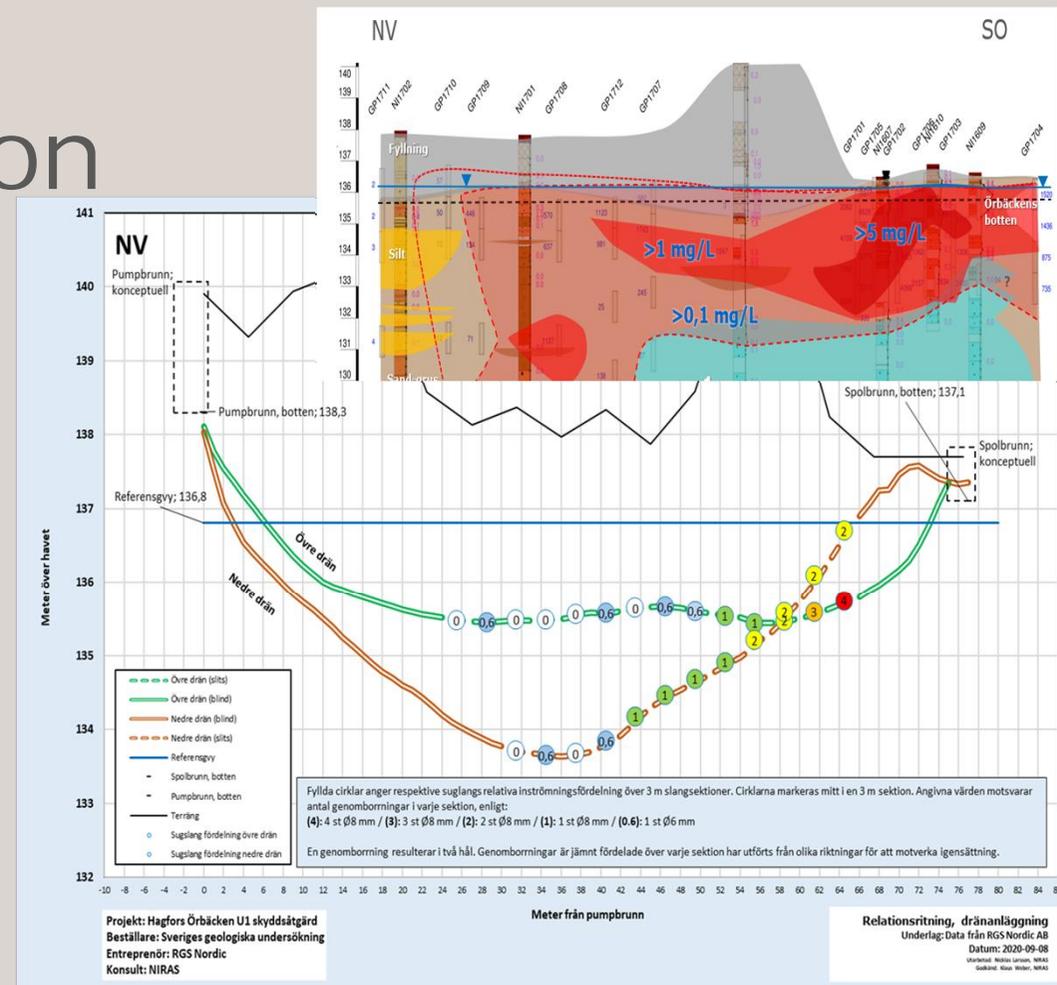
# Resultat af installation

- De to dræn er installeret ved retningsstyret boring over afstande på ca. 80 m, hvoraf drænstrækningerne udgør ca. 40 m.



# Resultat af installation

- Afværgepumpningen er baseret på et vakuumsystem, hvor det er muligt at målrette indsugningspunkter lokal i drænenene.



Kik ned i pumpebrønd. De to dræn med sugeslanger kommer ind i brønden til højre. Bestykning med 2 Grundfos SRE 5-5 regulerbare pumper vandmålere og prøvehaner.

# Resultat af installation

- Afværgepumpningen er baseret på et vakuumsystem, hvor det er muligt at målrette indsugningspunkter lokal i drænene.



Levering af nøglefærdigt vandbehandlingsanlæg med sandfilter, 2 kulfiltre samt SRO styring.

NIRAS

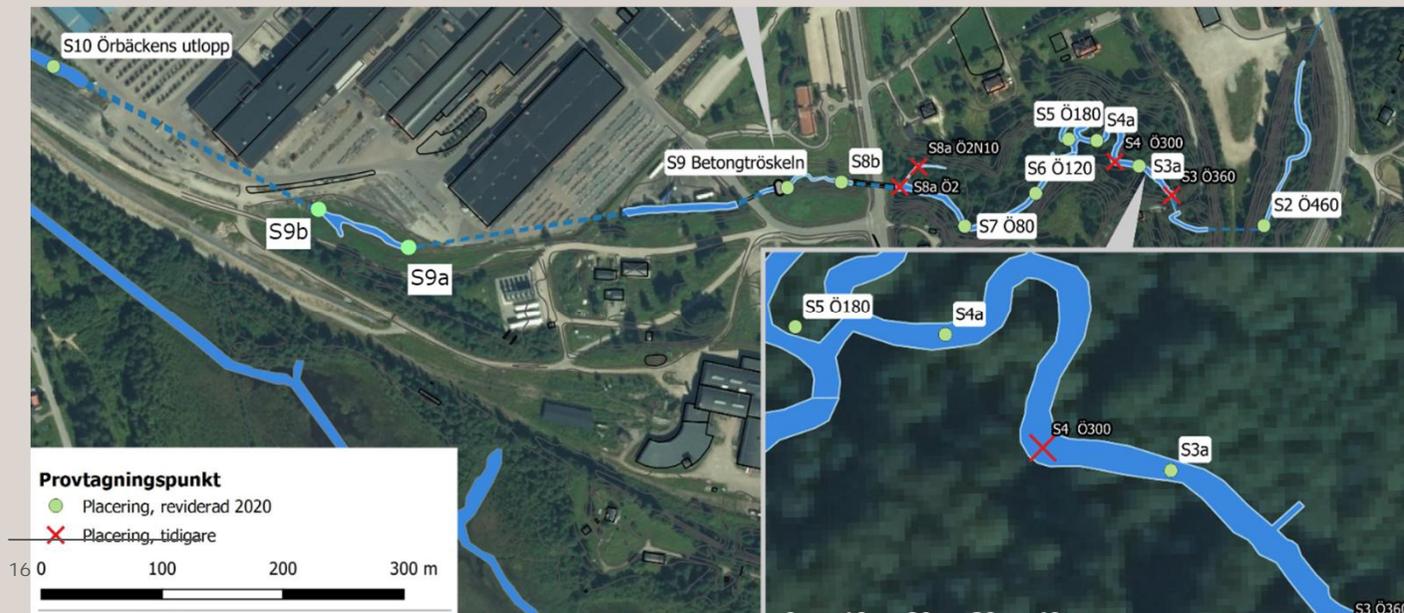
# Resultat af installation

- Vandbehandlingsanlægget er placeret i en 20' container, som er designet til en fleksibel anvendelse med en behandlingskapacitet indtil ca. 8 m<sup>3</sup>/h.
- Vandbehandlingen er baseret på standardkomponenter med sandfilter for fjernelse af jern, partikler mv. samt efterfulgt af 2 filtre med aktiv kul.
- Anlægget har automatiseret drift med fjernovervågning og -styring.
- Renset vand udledes til bækken

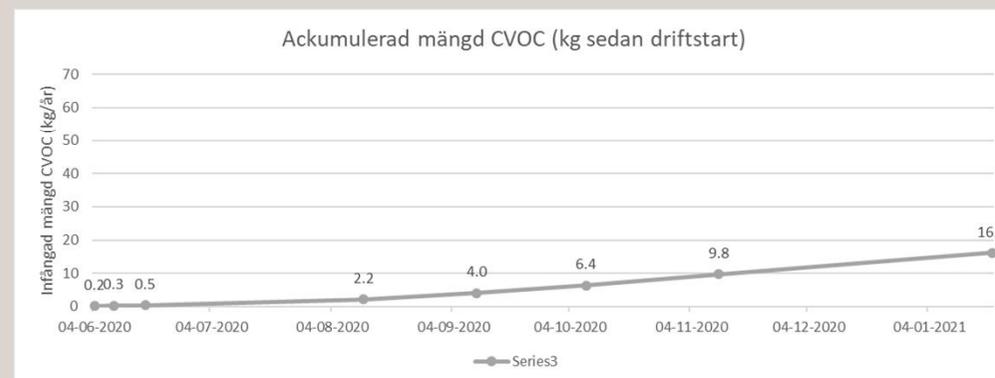
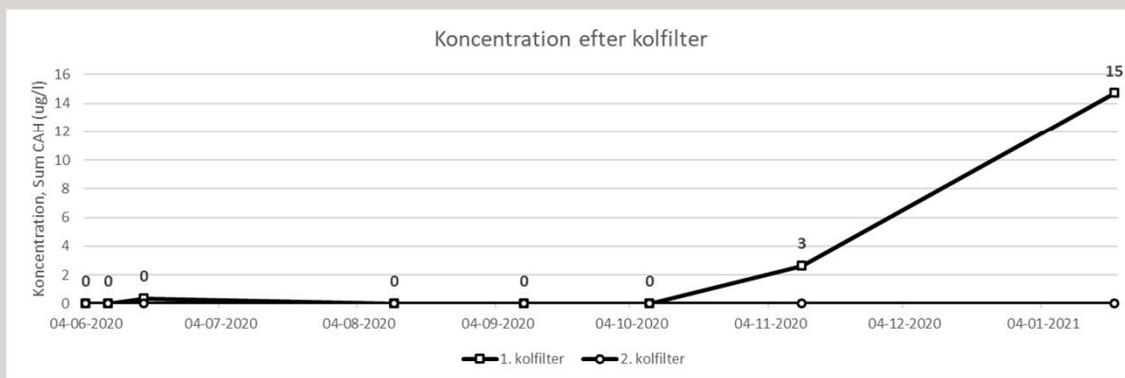
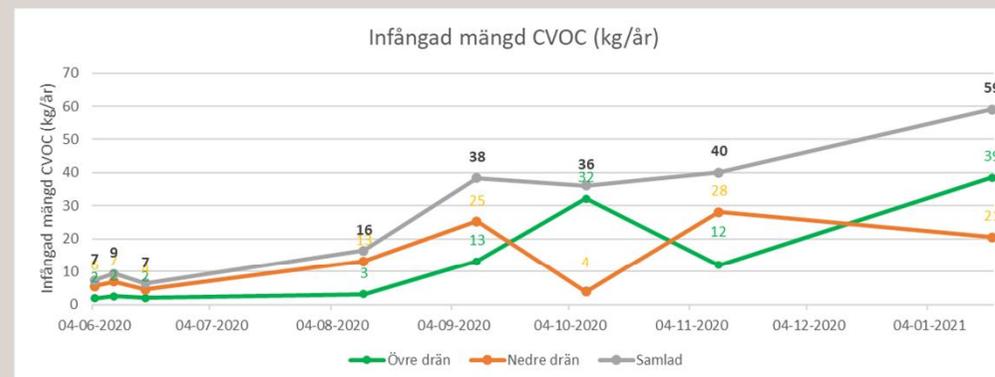
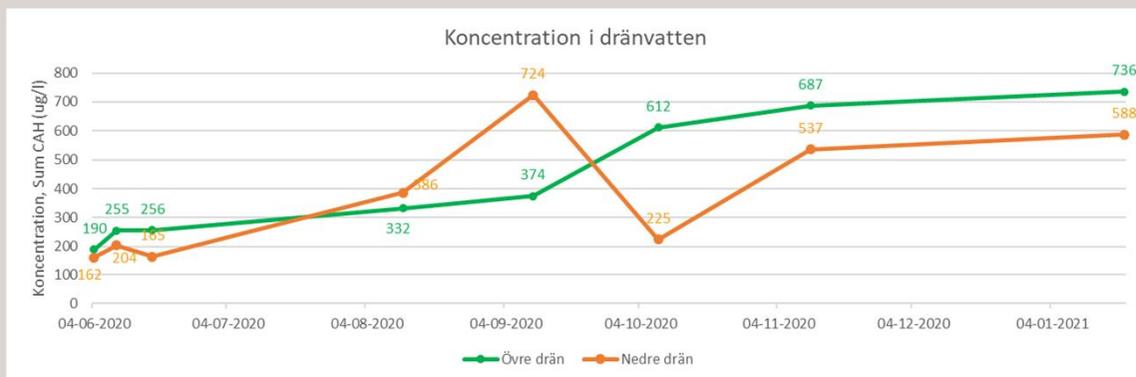


# Anlæggets effektivitet

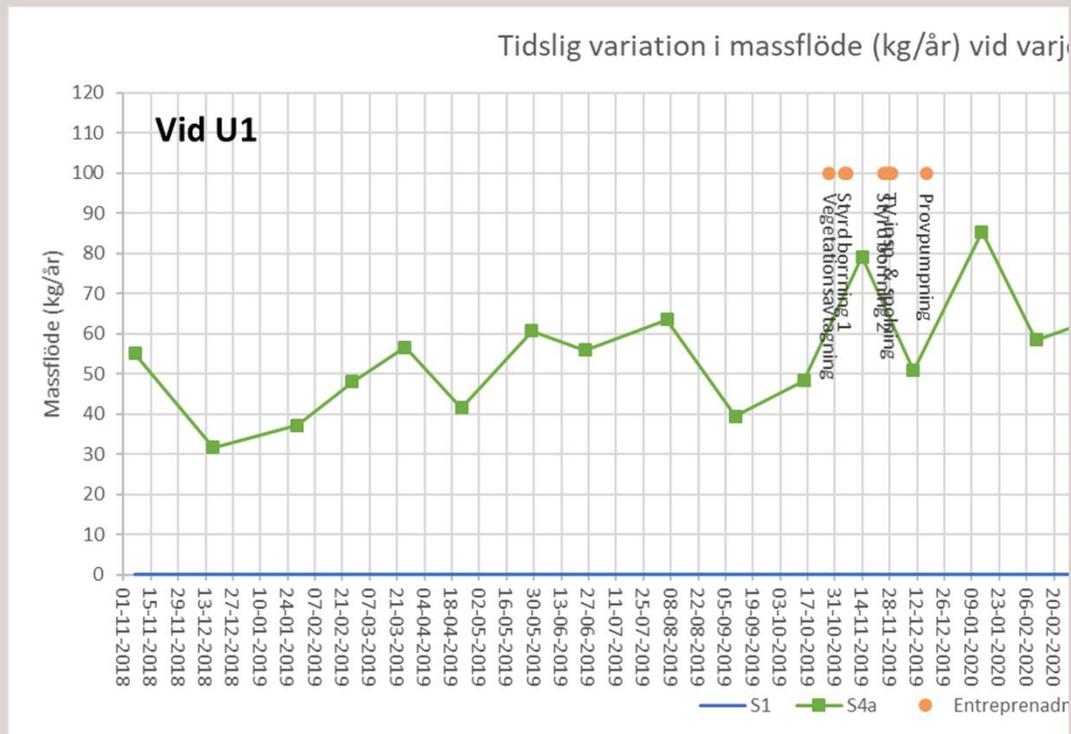
- Anlægget er sat i drift i juni 2020
- Effektiviteten overvåges dels ved monitoring af rens effektivitet, dels prøvetagning i Örbäcken.



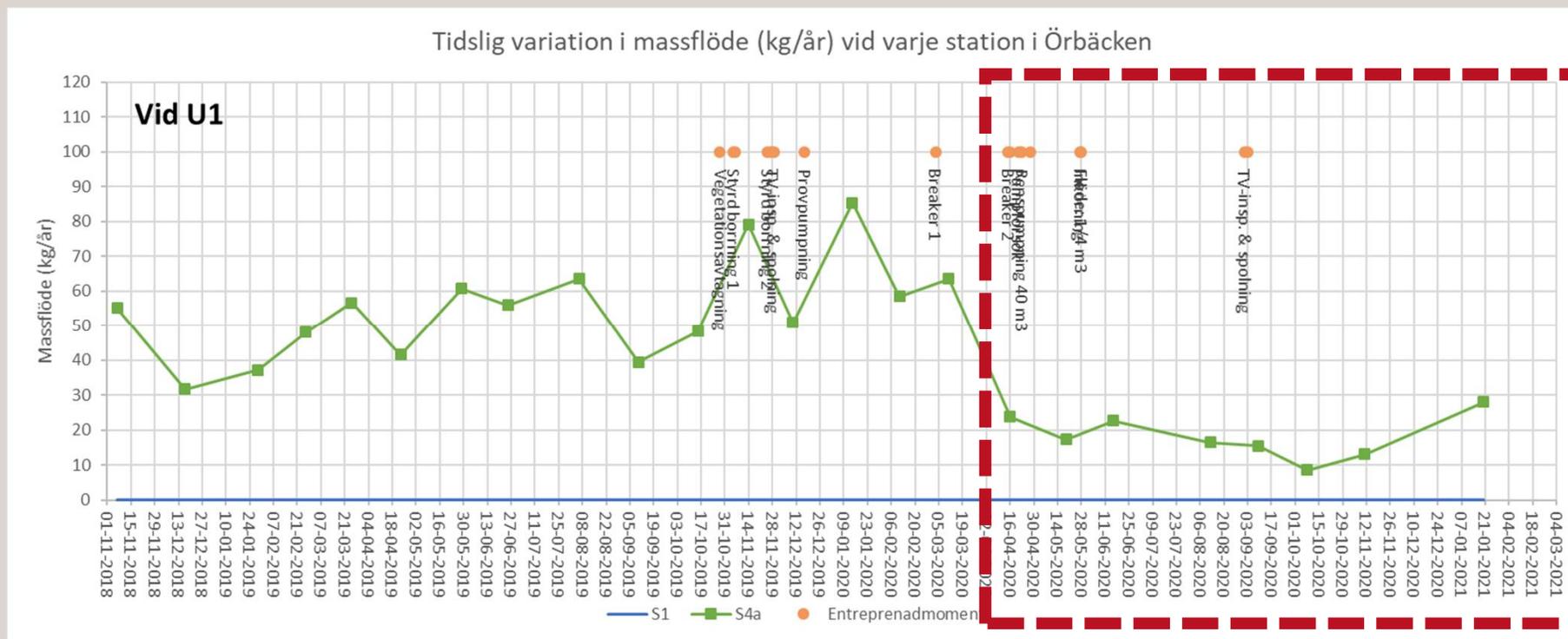
# Anlæggets effektivitet



# Anlæggets effektivitet



# Anlæggets effektivitet



# Konklusion

Praktiske erfaringer fra et projekt under usædvanlige forhold

Vigtigste læringspunkter er:

- Vælg en passende detaljering i projekteringen, der sikrer indfrielse af bygherres forventninger og giver mulighed for lokalitetsspecifikke hensigtsmæssige løsninger
- Opgaver, som er usædvanlige for entreprenøren, indebærer et særligt behov for forventningsafstemning, der ligger ud over hvad man kan forvente formidlet i en projektbeskrivelse. Møder med gennemgang af kritiske forhold og tilsyn er derfor særlig vigtig.
- Boring i friktionsmaterialer (sand, grus) er vanskelig grundet stor spidsmodsand. Her særlig kritisk grundet stor dybe, lange afstande, tilstedeværelsen af sten og blokke. Overvej behov for en plan B.

SGU

Sveriges geologiska undersökning

Spørgsmål?



Gro Lilbæk – ✉ [grli@niras.dk](mailto:grli@niras.dk) – ☎ 6038 4218

NIRAS

# Det fælles geologiske/hydrostratigrafiske grundlag i Grundvandskortlægningen (FOHM)



Miljø- og Fødevarerministeriet  
Miljøstyrelsen

## - Udstilling, anvendelse og opdatering

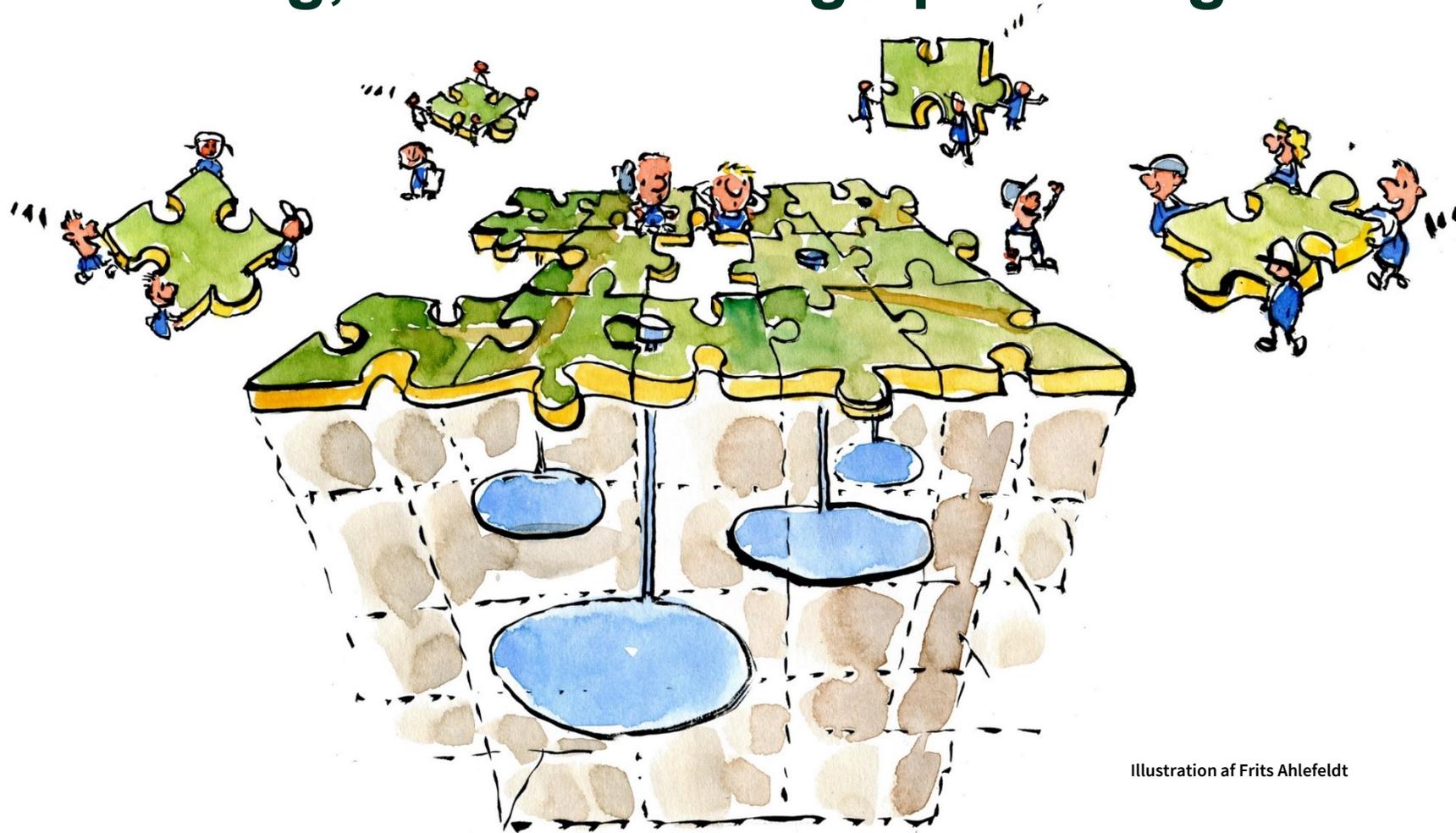


Illustration af Frits Ahlefeldt

ATV  
Marts 2021

Jesper Hannibalsen

# Program

---

Baggrund

---

Status siden sidst

---

Beskrivelse af det geologiske  
tolkningsmiljø

---

Udstilling og download af FOHM-  
modellen

---

Spørgsmål og diskussion



# Baggrund

## Opdatering af datagrundlaget til VP3

---

I 2018 blev der afsat 7 mio. kr. på finansloven til forberedelse af næste generation af vandområdeplanerne (2021-2027)

---

### Formål

- At opdatere det faglige grundlag for VP3
- 

### Leverance

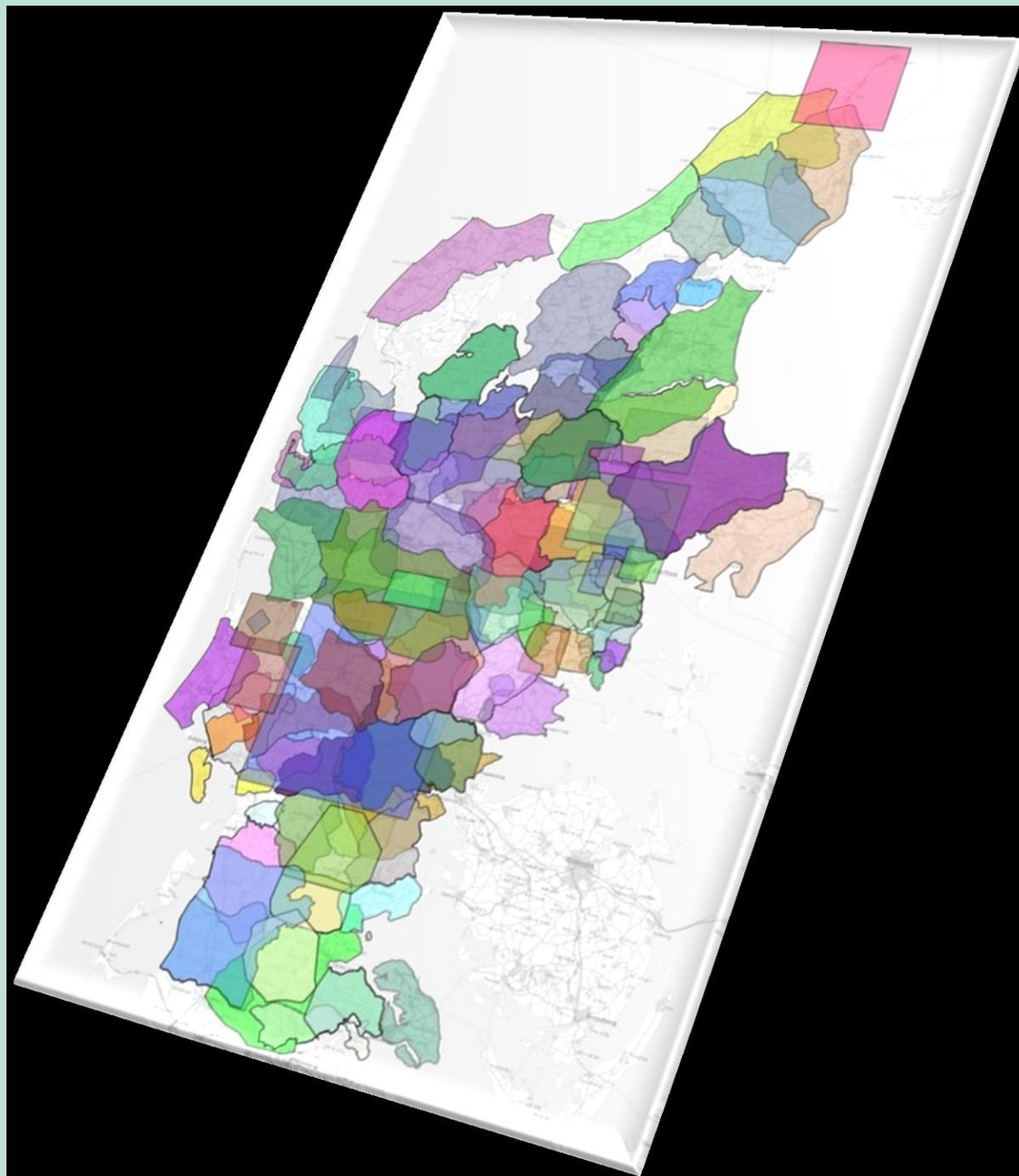
- 31. december 2018
- Samlet tolkningsdatabase for Jylland
- Interpolerede lagflader for Jylland.



# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

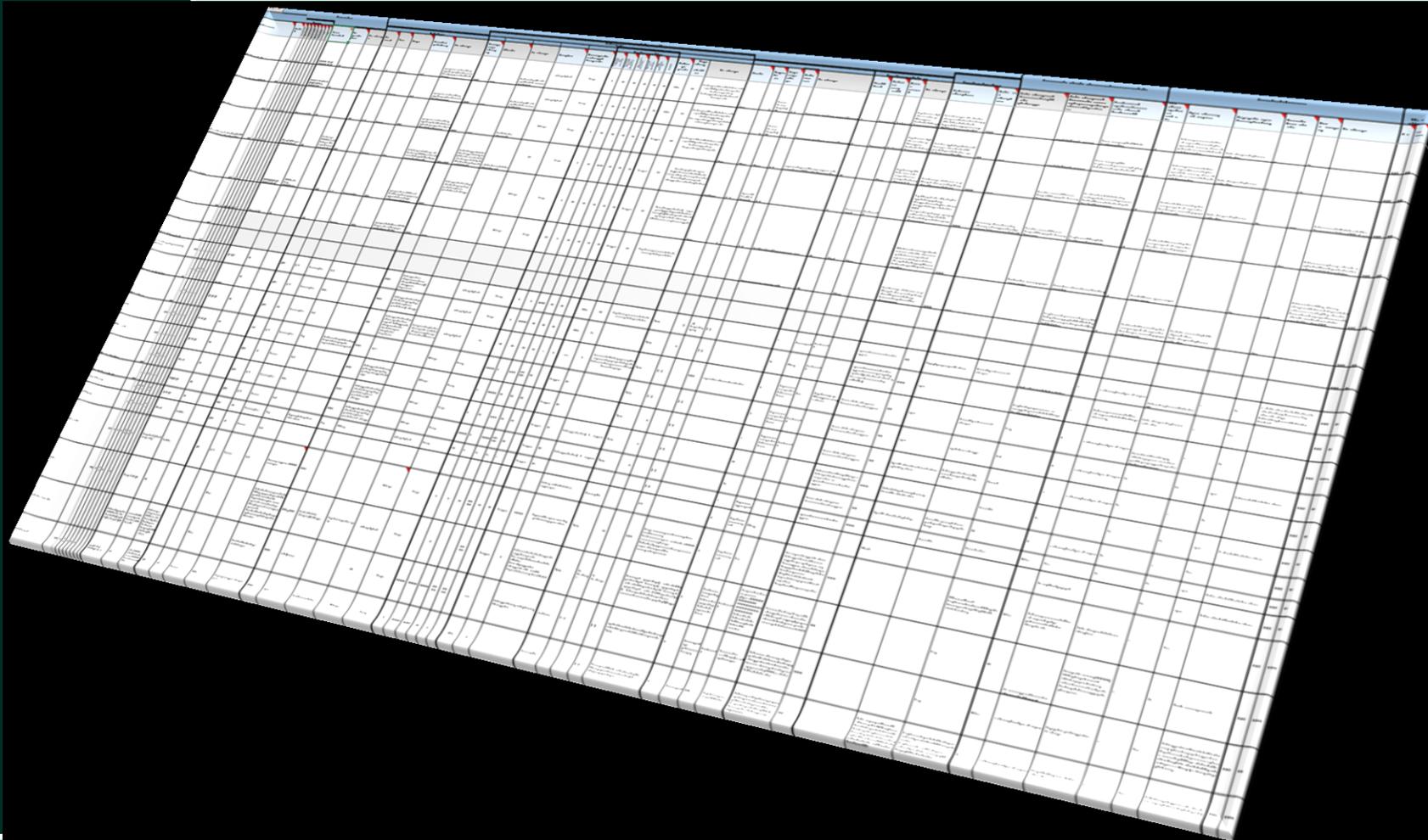
Samling af modellerne i Jylland



# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland



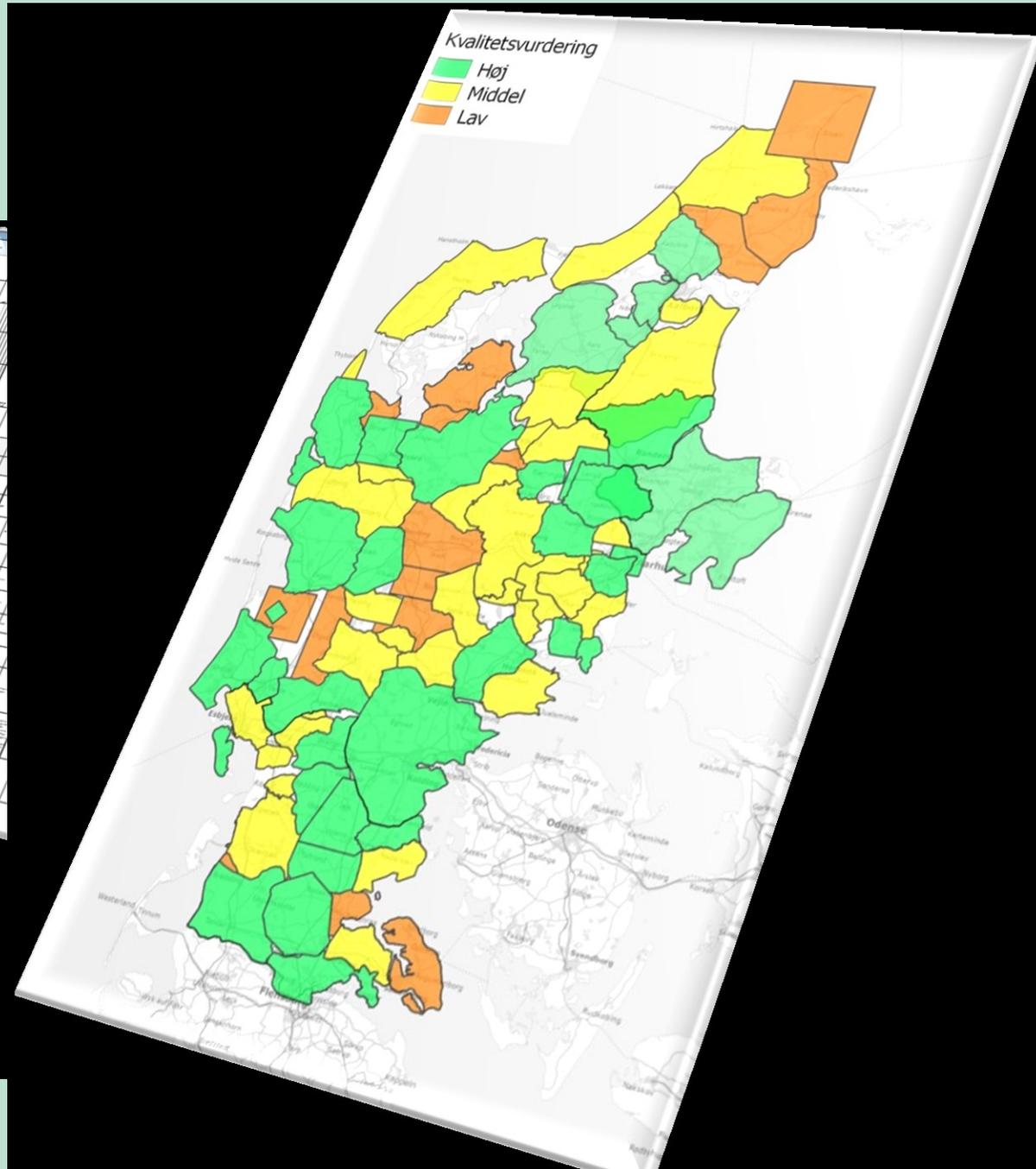
The image shows a large, tilted spreadsheet or data table with many columns and rows. The table is filled with text and numbers, representing a complex dataset. The columns are narrow and contain various labels and values, while the rows are wider and contain more detailed information. The table is presented at an angle, giving it a three-dimensional appearance. The background of the table is white, and the text is in black. The table is set against a dark background, which makes it stand out.



# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland

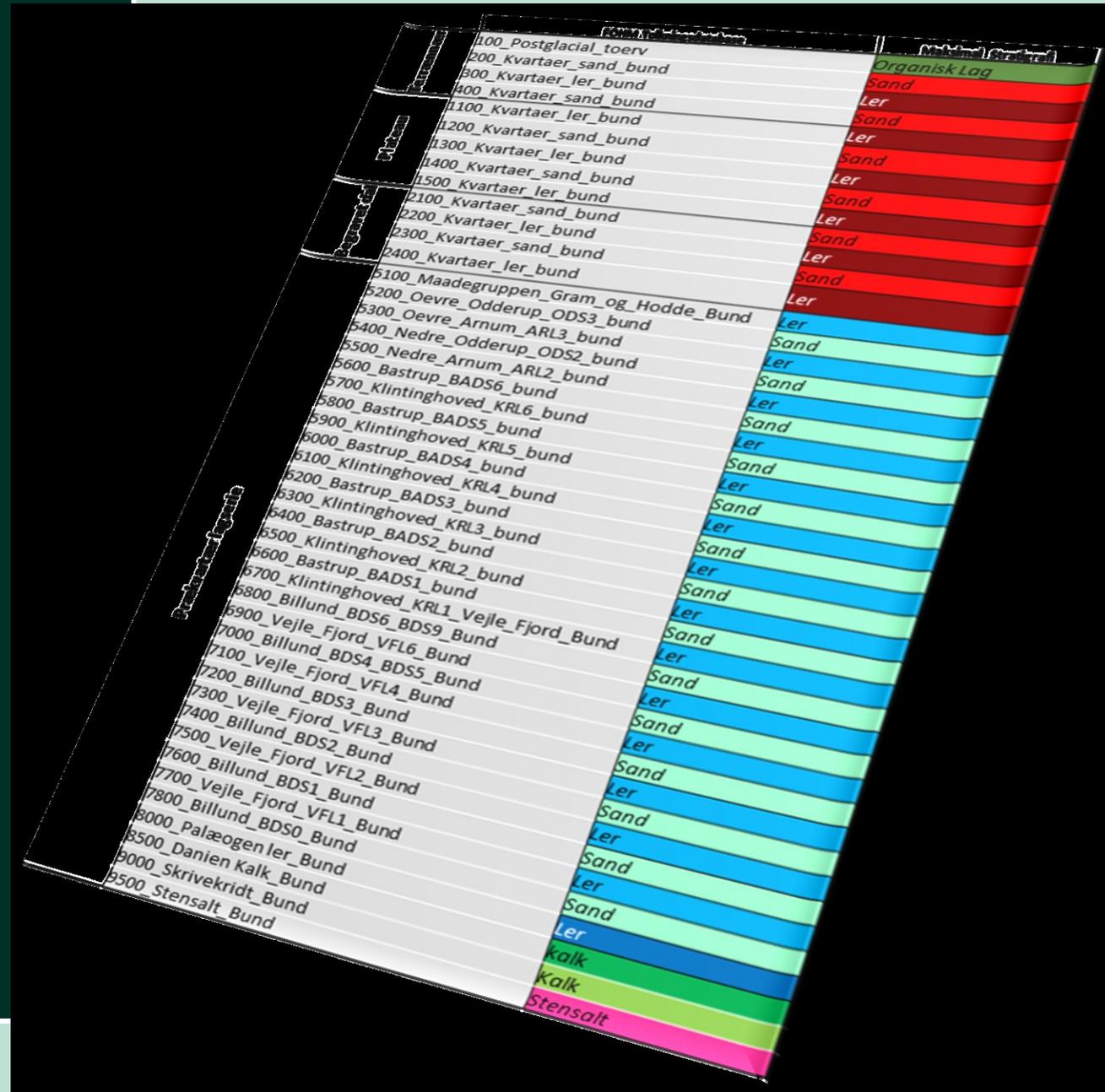


# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland

Maksimalstratigrafi

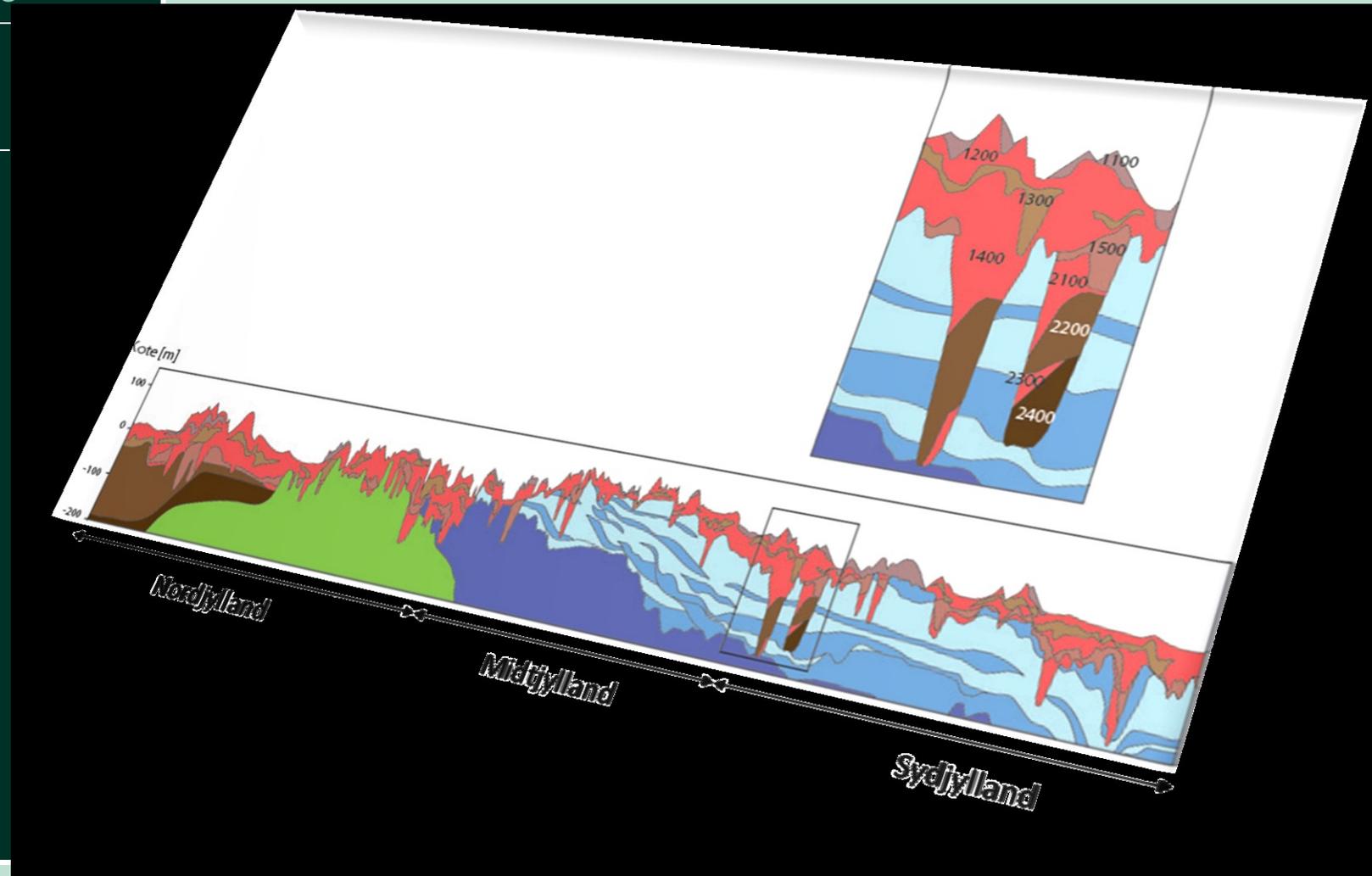


# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland

Maksimalstratigrafi



# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

---

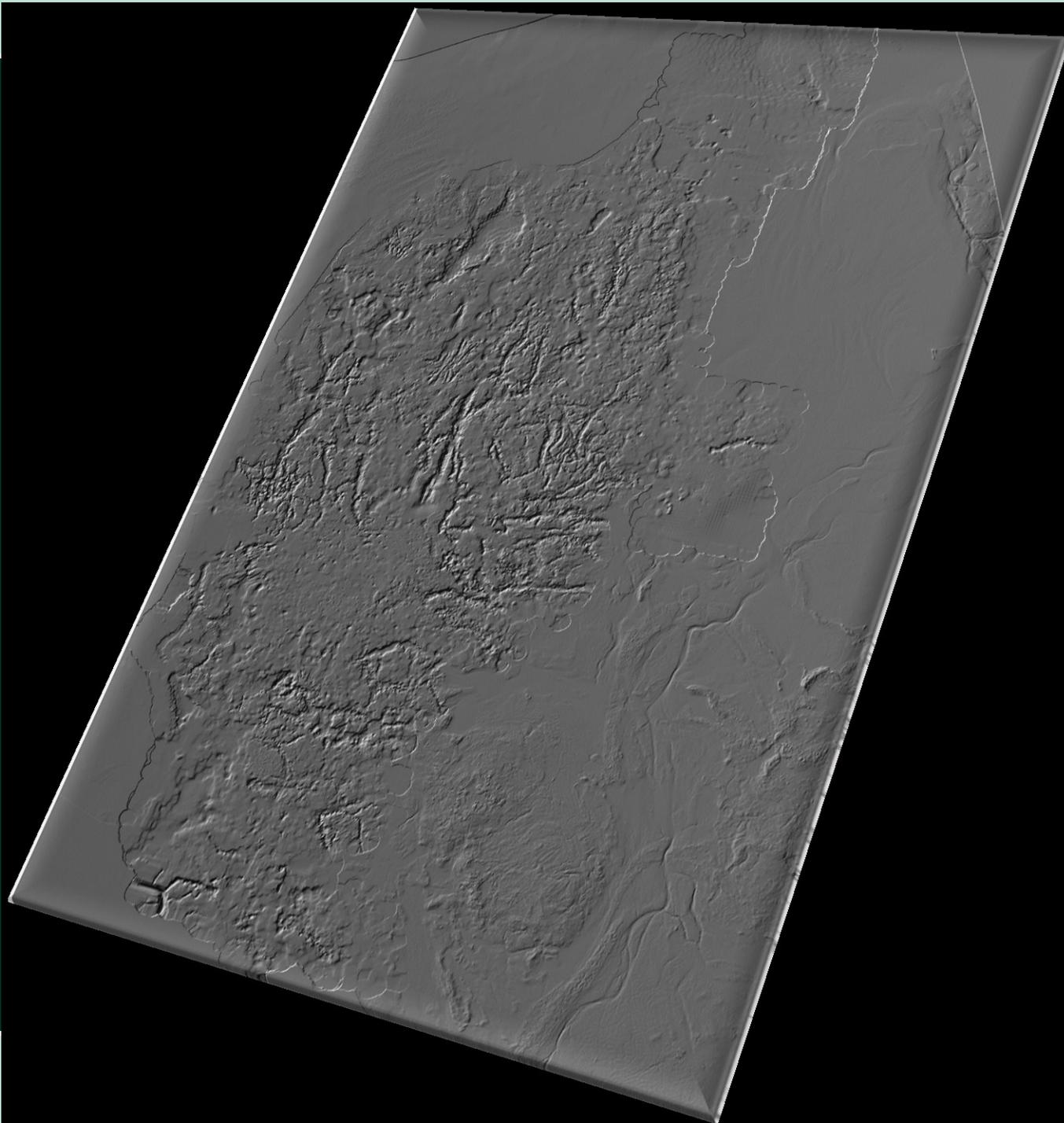
Samling af modellerne i Jylland

---

Maksimalstratigrafi

---

Resultater



# Baggrund

Opdatering af datagrundlaget til VP3

---

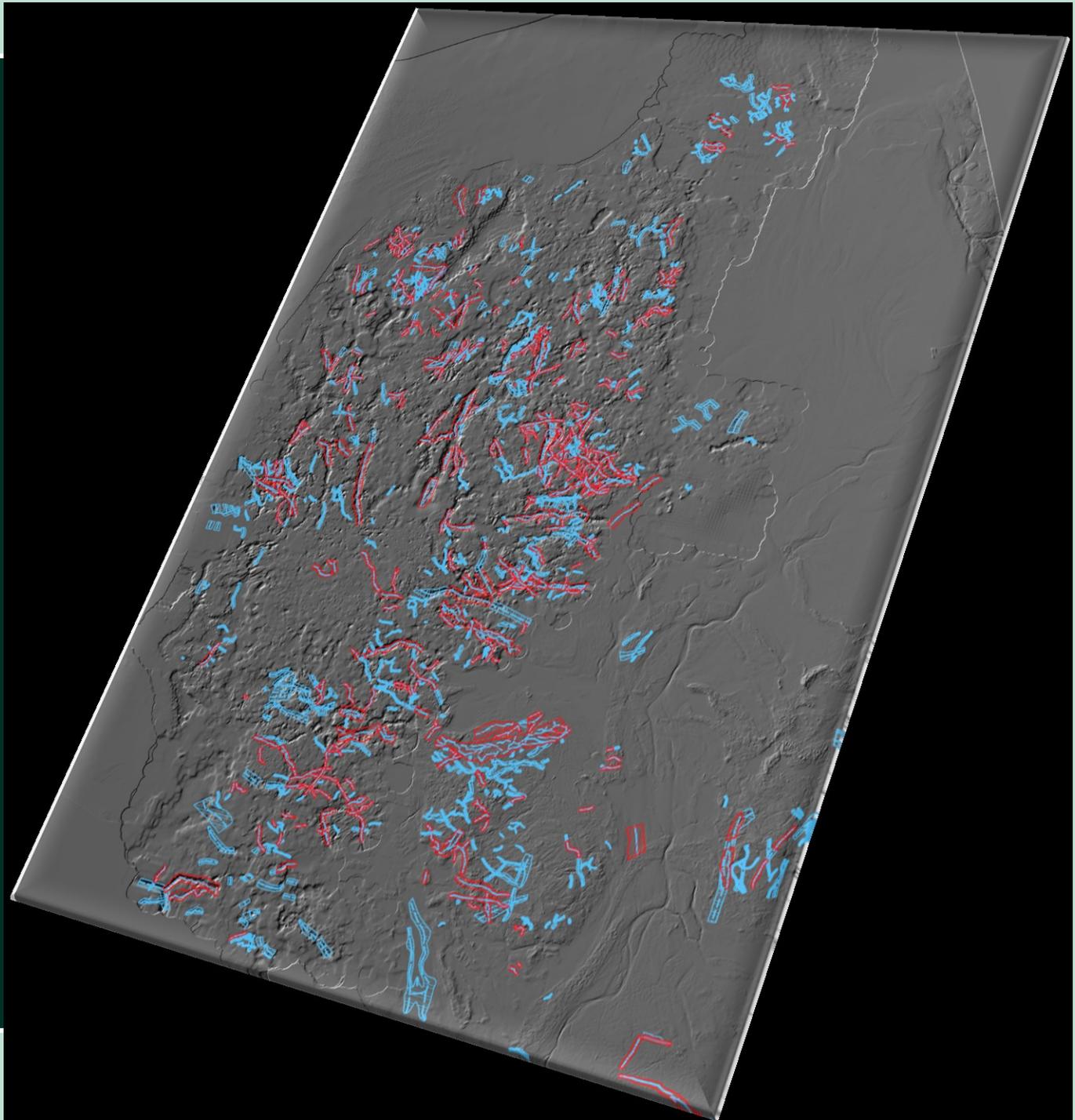
Samling af modellerne i Jylland

---

Maksimalstratigrafi

---

Resultater



# Baggrund

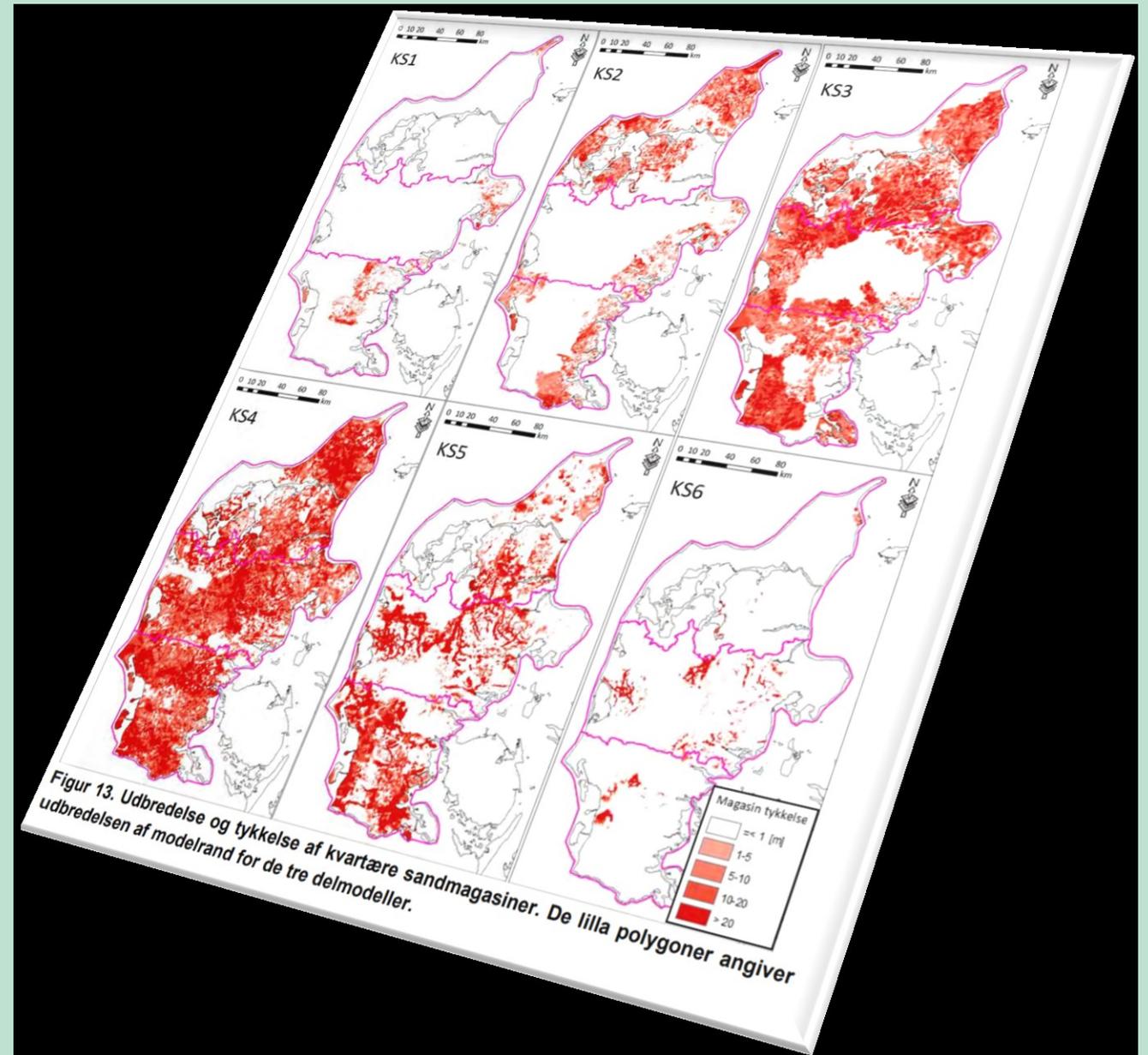
Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland

Maksimalstratigrafi

Resultater

Anvendelse



# Baggrund

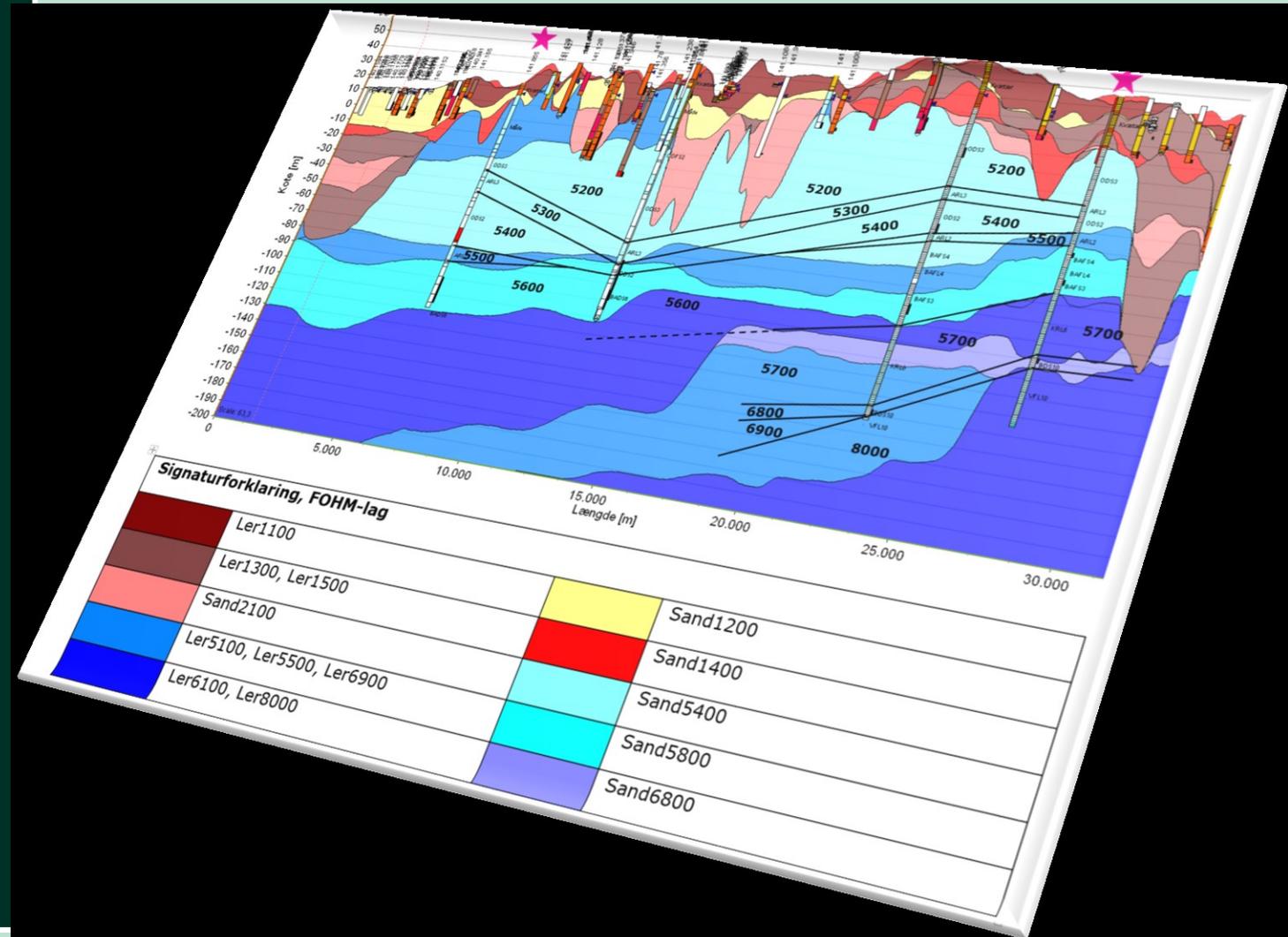
Opdatering af datagrundlaget til VP3

Samling af modellerne i Jylland

Maksimalstratigrafi

Resultater

Anvendelse

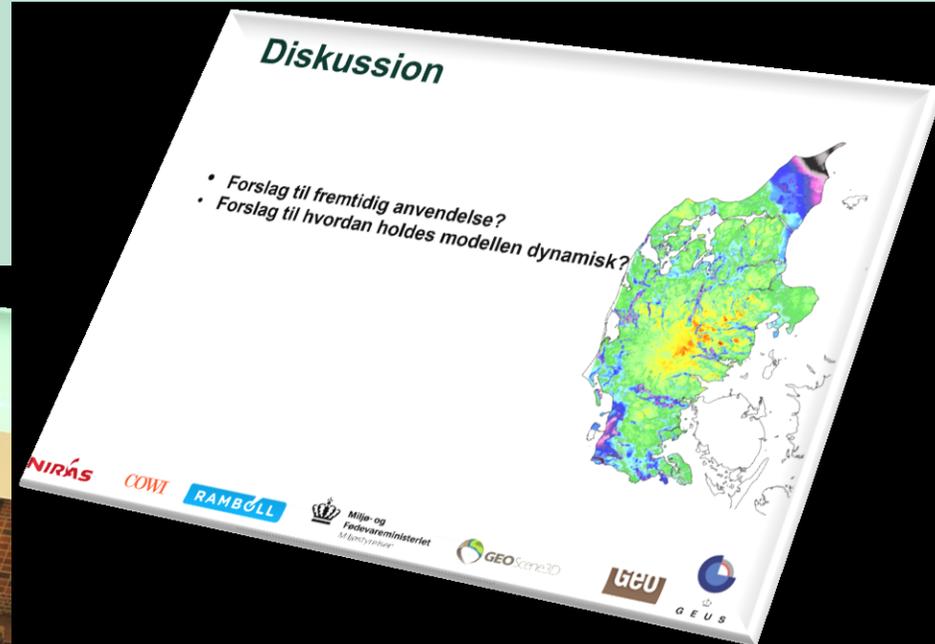


# Hvad talte vi om sidst?

Fælles indgang til modellen

Tilgængelig dokumentation

Let adgang til opdatering



# Status siden sidst

Opdatering april 2019

---

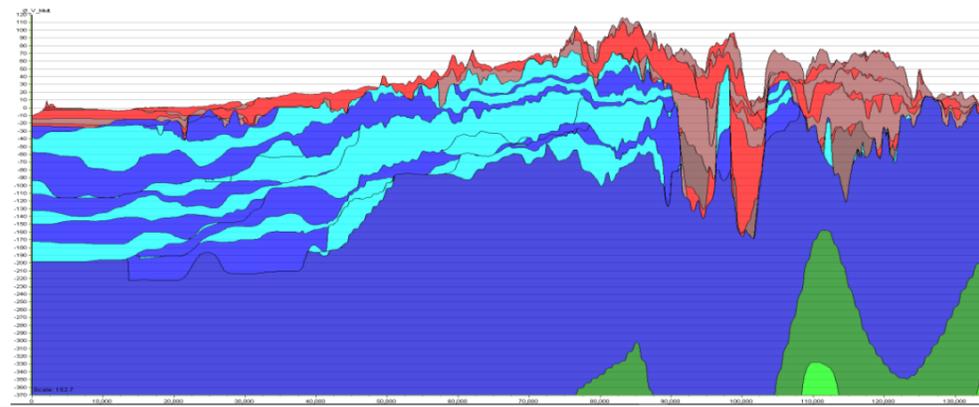
Opdatering december 2020

---

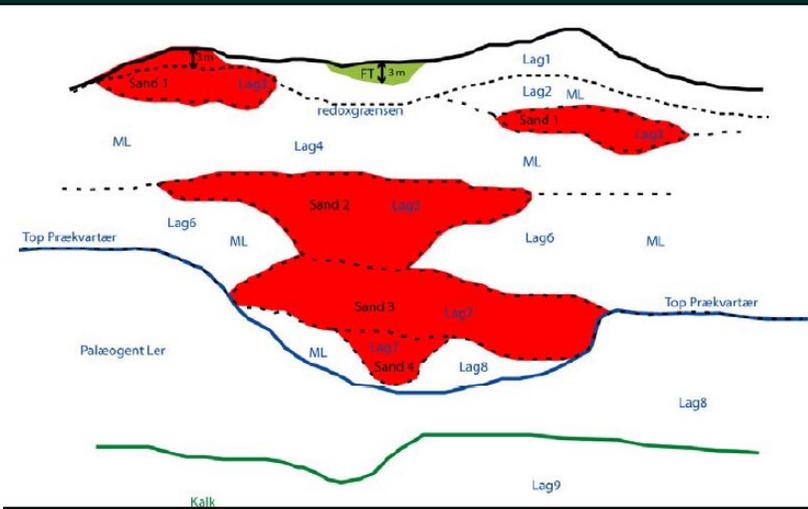


# Status siden sidst

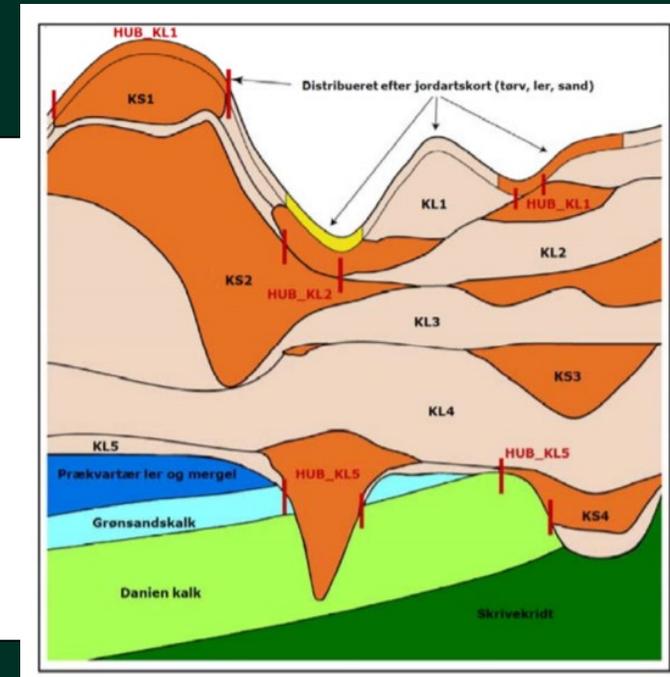
## Jylland



## Fyn



## Sjælland



# Status siden sidst

Oplæg_til_Maksimalstratigrafi_DK	Fyn	Sjælland
10_Recent_Fyld		
100_Postglacial_Tørv/Marin_bund		
200_Kvartær_Sand/Marin_bund		
300_Kvartær ler_Bund	Modellag_2	KL_1
400_Kvartær sand_Bund	Modellag_3_KS_1	KS_1
1100_Kvartær ler_Bund	Modellag_4	KL_2
1200_Kvartær sand_Bund	Modellag_5_KS2	KS2_
1300_Kvartær ler_Bund	Modellag_6	KL_3
1400_Kvartær sand_Bund	Modellag_7_KS3	KS_3
1500_Kvartær ler_Bund	KL4	KL4
2100_Kvartær sand_Bund	KS4	KS_4
2200_Kvartær ler_Bund		
2300_Kvartær sand_Bund		
2400_Kvartær ler_Bund	Modelag_8	KL_5
5100_Mådegruppen (Gram- og Hodde)_Bund		
5200_Øvre Odderup (ODS3)_Bund		
5300_Øvre Arnum (ARL3)_Bund		
5400_Nedre Odderup (ODS2)_Bund		
5500_Nedre Arnum (ARL2)_Bund		
5600_Bastrup (BAD56)_Bund		
5700_Klintinghoved (KRL6)_Bund		
5800_Bastrup (BAD55)_Bund		
5900_Klintinghoved (KRL5)_Bund		
6000_Bastrup (BAD54)_Bund		
6100_Klintinghoved (KRL4)_Bund		
6200_Bastrup (BAD53)_Bund		
6300_Klintinghoved (KRL3)_Bund		
6400_Bastrup (BAD52)_Bund		
6500_Klintinghoved (KRL2)_Bund		
6600_Bastrup (BAD51)_Bund		
6700_Klintinghoved (KRL1)/Vejle Fjord_Bund		
6800_Billund (BDS6/BDS9)_Bund		
6900_Vejle Fjord (VFL6)_Bund		
7000_Billund (BDS4/BDS5)_Bund		
7100_Vejle Fjord (VFL4)_Bund		
7200_Billund (BDS3)_Bund		
7300_Vejle Fjord (VFL3)_Bund		
7400_Billund (BDS2)_Bund		
7500_Vejle Fjord (VFL2)_Bund		
7600_Billund (BDS1)_Bund		
7700_Vejle Fjord (VFL1)_Bund		
7800_Billund (BDS0)_Bund		
8000_Palæogen ler_Bund	Modellag_9_PL_Ler	PL_1
8100_Palæogen Kalk	PK_1	PK_1
8200_Danien_KK_Ø		
8300_Danien_KK_M		
8400_Danien_KK_N		
8500_Danien Kalk_Bund		DK_1 (dk_1b)
9000_Skrivekridt_Bund		
9500_Stensalt_Top		

# Status siden sidst

## Justering og interpolation

### Jylland

#### 6.6 Interpolation,

Alle lag i modellen er interpoleret med *Inverse Distance Metoden* ved følgende indstillinger:

**Algoritme:** Inverse Distance Weighting (ID)  
**Exponent:** 4  
**Smooth Factor:** 200  
**Point Limits:** Quadrant Count = 3  
**Søgeradius:** 2500 m for kvartære lag, 5000 m for prækvartære lag  
**Node Spacing:** 100 x 100 m  
**Grid Extent:** Scene Extent

Metoden har sikret en ensartet, simpel og hurtig interpolation for alle lag i Jyllandsmodellen. Størstedelen af de oprindelige modeller er dog interpoleret med Kriging-metoden, og er tilpasset forholdene i de enkelte modelområder. En ensartet indstilling for kriging er ikke mulig for hele Jyllandsmodellen, og anvendelse af en simple metode har derfor været nødvendig.

*Inverse Distance* metoden har dog desværre haft uønskede bieffekter, da metoden kan give bølgede eller tragtformede elementer i lagfladerne samt udglatte topografiske laggrænser.

### Fyn

#### Interpolation af tolkningsdata

Der er anvendt kriging til interpolationen af tolkningspunkterne i modellen. Interpolationen er gennemført i GS3D.

Lagfladerne er interpoleret med en cellestørrelse på 100 x 100 meter, og der er anvendt en søgeradius på 3000 meter ved interpolation af fladerne "bund Lag 1", der er den øverste kortlagte lagflade, til og med toppen af prækvartæret. Ved lagfladen bund KS3, Top Prækvartær og Top Kalk, er der benyttet en søgeradius på 5000 meter på grund af et mere begrænset datagrundlag.

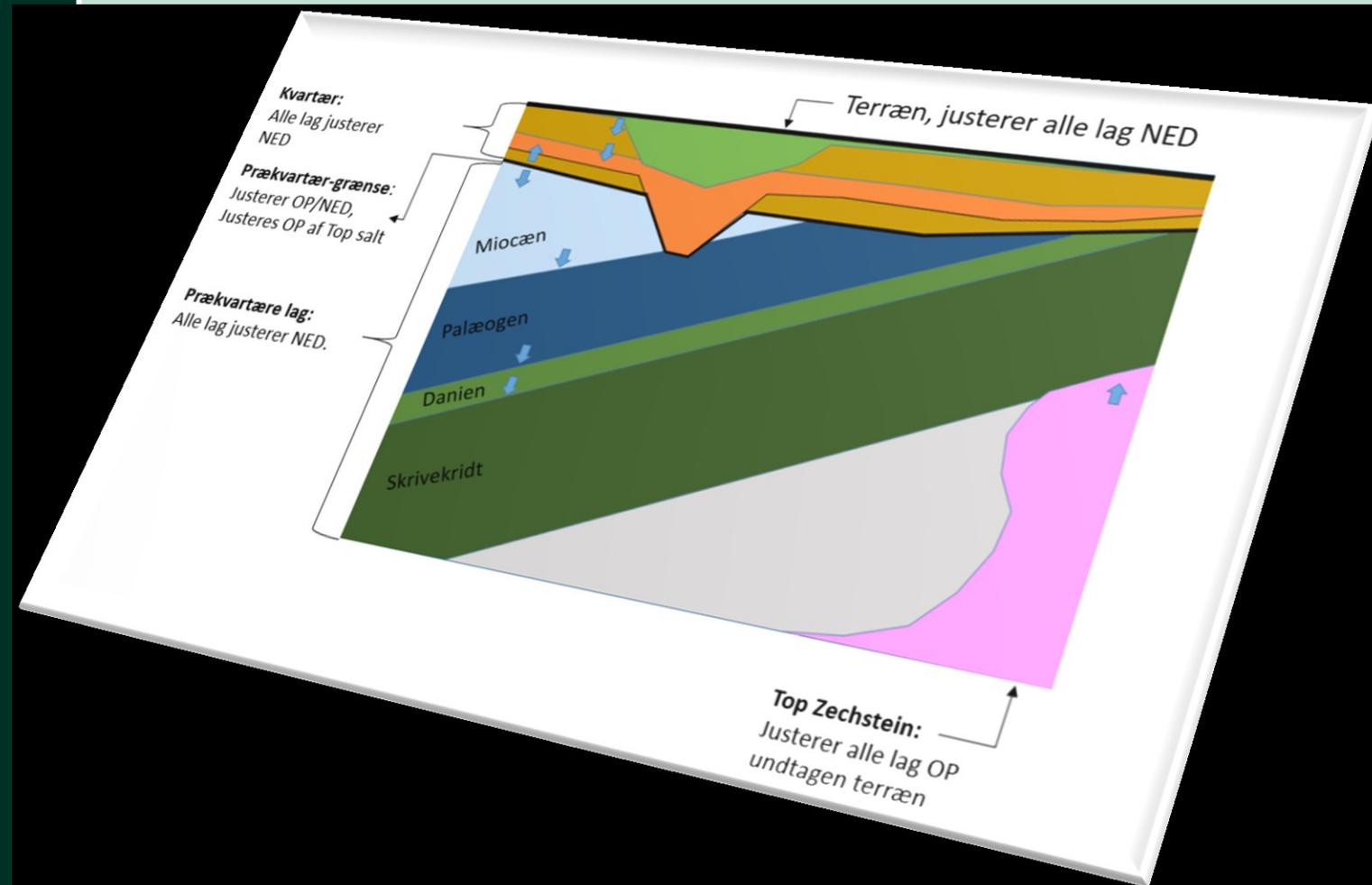
Der er i interpolationsopsætningen anvendt en oktant search på 4 og et max. data count per search på 25 datapunkter.

De specifikke kriging interpolationsindstillinger til de enkelte tolkningspunkter kan findes som xml. filer i den tilknyttede digitale model. De hydrostratigrafiske lagflader er efter interpolationen blevet korrigeret, således at de ikke krydser hinanden, se afsnit 6.11.

### Sjælland

Der er interpoleret med en iterativ algoritmen er baseret på ANUDEM (Hutchinson 1988, 1989, 1996, 2000 og 2011). Fladerne er interpoleret i python (arcpy bibliotek). ANUDEM er udviklet med det formål at kunne generere en korrekt hydrologisk højdemodel, der foruden hensyntagen til kontinuiteten af overfladen er i stand til at repræsentere abrupte overgange, eksempelvis forårsaget af strømmende vand. Algoritmen er fleksibel ift datatyper der kan medtages under interpolationen, fx kan den håndtere tolkningspunkter, forkastningslinjer og konturlinjer.

Fladerne bliver interpoleret i et 100 x 100 m grid med angivelse af minimumsværdi og maksimumsværdi sat til 20% under mindste hhv 20% over største værdi i tolkningsdatabasen. Algoritmens metode til sikring af sammenhængende dal- og hulstrukturer i fladen er fravalgt, ligesom der ikke er anvendt accept af en standard fejl på tolkningsdata, diskret smoothing faktor er sat lav til 1.0 og der bliver ikke tildelt straf i iterationerne ved rifler i overfladen (kvadrat af anden afledte størrelse). Der anvendes maksimalt 20 iterationer.



# Status siden sidst

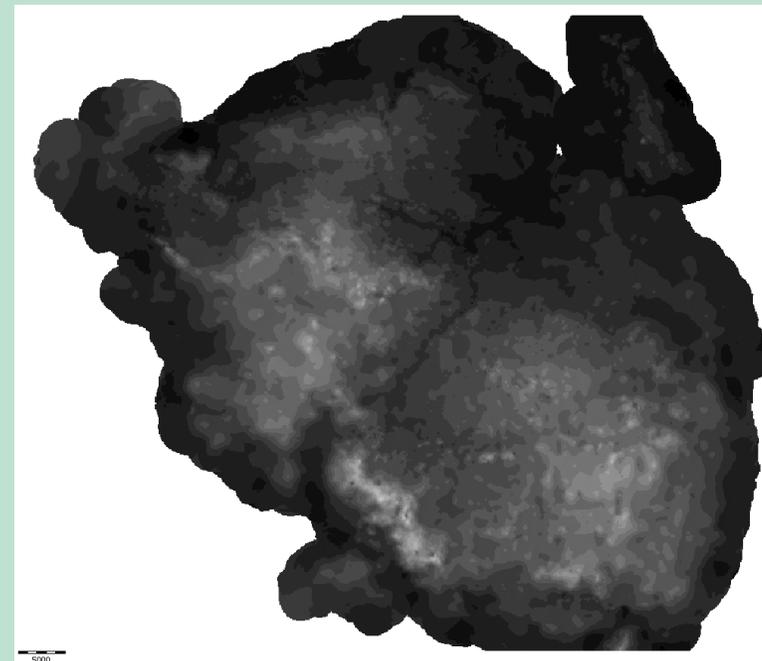
## Justering og interpolation

---

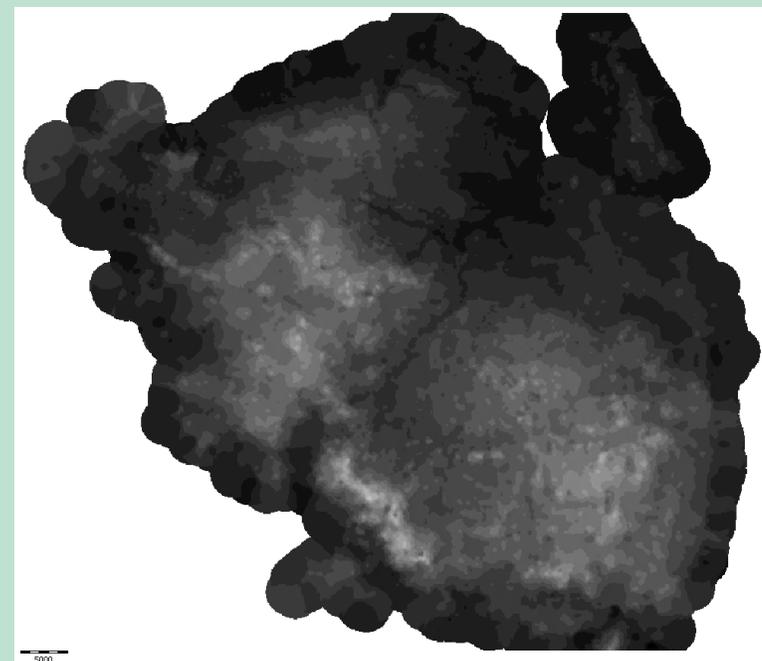
### Analyse af FOHM-modellens interpolationsindstillinger anvendt på Fyns-modellen

---

Kriging



Inverse Distance

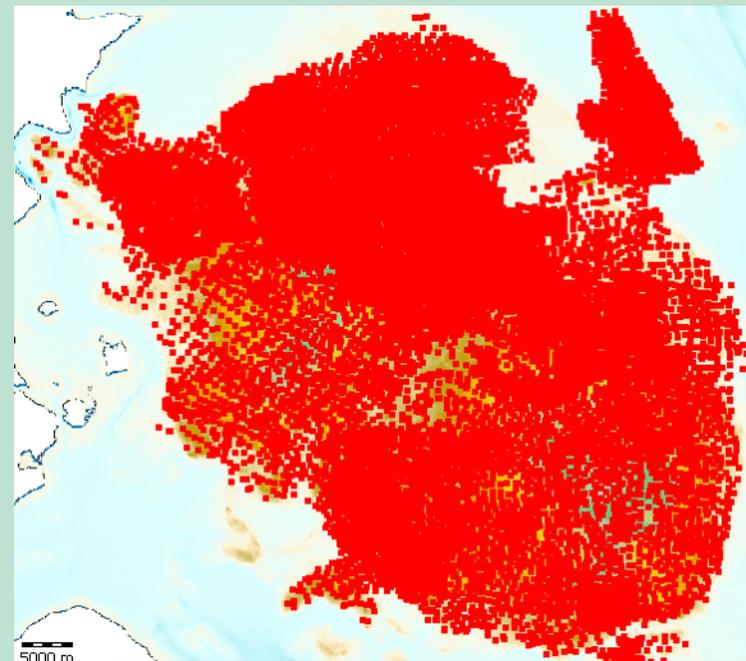


# Status siden sidst

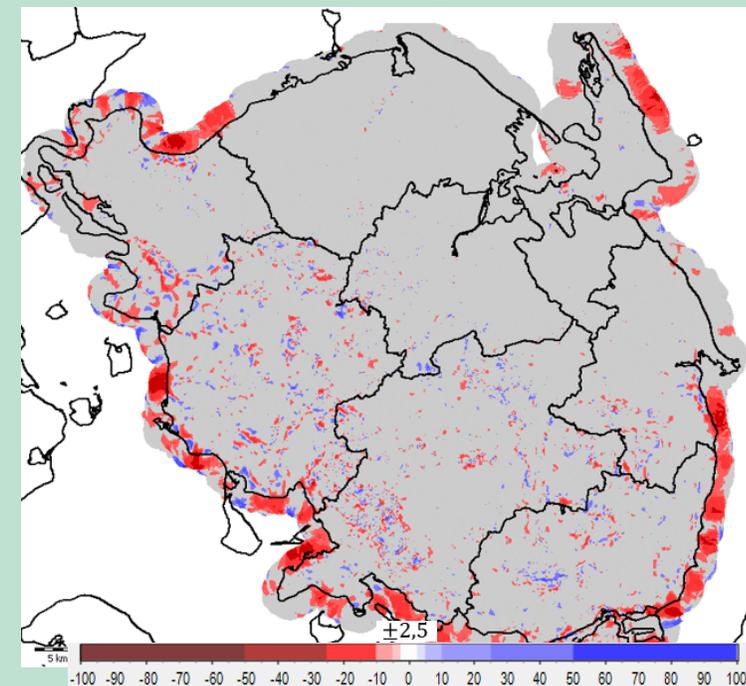
## Justering og interpolation

### Analyse af FOHM-modellens interpolationsindstillinger anvendt på Fyns-modellen

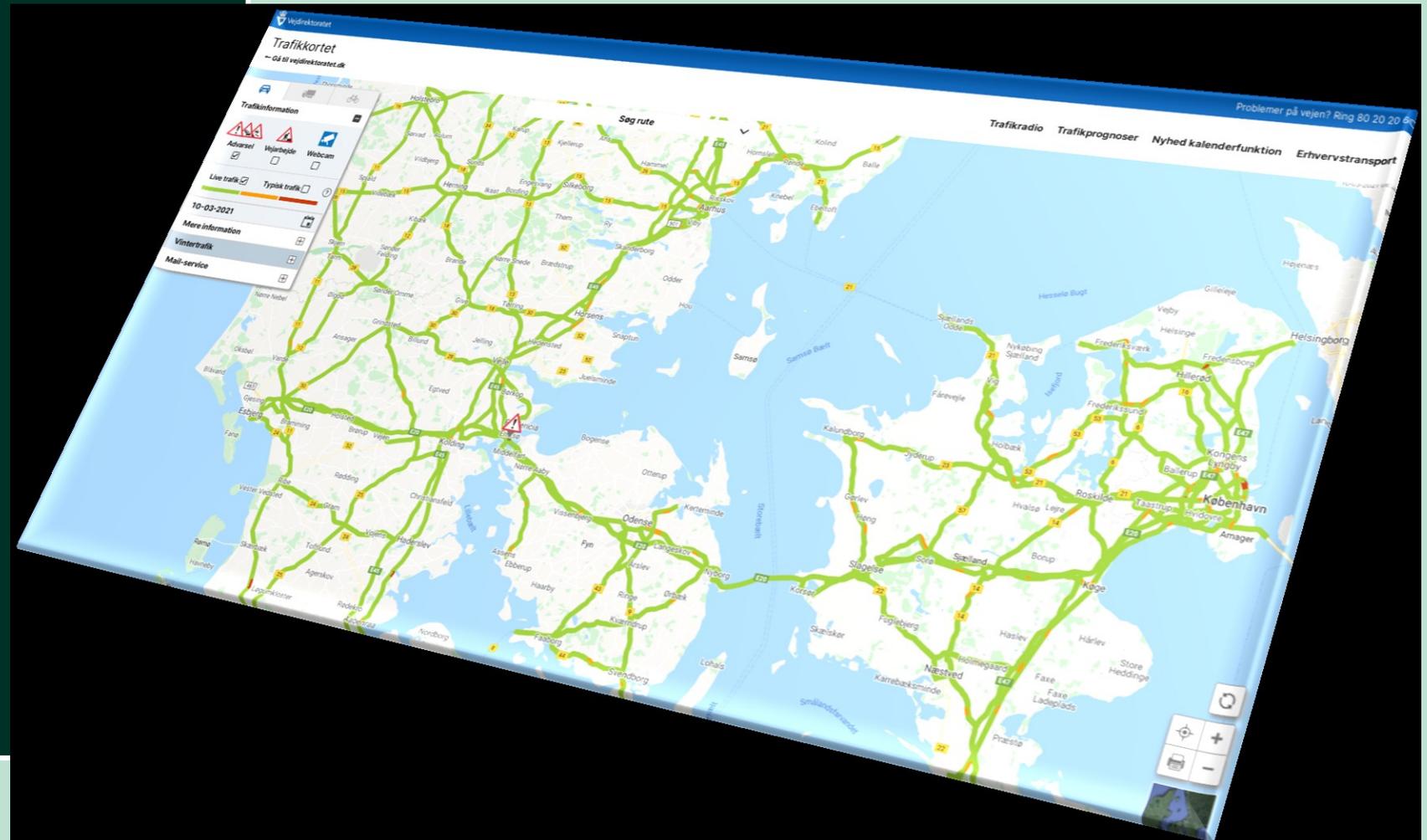
tolkningspunkter



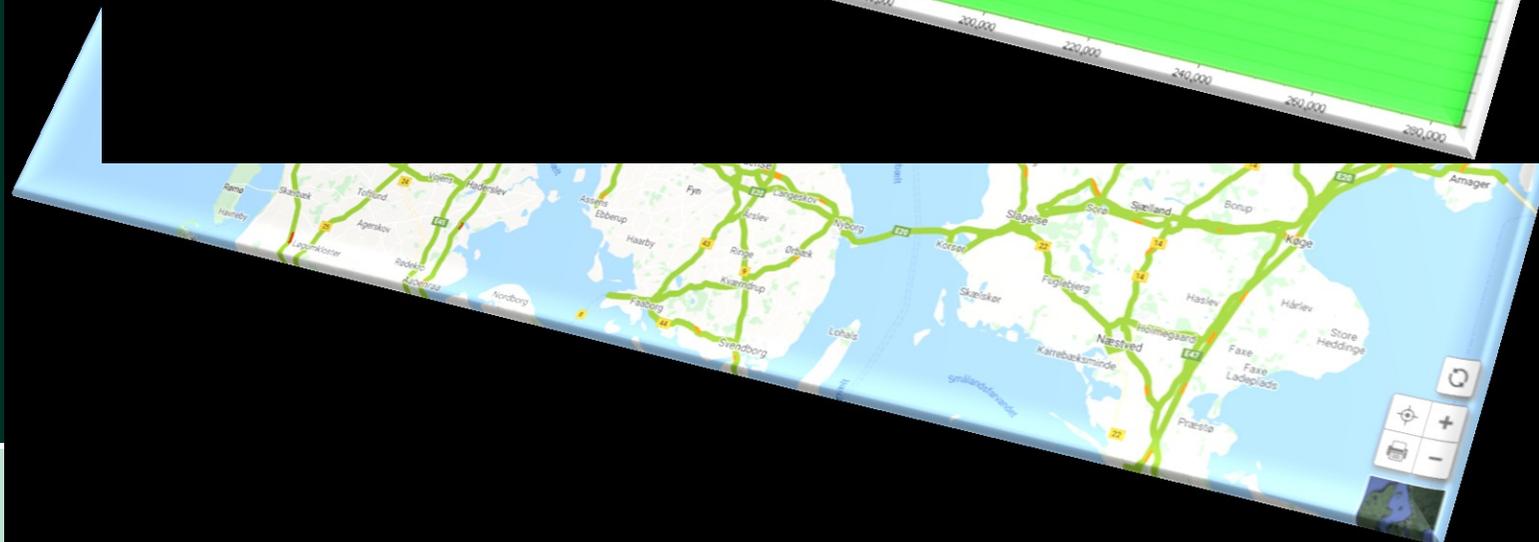
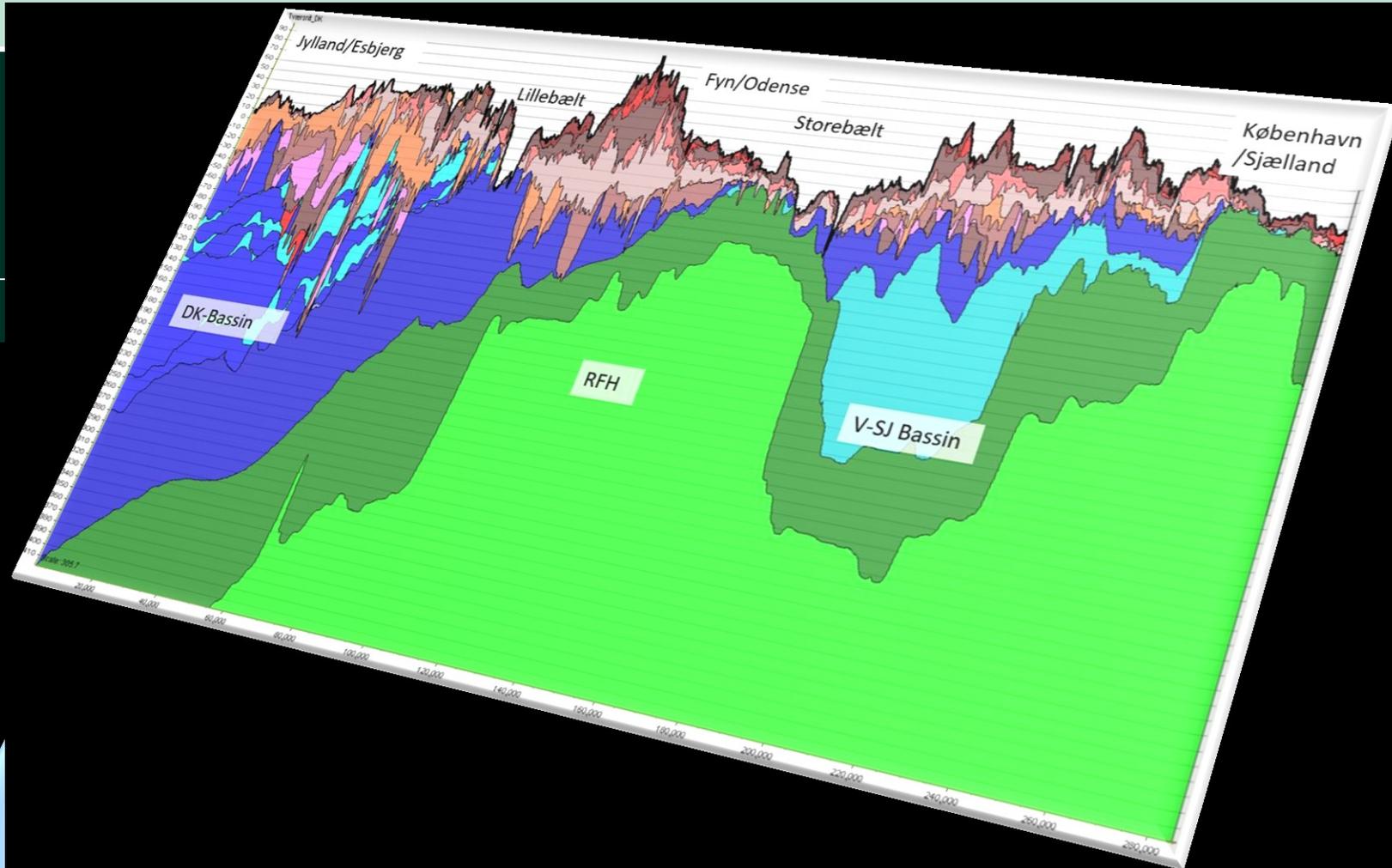
Differencegrid



# Status siden sidst



# Status siden sidst





## Dataejer

- Miljøstyrelsen er dataejer
- Miljøstyrelsen planlægger og igangsætter opdateringer af FOHM



## Tolkningsmiljø

- GeoScene3D udgør det digitale tolkningsmiljø
- Modellering og kvalitetssikring



## Lagring og udstilling

- GEUS varetager lagring og udstilling
- Download af seneste modelversion (lagflader og tolkningspunkter)

# Baggrund

## Mere information og nyheder

## FOHM - Fælles offentlig hydrologisk model

### Samling af geologiske modeller

Grundvandskortlægningen har samlet de eksisterende hydrostratigrafiske modeller i Jylland.

Ved udgangen af 2018 var tolkningspunkter fra de eksisterende geologiske modeller i Jylland samlet i en database, og der blev generet samlede flader for hele Jylland. Fokus i projektet har ligget på at kunne koble modellerne sammen bedst muligt, samtidig med at eksisterende data bevares.

Tolkningsdatabasen opdateres løbende på baggrund af ny viden, ligesom lagfladerne opdateres efter behov.

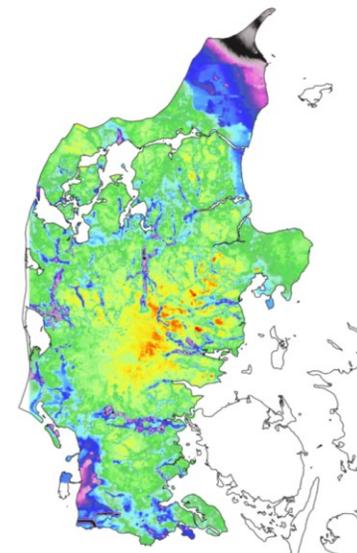
FOHM modellen opdateres løbende, og i fremtiden vil databasen med tolkningspunkter samt justerede lagflader være placeret hos GEUS, som sammen med Miljøstyrelsen arbejder på at få opbygget en 3D database, der opfylder fremtidige behov for anvendelsen af data.

Det er muligt at få udleveret senest opdaterede lagflader fra modellen ved henvendelse til:

Miljøstyrelsen Grundvandskortlægning

Tlf.: +45 72 54 40 00

Mail: [njl@mst.dk](mailto:njl@mst.dk)



### Rapporter

[Samling af geologiske modeller i Jylland](#)

- Den skriftlige dokumentation, som beskriver modellens opbygning, og de metoder der ligger til grund for modellen.



## Beskrivelse af det geologiske tolkningsmiljø ved opdatering og nytolkning af FOHM-modellen

*v/geolog Tom Martlev Pallesen, I•GIS*

*Risskov/cyberspace, onsdag 10. marts 2021*



### Kontakt information

- Tom Martlev Pallesen
- Gruppeleder, geolog, hos I•GIS
- Email: [tmp@i-gis.dk](mailto:tmp@i-gis.dk)
- Phone: +45 31 23 57 71

# Lagring og udstilling af FOHM



## Dataejer

- Miljøstyrelsen er dataejer
- Miljøstyrelsen planlægger og igangsætter opdateringer af FOHM



## Tolkningsmiljø

- I•GIS udvikler web-platform
- GeoScene3D udgør det digitale tolkningsmiljø
- Modellering og kvalitetssikring

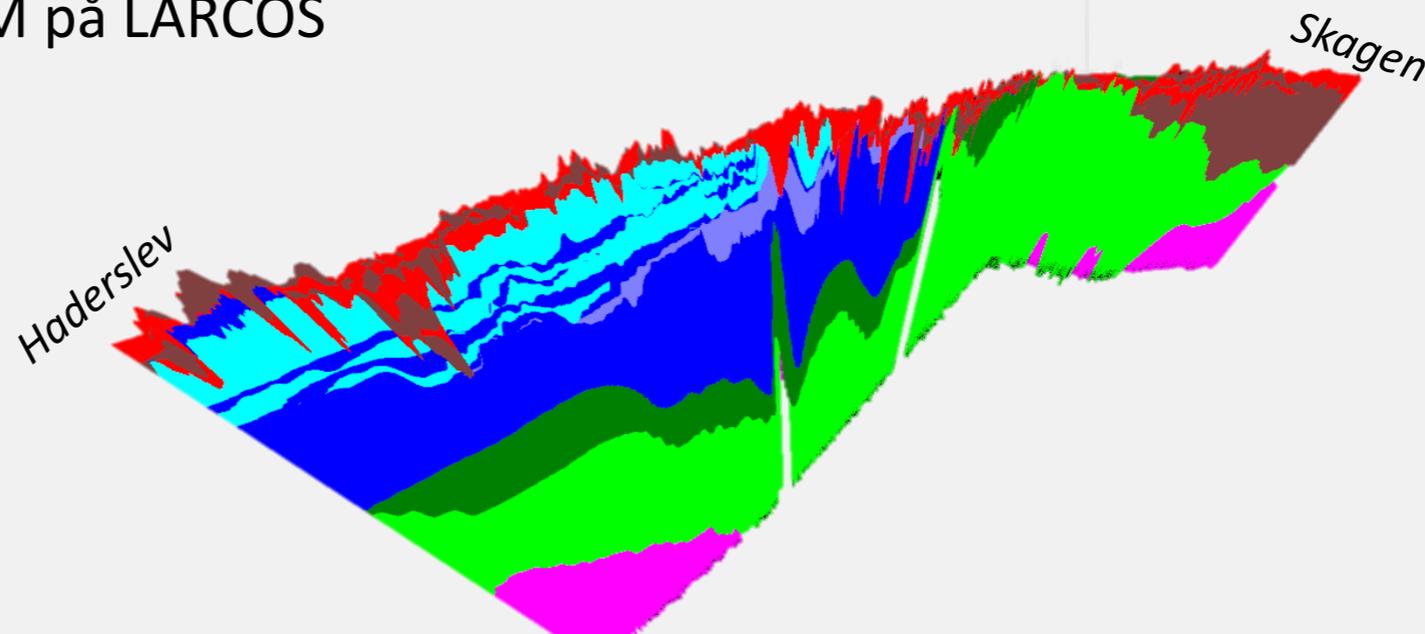


## Lagring og udstilling

- GEUS varetager lagring og udstilling
- Download af seneste modelversion (lagflader og tolkningspunkter)

## Indlægget omfatter

- Arbejdsgangen omkring opdatering af FOHM – et resumé
- LARCOS – FOHM på web
- LARCOS – platform for den dynamiske FOHM
- Opdatering og anvendelse af FOHM på LARCOS
- Fremtidsperspektiverne



Forkortelser – det skal ikke være nemt:

**FOHM**

**Fælles Offentlig Hydrologisk Model**

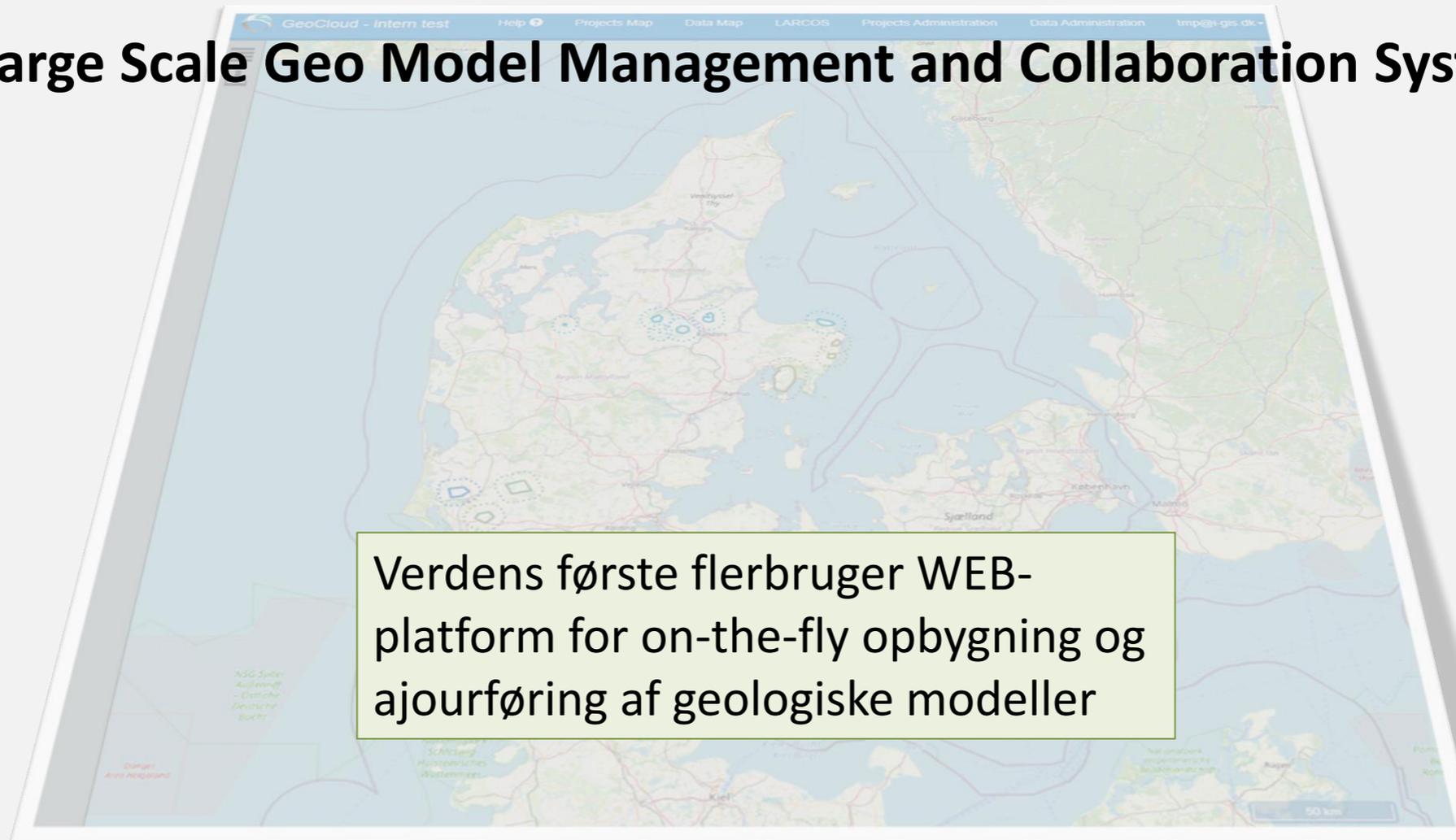


**LARCOS**

**Large Scale Geo Model Management and Collaboration System**

# LARCOS

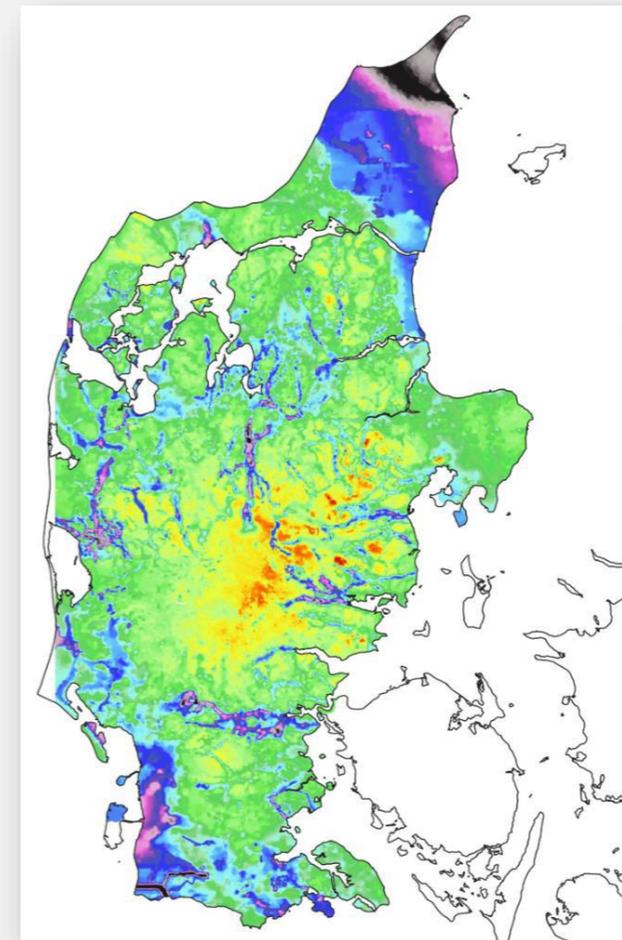
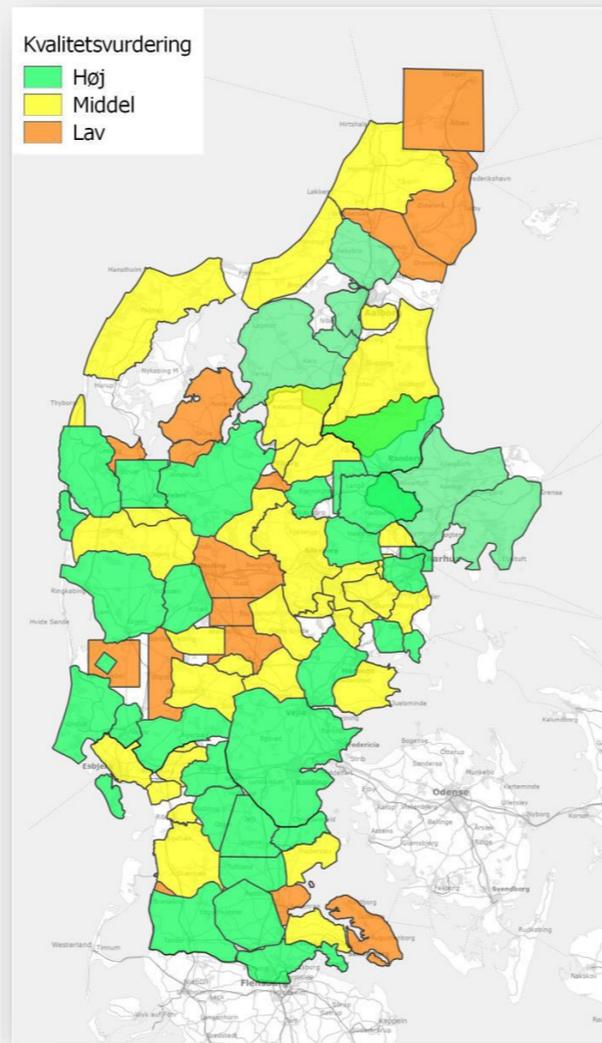
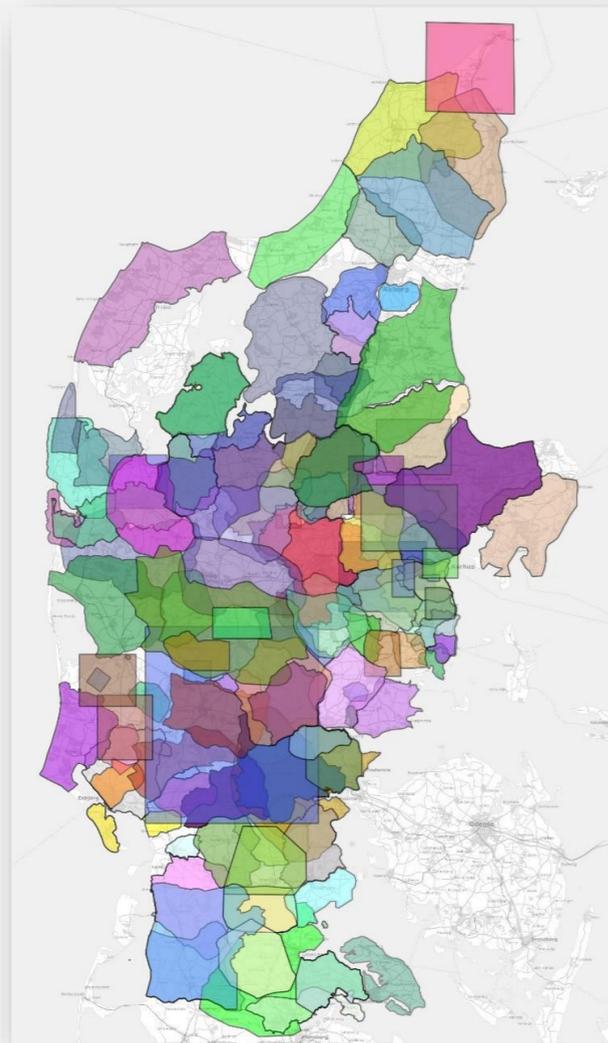
## Large Scale Geo Model Management and Collaboration System



Verdens første flerbruger WEB-  
platform for on-the-fly opbygning og  
ajourføring af geologiske modeller

- LARCOS gør det muligt for flere brugere samtidigt at låse og downloade delområder i en geologisk model på WEB, revidere og modellere disse på egen PC og efterfølgende uploade, integrere og dermed opdatere disse i modellen igen.
- LARCOS er resultatet af et tæt samarbejde mellem Miljøstyrelsen og I•GIS.
- GEUS har siddet med i de indledende designfaser med henblik på at sikre en fremtidig integration med GEUS' nye 3D database.
- Udviklingen blev påbegyndt sensommeren 2020 og har første offentlige præsentation i marts 2020.

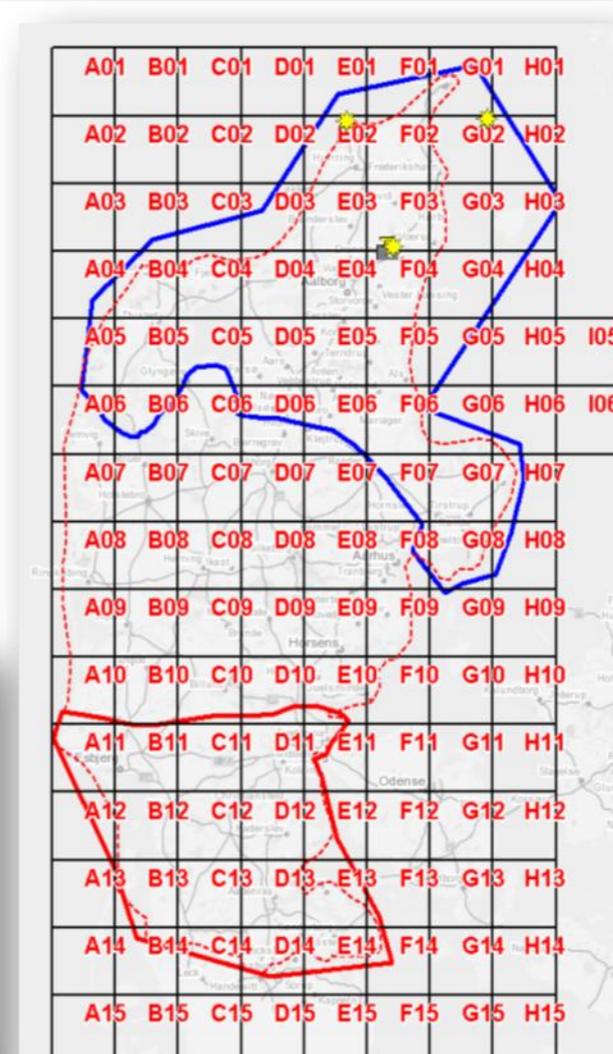
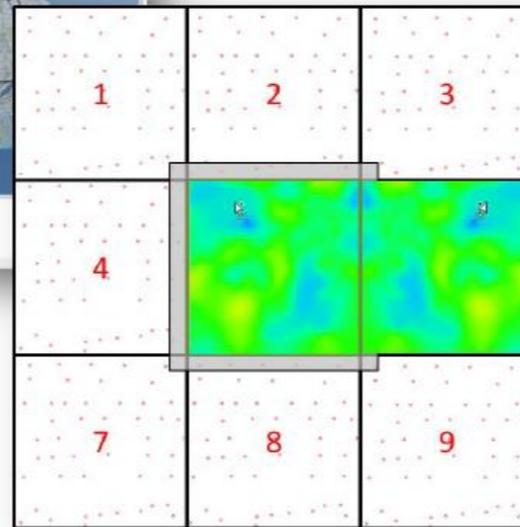
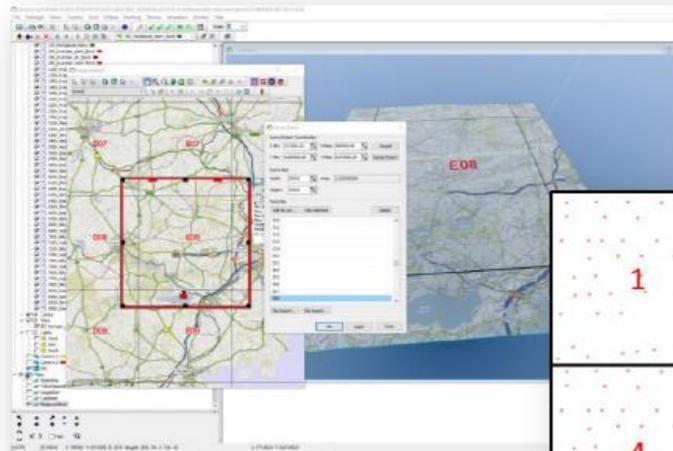
# FOHM arbejdsprocessen



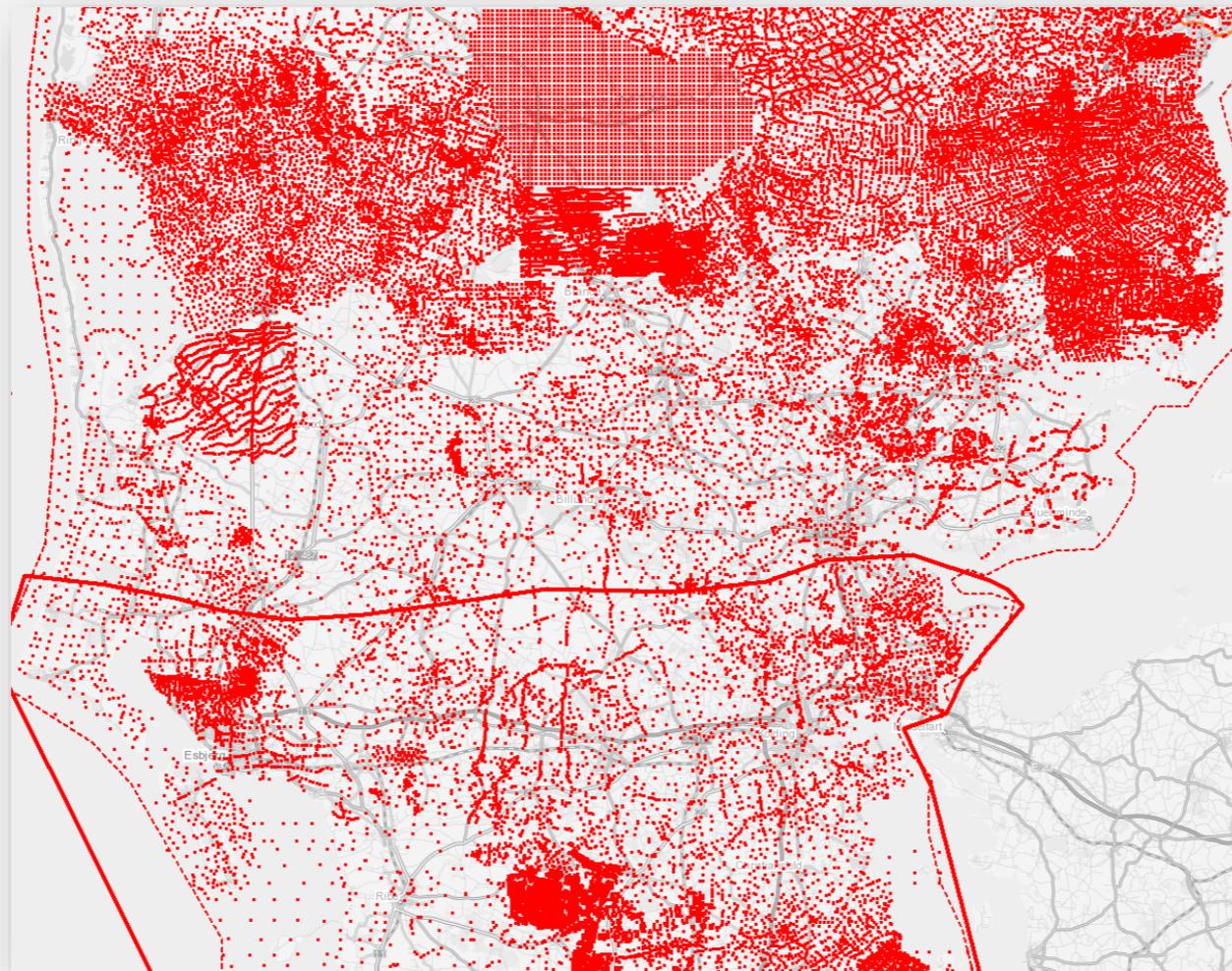
# FOHM arbejdsprocessen

## Scene Extents og Tiles

- Scene Extents: 35 x 35 km (1225 km<sup>2</sup>)
- 82 tiles. Tile = Scene Extent + 5 km buffer
- Modellører arbejder inden for Scene Extents



# FOHM arbejdsprocessen



# FOHM arbejdsprocessen

## Baggrund og problemstillinger

Presset tidsplan:

FOHM opstart – FOHM færdig  $\approx$  7 mdr.  
Meget lidt tid til forarbejde (udvikling).

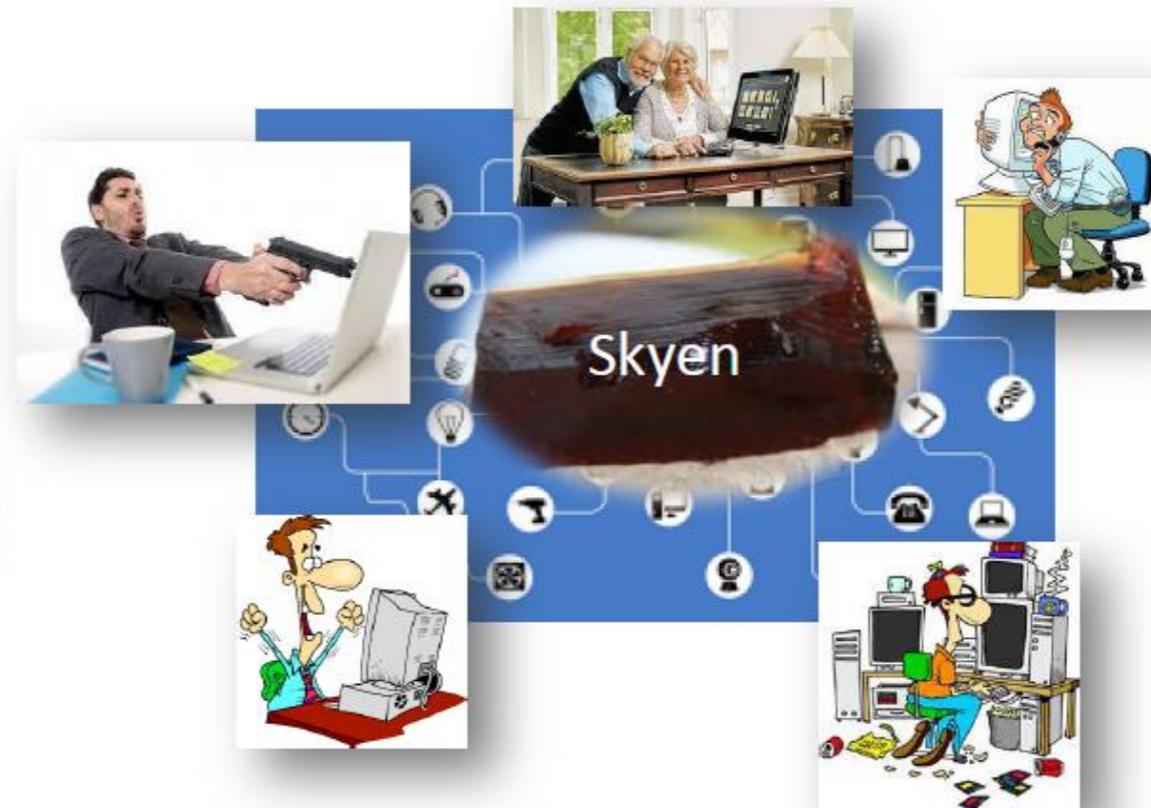
Tolkningsdatabasen i GeoScene3D

- flere samtidige brugere?
- bliver den for tung?
- hvad med størrelse (Access-formatet  $\rightarrow$  maks. størrelse!). Problem?
- PointID – mange ens ID'er pga. input fra eksisterende modeller. Problem?

Cloudbaseret flerbrugerløsning?

Vi har en cloudbaseret ~~fler~~brugerløsning!

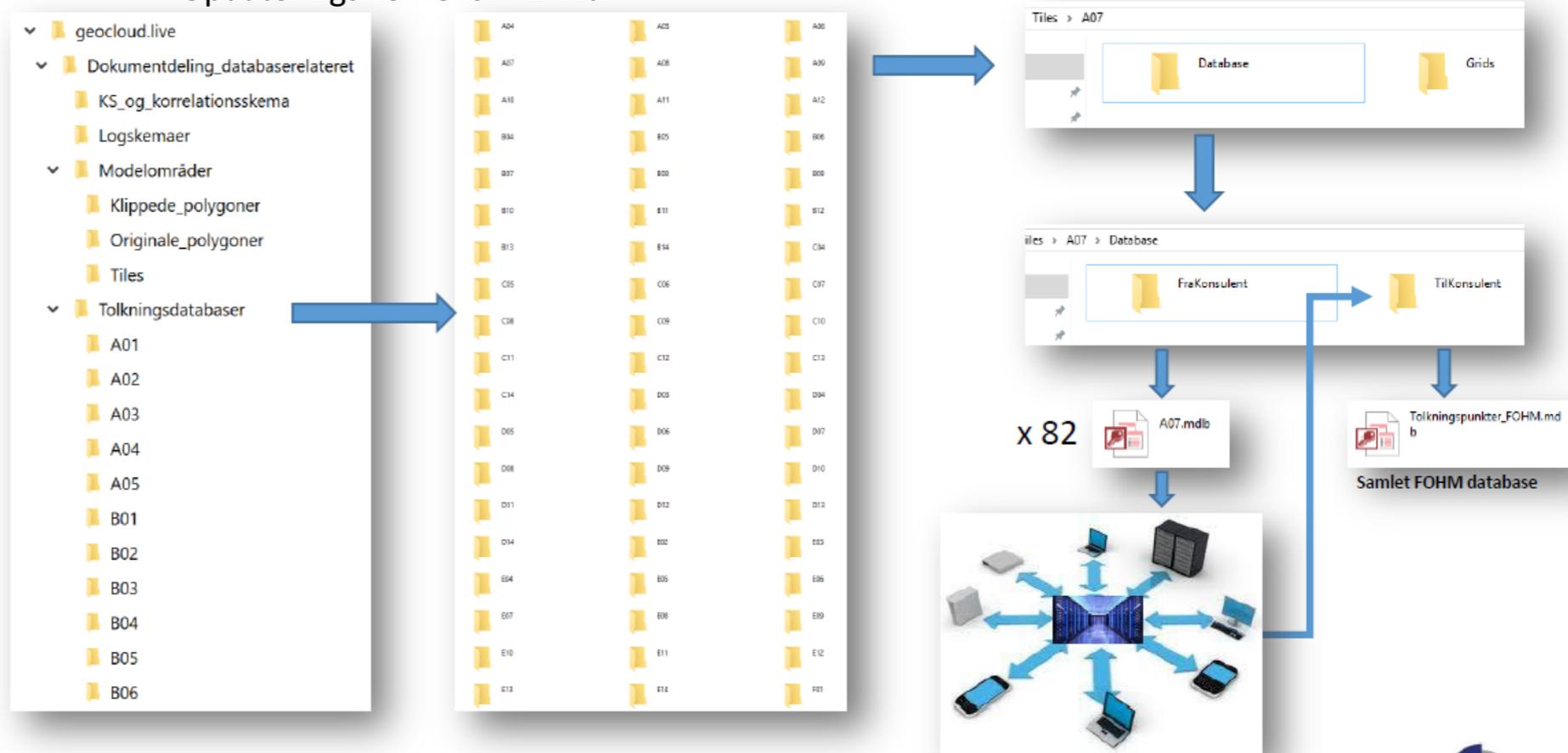
Der var ikke tid til at udvikle OG teste en cloudbaseret flerbrugerløsning!



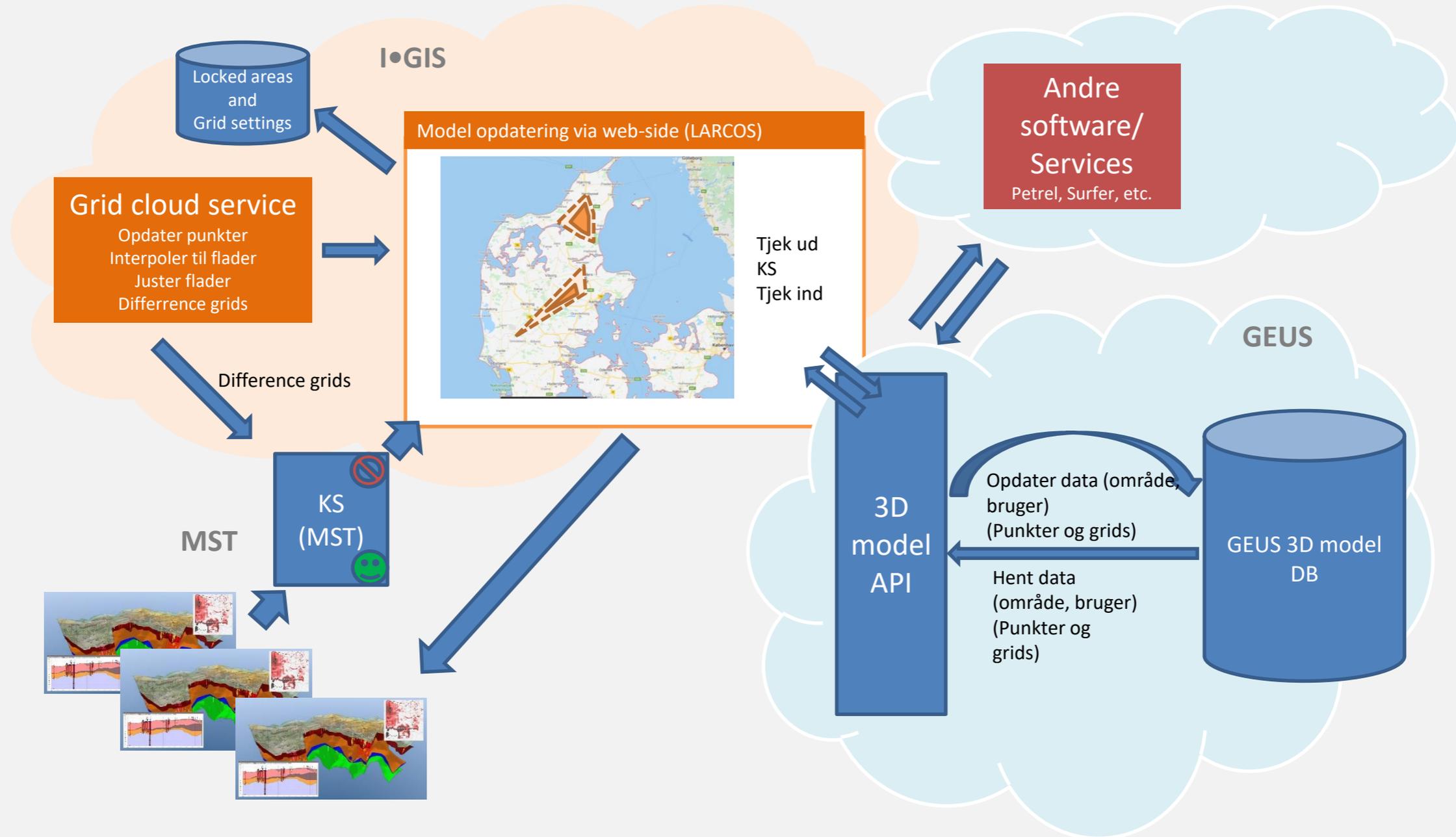
# FOHM arbejdsprocessen

## Upload og synkronisering – arbejdsgang

- Login på ftp-server (geocloud.live)
- Her findes mappestruktur
- Opdateringsfrekvens: > 1 md



- FOHM-processen var forholdsvis u-dynamisk
- Stand-still periode i forbindelse med synkroniseringer
- Flere muligheder for fejl i arbejdsprocessen
- Nyeste tolkninger og tilretninger først tilgængelige når der blev foretaget synkronisering og interpolation. Dette krævede koordinering mellem MST, I•GIS og særligt rådgiverne.
- Behov for en mere fleksibel og fremtidssikret løsning - LARCOS



### Use case 1: *Check out model*

- A user logs in to the model update web page
- The maps show the locked areas (polygons and buffer)
- The user selects the check out tool and draws a polygon on the map
- The modelling purpose and expected check in date is filled
- The user receives the interpretation points in model area plus buffer, model grids (optional) and a GS3D project containing the basic model setup (optional)
- The Admin/QA's receives an email

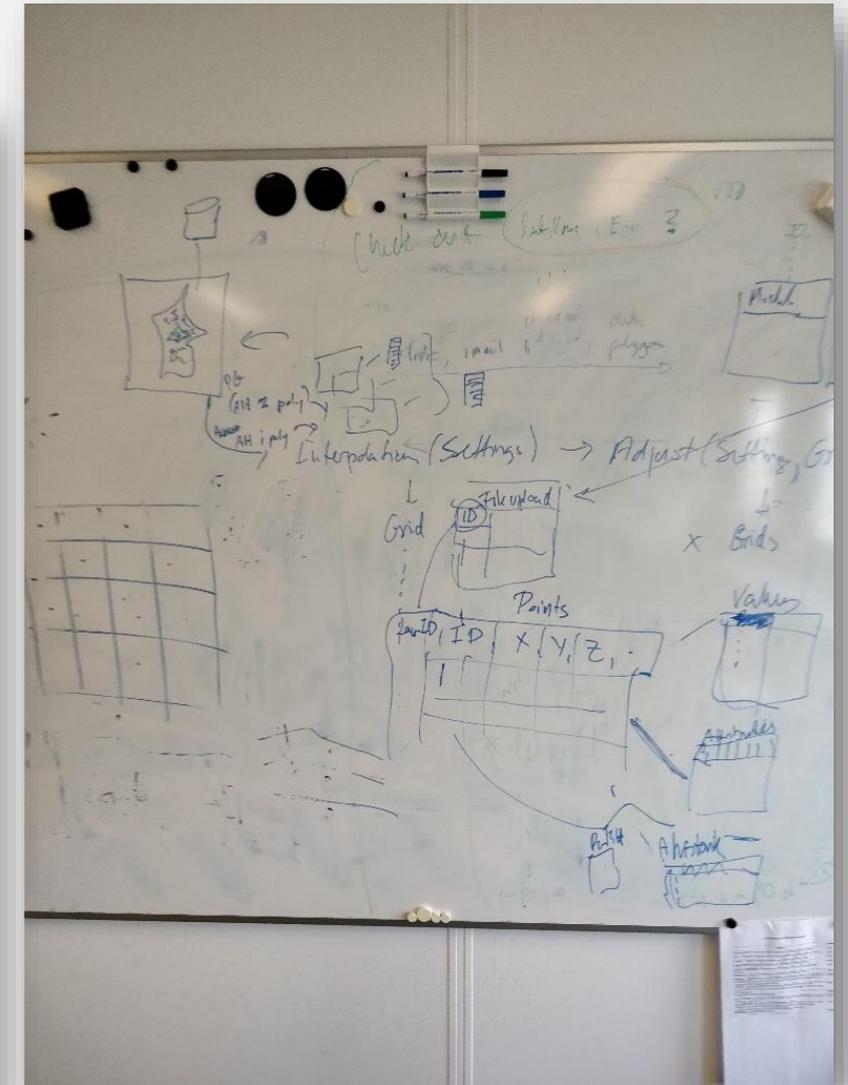
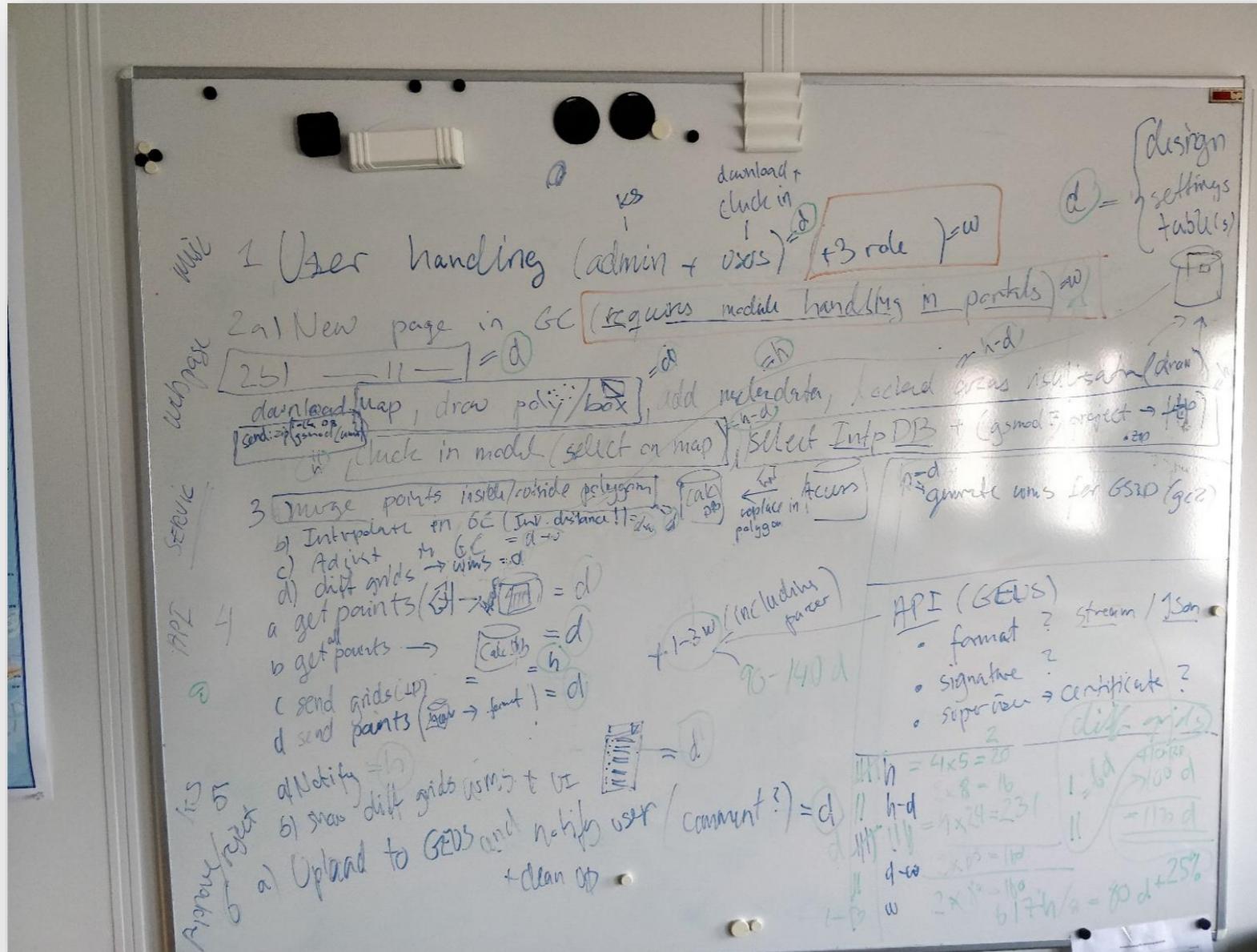
### Use case 2: *Check in model*

- The modeler logs in to the update web page
- The model update web page, highlights model areas checked out by this user
- The user selects the model to check in and adds the interpretation database and optionally a zip with GS3D project
- The grid service starts the merging, interpolation and grid adjustment processes. Difference grids are calculated
- The Admin/QA receives an email that a model is ready for QA

### Use case 3: *Quality assurance*

- The QA logs in to the model update web page
- The maps show areas ready for QA
- The QA downloads the difference grids and the GS3D project
- If the model update is rejected
- The modeler receives an email, with a comment from QA If the model update is accepted
- The updated interpretation points within the area (but excluding buffer) are delivered to GEUS
- The updated model grids are delivered to GEUS in full model extent
- The modeler receives an email, and the model area is released

# LARCOS ver. 1.0 – på tegnebrættet



# Checkouts

Show  entries

Search:

Name	Checkout Date	Check-In Date	User	Purpose	Status	Actions
KLM_test	2021/02/23 09:49	2021/02/25	sbr@i-gis.dk	KLM_test	Rejected	  
Kryds_test_SBR	2021/02/23 11:23	2021/03/05	sbr@i-gis.dk	SBR	Cancelled	  
Test	2021/02/25 10:54	2021/02/25	sbr@i-gis.dk	SBR	Ready for QA	  
test	2021/02/23 11:07	2021/02/24	sbr@i-gis.dk	test_1100_Kvartær_ler er flyttet over terræn	Processing Error	  
test_accept	2021/02/24 09:07	2021/02/25	sbr@i-gis.dk	LMS accepter denne :-)	Processing Error	  
test_SBR	2021/02/24 09:26	2021/02/25	sbr@i-gis.dk	SBR_test	Ready for QA	  
Test_SBR	2021/02/24 08:58	2021/02/25	sbr@i-gis.dk	LMS skal slette denne :-)	Ready for QA	  
test_SBR	2021/02/23 11:25	2439/08/26	sbr@i-gis.dk	Test Upload af uændret db, men med en masse skrammel oveni.	Processing Error	  
TestNy2_lms	2021/02/22 21:39	2021/02/23	lms@i-gis.dk	Test_lms	Cancelled	  
TestNy3_lms	2021/02/22 21:43	2021/02/23	lms@i-gis.dk	Test_lms	Processing Error	  

Showing 1 to 10 of 13 entries

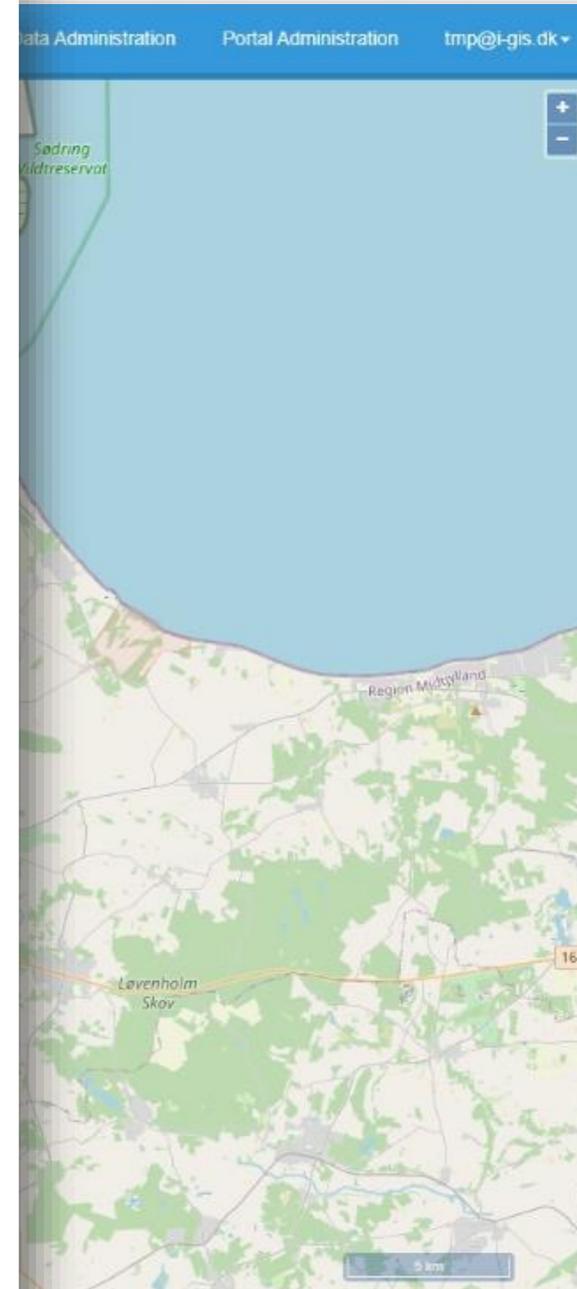
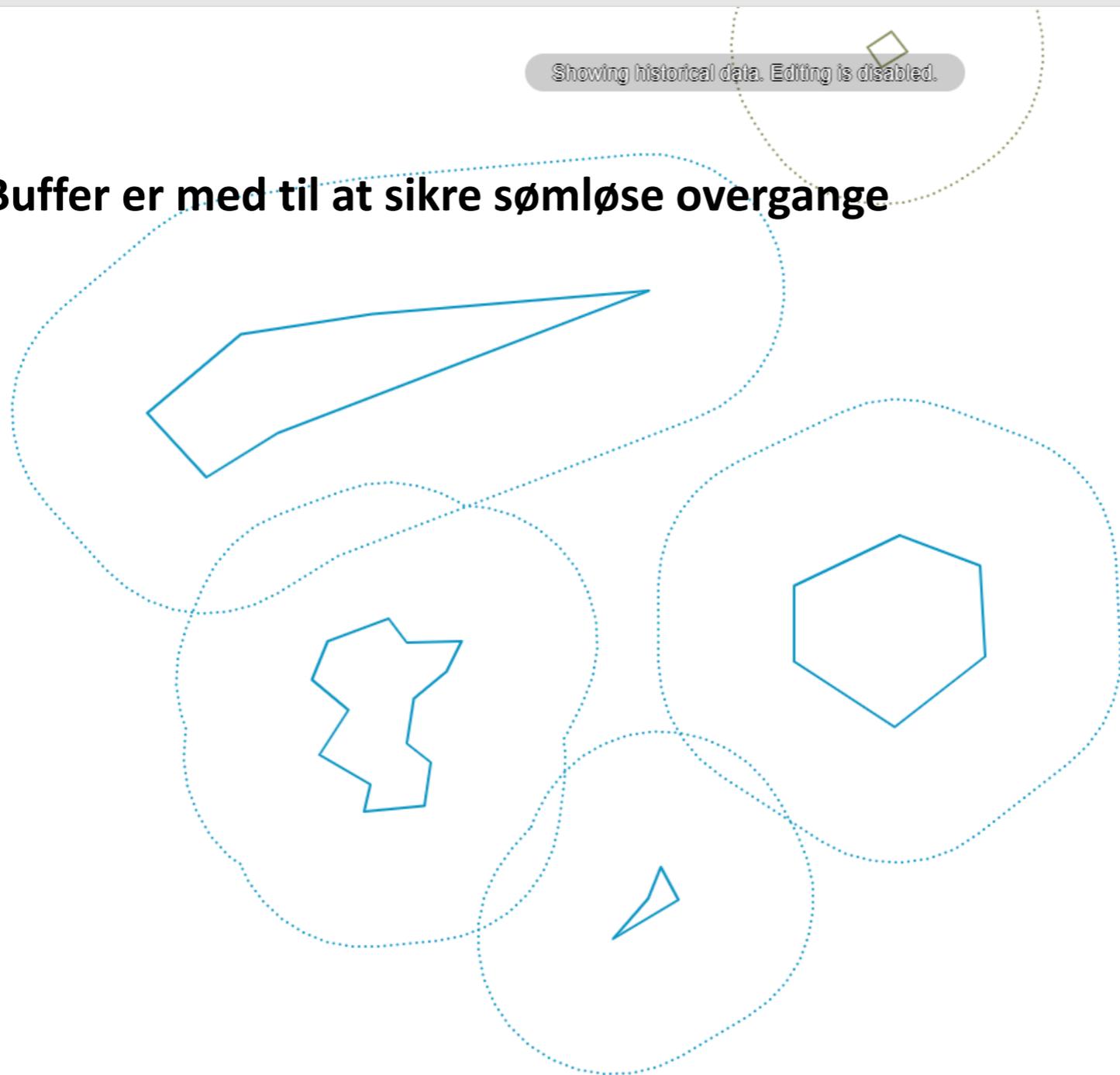
Previous **1** 2 Next

Select a checkout to preview...





## Buffer er med til at sikre sømløse overgange



# Hvem får adgang?

P.t. er der 2 bruger niveauer:

- a) Administratorer; KS
- b) Modellører; tjek ud – tjek ind

Hertil vil komme den åbne adgang til download af flader og tolkningspunkter.

# Hvad sker der inde bagved...?

## Ved udtjekning:

1. Der downloades en lokal tolkningsDB for det markerede område.
2. Seneste version af justerede lagflader kan hentes.
3. Et GeoScene3D basisprojekt kan hentes.

## Ved indtjekning:

1. Der uploades tolkningsDB.
2. Tolkningspunkter indskrives i den samlede DB (lokal server version).
3. Der interpoleres flader, disse justeres og der dannes differencekort til brug for KS. Her anvendes samme setup som den hidtidige FOHM.
4. Administratorer adviseres om at model er klar til KS.
5. Administrator godkender/afviser.
6. Godkendes den uploadede model genereres flader som bliver ny tilgængelig samlet model.

# Fremadrettet?

- Tolknings DB udvides med punkter fra Fyn og Sjællandsmodellerne
- Fyn og Sjælland indgår med samme funktioner som Jylland/FOHM

Desuden men ikke endeligt planlagt og ikke nødvendigvis i MST-regi:

- Integration med GEUS 3D modeldatabase via API
- Flader og punkter udstilles på WEB
- Flere baggrundskort (som wms)
- Profilmfunktion (flader, boringer, geofysik)
- Mulighed for flere modeller (LARCOS er forberedt til dette)
- WEB-baseret 3D viewer
- LARCOS kan allerede nu håndtere mange modeller og på såvel stor som lille skala

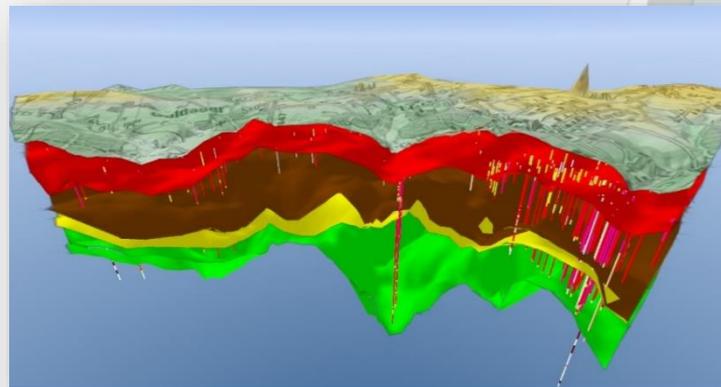
*API (står for Application Programming Interface)*

En API forklaret med menneskelige termer  
En api er egentlig navlestrengen mellem to forskellige typer computer software, og kan løbende og i real time udveksle data mellem disse systemer. Det er kort fortalt en grænseflade hvor to computere, der ofte ikke laver det samme - kan tale sammen i et fælles sprog der kan fortolkes af computer programmerne.

Den kommunikation kan foregå, uanset hvad sprog computerprogrammerne ellers er skrevet i.

# LARCOS

Large Scale Geo Model Management and Collaboration System



Tak for opmærksomheden



Creating local PFAS legislation

Drawing up local policy for the re-use of soils

Antea Group

Understanding today.  
Improving tomorrow.

# Introduction

- Ivar Lanting

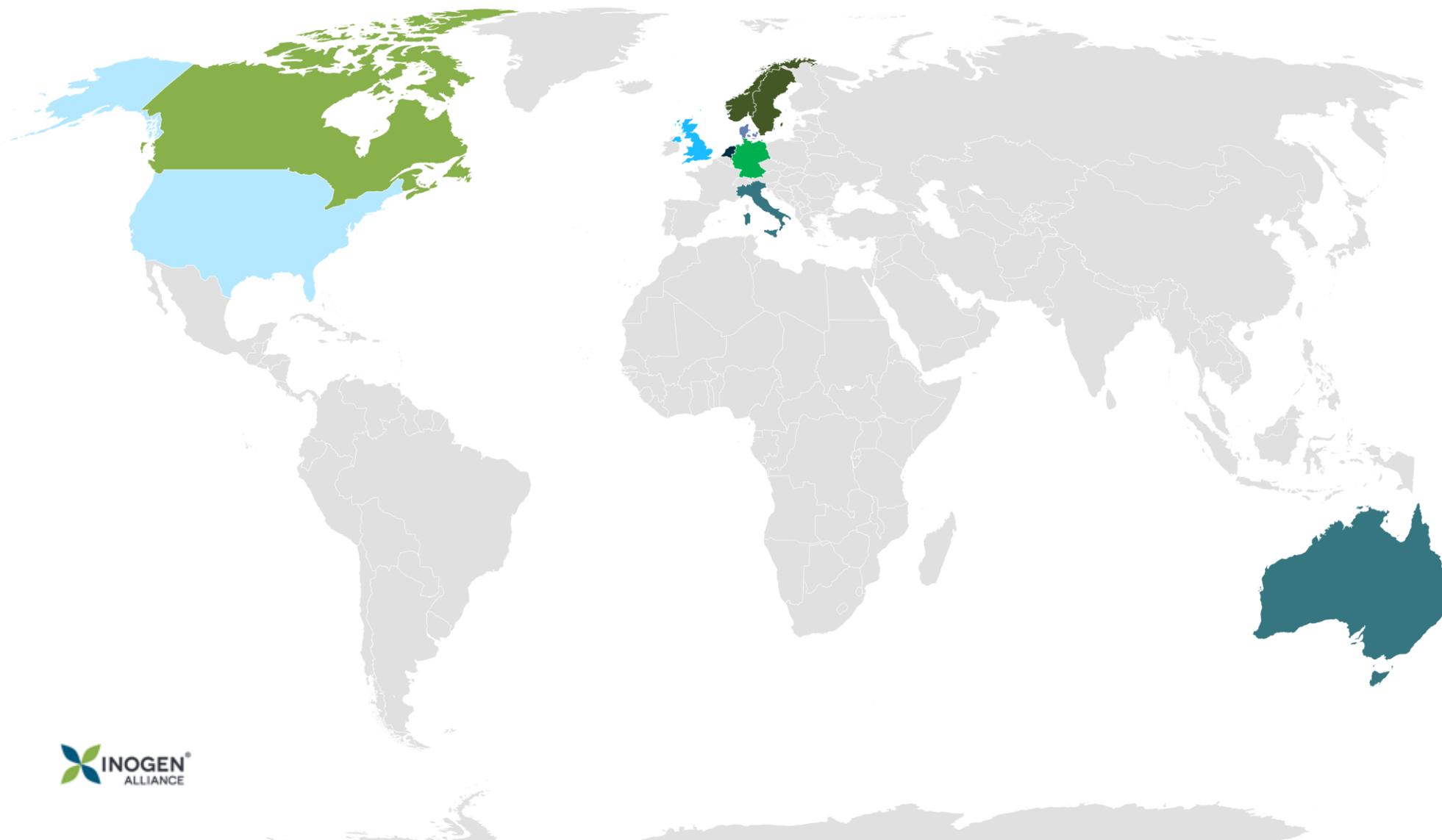
- Senior advisor at Antea Group

- Over 20 years of experience as an environmental advisor

- Experience with local governments such as municipalities, regional water authorities and industries



# Year Countries Regulated PFAS



United States	2019
Italy	2017
Australia	2017
Canada	2016
Denmark	2015
Norway	2014
Sweden	2014
Netherlands	2011
United Kingdom	2009
Germany	2006

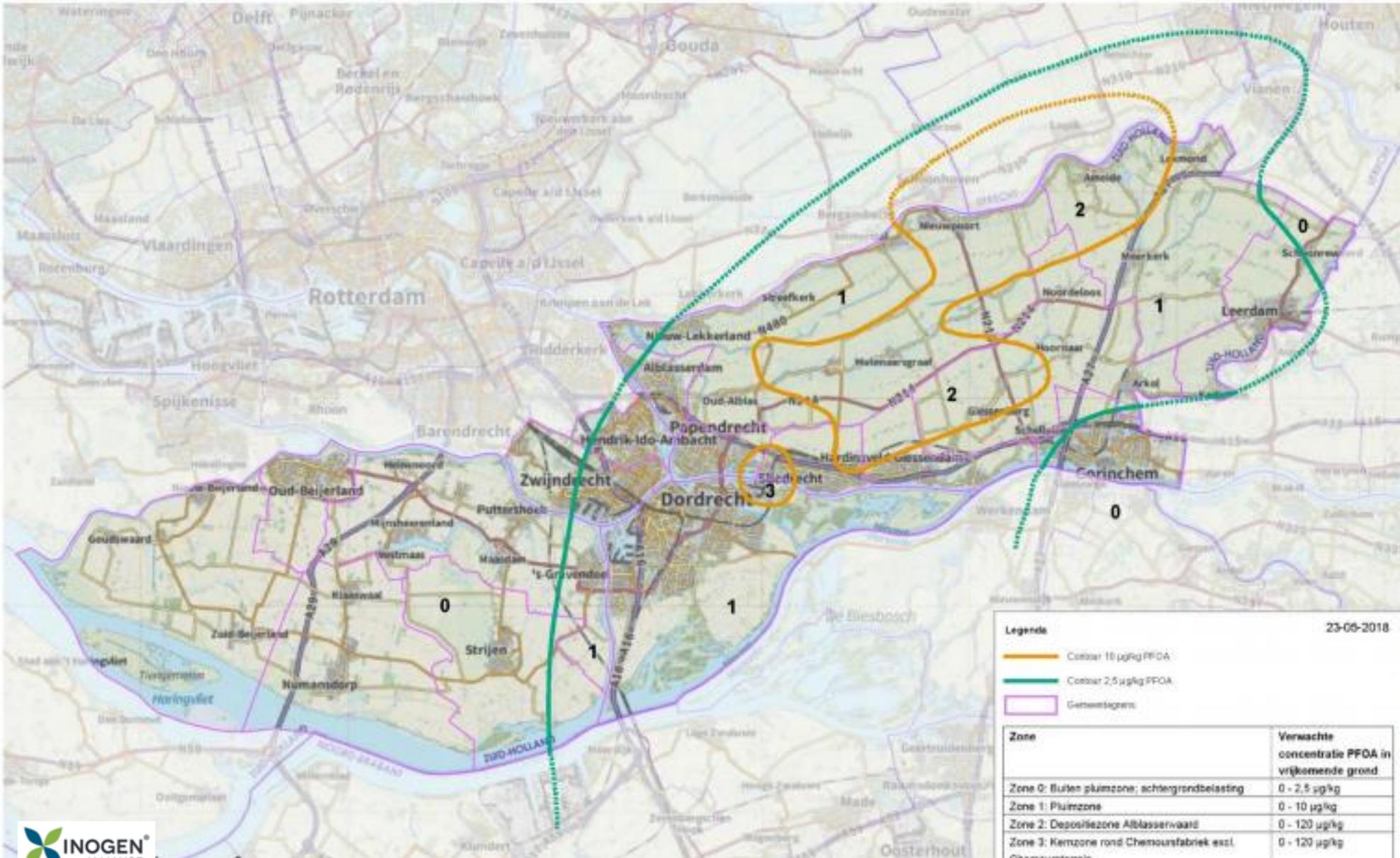
# Overview presentation



- Reason for investigation into PFAS
- The Dutch standard guidelines for soil lead to huge problems
- Temporary action framework (Tijdelijk Handelingskader)
- Indicative levels for serious contamination
- Creating local PFAS policies (case study PFAS soil quality map Brabant )
  - Define sub-areas
  - Define background values of PFAS of the sub-area
  - Define outliers
  - Presenting results
  - Create local PFAS soil re-use policy

# Incidents leading to the investigation of PFAS





# Soil legislation



- Overall guideline in the Netherlands is the standstill principle;
  - In the Netherlands a soil survey is necessary if soil is reused outside the development location
  - An historical soil research has to determine if (extra) soil investigation is necessary
  - quality for Soil re-use

Background value	Quality living/housing	Quality industry	Not applicable
	PFAS Quality housing and industry		

# Non-standard substances



- For non-standard substances, the detection limit applies for soil and groundwater;
- The detection limit for PFAS in soil is 0,1 µg/kg; the detection limit for ground water and surface water is 0,5 ng/l -0,1 µg/l

# Sources for atmospheric deposition of PFAS

- Industry (among others: carpet / fabric, paper industry)
- Waste incineration plants
- Global sea spray

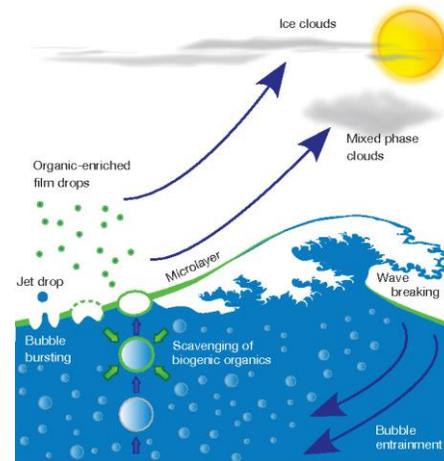


Figure 1 | Sea-spray aerosol particles enriched in organic material are

# Issues caused by PFAS in the Netherlands



- Standstill transport & soil re-use
- Standstill dredging
  - High research costs for PFAS;
  - Difficult to find a location to reuse soil with PFAS.
- Government calls for insight into background values of PFAS



Understanding today.  
Improving tomorrow.

# Temporary action framework

Background value	Quality living/housing	Quality industry	Not applicable
	PFAS Quality housing and industry		

- In temporary framework of July 2019 PFAS concentration up to 0,8 µg/kg, for PFOA 0,9 µg/kg, in soil or sludge are freely applicable. Soil with a higher concentration can be applied under conditions up to a maximum concentration of 3 µg/kg for PFAS and 7 µg/kg for PFOA;
  - In the temporary framework of July 2020 PFAS concentrations up to 1,4 µg/kg, for PFOA 1,9 µg/kg, in soil or sludge are freely applicable. Soil with higher concentrations can be applied under conditions to a maximum concentration of 3 µg/kg for PFAS and 7 µg/kg for PFOA.
- ❖ In February 2021 the RIVM accepted the EFSA assessment tolerable intake and risks.

# Advieslijst te meten PFAS National Institute for Health and Environment

Datum: 12 juli 2019

#	Compound	Acronym	Formula	SIKB-code	SIKB/Aquo code	CAS-nr
1	perfluoro-n-butanoic acid	PFBA	C4HF7O2	4437	PFBA	375-22-4
2	perfluoro-n-pentanoic acid	PFPeA	C5HF9O2	4448	PFFPA	2706-90-3
3	perfluoro-n-hexanoic acid	PFHxA	C6HF11O2	4441	PFHxA	307-24-4
4	perfluoro-n-heptanoic acid	PFHpA	C7HF13O2	4440	PFHpA	375-85-9
5	perfluoro-n-octanoic acid( lineair) (1)	PFOA	C8HF15O2	4443	PFOA	335-67-1
6	perfluoro-n-octanoic acid(branched)(1)	PFOAvertakt	-	5577	sverttPFOA	NVT
7	perfluoro-n-nonanoic acid	PFNA	C9HF17O2	4442	PFNA	375-95-1
8	perfluoro-n-decanoic acid	PFDA	C10HF19O2	4438	PFDA	335-76-2
9	perfluoro-n-undecanoic acid	PFUnDA	C11HF21O2	4451	PFUDa	2058-94-8
10	perfluoro-n-dodecanoic acid	PFDoA	C12HF23O2	4439	PFDoA	307-55-1
11	perfluoro-n-tridecanoic acid	PFTrDA	C13HF25O2	4449	PFTDA	72629-94-8
12	perfluoro-n-tetradecanoic acid	PFTeDA	C14HF27O2	4450	PFTeDA	376-06-7
13	perfluoro-n-hexadecanoic acid	PFHxDA	C16HF31O2	5735	PFC16azr	67905-19-5
14	perfluoro-n-octadecanoic acid	PFODA	C18HF35O2	5736	PFC18azr	16517-11-6
15	perfluoro-1-butane sulfonic acid	PFBS	C4HF9O3S	3895	L_PFBS	375-73-5
16	perfluoro-1-pentane sulfonic acid	PFPeS	C5HF11O3S	5935	PFC5asfzr	2706-91-4
17	perfluoro-1-hexane sulfonic acid	PFHxS	C6HF13O3S	3932	L_PFHxS	355-46-4
18	perfluoro-1-heptane sulfonic acid	PFHpS	C7HF15O3S	3931	L_PFHpS	375-92-8
19	perfluoro-1-octane sulfonic acid (lineair)(1)	PFOS	C8HF17O3S	4445	PFOS	1763-23-1
20	perfluoro-1-octane sulfonic acid (branched)(1)	PFOSvertakt	-	5518	sverttPFOS	NVT
21	perfluoro-1-decane sulfonic acid	PFDS	C10HF21O3S	3898	L_PFDS	335-77-3
22	4:2 fluorotelomer sulfonic acid	4:2 FTS	C6H5F9O3S	5996	H-PFC6asfzr	757124-72-4
23	6:2 fluorotelomer sulfonic acid	6:2 FTS	C8H5F13O3S	5517	2PFC6yC2a1s	27619-97-2
24	8:2 fluorotelomer sulfonic acid	8:2 FTS	C10H5F17O3S	5830	H-PFC10asfzr	39108-34-4
25	10:2 fluorotelomer sulfonic acid	10:2 FTS	C12H5F21O3S	5831	H-PFC12asfzr	120226-60-0
26	N-methylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid	N-MeFOSAA	C11H6F17NO4S	5937	N-MeFOSAA	2355-31-9
27	N-ethylperfluorooctane sulfonamidoacetic acid	N-EtFOSAA	C12H8F17NO4S	5744	EtFOSAA	2991-50-6
28	perfluoro-1-octanesulfonamide	PFOSA	C8H2F17NO2S	4446	PFOSA	754-91-6
29	N-methylperfluorooctanesulfonamide	N-MeFOSA	C9H4F17NO2S	6001	MeFOSA	31506-32-8
30	8:2 polyfluoroalkyl phosphate diester	8:2 diPAP	C20H9F34O4P	5998	bisPFC10yPO4	678-41-1

voetnoot 1 De vertakte verbindingen worden door het laboratorium als som gerapporteerd, de lineaire verbindingen apart.

De totale som (vertakt plus lineair) voor PFOS of PFOA wordt alleen gebruikt voor toetsing aan de norm 3,0 voor PFOS en Sommatie vindt plaats volgens bijlage GIV van de Regeling bodemkwaliteit (< waarden \*0,7)



## GenX (niet in advieslijst; alleen meten bij verdenking)

"GenX"	Hexafluoropropyleneoxide dimer acid	HFPO-DA / FRD-903	C6HF11O3	5741	FRD-903	13252-13-6
--------	-------------------------------------	-------------------	----------	------	---------	------------



Understanding today.  
Improving tomorrow.

# Indicative levels for serious contamination



Compound	Soil µg/kg	Groundwater µg/l	
		Incl. drinking water	Excl. drinking water
PFOS	110	0,2	56
PFOA	1100	0,39	170
GenX	97	0,66	140

The INEV's determine whether an existing, local contamination must (possibly) be remediated

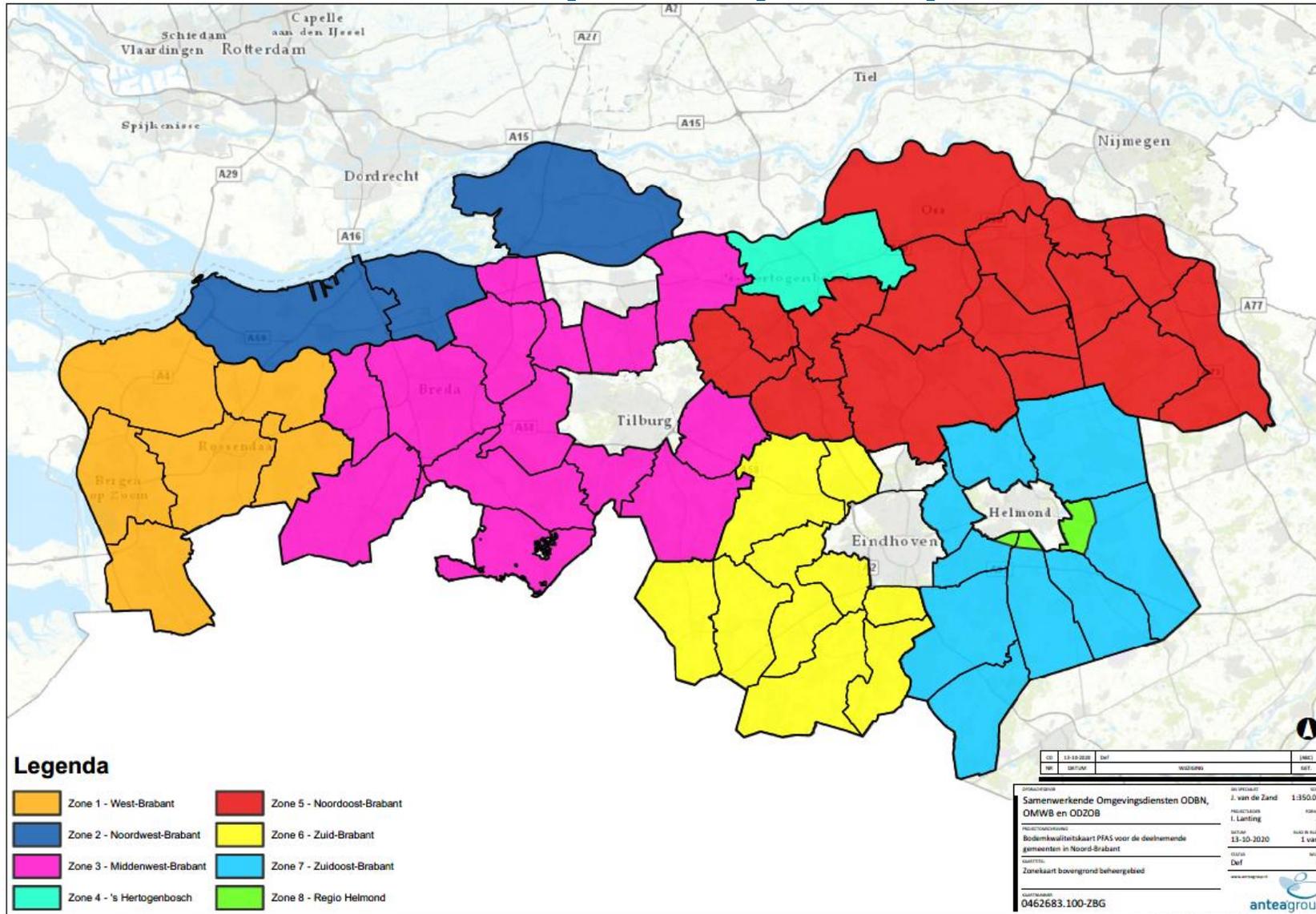
INEV's are threshold values to determine serious cases of soil contamination

# Drawing up local PFAS policy



- The spatial unit is subdivided, based on (the suspicion) of the occurrence of PFAS;
- The background value of the sub-zones is calculated;
- When a corresponding quality is determined, zones are merged.
- PFAS policy for soil re-use is drawn up.

# Sub-areas PFAS soil quality map

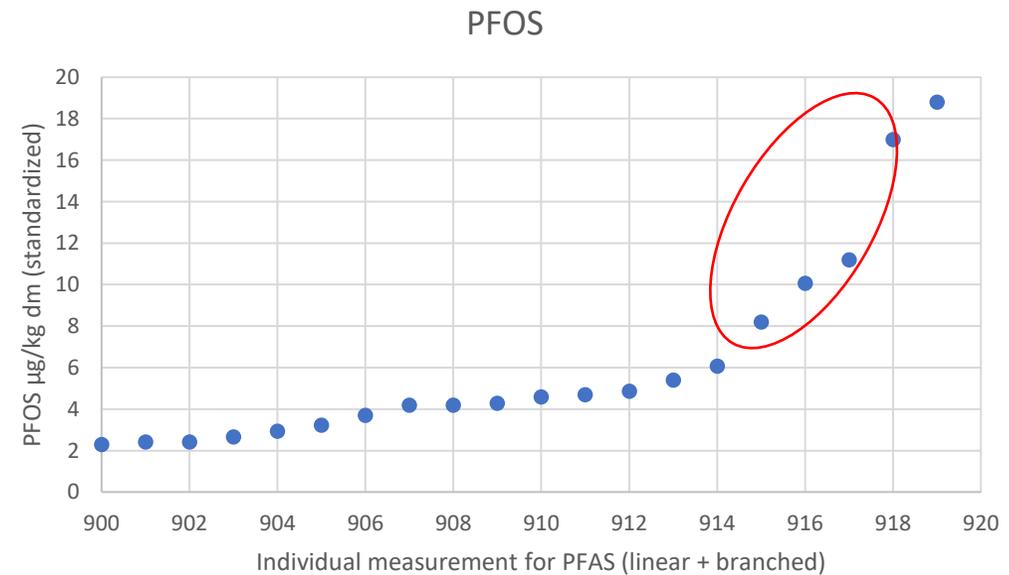
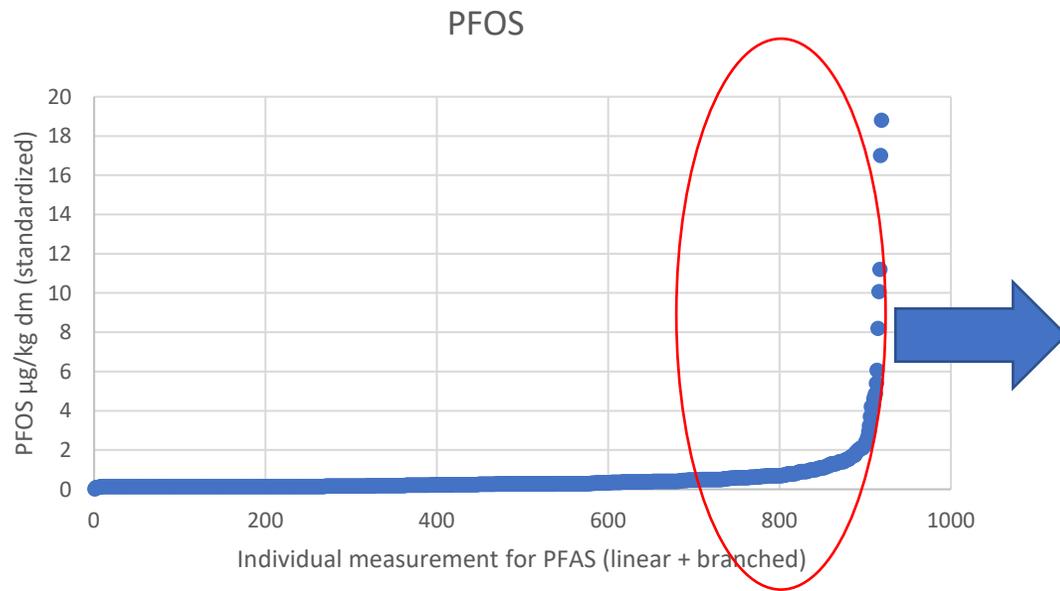


# Steps to determine quality



- Determining PFAS suspicious activities (delete locations by using buffer);
- Make a distinction between the topsoil and subsoil;
- Make use of existing data;
- Check for spatial distribution within the sub-area;
- Check whether the minimum number of measuring points is met (30 for the topsoil and 30 for subsoil);
- Gather data by soil sampling.

# Determine outliers



stof	n	P5	P50	P80	P90	P95	max.	gem.	std. dev.	varco.	px.80+	px.80-	achtergrondwaarde	maximale waarde wonen	maximale waarde industrie	heterogeniteit
perfluorooctaanzuur (PFOA lin.)	34	0,07	0,45	0,80	1,21	1,43	2,40	0,55	0,51	1,07	0,57	0,53	1,9	7	7	0,27
perfluorooctaansulfonaat (PFOS lin.)	34	0,09	0,50	0,90	1,76	2,10	3,80	0,70	0,78	0,90	0,73	0,67	1,4	3	3	1,26
perfluorooctaanzuur (PFOA ver.)	30	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,30	0,08	0,04	1,95	0,08	0,08	1,9	7	7	0,01
perfluorooctaansulfonaat (PFOS ver.)	30	0,07	0,07	0,20	0,37	0,58	0,80	0,16	0	0,89	0,17	0,16	1,4	3	3	0,32
som lineair en vertakt perfluorooctaanzuur	30	0,14	0,58	0,92	1,31	1,53	2,50	0,66	1	1,26	0,68	0,64	1,9	7	7	0,27
som lineair en vertakt perfluorooctylsulfonaat	30	0,15	0,58	1,02	2,21	2,65	4,60	0,88	1	0,91	0,93	0,84	1,4	3	3	1,56
perfluor-1-butaansulfonaat (lineair)	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00
perfluor-1-decaansulfonaat (lineair)	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00
perfluor-1-heptaansulfonaat (lineair)	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,00	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00
perfluor-1-hexaansulfonaat (lineair)	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00
perfluorbutaanzuur	34	0,07	0,10	0,20	0,20	0,22	0,50	0,13	0,09	1,50	0,14	0,13	1,4	3	3	0,09
perfluordecaanzuur	34	0,07	0,07	0,07	0,09	0,13	0,60	0,09	0	0,98	0,09	0,09	1,4	3	3	0,04
perfluordodecaanzuur	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00
perfluorheptaanzuur	35	0,07	0,07	0,07	0,09	0,15	0,20	0,08	0,03	2,50	0,08	0,08	1,4	3	3	0,05
perfluorhexaanzuur	34	0,07	0,07	0,07	0,10	0,20	1,40	0,12	0	0,52	0,13	0,11	1,4	3	3	0,08
perfluornonaanzuur	34	0,07	0,07	0,07	0,10	0,31	1,60	0,14	0	0,49	0,15	0,13	1,4	3	3	0,15
perfluorooctaansulfonamide	34	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0	7,24E+15	0,07	0,07	1,4	3	3	0,00

Legenda

Kolommen

stof	naam van de stof
n	aantal waarnemingen
P50	50e percentiel
P80	80e percentiel
P90	90e percentiel
P95	95e percentiel
max.	maximum
gem.	gemiddelde
std. dev.	standaarddeviatie
varco.	variatiecoëfficiënt
px.80+	bovengrens betrouwbaarheidsinterval van 80% rond het gemiddelde
px.80-	ondergrens betrouwbaarheidsinterval van 80% rond het gemiddelde
achtergrondwaarde	achtergrondwaarde <sup>1</sup>
wonen	maximale waarde kwaliteitsklasse wonen <sup>2</sup>

kwaliteitsklassen

Kleur	Ondergrens	Bovengrens	Omschrijving
Geel	-	<= AW	Achtergrondwaarde <sup>1</sup>
Blauw	> AW	<= Wo	Wonen <sup>2</sup>
Roze	> Wo	<= Ind	Industrie <sup>3</sup>
Rood	> Ind	-	Niet toepasbaar

heterogeniteitsklassen <sup>(4)</sup>

Kleur	Ondergrens	Bovengrens	Omschrijving
Geel	>= 0,00	<= 0,20	weinig heterogeniteit
Oranje	> 0,20	<= 0,50	bepaalde heterogeniteit
Rood	> 0,50	<= 0,70	heterogeniteit
Donkerrood	> 0,70	-	sterke heterogeniteit

Toelichting

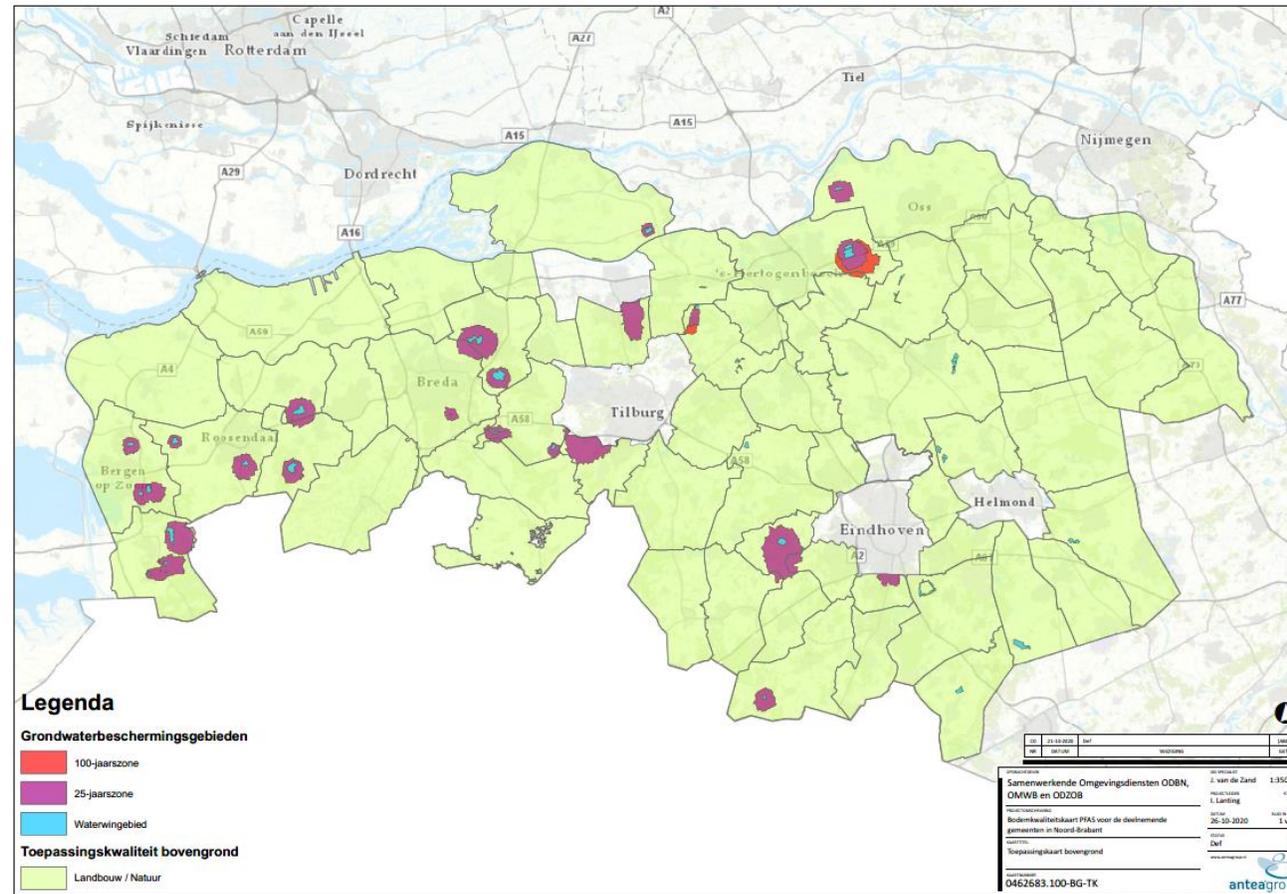
Gehalten zijn gerapporteerd in µg/kg

<sup>1</sup> Kwaliteitsoordeel op basis van het gemiddelde gehalte

<sup>2</sup> Conform 'Regeling bodemkwaliteit'

<sup>3</sup> Conform 'Grondverzet met bodemkwaliteitskaarten' (Deltares, 2011)

# Application map for PFAS containing soil including the locations of water abstraction areas



**Ivar Lanting | Senior Adviseur Milieu Zuid | Businesslijn Milieu,  
Veiligheid & Gezondheid**

**Antea Group**

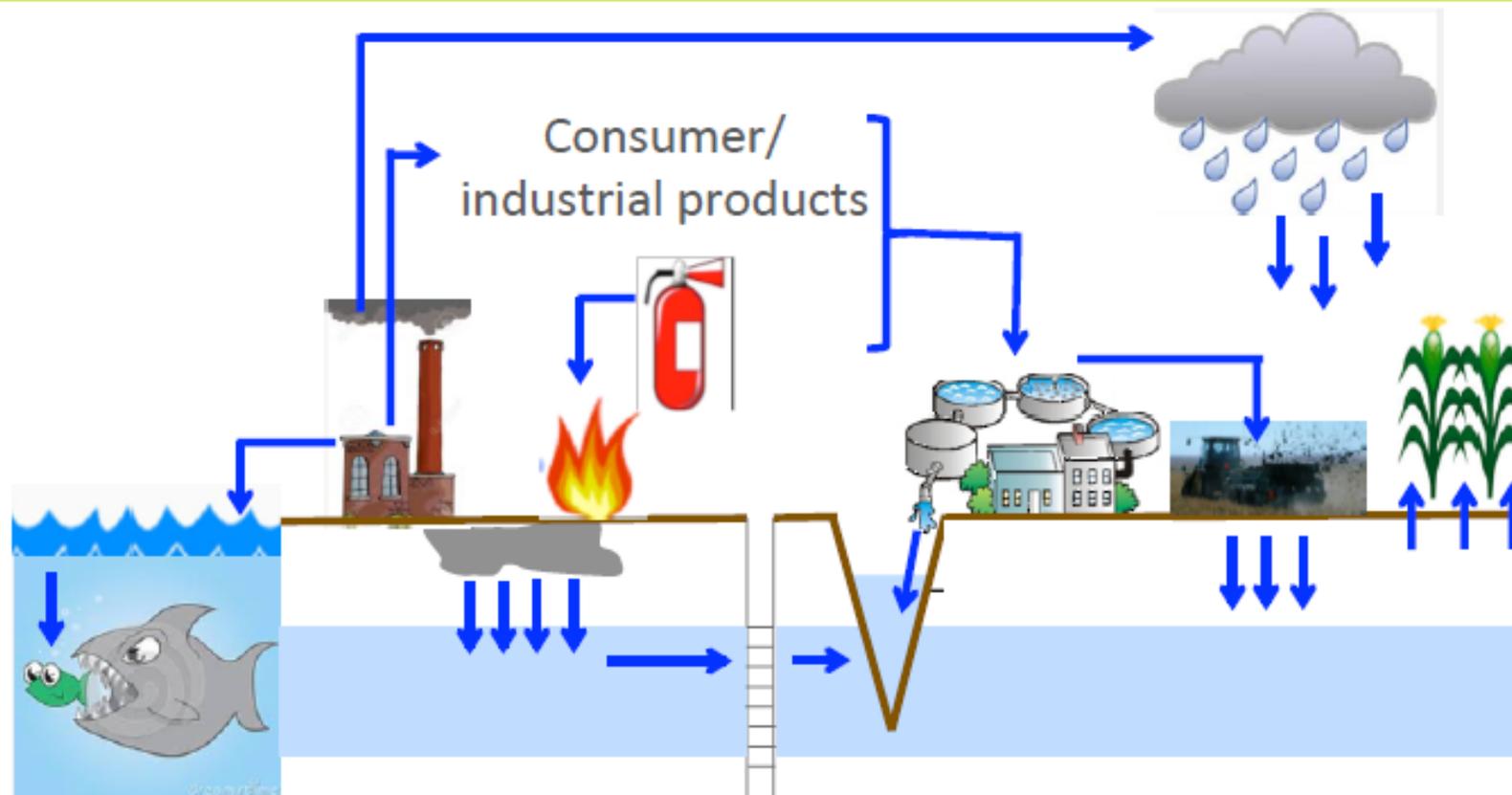
[ivar.lanting@anteagroup.nl](mailto:ivar.lanting@anteagroup.nl)

M: +31 6 11602639

Beneluxweg 125 | Postbus 40 | 4900 AA OOSTERHOUT

# PFAS

## ENVIRONMENTAL DISTRIBUTION



# PFAS

## *Practical experiences on soil investigation and remediation from a site in Amsterdam*

*Paul Verhaagen*  
[www.hmvt.eu](http://www.hmvt.eu)



# Introduction

## Paul Verhaagen

- 30 years experience working as senior consultant and contractor
- Projects in Belgium, The Netherlands, Germany, France, Sweden, Denmark, Japan

## HMVT

- Over 30 years experience in environmental engineering, from the start focus on innovative technologies
- Main activities are related to in-situ soil remediation, water treatment, vapour treatment
- Projects in Belgium, The Netherlands, France and Germany

# Amsterdam project (2016 – 2019)



- Historical use of the site
- Soil investigation PFAS (2016-2017)
- Definition of remediation targets and remediation approach (2017)
- Remediation (2018-2019)
- Lessons learned – future outlook for PFAS remediation

# Historical background and use of the site



- Former marshland in the eastern part of Amsterdam
- First industrial use (timber yard) start in 1925
- Later: processing asbestos materials (1934-1970)
- 1970-2016. Fire protection materials
- 2016. End of industrial activities - redevelopment

Now: development into a residential area



# Soil investigation, focus on PFAS



- Key: how was the PFAS used on the site ?
- Find the source areas of PFAS
- Understand the hydrological system on the site (drainage – geohydrology)
- Only then: start actual soil investigation
- Always look into the impact on water (groundwater/ nearby surface waters)
- Do not jump to conclusions after a few analyses



# Soil investigation PFAS some results

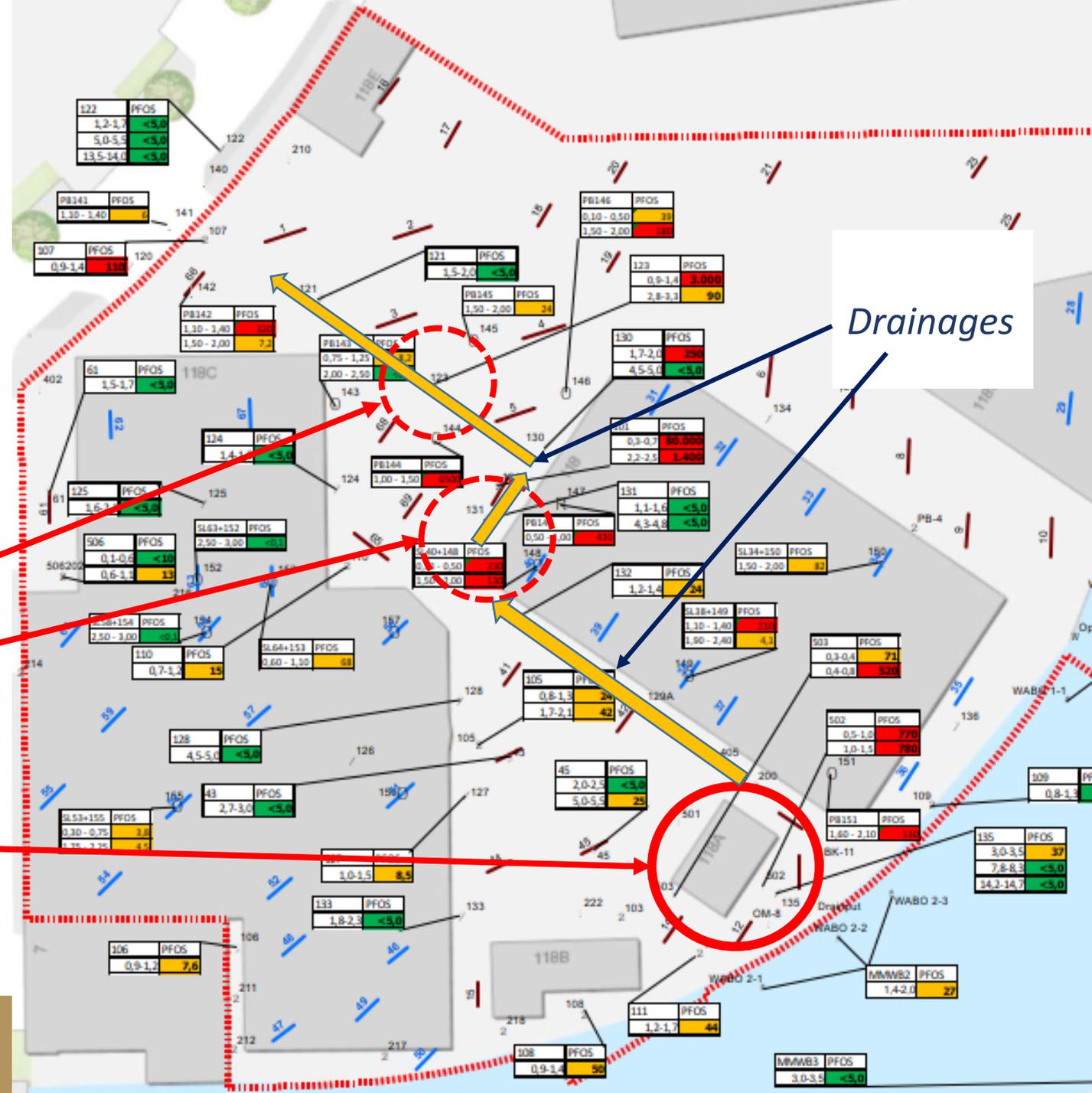
- PFAS on the site consisted for more than >90% of PFOS
- If PFAS are found: both soil + groundwater contain PFAS. Exception: in coarse sand layers only groundwater was impacted.
- Maximum levels in soil samples PFOS: 3.000 mg/kg
- Maximum levels groundwater PFOS: 6.500 µg/l
- The results confirm that hydrological system governs the spreading of PFAS into the soil

# PFAS in the soil

Due to drainage on the site, multiple source areas have developed in the subsoil

Source area's related to drainage

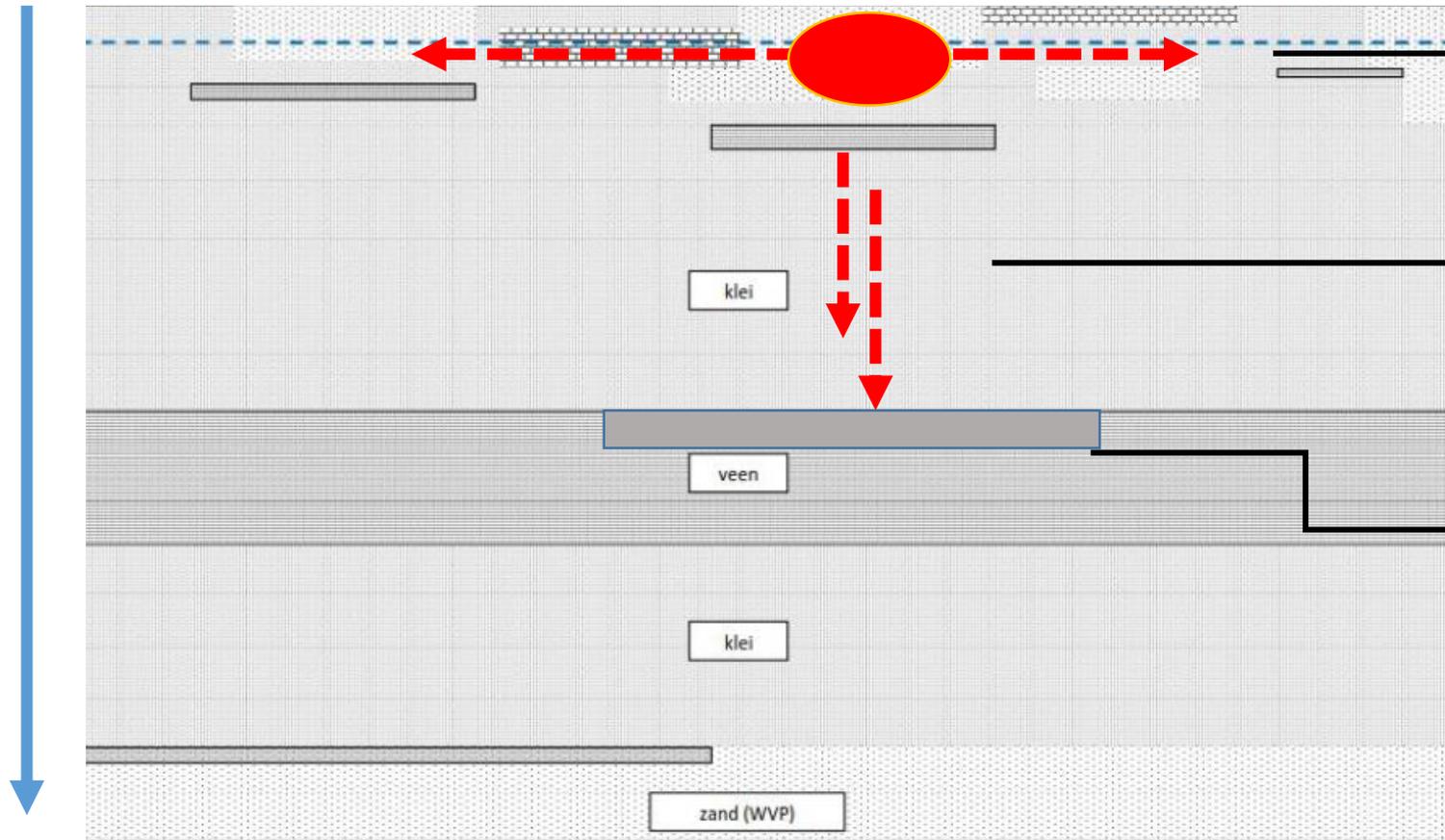
Source area related to testing



# Impact soil structure on PFAS spreading



infiltration



Horizontal spreading (via rubble layers, via drainage etc.)

Vertical spreading at source areas (clay no hinderance for spreading)

Peat is a hinderance for vertical spreading

*This is site specific*

# Definition of remediation targets PFAS



- In 2016: no set values for remediation PFAS.
- So, start with the basics: what is the aim of the remediation ? To make the redevelopment of the site possible. No remediation – no redevelopment.
- Remediation target is the elimination of risks related to a contamination. So, in this case the soil remediation has to remove risks in relation to the future use of the site.
- For this site the situation after remediation:
  - No risks for humans (installing a clean layer of soil –'leeflaag', use of the site – apartments, no private garden area's)
  - No ecological risks (clean soil layer)
  - No risk for spreading (removal of source areas)

# Remediation targets



2017 accepted remediation targets site:

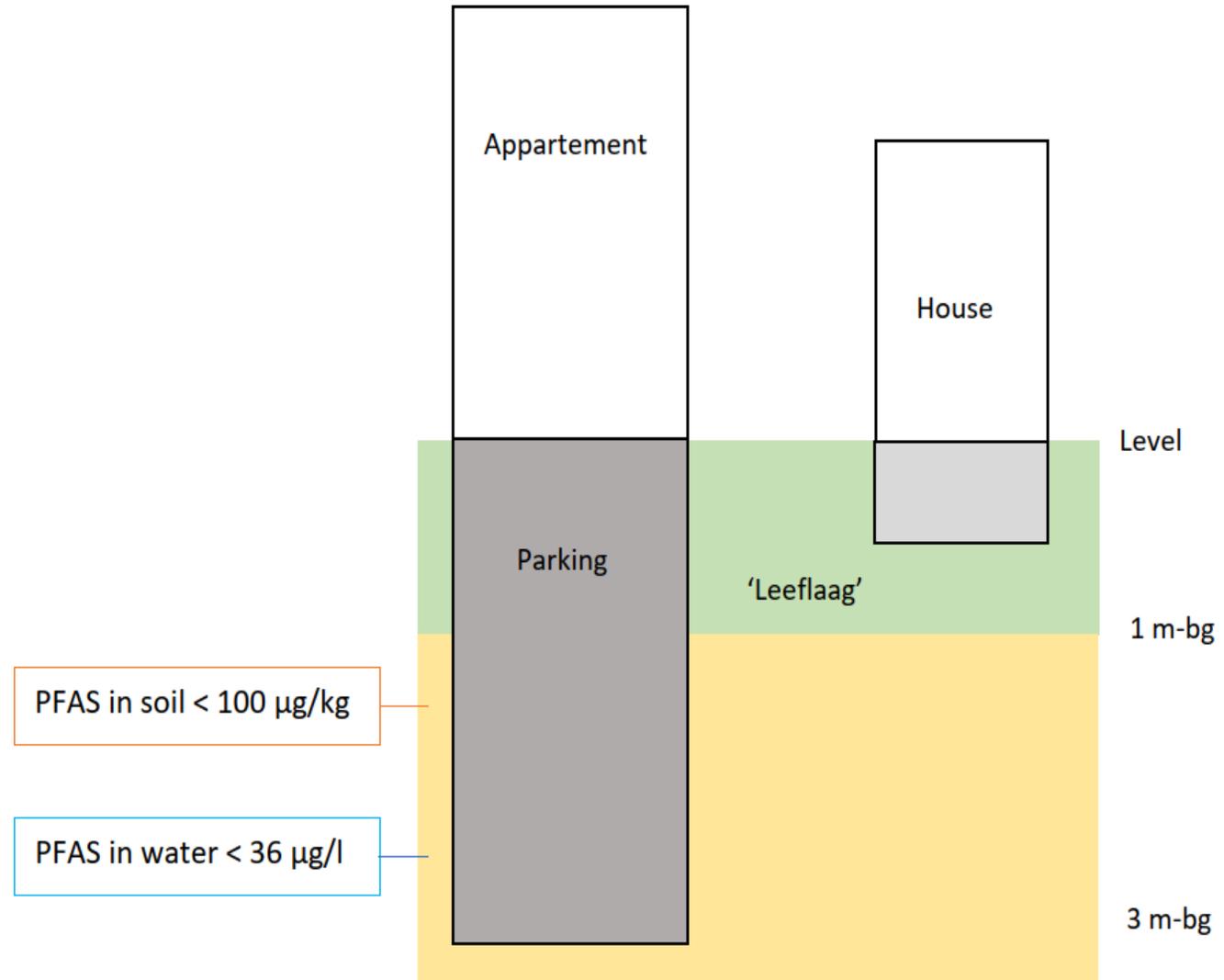
- Soil 100 µg/kg
- Groundwater: 36 µg/l

How did we get there?

*Soil:* Use of existing values for a 'neglectable impact on surrounding soil – water quality'

*Groundwater:* use of the set level for water Emissions.

Most important: the remediation results in the removal of 97% of the PFOS.



# Comparison with PFAS remediation targets (June 2020)

Compound			
	Soil ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	Groundwater ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) (incl. drinking water)	Groundwater ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) (excl. drinking water)
PFOS	110	0,20	56
PFOA	1100	0,39	170
GenX	97	0,66	140

For the project in 2017: 100  $\mu\text{g}/\text{kg}$

For the project in 2017: 36  $\mu\text{g}/\text{l}$

# Remediation of PFAS

- **Safety issues** for staff during remediation PFAS are basic.
- **PFAS analyses:** please consider in advance the required lab time
- The **technologies** for the remediation at this project were basic:
  - Excavation of contaminated soil
  - Extraction of contaminated groundwater
- **Treatment** (soil and groundwater) are very complex:
  - Treatment / final disposal of soil
  - Treatment - purification of the groundwater

# Treatment of PFAS contaminated groundwater

- Water treatment applied at the site in Amsterdam
- Future outlook remediation technologies

# Pilot treatment PFAS

Composition of the PFAS: appr. 85% is PFOS (comparable with soil investigation).

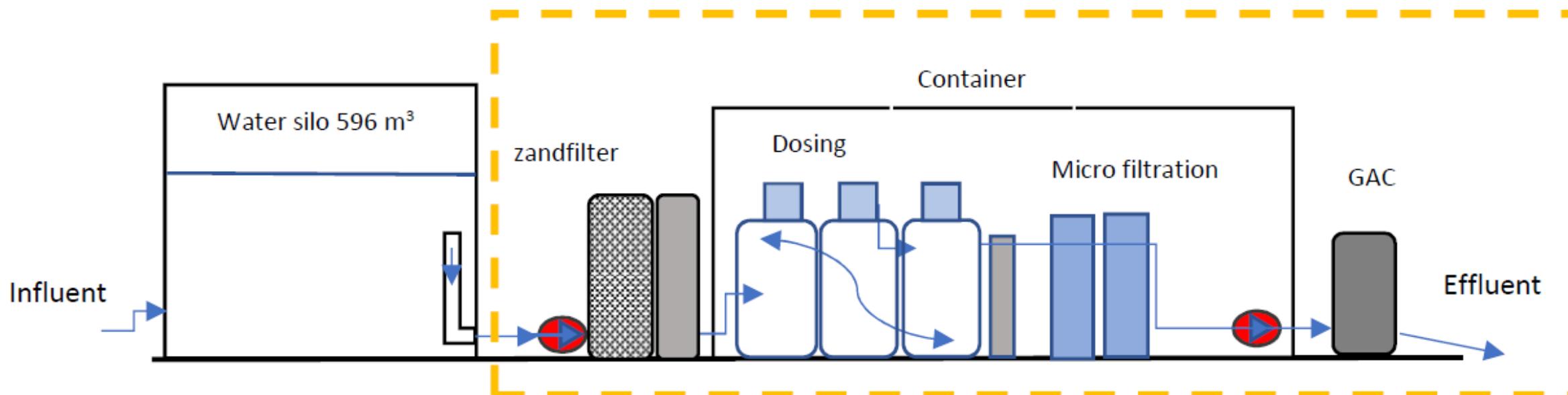
Level of PFAS is representative for the site

Treatment efficiency = o.k.  
Influence of PerfluorAd dosing rate is little

Project	Untreated	Treated		
	Rohwasser 0	Dosing rate PerfluorAd in mg/l		
PFC-Verbindung in µg/l		50	100	200
PFBA	0.3	0.3	0.2	0.08
PFBS	2.1	0.008	0.004	0.004
PFPeA	0.8	0.4	0.2	0.03
PFHxA	1.6	0.3	0.08	0.03
PFHxS	4.6	0.02	0.03	0.04
PFHpA	1.0	0.03	0.01	0.01
PFOA	2.2	0.03	0.03	0.03
PFOS	140	0.4	0.7	1.00
PFOSA	1.1	0.006	0.01	0.02
PFNA	0.07	<	<	0.001
PFDA	0.3	<	0.002	0.003
PFDS	<	<	<	<
PFUnA	0.03	<	<	<
PFDoA	<	<	<	<
PFHpS	1.6	0.005	0.01	0.01
PFPeS	1.3	0.003	0.004	0.005
4:2 FTS	0.05	0.006	0.003	0.001
6:2 FTS	5.1	0.2	0.1	0.2
8:2 FTS	1.2	0.007	0.02	0.04
<b>Summe µg/l</b>	<b>163.35</b>	<b>1.715</b>	<b>1.403</b>	<b>1.504</b>
<b>Removal rate</b>		<b>99%</b>	<b>99.10%</b>	<b>99%</b>

# Water treatment: full scale approach for the site

- It is a groundwater remediation
- Flow rate 1,5-2,0 m<sup>3</sup>/h
- Emission level PFAS 1 µg/l (ppb)



# Water treatment results

Start September 2018 – stop March 2019



INFLUENT		Inflow		ug/l			
Date 2018	PFOS	PFOA	PFBS	PFHx <sub>a</sub>	PFHx <sub>s</sub>	% share PFOS vs PFAS total	
13-9-2018	20	1	0,39	1,9	3,5	72%	27,8
18-10-2018	7,6	0,67	0,48	1	3,2	55%	13,71
12-11-2018	8,7	0,78	1	1,6	4,3	50%	17,4

EFFLUENT		Outflow		ug/l			
Date 2018	PFOS	PFOA	PFBS	PFHx <sub>a</sub>	PFHx <sub>s</sub>	% share PFOS vs PFAS total	
13-9-2018	1,4	0,32	0,18	1	0,56	34%	4,05
18-10-2018	0,94	0,34	0,3	1,1	0,41	25%	3,73
12-11-2018	0,99	0,8	1,2	4,3	0,93	10%	9,98

Efficiency rate total PFAS	Efficiency rate PFOS
93%	93%
88%	88%
43%	89%

	Emisie na Aktief kool. PFAS total ug/l
13-9-2018	0,7
18-10-2018	5,25
12-11-2018	
20-11-2018	0,25

GAC desorb emitting to the buffer new GAC

## PFAS water treatment conclusions

Experiences with the selected approach and the technology:

- Emission requirement PFAS 1  $\mu\text{g/l}$  is achievable
- Buffering (water silo) is important to homogenize PFAS levels
- Removal of suspended material from the water is essential

# Future outlook on PFAS remediation

➤ Soil

➤ Water

## PFAS remediation soil

No (in-situ) remediation technologies for soil treatment available.

In-situ remediation: next 1-3 years no expectations on a breakthrough of a (economical) technology. Bottlenecks:

- Properties PFAS (behaviour in soil)
- Remediation targets required (and potential for reuse of soil)

Treatment of soil (ex-situ). Good option can be washing of (sandy) soils followed by treatment of waste water from the plant.

# PFAS remediation water

By 2021 various treatment technologies are available.

Selection of water treatment technologies are always site specific:

- Short remediation time / small flow / low levels: GAC
- Longer remediation time higher flow / higher levels: combination of technologies

Key issue is to prevent waste generated (GAC, others) that has to be incinerated or landfilled.



# Thank you

**Paul Verhaagen**

HMVT  
Postbus 174  
6710 BD Ede  
[www.hmvt.nl](http://www.hmvt.nl)



Aquadren  
TECHNOLOGIES



Tore Svendsen – [ts@aquarden.com](mailto:ts@aquarden.com)

Caroline Kragelund – [cakr@teknologisk.dk](mailto:cakr@teknologisk.dk)



TEKNOLOGISK  
INSTITUT



Aquaden  
TECHNOLOGIES





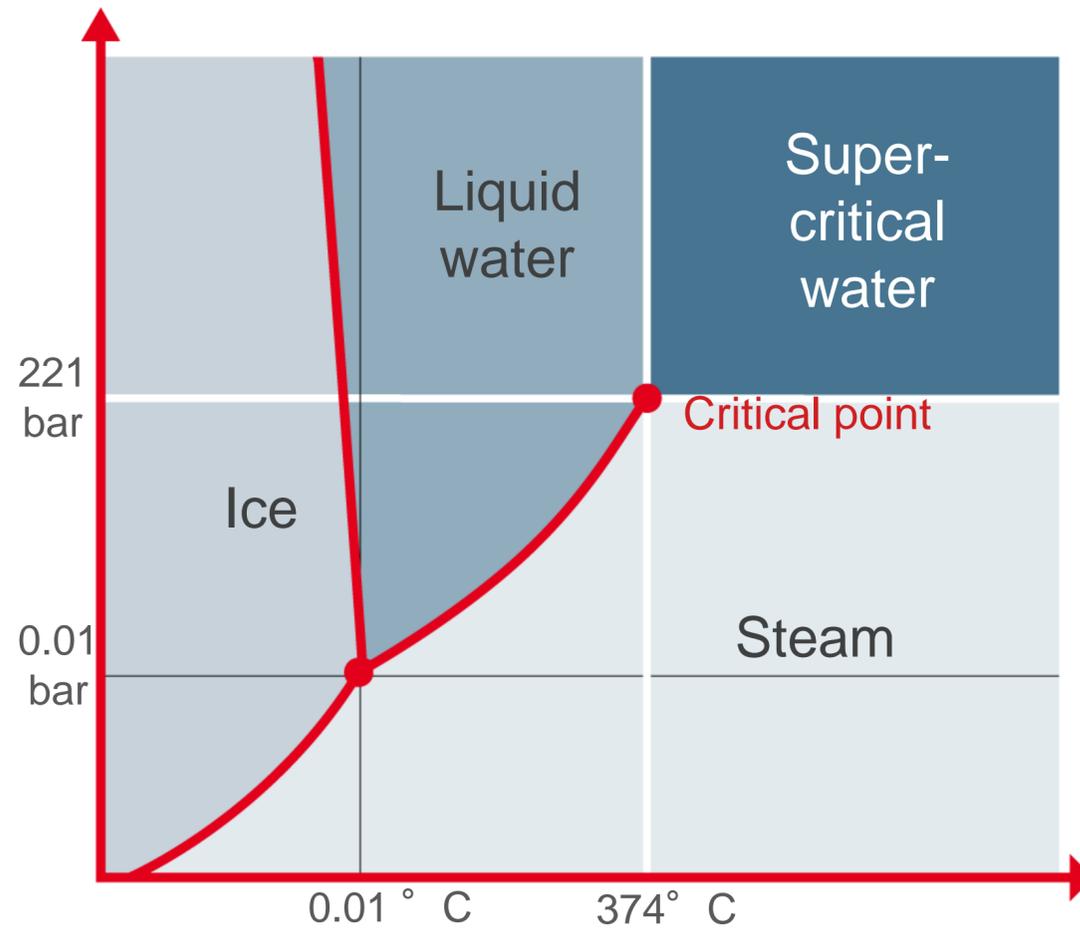


# Destruktion af PFAS



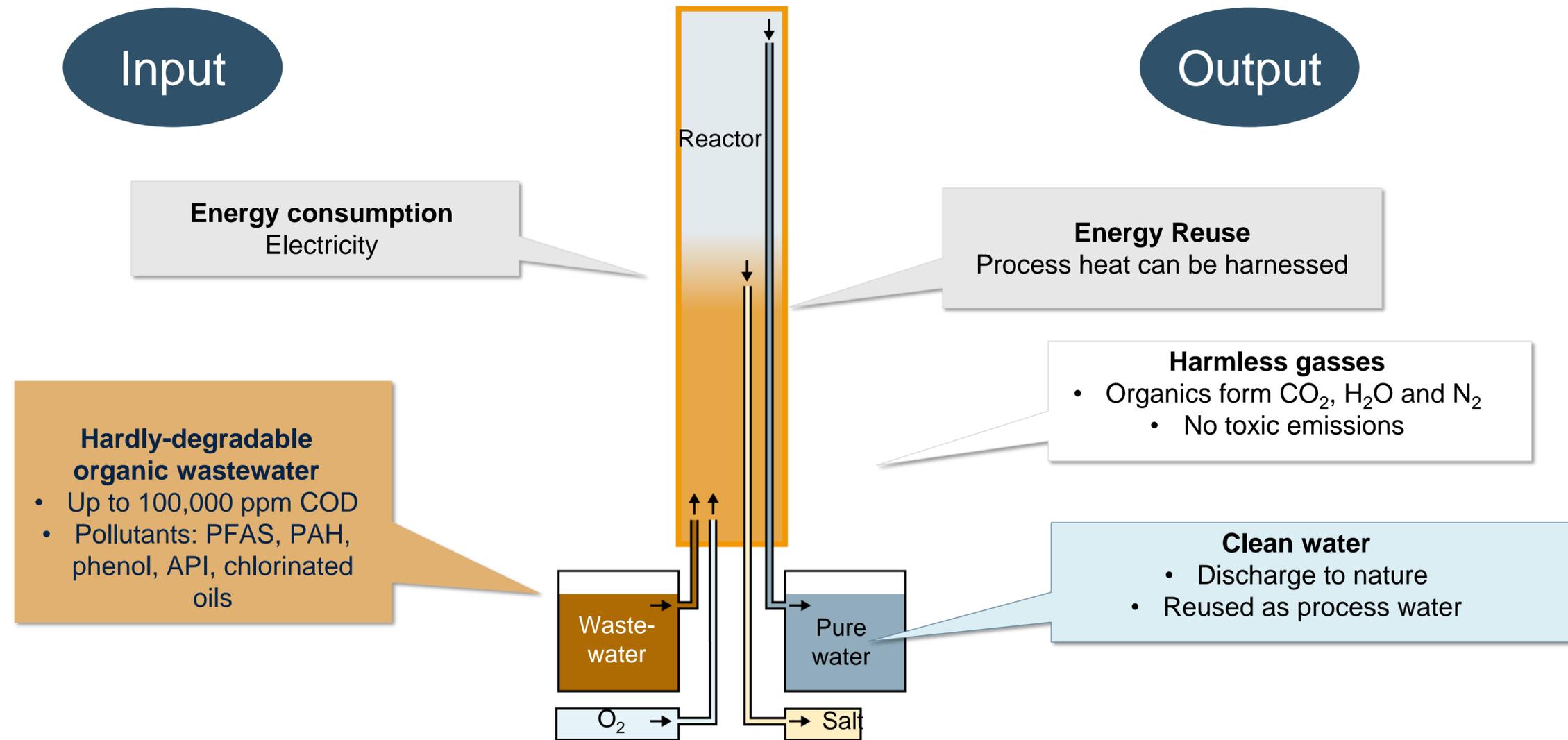


# Super Critical Water Oxidation



Organisk materiale destrueres og saltene udfældes

# SCWO





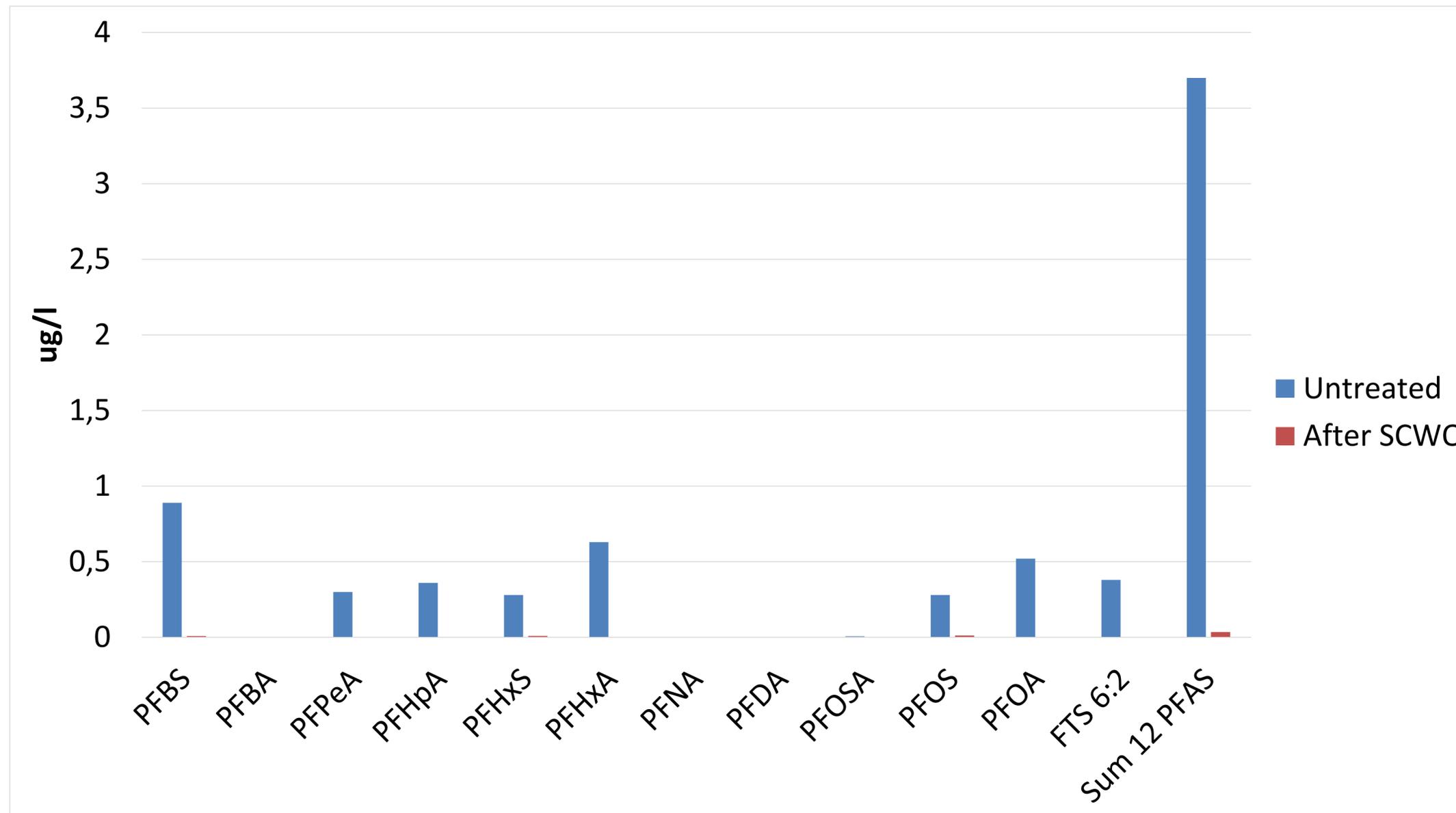
DV09

 Aquarden  
TECHNOLOGIES

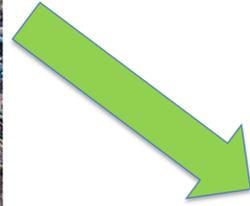
Aquarden SCWO System



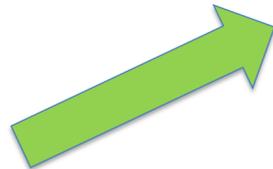
## Perkolat SÖRAB



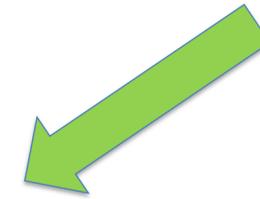
> 99 %  
destruction with  
SCWO



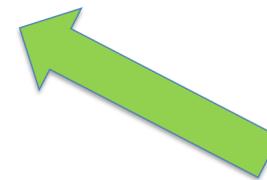
Foam fractionate



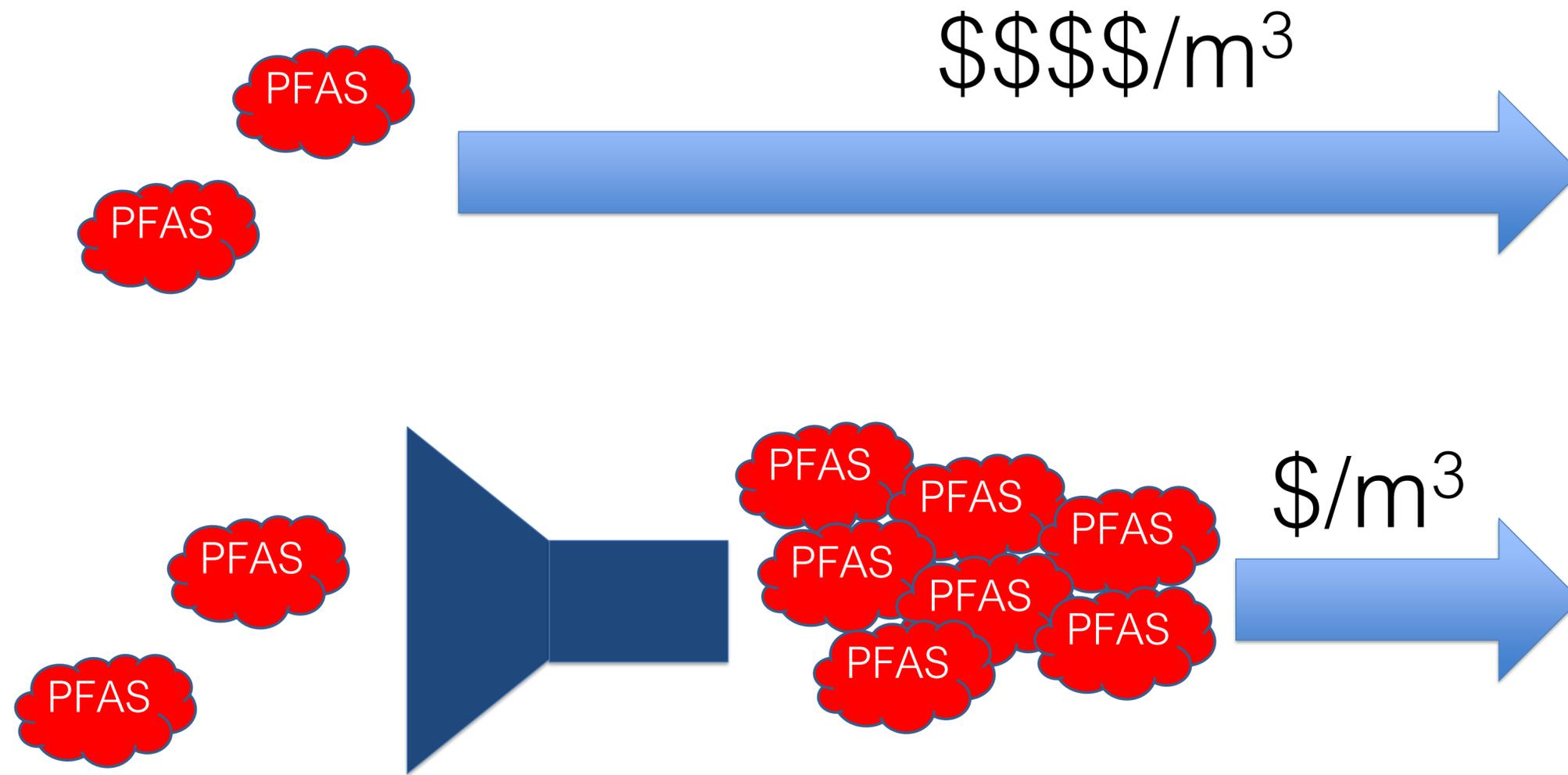
AFFF skum



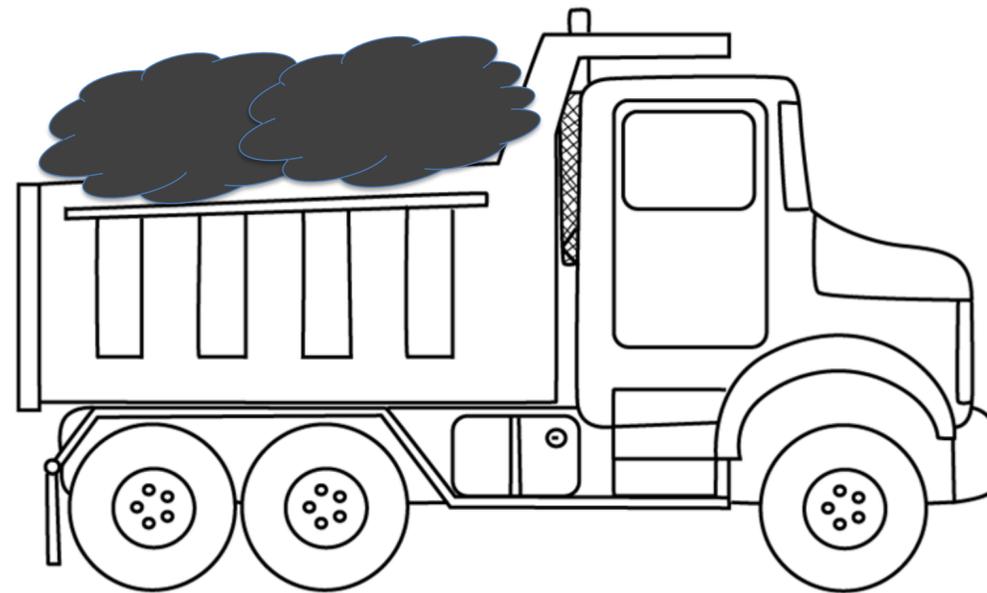
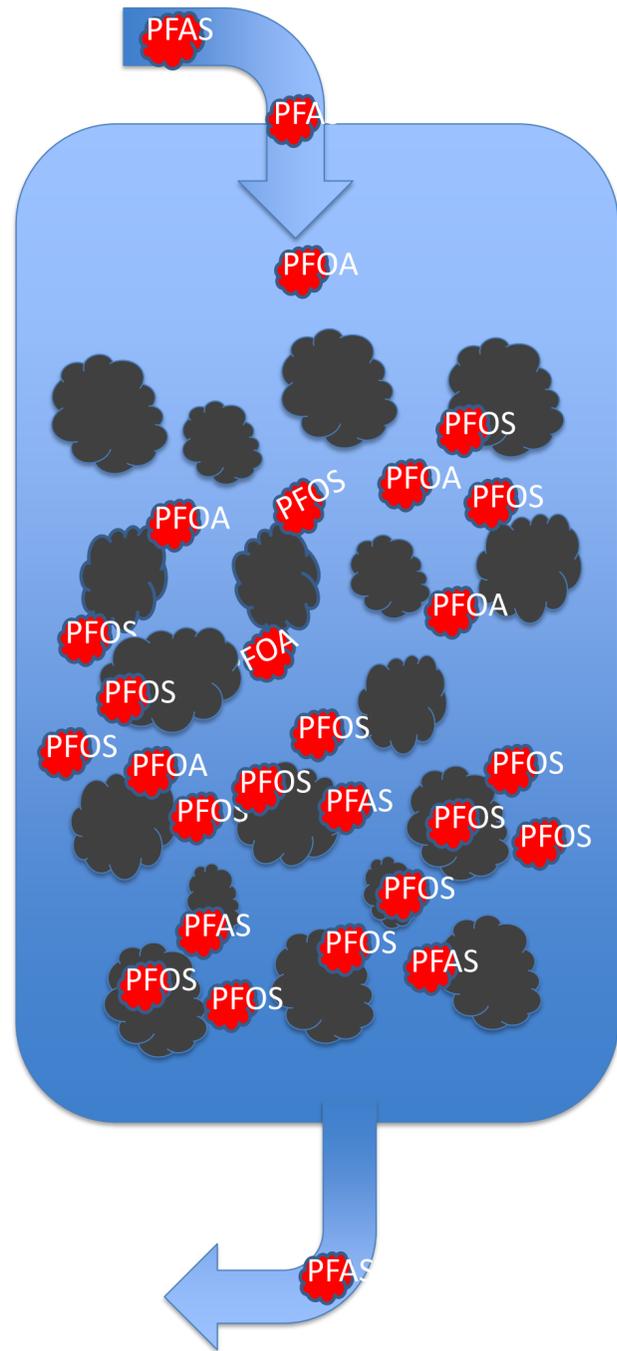
Grundvand



# Opkonzentrering



# GAC



PFAS??





PFAS removal and destruction - Y X AP NY bans incineration disposal of X +

apnews.com/article/new-york-albany-andrew-cuomo-hazardous-waste-environment-78b18f72a8c51641c69363818f0978a5

Apps Gmail YouTube Maps Google Oversæt AP NY bans incineratio... Teamworks

**AP** NY bans incineration disposal of toxic firefighting foam

# NY bans incineration disposal of toxic firefighting foam

By MARY ESCH November 24, 2020

[Facebook](#) [Twitter](#) [Email](#)

[Click to copy](#)

**RELATED TOPICS**

- U.S. News
- New York
- Albany
- Andrew Cuomo
- Environment
- Hazardous waste

ALBANY, N.Y. (AP) — New York has banned the disposal of toxic firefighting foam by incineration in certain cities after environmental groups raised concerns about an Albany-area firm that had incinerated foam for two years under a Department of Defense contract.

The law signed Monday by Gov. Andrew Cuomo, a Democrat, was designed to prevent the Norlite hazardous waste incinerator in Cohoes from resuming the burning of foam containing perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances, chemicals known collectively as PFAS.

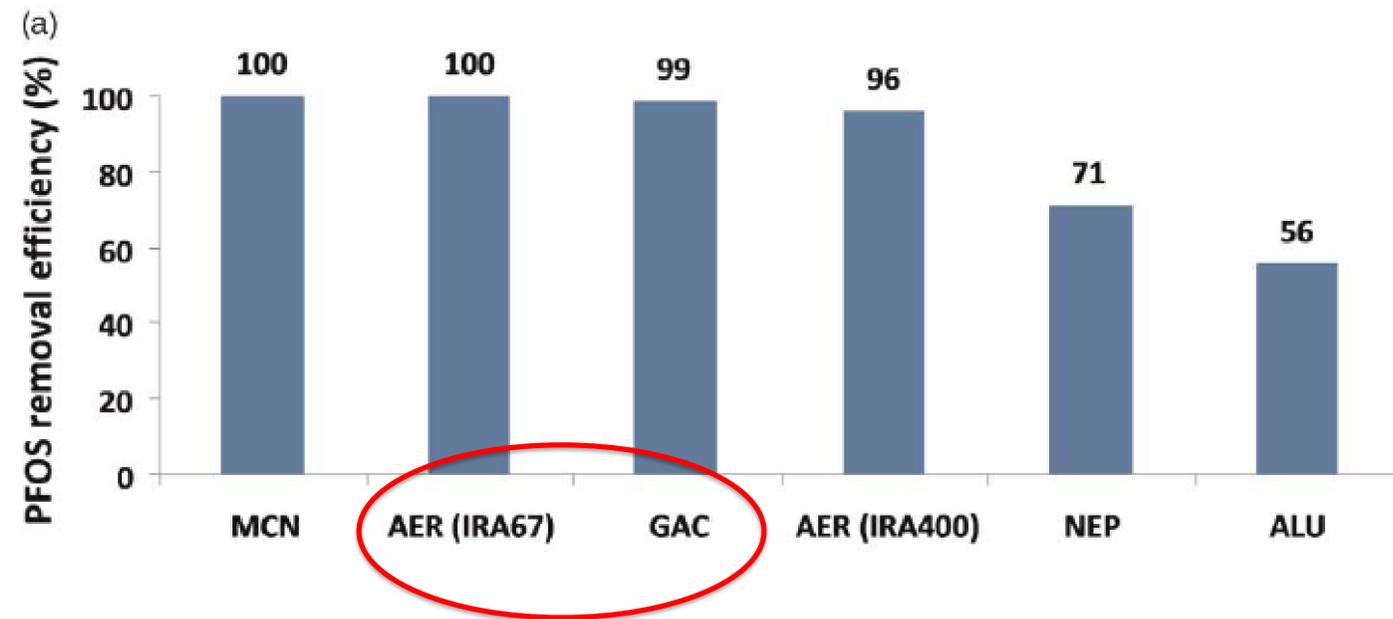
The Department of Environmental Conservation ordered Norlite to cease disposal of the material in 2019, and the city of Cohoes enacted a one-year moratorium on PFAS incineration last April. The company said it hasn't processed the material since December 2019 and would not do so unless testing supported by the state and the U.S. Environmental Protection Agency showed thermal destruction was the safest and most effective means of disposal.

# Lufthavn

	PFOS ng/L	PFOA ng/L
Ethanol/water from Rygge	261	134
Ethanol/vand from Rygge after SCWO	<0.1	<0.01

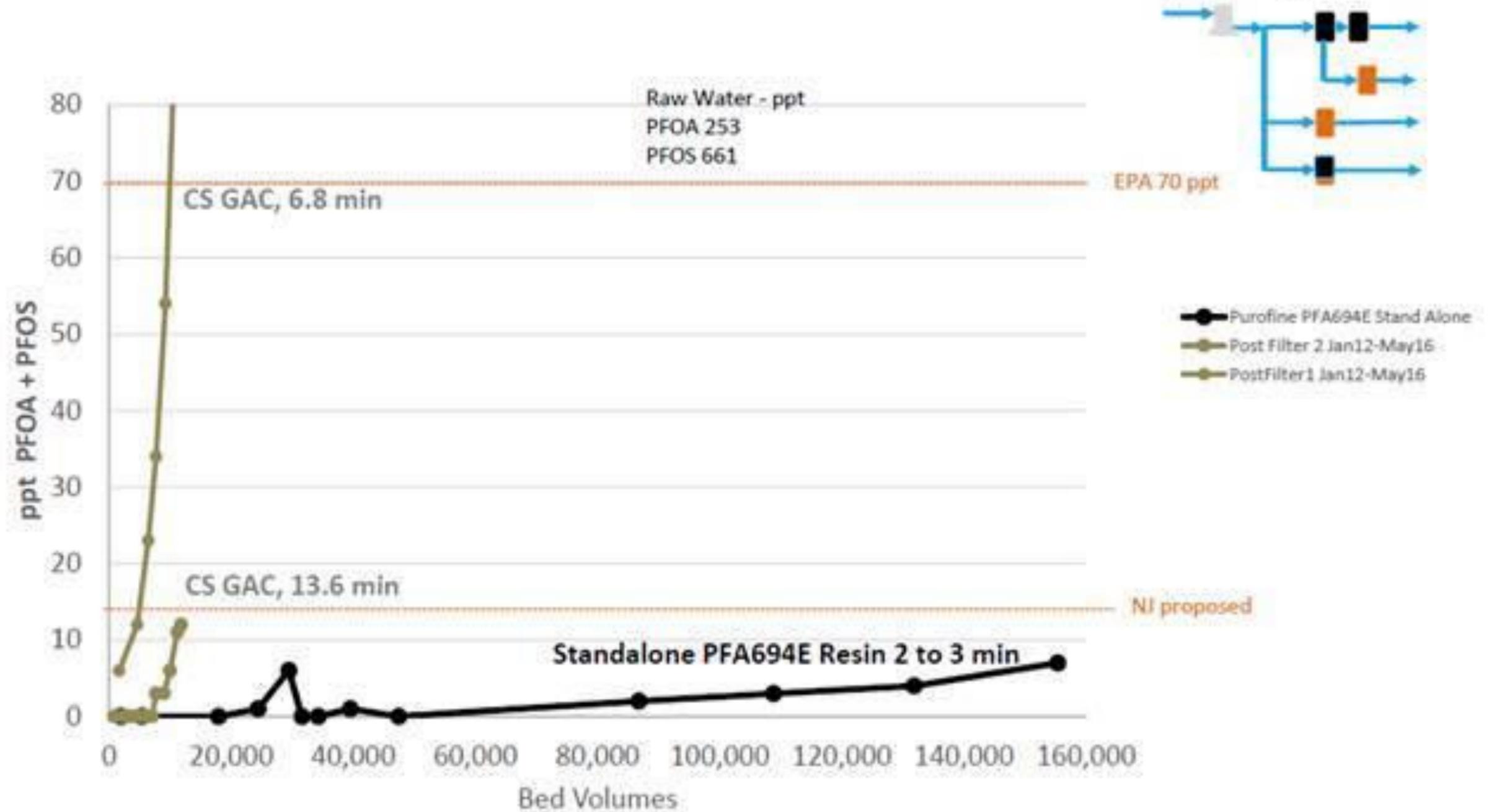
	PFOS ug/L	PFOA ug/L
Ethanol/water from Arlanda	679	34
Ethanol/vand from Arlanda after SCWO	<0.1	<0.01



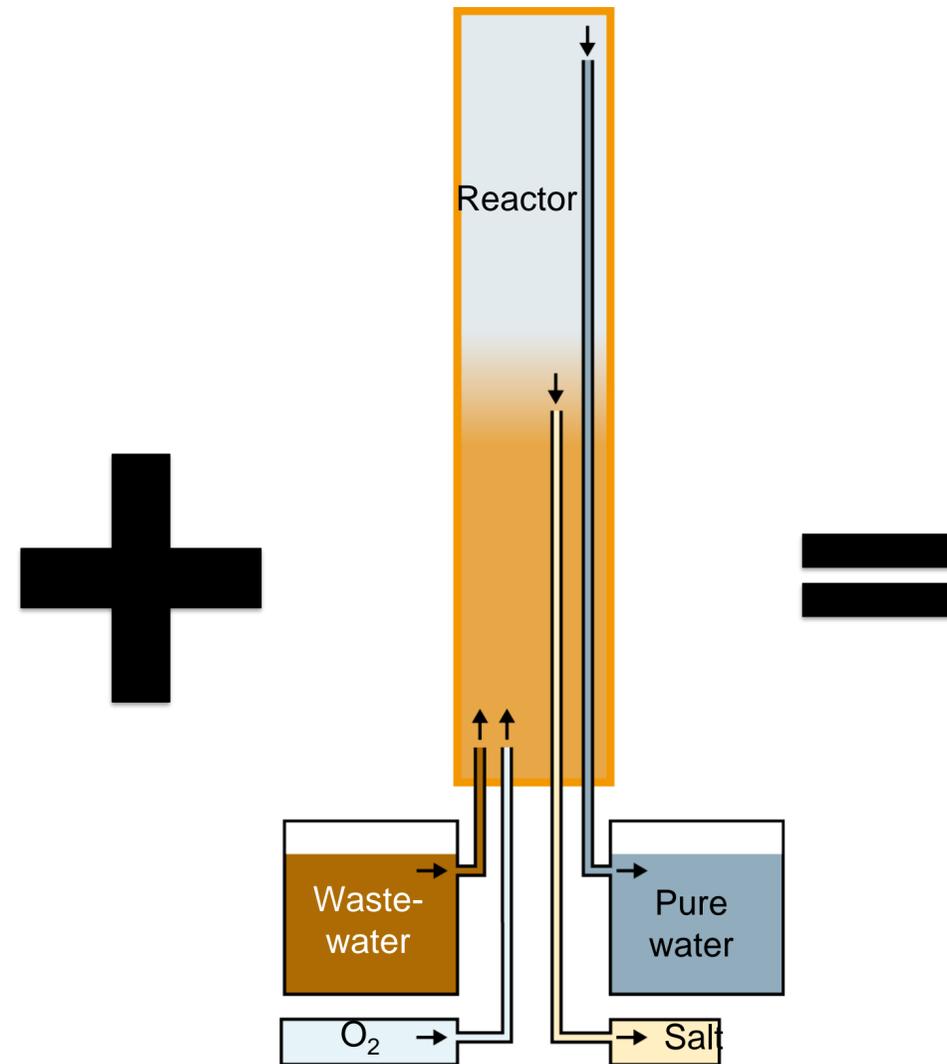
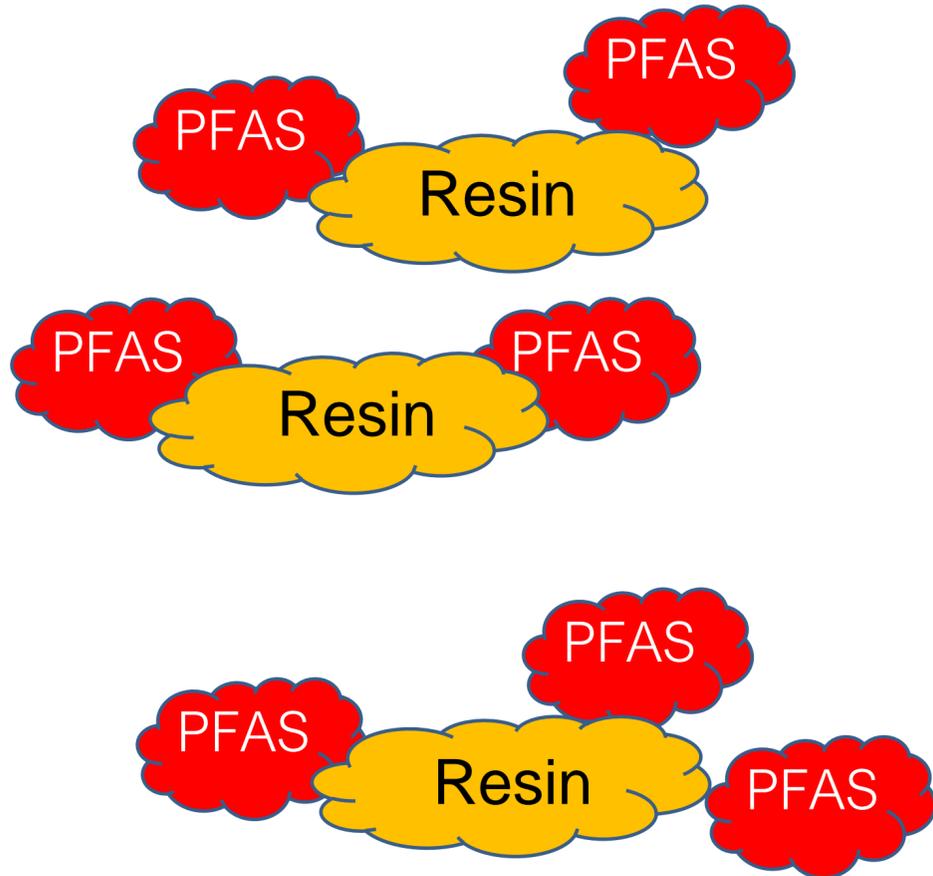


	$K_F$ ( $\text{mg}^{(1-n)} \text{L}^n \text{g}^{-1}$ )	$n$	$R^2$
<i>PFOS</i>			
AER	7,300	0.90	0.73
GAC	120	0.29	0.95
DCN	82	0.31	0.97
MCN	34	0.40	0.99
NEP	7.3	0.68	0.98
ALU	0.6	1.03	1.00

## Purofine PFA694E Resin vs GAC: PFOA + PFOS Capacity

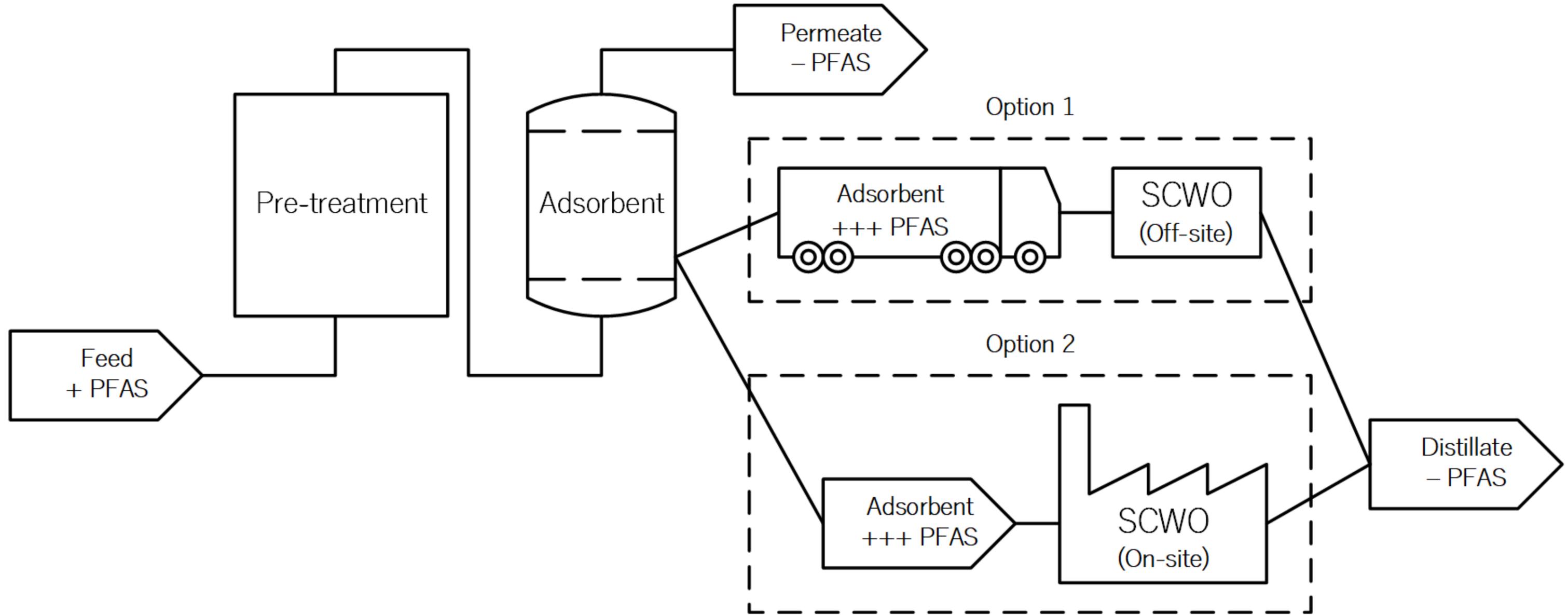


# Resin



Prøve ID:	#1 PFOS_1 time	#2 PF ti
<b>Kommentar</b>	*1	
<b>Parameter</b>		
<b>PFAS-forbindelser, MST 12 stoffer</b>		
PFHpA	<0.0010	
PFOA	<0.0010	
PFNA	<0.0010	
PFBS	<0.0010	
PFHxS	<0.0010	
PFOS	<0.0010	
PFOSA	<0.0010	
PFHxA	<0.0050	
PFBA	<0.0010	
PFPeA	<0.0050	
PFDA	<0.0010	
FTS 6:2	<0.0010	
Sum af PFAS, 12 stoffer	<0.010	
<b>Kommentar</b>		

\*1 Ingen kommentar





Aquarden  
TECHNOLOGIES





Flokkulering/se  
dimentation



Keramisk  
membran



Adsorption



	Before (ng/l)	After (ng/l)
PFBA	57	<0.60
PFPeA	200	<0.30
PFHxA	160	<0.30
PFHpA	64	<0.30
PFOA	82	<0.30
PFNA	180	<0.30
PFDA	17	<0.30
PFBS	34	<0.30
PFHxS	240	<0.30
PFOS	1100	<0.20
6:2 FTS	230	<0.30
<b>Summa PFAS SLV 11</b>	<b>2400</b>	<b>ND</b>

Eurofins. November 2020, Karholmen, Sweden

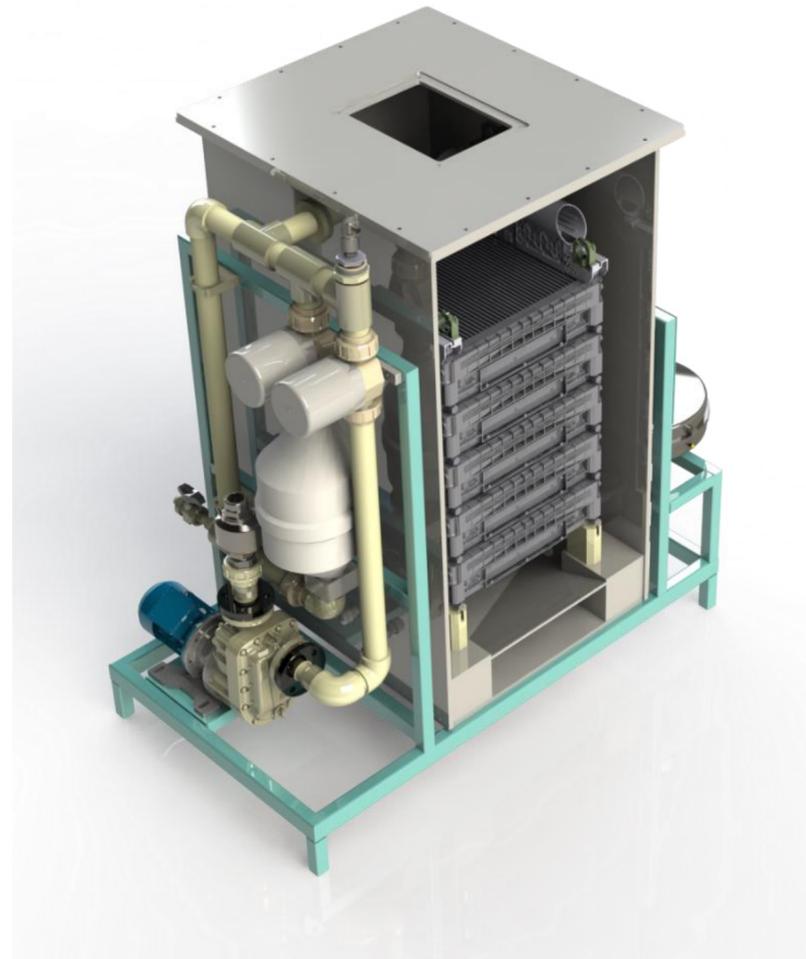


Aquadren  
TECHNOLOGIES



# Forbehandling

- Kun god adsorption ved god forbehandling
- Muligheder
  - Flokkulering
  - Sandfilter
  - Keramiske membraner
  - Flotation
  - Ozon



Nyheder

Nyhedsabonnement

Nyhedsarkiv

Pressemeddelelser

Sociale medier

Hør podcasten: Der står en puma i min have 

# PFOS-forurenede spildevand stammer formentlig fra brandskole

05-02-2021

Vandmiljø

Der er udledt spildevand med høje koncentrationer af stoffet PFOS fra Korsør Renseanlæg. Kilden til forureningen er formentlig brandskolen i Korsør, som nu er i gang med undersøgelser, som skal indsnævre forureningskilden.

SK Forsyning i Korsør målte i december sidste år høje koncentrationer af PFOS i udledt spildevand fra Korsør Renseanlæg. Nu peger Slagelse Kommunes kildeopsporing på, at det er brandskolen i Korsør, som er kilden til forureningen. Stoffet er i dag forbudt at anvende i brandslukningsskum, og forsyningen oplyser, at det derfor ikke mere bruges på skolen.

PFOS er kræftfremkaldende, det påvirker reproduktionen og er akut giftigt. Det er endvidere mistænkt for hormonforstyrrende egenskaber. Stoffet bioakkumuleres og forsvinder således ikke bare i naturen, men ophobes gennem fødekæden.

- I Miljøstyrelsen ser vi på sagen med stor alvor, fordi PFOS er et stof, der ikke nedbrydes særligt nemt i naturen, samtidig med det ophobes i fødekæden, siger kontorchef i Miljøstyrelsen Jane Hansen og tilføjer:

Abonnér

Få Miljøstyrelsens nyheder direkte i din mailboks

Tweets af @Miljostyrelsen 

 **Miljøstyrelsen**  
@Miljostyrelsen

  Kenyan lawmakers to discuss future of waste! "Kenya Waste Bill and Policy" approved and sent to Parliament for final adoption. @Miljostyrelsen, @DanishMFA and the @denmarkkenya in Nairobi are proud to be part of this! If adopted, Kenya is closer to a more #circulareconomy



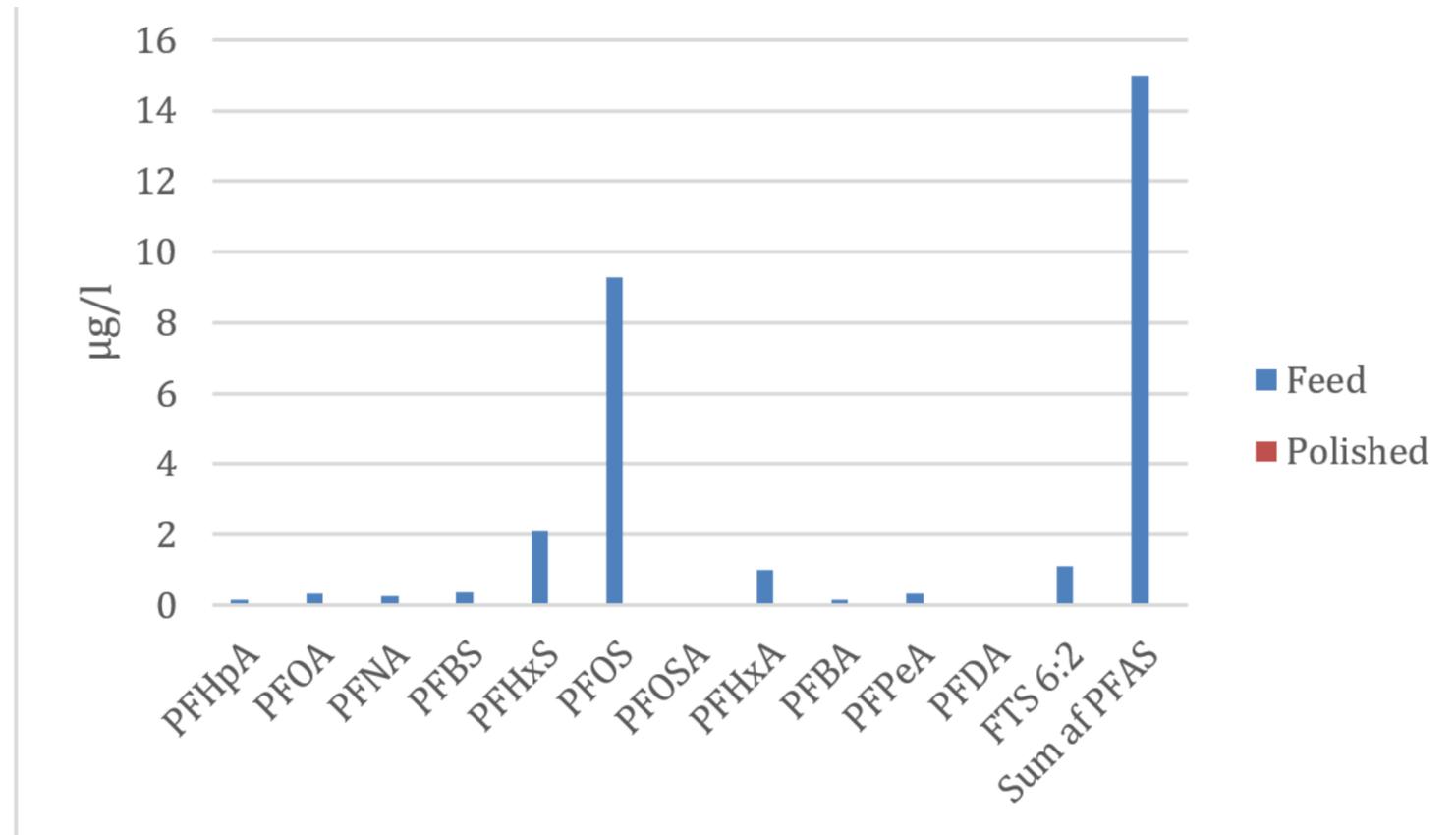
Indlejr

Vis på Twitter

[Se alle Miljøstyrelsen profiler på sociale medier](#)

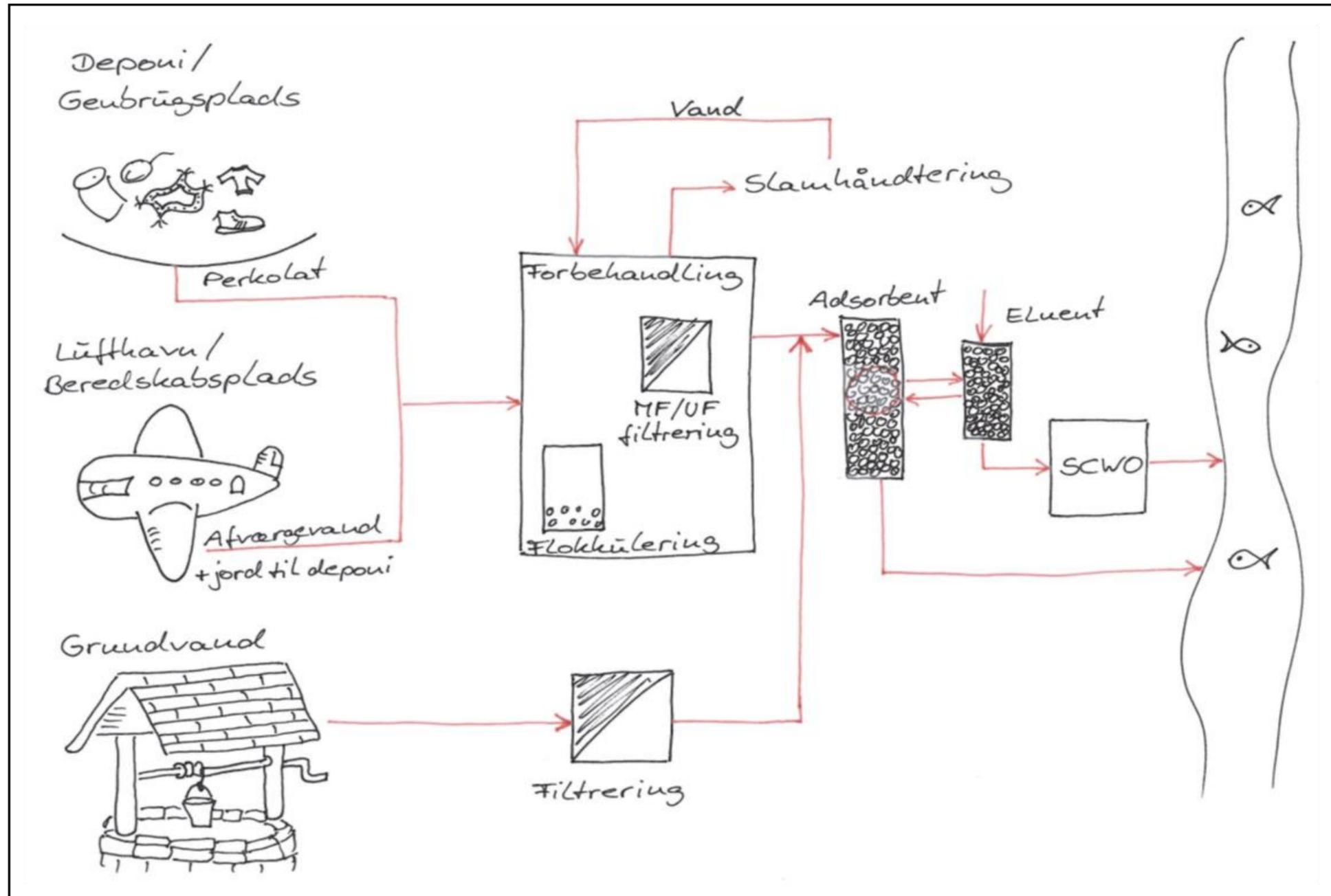


# Vand fra jordforurening





# PFA Sinator



# Fra første kontakt til final installation



Customer contact



Delivery & installation

Quality insurance & commissioning

Service

Lab. Testing



