

DTU



Nyt koncept for in-situ afvoerge af PFAS forureningsfaner – kan en behandlingszone med kolloidt aktivt kul mindske forureningsfluxen?

Laura Morsing¹, Kristine Bjerre Rasmussen², Nina Tuxen², Klaus R. Mosthaf¹, Annika S. Fjordbøge¹, Poul L. Bjerg¹

¹ Danmarks Tekniske Universitet (DTU Sustain)

² Region Hovedstaden

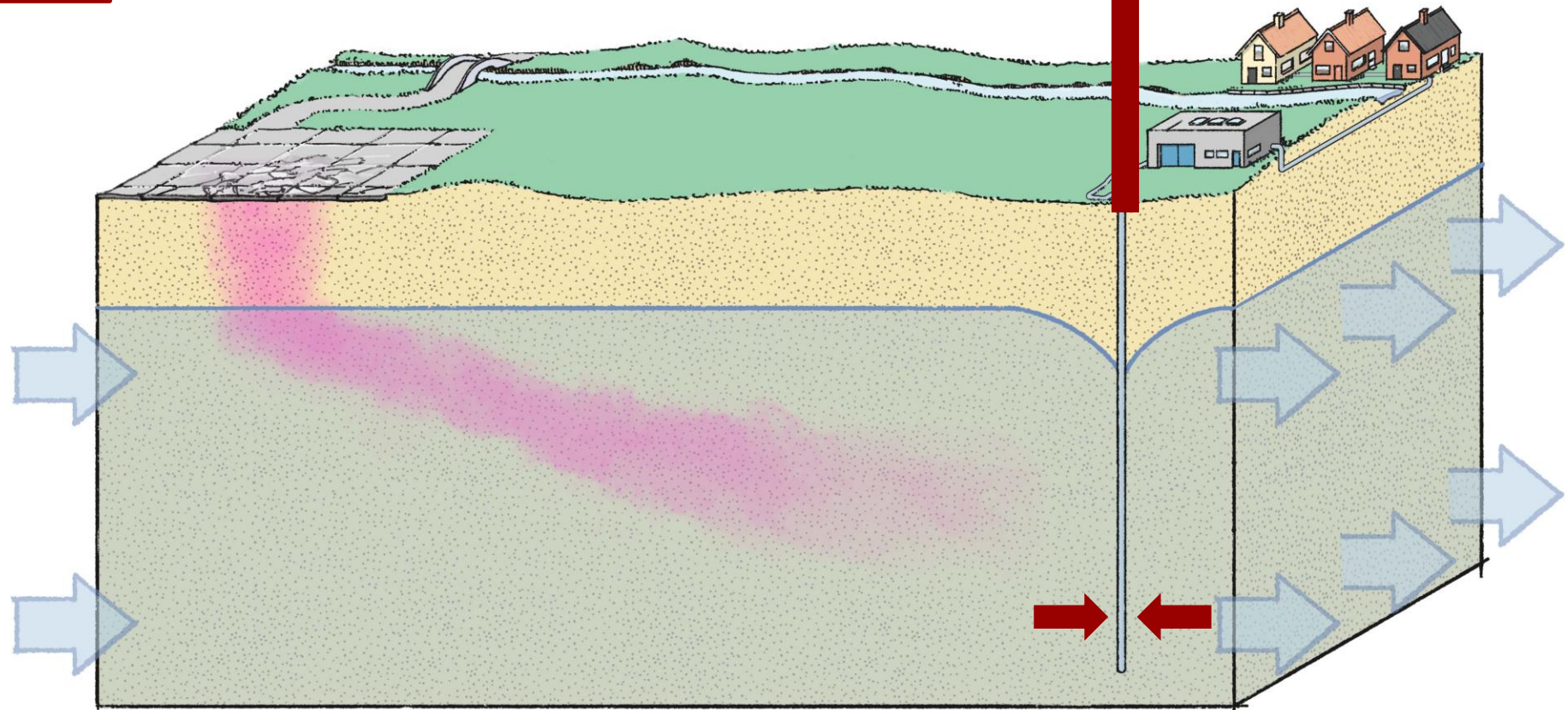
Det rene drikkevand er under pres

Q = Indvinding [$\text{m}^3/\text{år}$]

C = Koncentration [$\mu\text{g}/\text{L}$]

J = Flux [$\mu\text{g}/\text{år}$]

$$C = J/Q$$



Det rene drikkevand er under pres

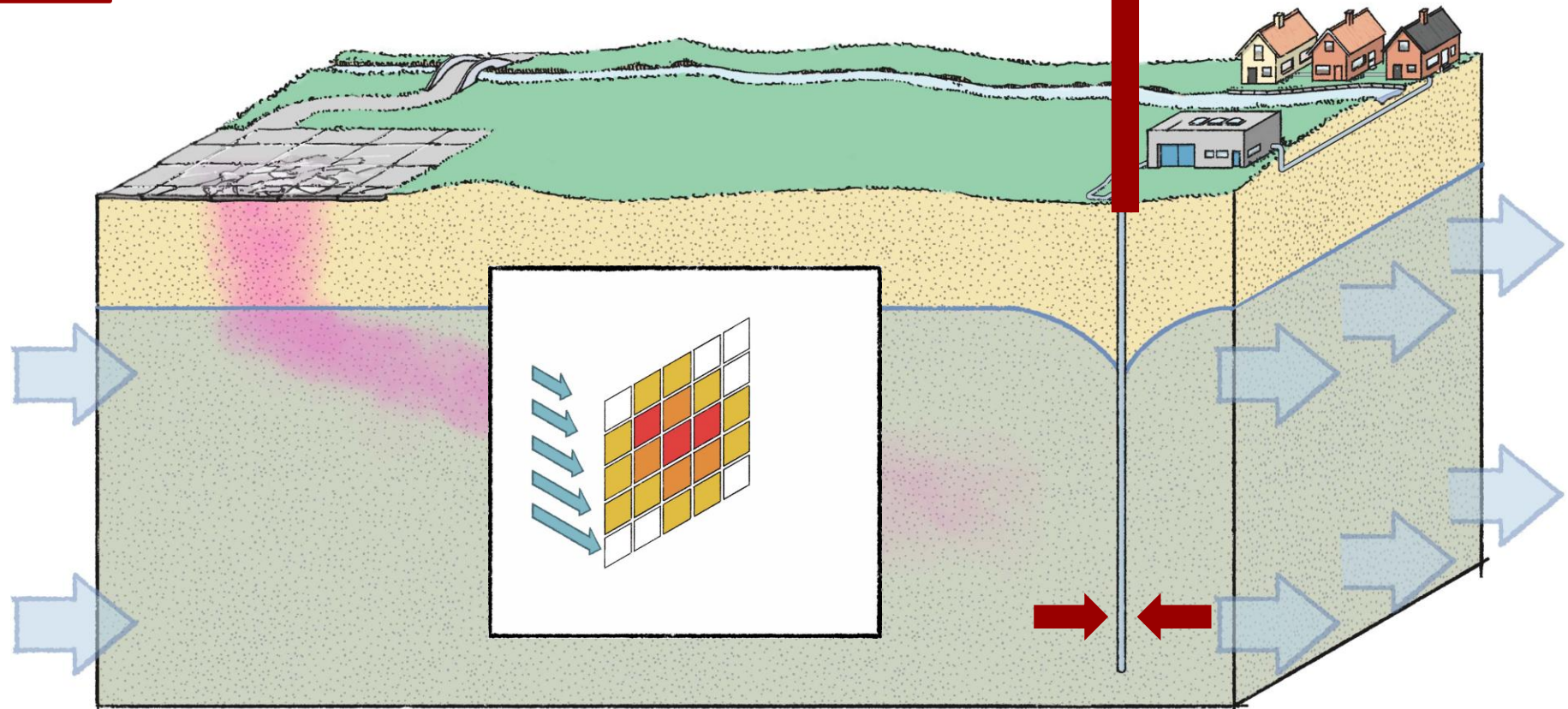
Q = Indvinding [$\text{m}^3/\text{år}$]

C = Koncentration [$\mu\text{g}/\text{L}$]

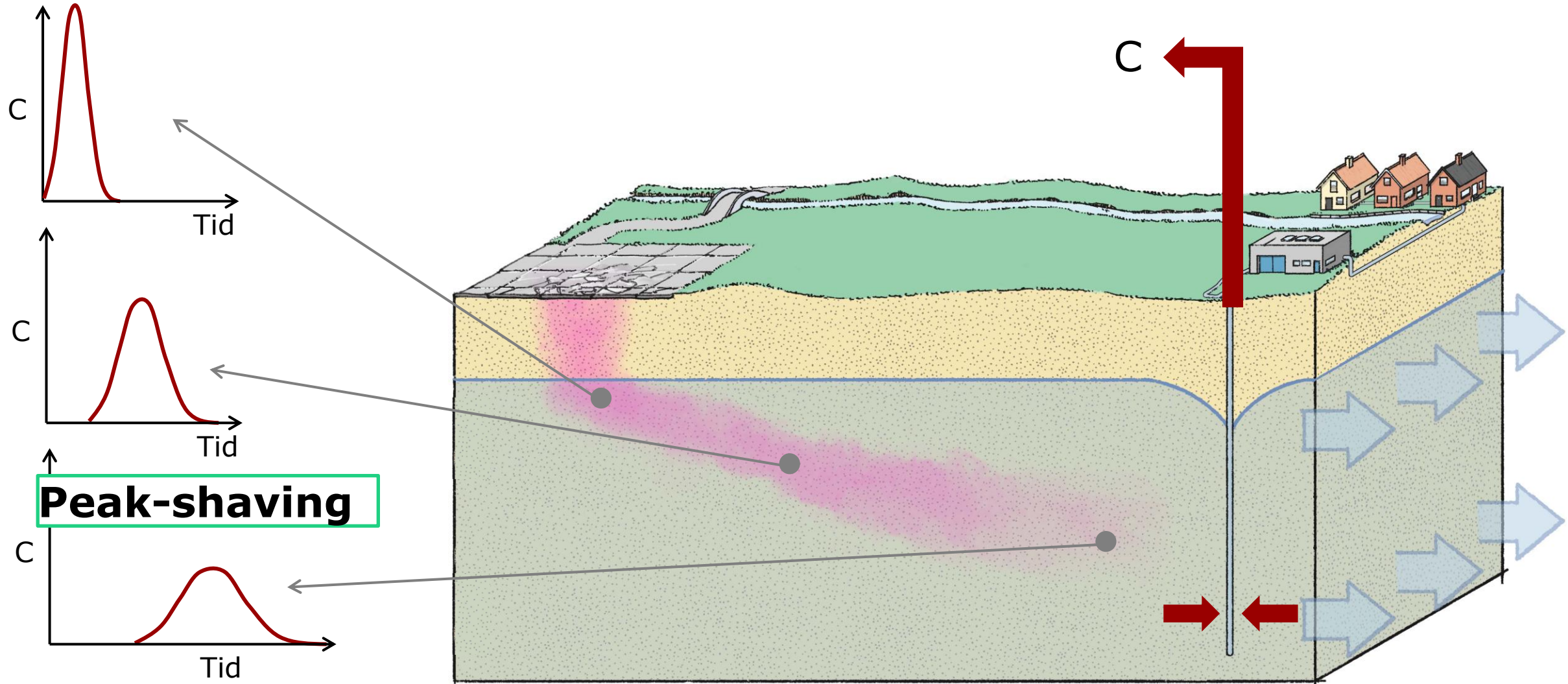
J = Flux [$\mu\text{g}/\text{år}$]

$$J = C \cdot A \cdot v$$

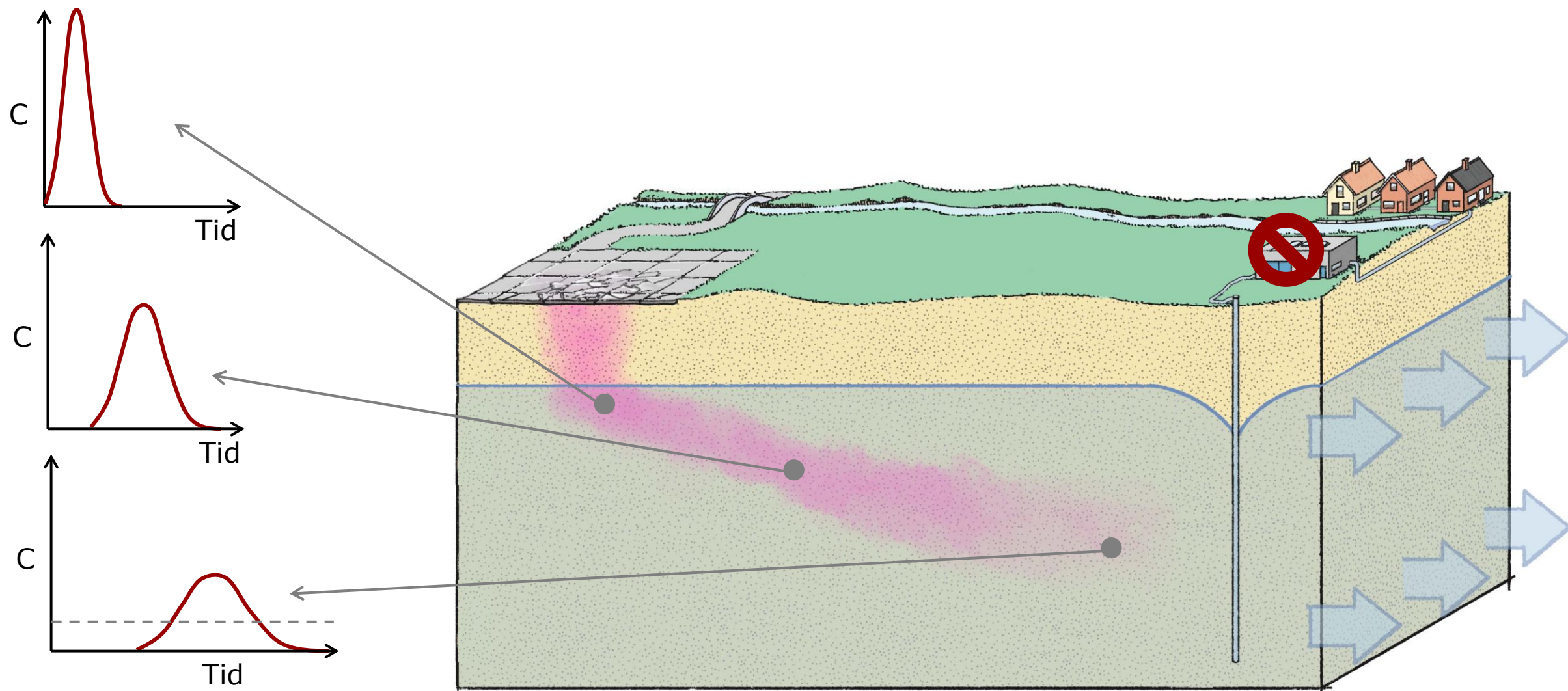
$$C = J/Q$$



PFAS tilbageholdes under transporten

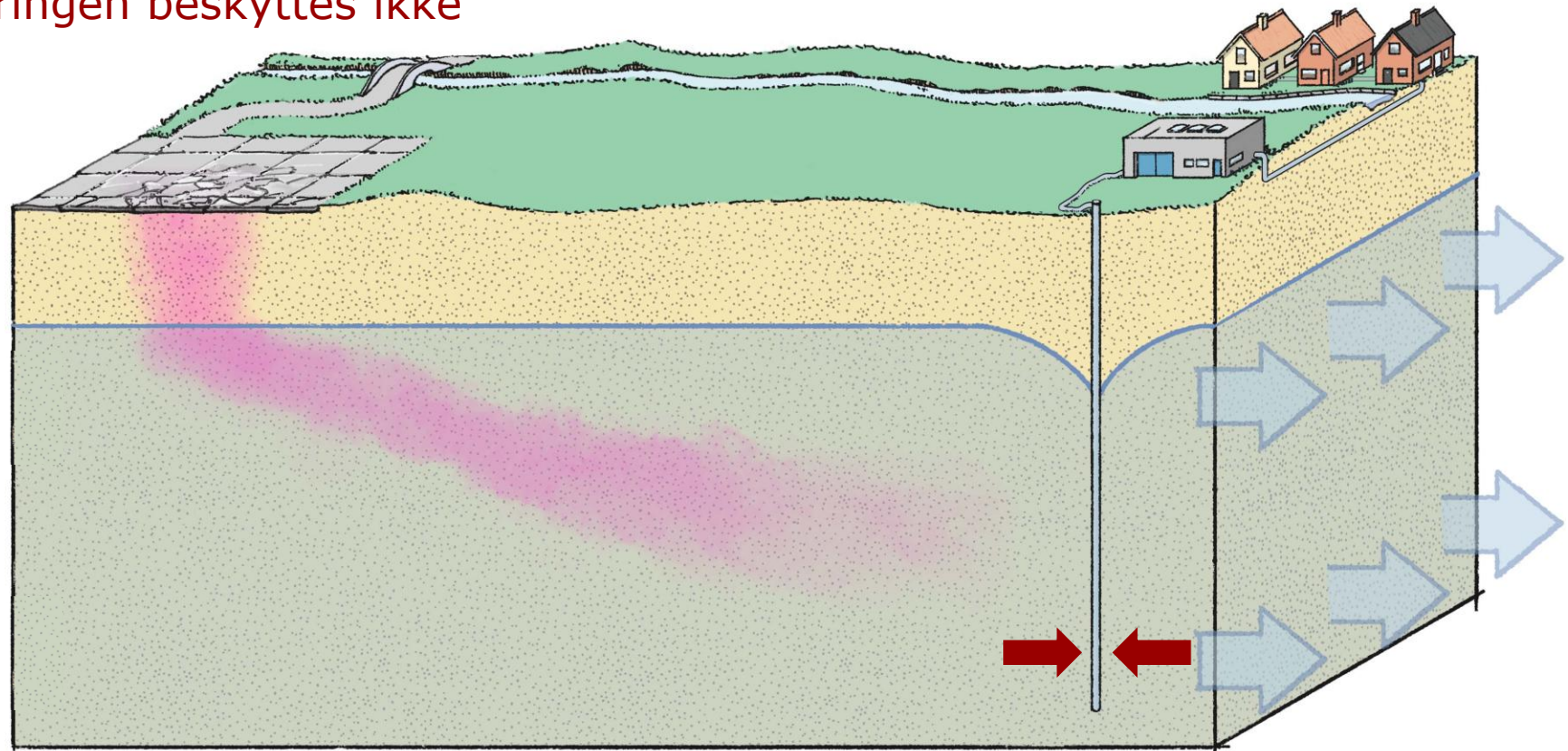
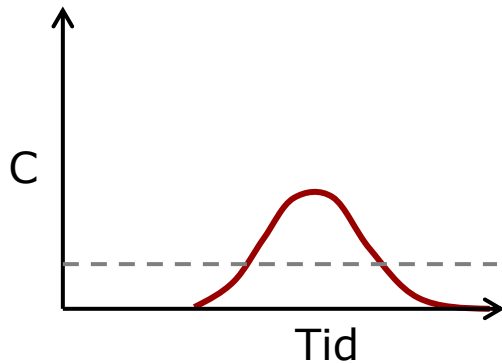


Indvindingsboringer risikerer at lukke



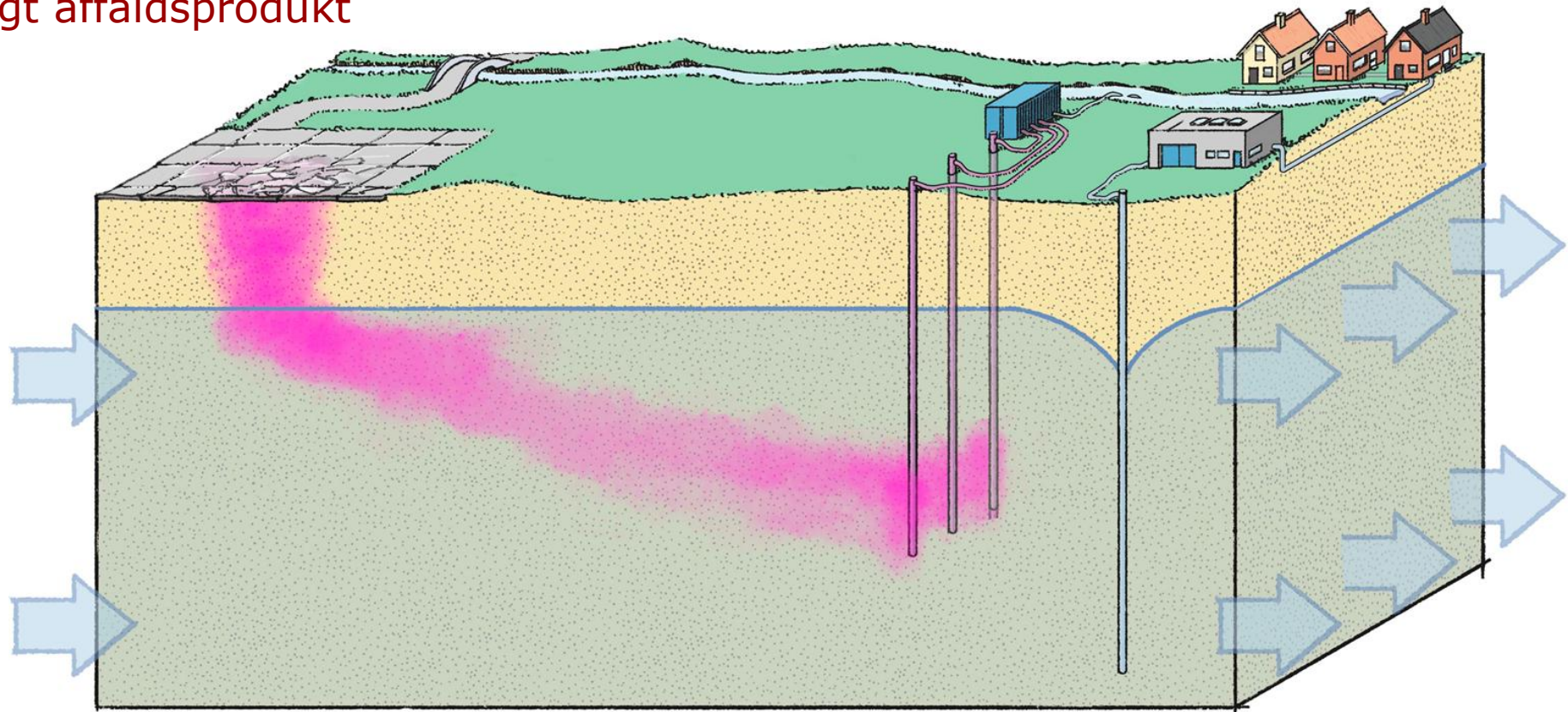
Aktivt kul kan rense drikkevandet for PFAS

- ✓ PFAS fjernes fra drikkevandet
- PFAS holdigt affaldsprodukt
- Forbrugeren betaler
- Indvindingsboringen beskyttes ikke



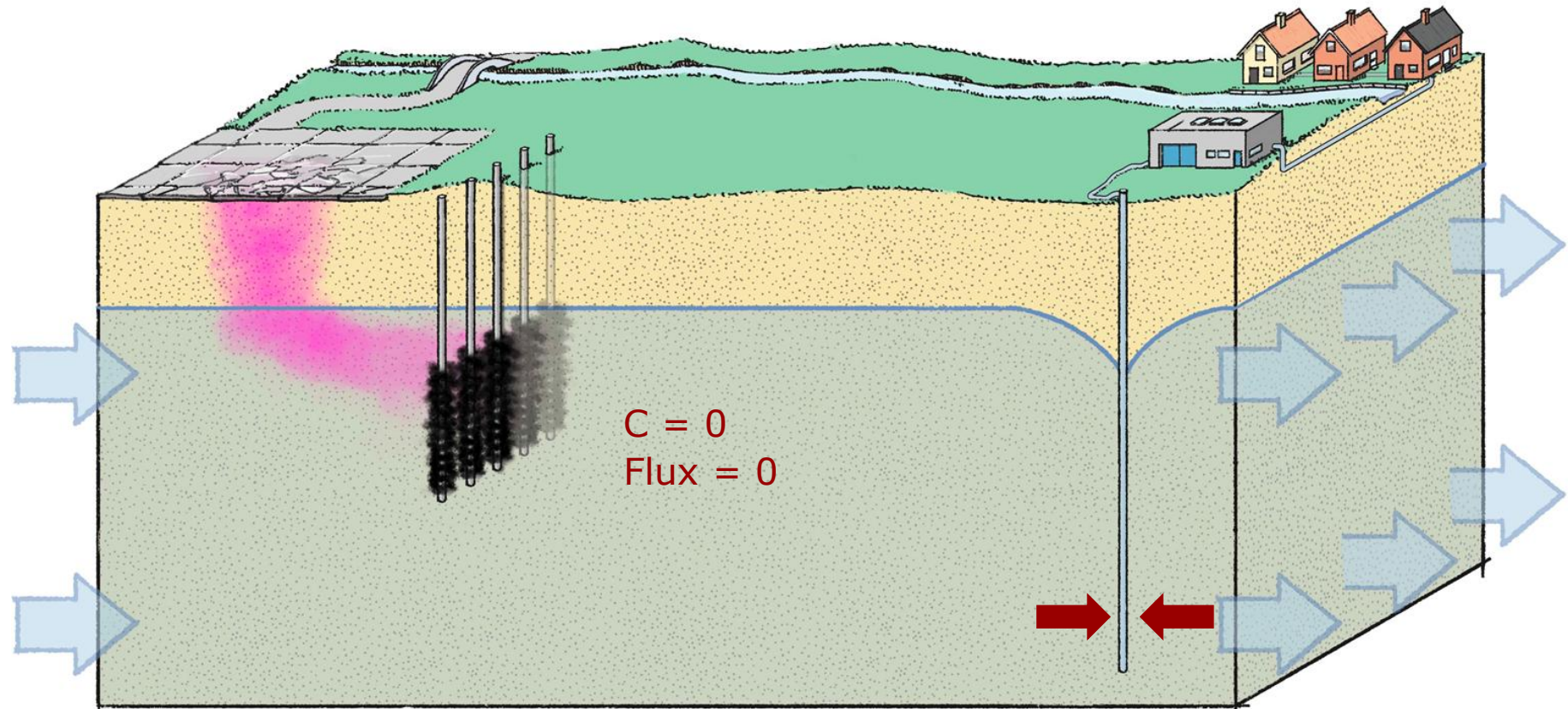
Afværgepumpning kan fjerne PFAS

- ✓ Beskytter indvindsboringen
- Energifrævende
- Drifte i årtier
- PFAS holdigt affaldsprodukt



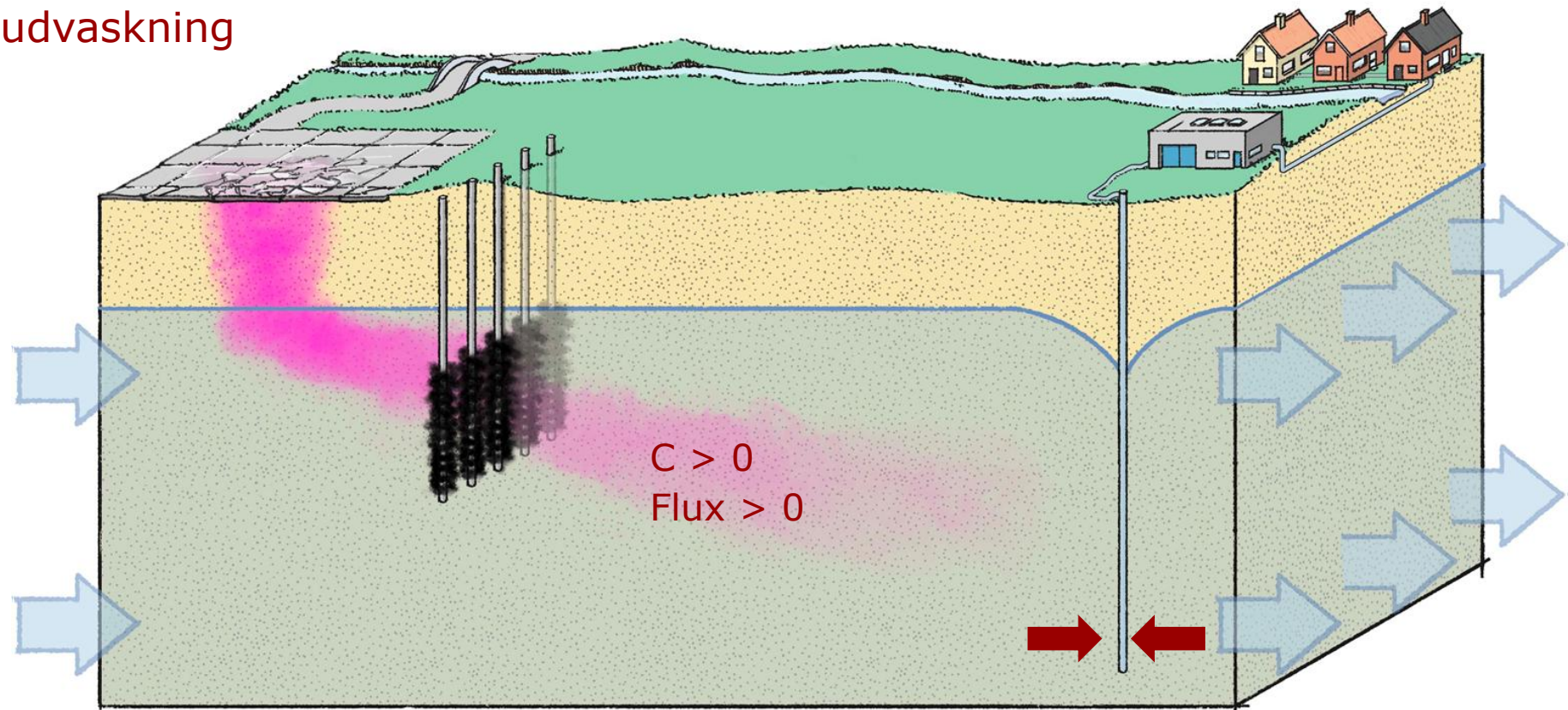
Permeable barrierer stabiliserer PFAS in-situ

- ✓ Beskytter indvindsboringen
- ✓ Ingen/lav drift
- PFAS fjernes ikke



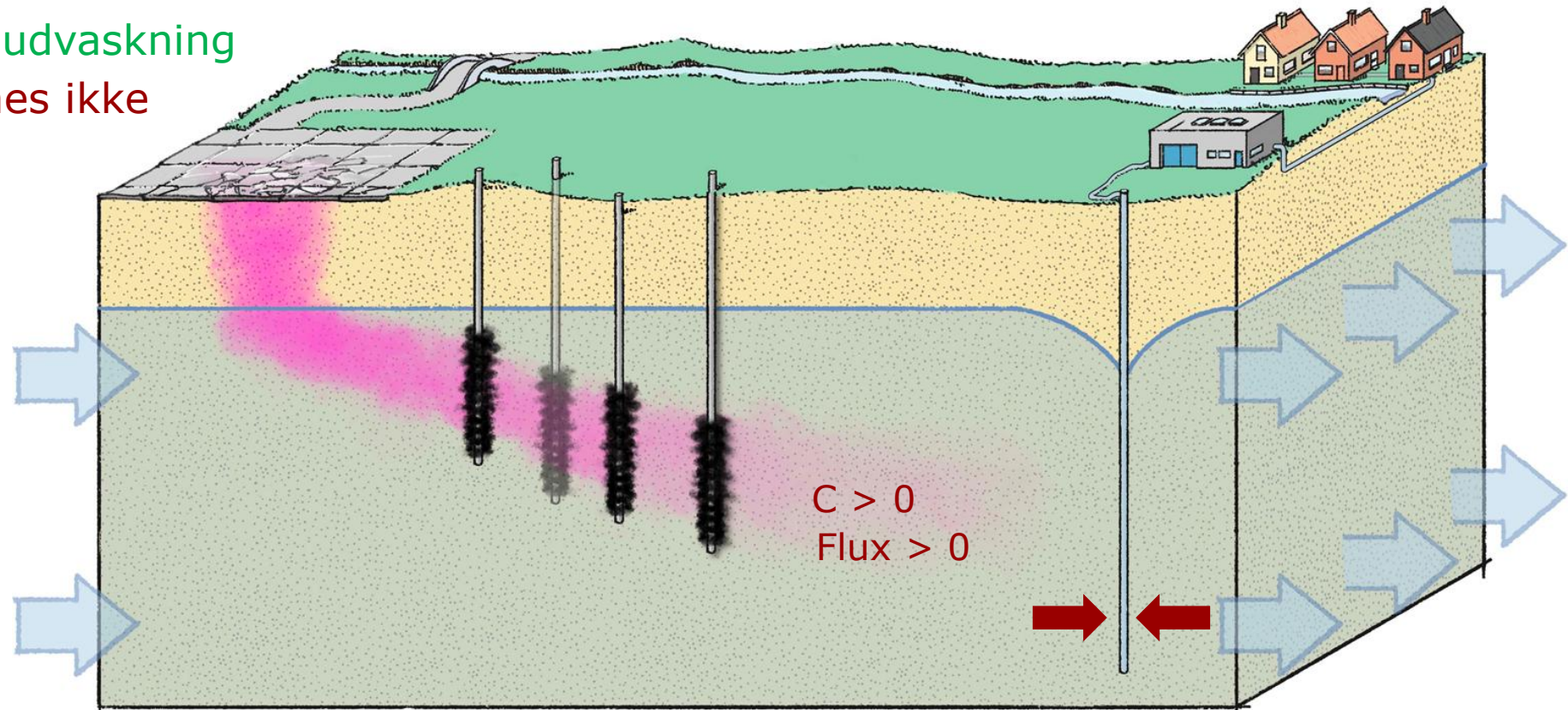
Permeable barrierer stabiliserer PFAS in-situ

- ✓ Beskytter indvindsboringen
- ✓ Ingen/lav drift
- PFAS fjernes ikke
- Risiko for udvaskning

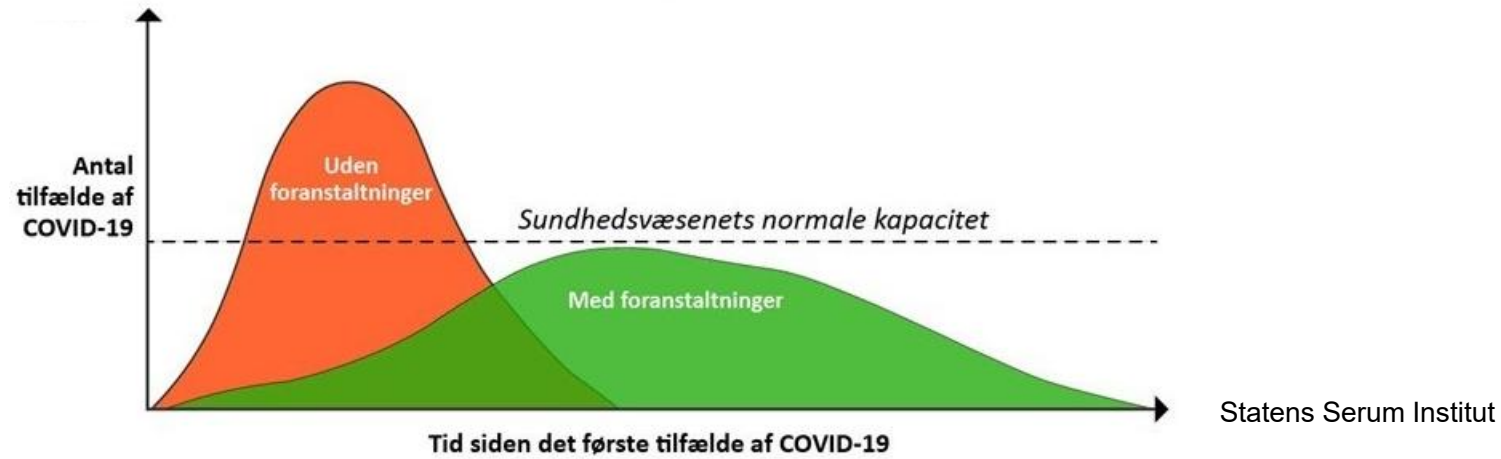
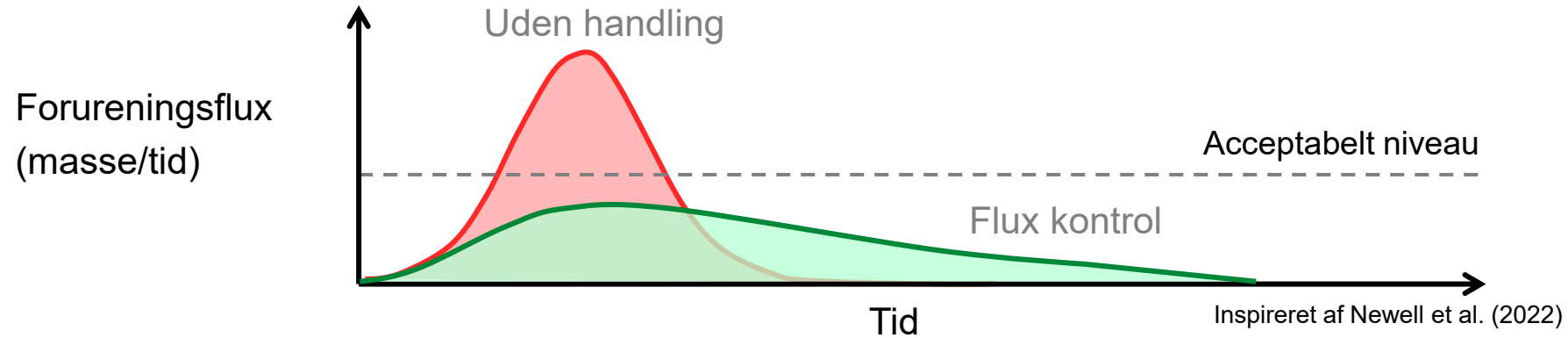


Nyt koncept: Er løsningen Flux Kontrol?

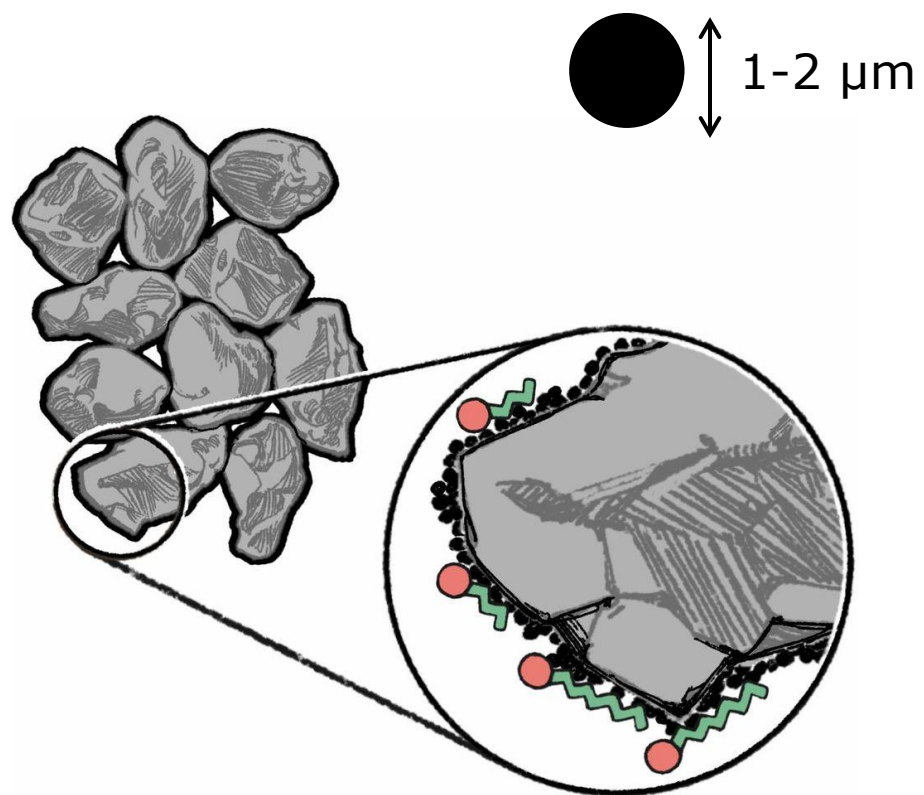
- ✓ Beskytter indvindingsboringen
- ✓ Ingen/lav drift
- ✓ Hensigtet udvaskning
- PFAS fjernes ikke



Peak-shaving kan måske hjælpe os?

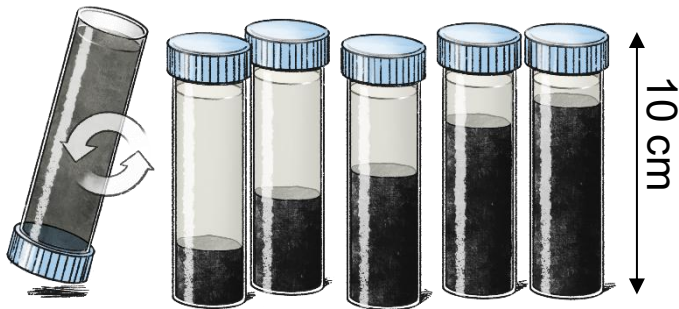


Hvad er kolloidt aktivt kul (CAC)?



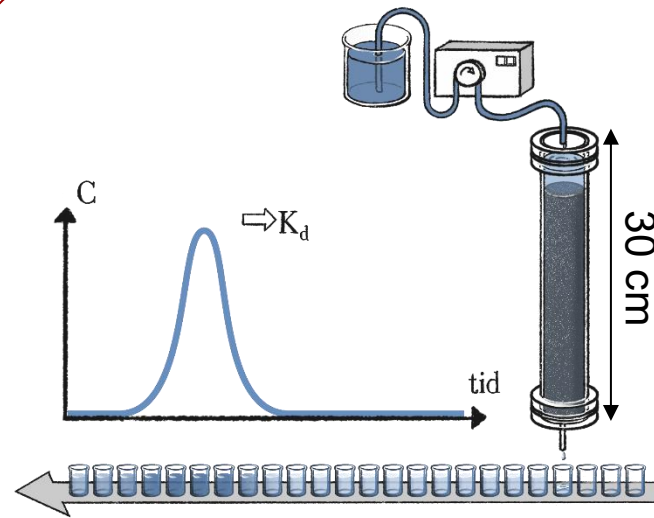
Data indsamlet i laboratoriet

Batchforsøg



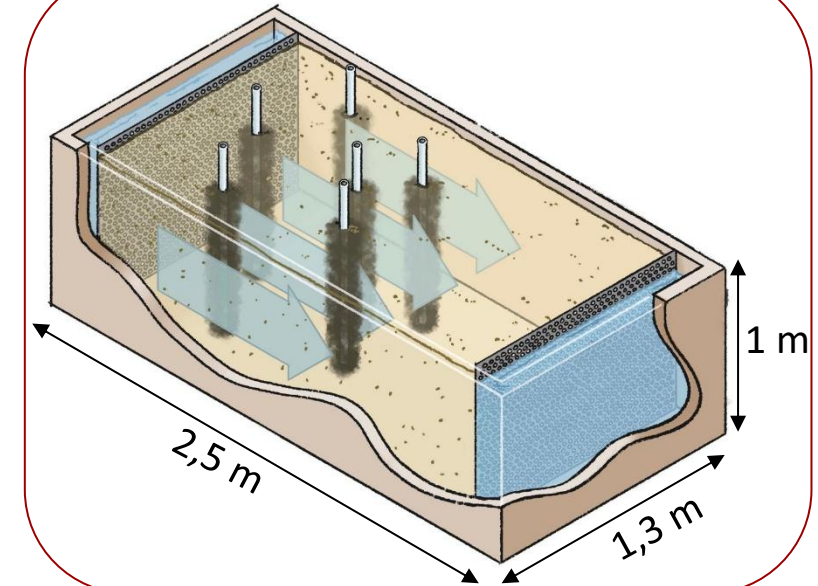
1D – ingen transport

Kolonneforsøg



1D – transport

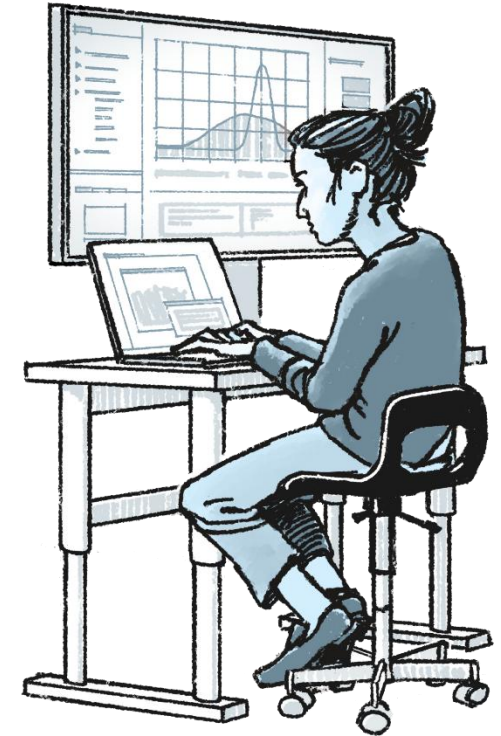
Tankforsøg



3D – transport

Forsøg kombineret med modelsimuleringer

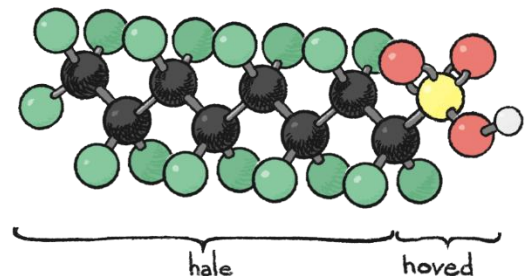
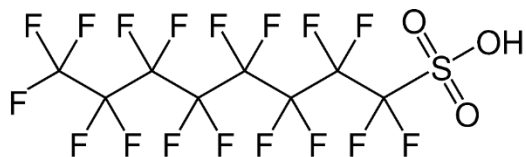
- 1D, 2D, 3D modeller
- Design af forsøg bl.a.:
 - Flow
 - Prøvetagningsintervaller
 - Inputkoncentrationer
 - Udløbskoncentrationer (over DL)
 - Sorptionsmekanismer
 - Mængder af kul
- Databehandling af forsøgsresultater:
 - Kan modellen bruges til at beskrive transporten?



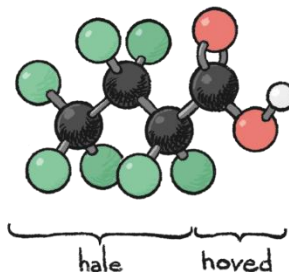
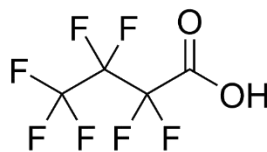
Fokusstoffer og koncentrationsniveauer

- Mix af kort- og langkædede PFCA'er og PFSA'er
- Koncentrationsinterval: 5-50 µg/L

PFOS



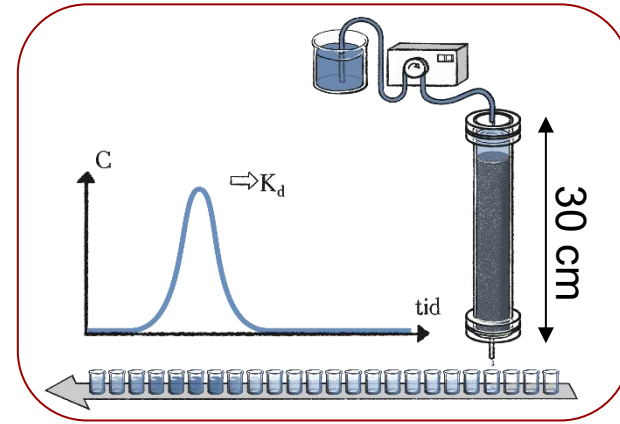
PFBA



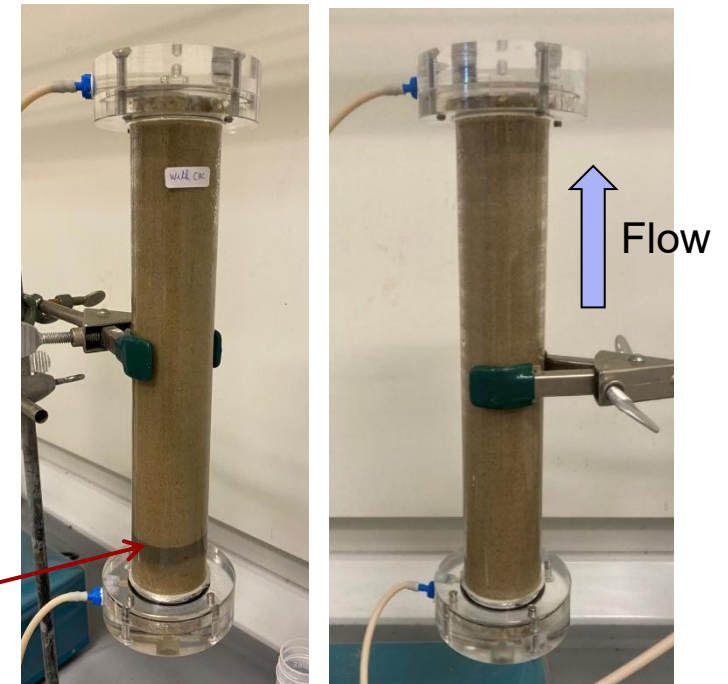
Kemisk stof	Kædelængde
Br	-
PFPeA	CF ₄
PFHxA	CF ₅
PFOA	CF ₇
PFBS	CF ₄
PFHxS	CF ₆
PFOS	CF ₈
6:2 FTS (precursor)	CF ₆ (C ₈)

Kolonneforsøg med CAC lag

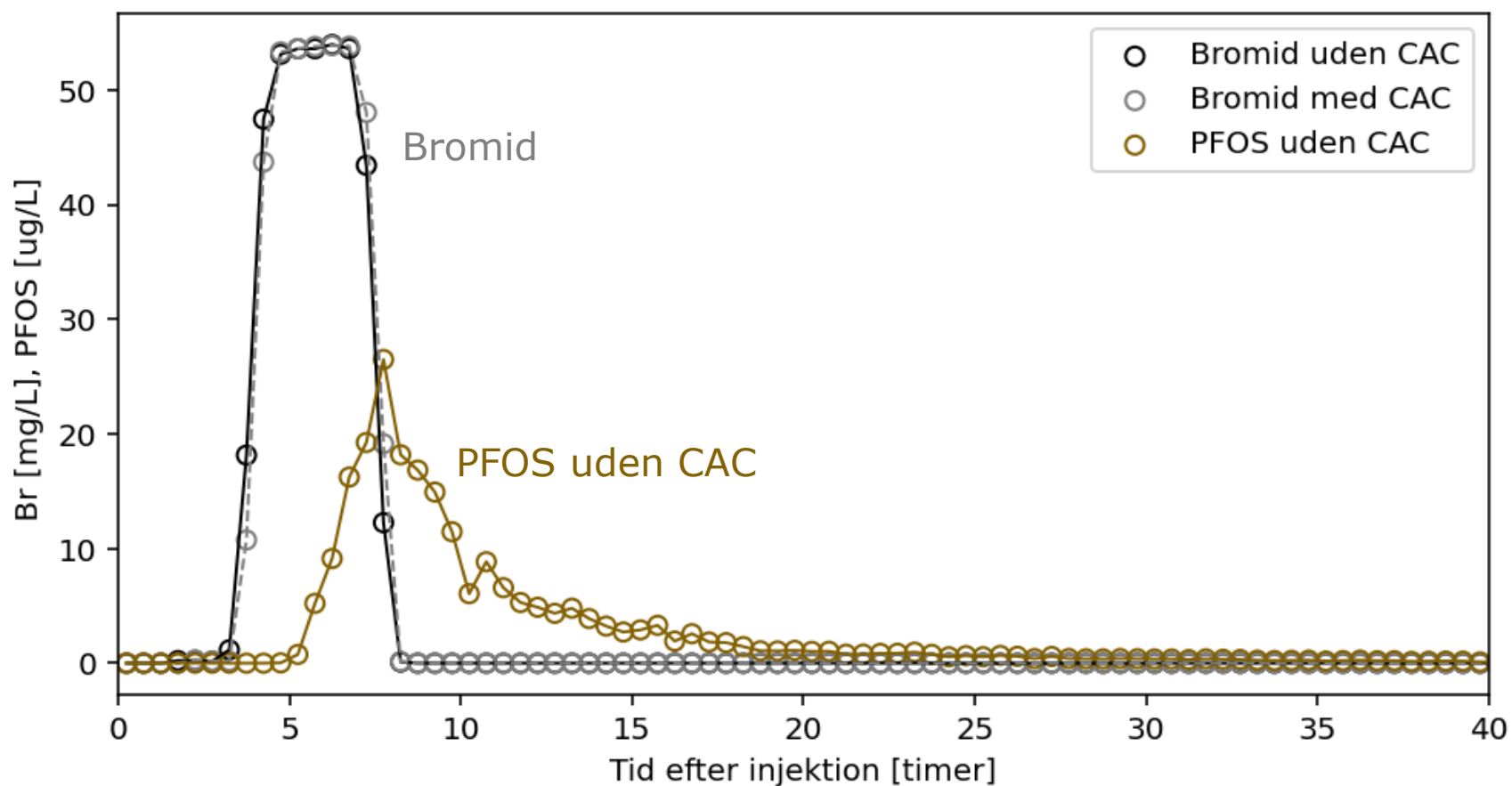
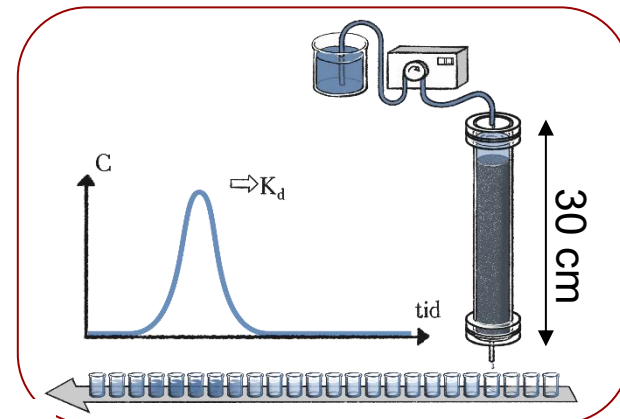
- 1 kolonne med sand
- 1 kolonne med sand + CAC lag
 - f_{cac} i lag = 0.02% (g CAC/g sand)
- Puls af PFAS mix med 7 PFAS + bromid
- Inputkoncentration: $C_0 = 5$ og $50 \mu\text{g/L}$ af hver PFAS
- Injektionstid = 3.7 hr
- Flow (Q) = 0.8 mL/min



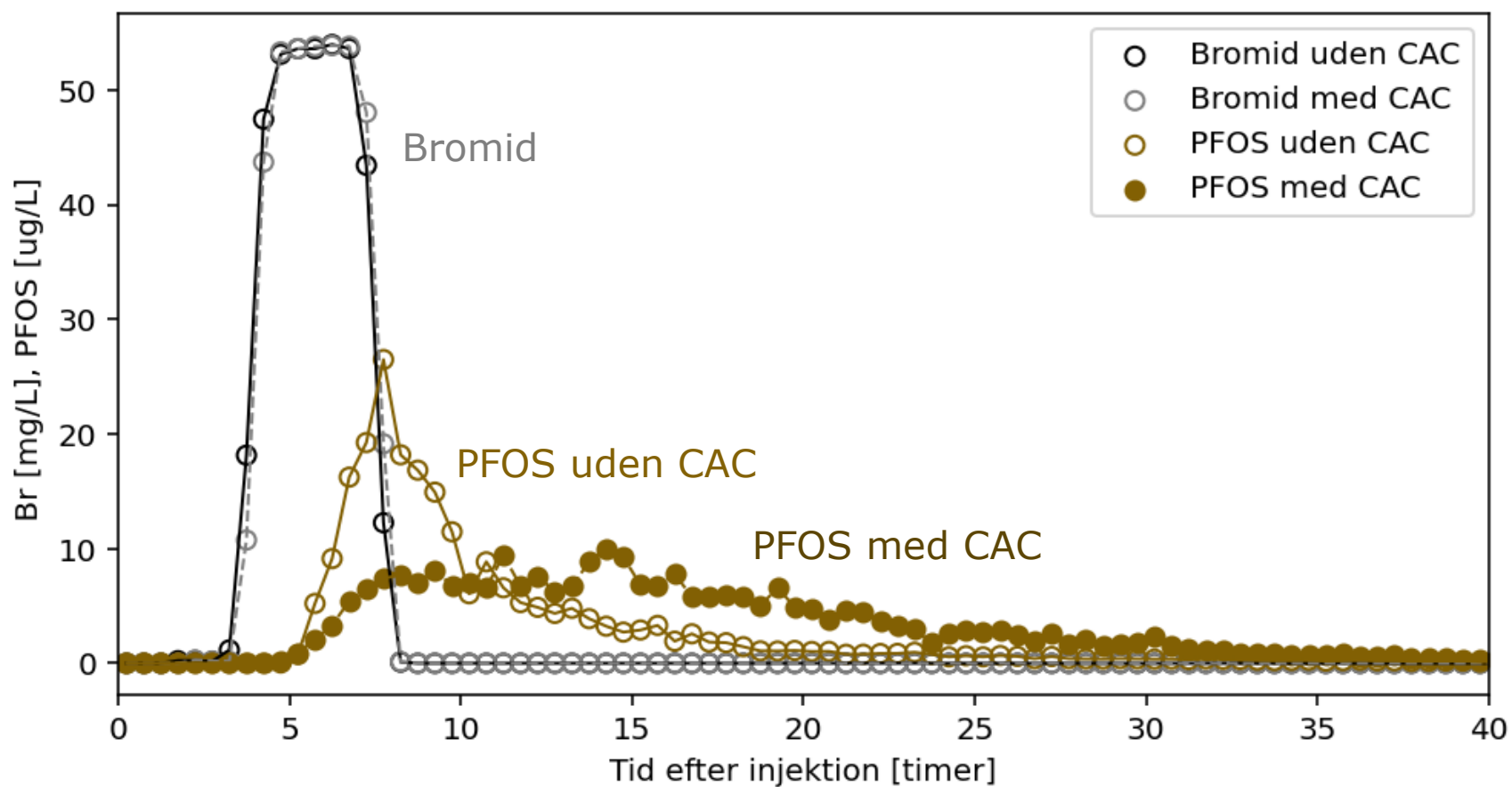
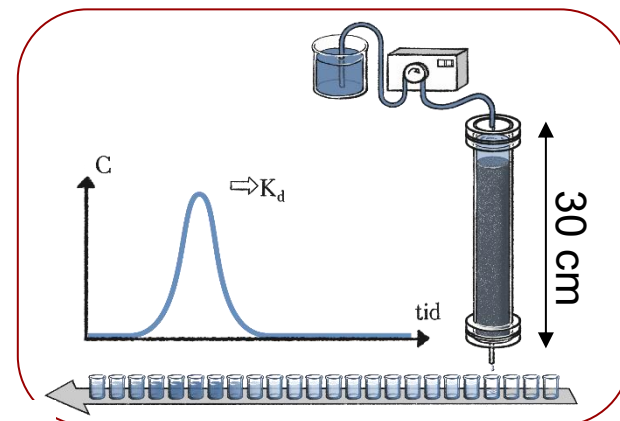
CAC lag



Peak-shaving af PFOS gennembrud

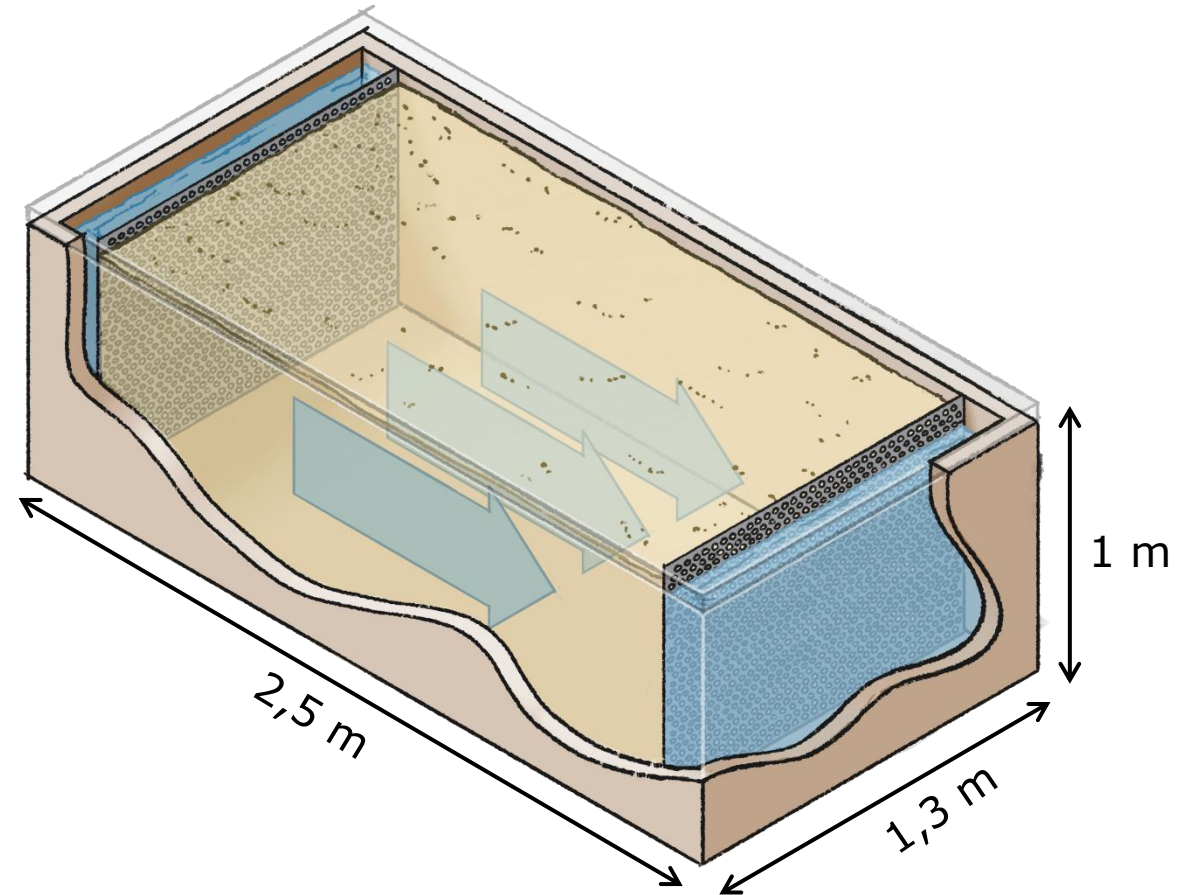


Peak-shaving af PFOS gennembrud

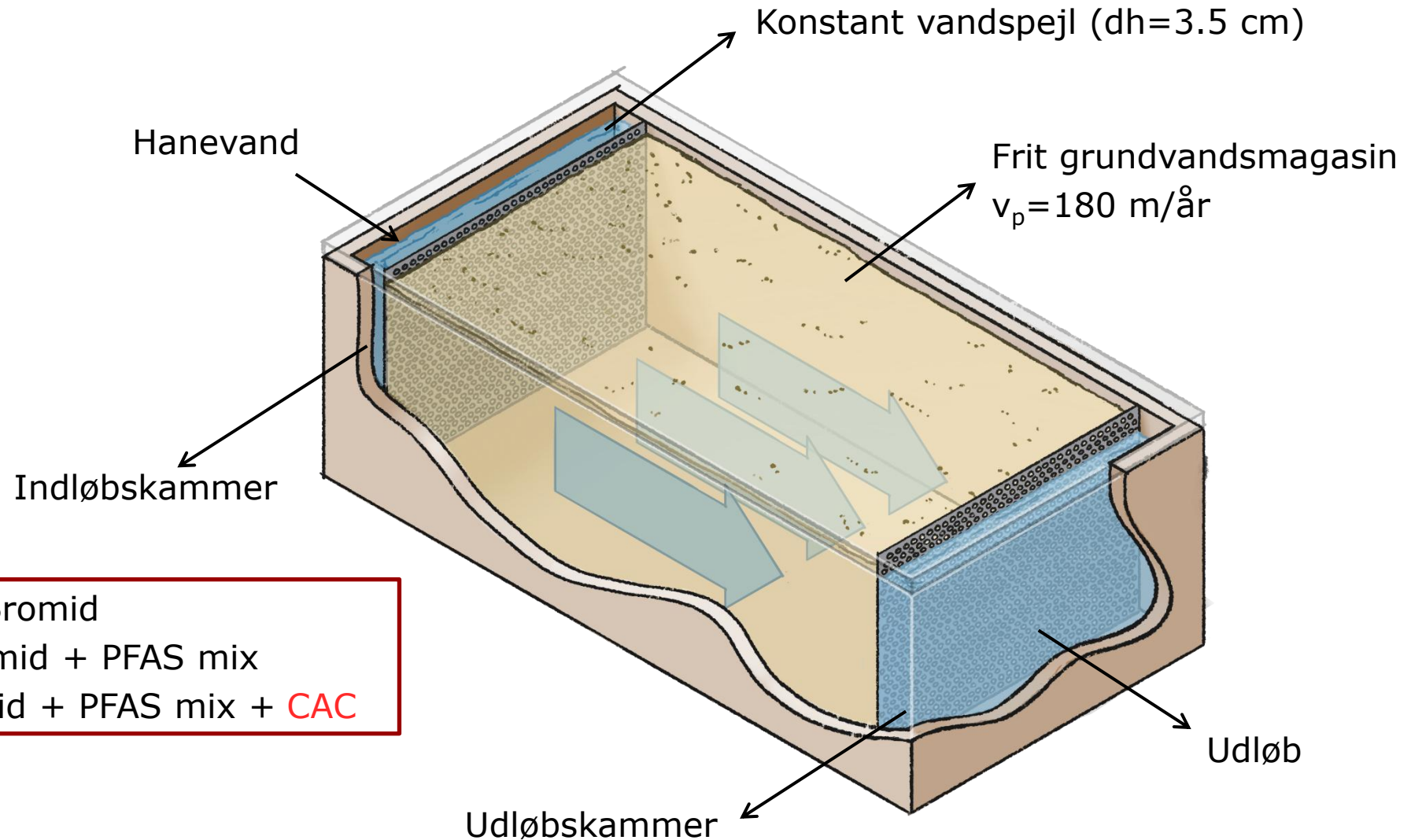


Test af konceptet i et tankforsøg

- ✓ Kontrollerede forhold
- ✓ Lave fejl uden af påvirke grundvandet
- ✓ Virker det eller ej?



Forsøgsopsætning



- September 25: Bromid
- Oktober 25: Bromid + PFAS mix
- Januar 26: Bromid + PFAS mix + CAC

Forsøgsopsætning



Indløbskammer

Konstant vandspejl ($dh=3.5$ cm)

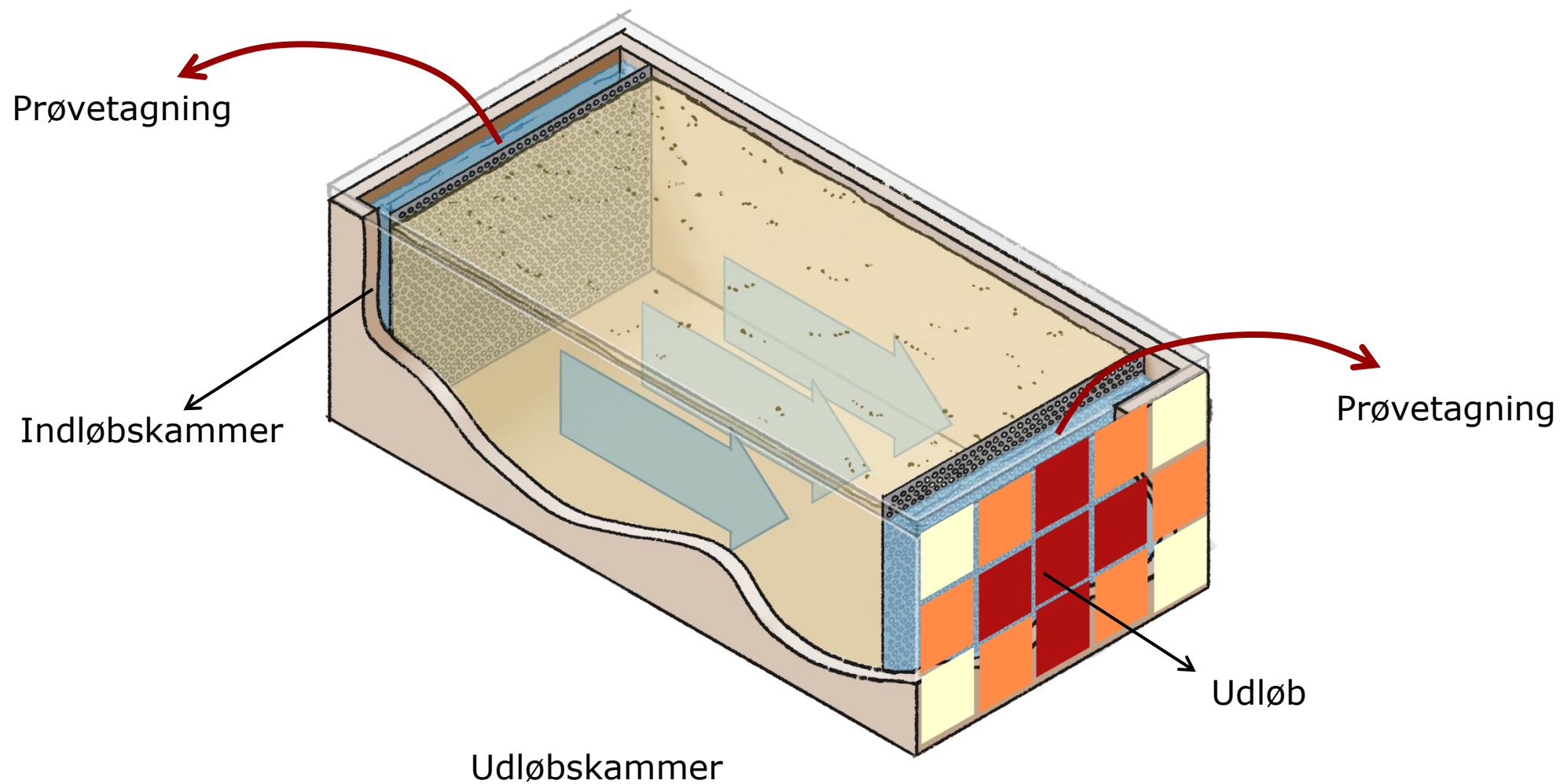
Frit grundvandsmagasin
 $v_p=180$ m/år

Udløb

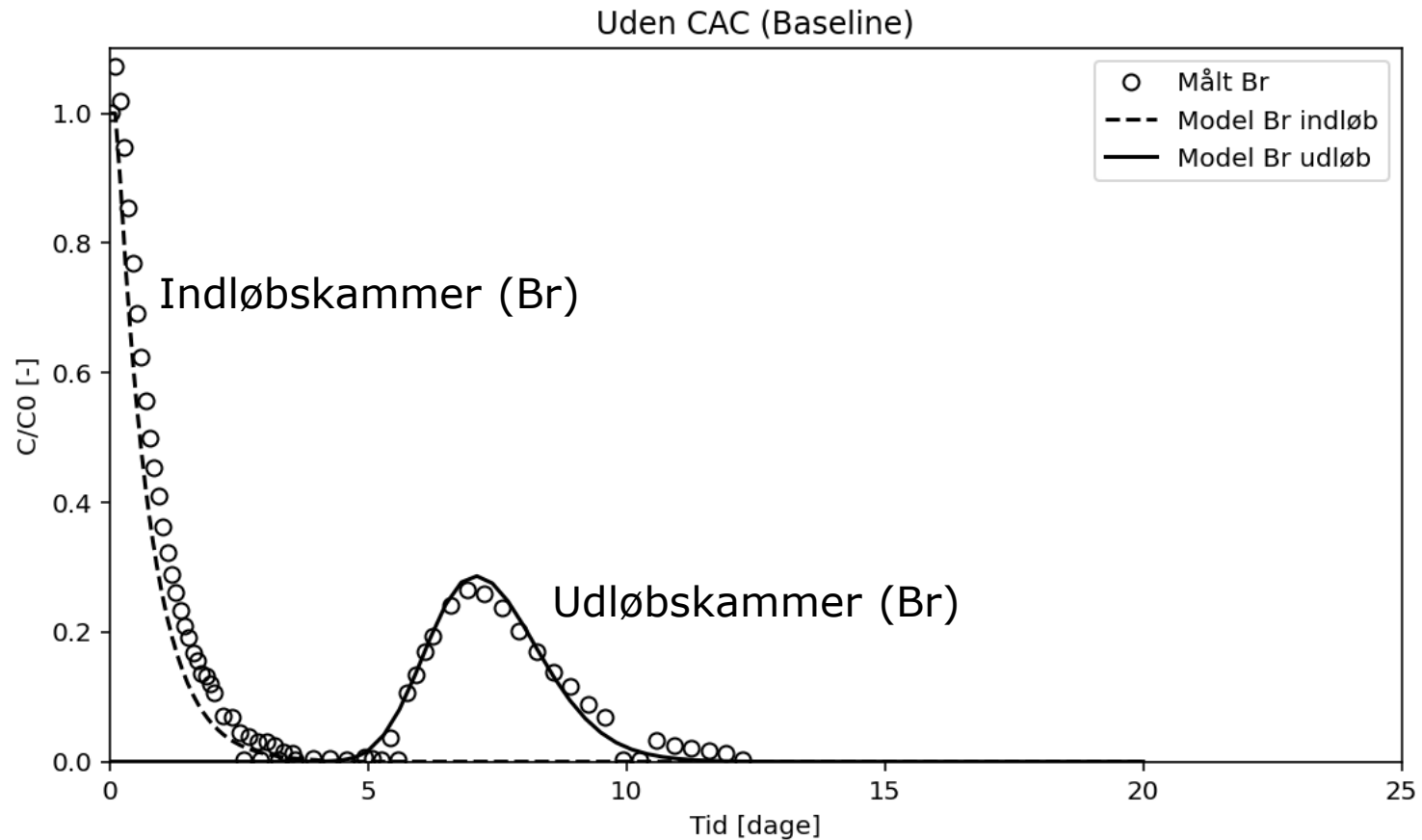
Udløbskammer

- September 25: Bromid
- Oktober 25: Bromid + PFAS mix
- Januar 26: Bromid + PFAS mix + CAC

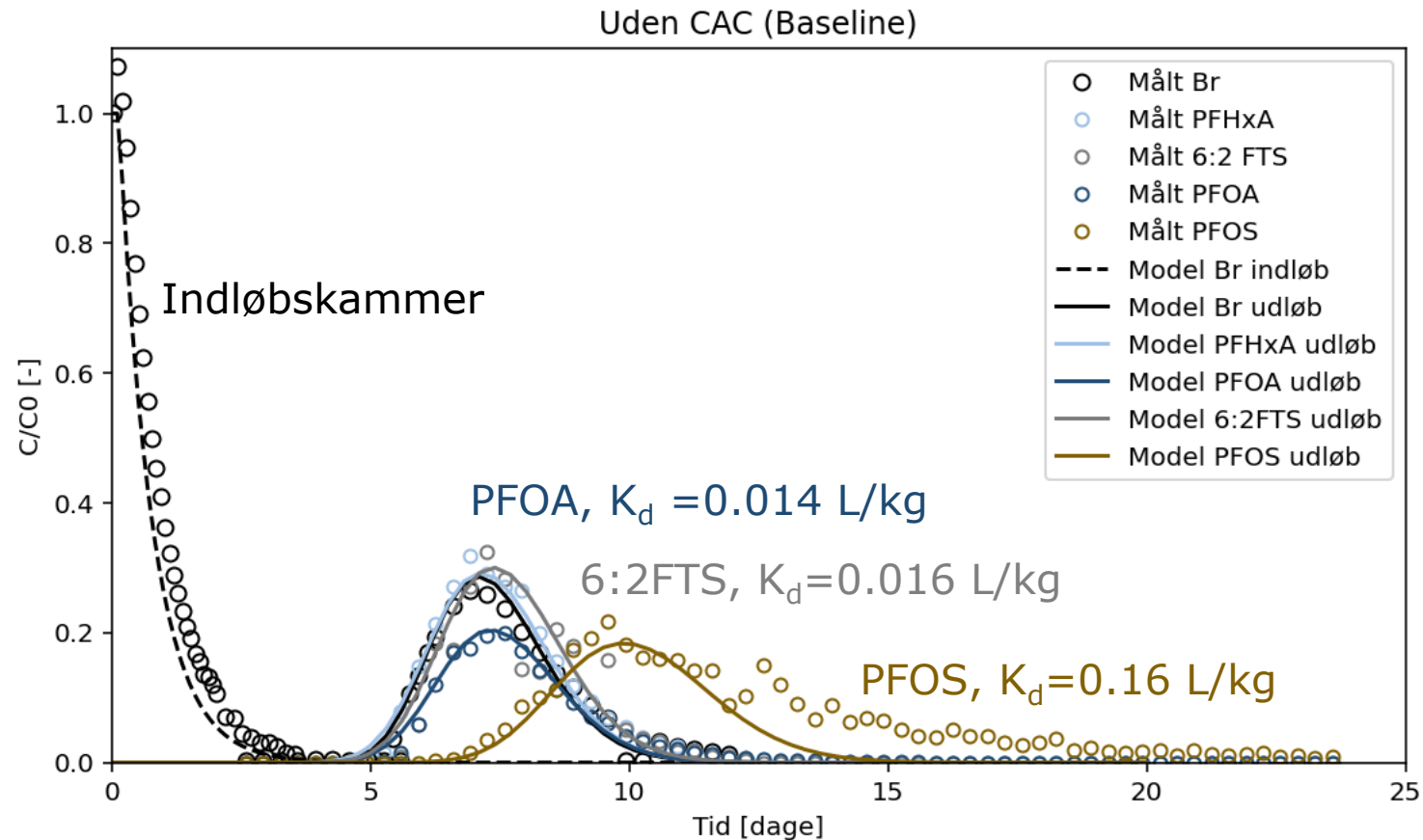
Forsøgsopsætning

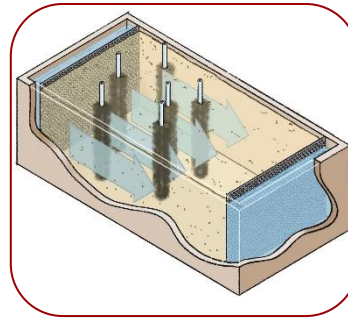


Gennembrudskurver uden CAC (baseline)



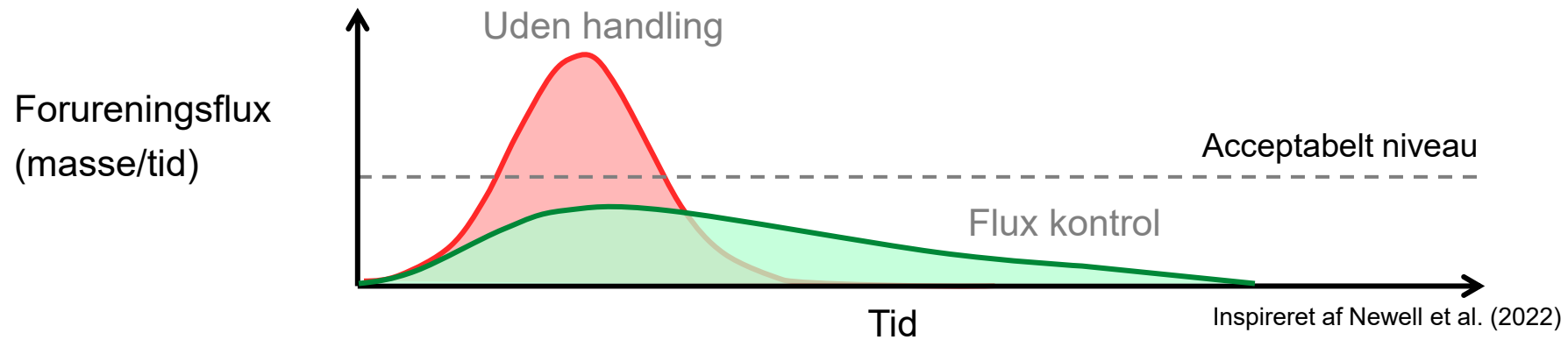
Gennembrudskurver uden CAC (baseline)





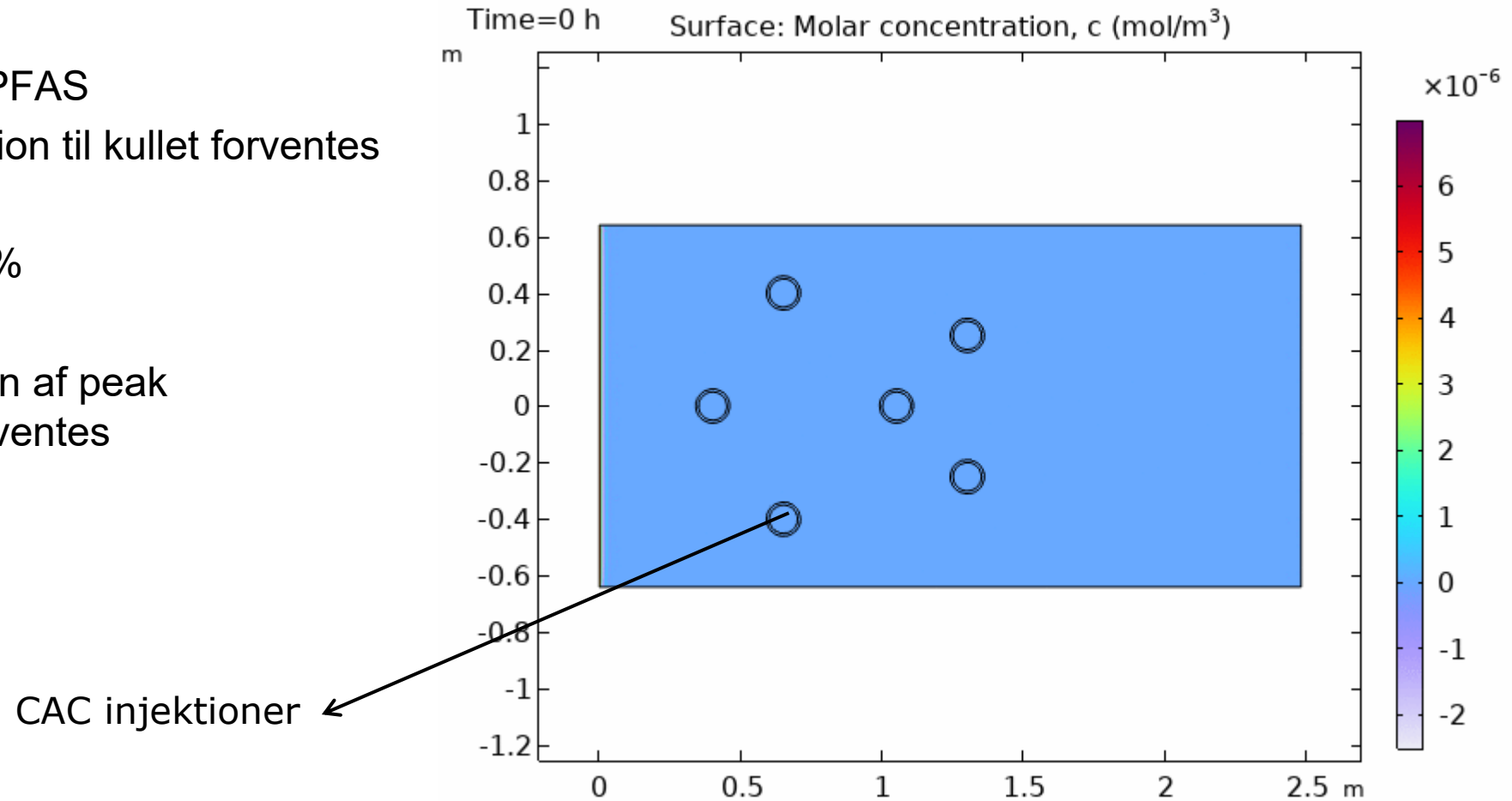
Design af tankforsøg med CAC

- Kriterier for et succesfuldt tankforsøg:
 - ✓ Tilbageholdelse af PFAS med forskellig kædelængde
 - ✓ Felt-relevante koncentrationer – realistisk sorption til kullet
 - ✓ Reduktion af peak koncentrationer

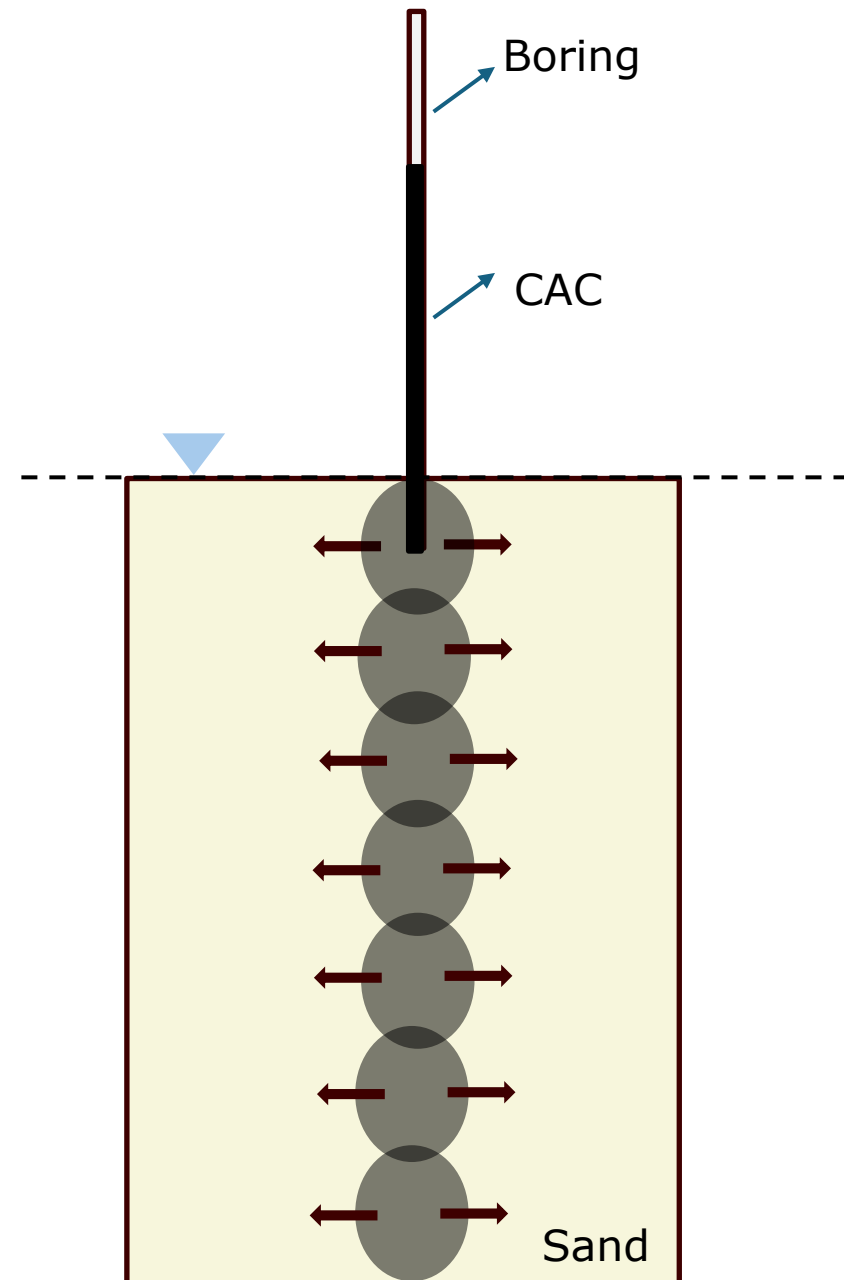
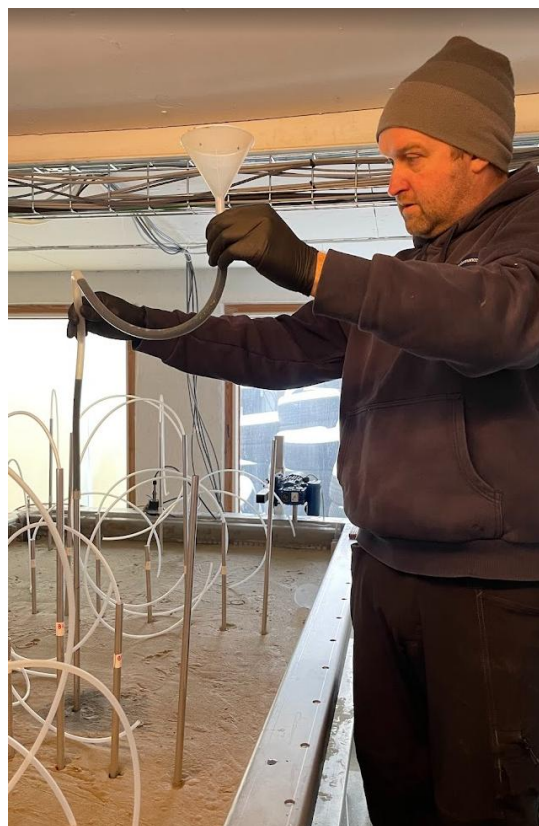


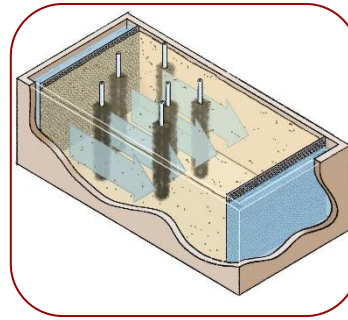
Endeligt design med CAC

- $C_0 = 5 \mu\text{g/L}$ af 7 PFAS
 - Maksimal sorption til kullet forventes
- Target $f_{\text{CAC}} = 0.01\%$
- Ca. 50% reduktion af peak koncentration forventes

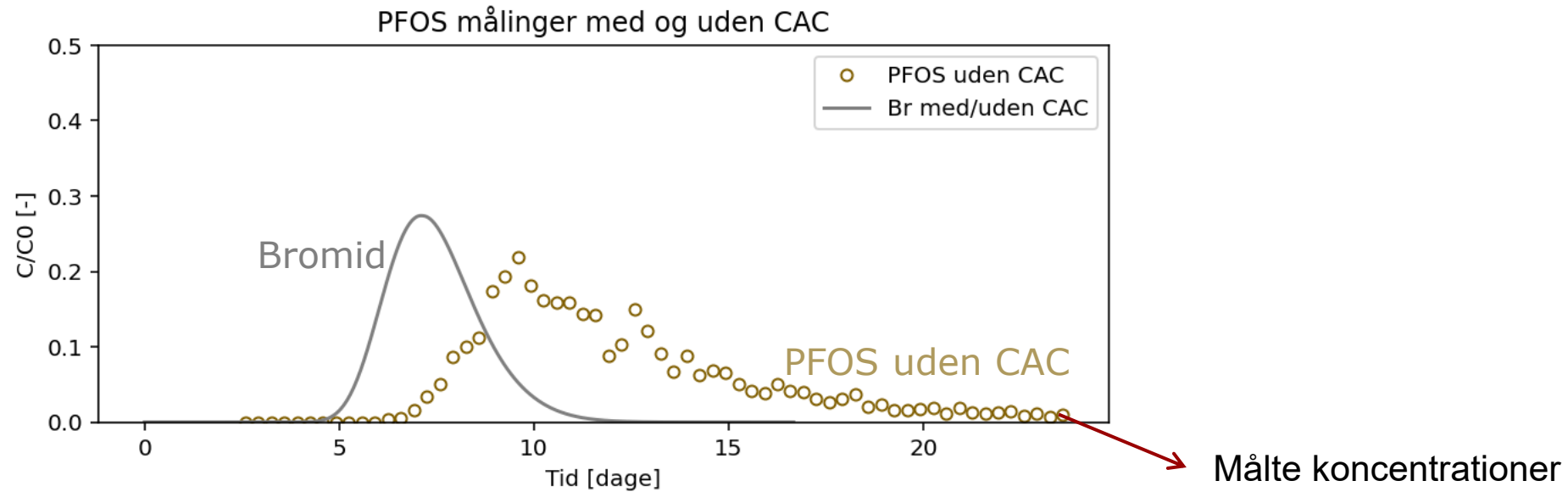


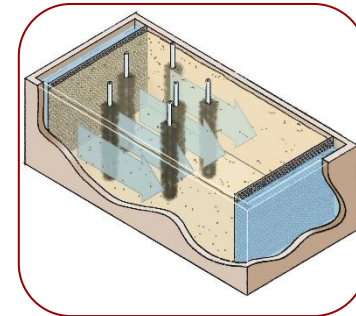
Injektion af CAC – direct push



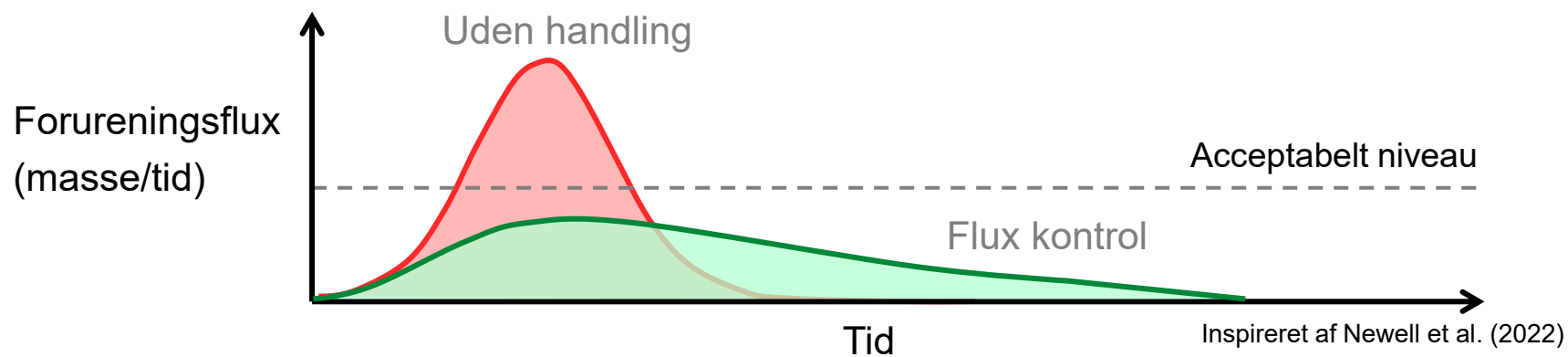
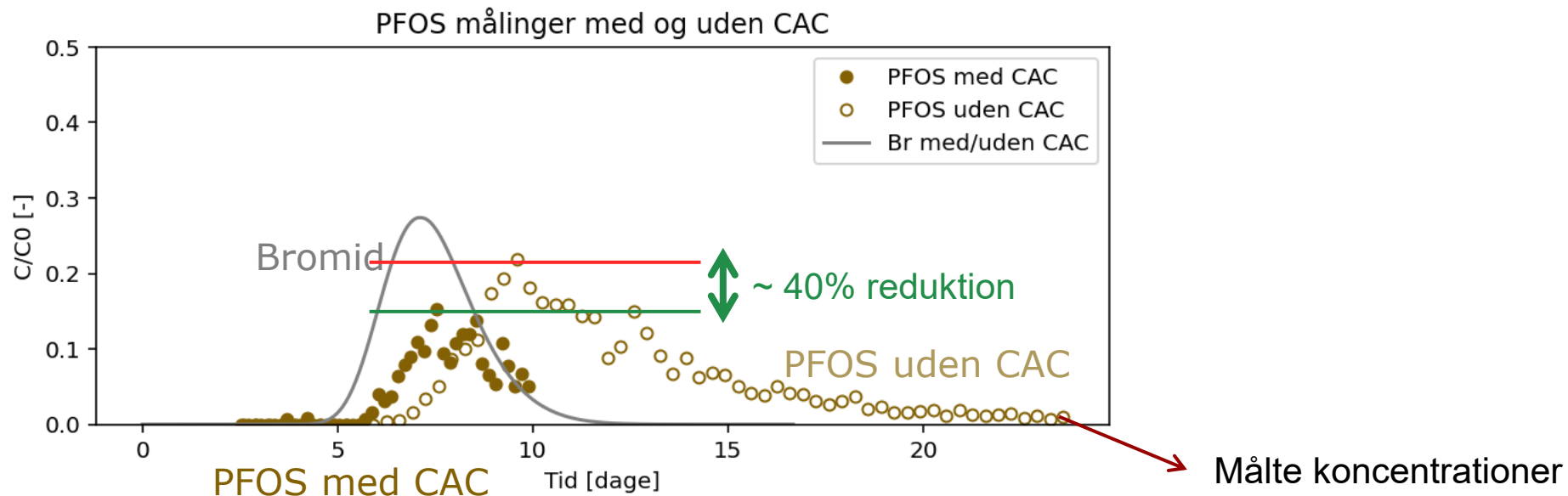


Gennembrudskurver med CAC i tanken



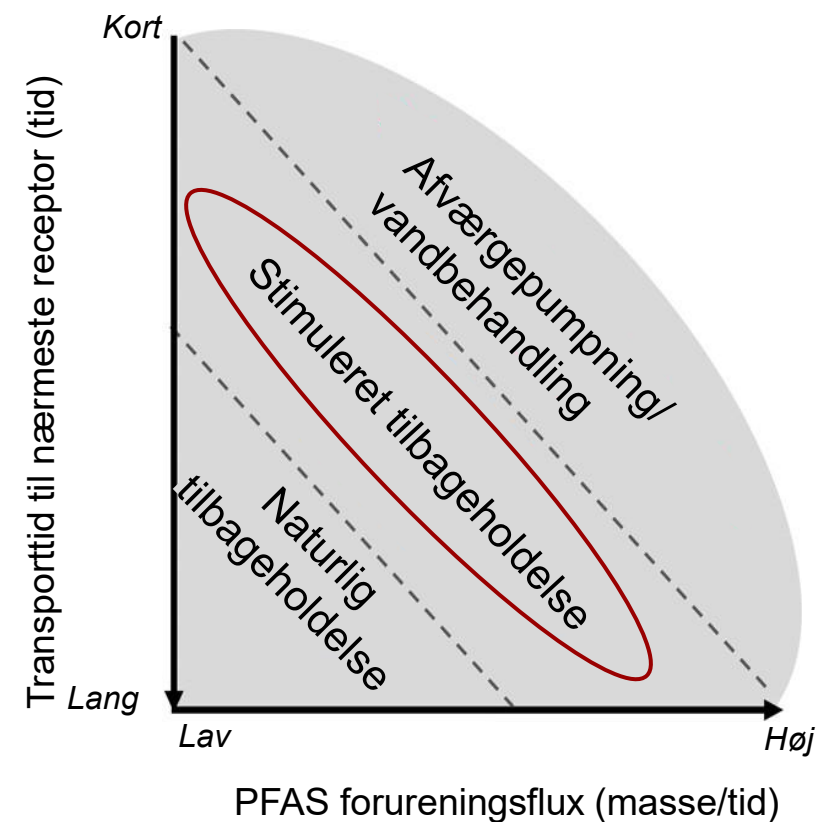


Gennembrudskurver med CAC i tanken



Kan vi drikke os gennem PFAS forureningen?

- PFAS kan ikke nedbrydes naturligt
- Men vi kan ændre hvordan de transporteres i grundvandet
- Peak koncentrationer kan reduceres
- Fremtidigt arbejde
 - Modellere i 3D
 - Konkurrence
 - Hvilke sager er egnede?



Modificeret fra Newell et al. (2022)

Tak for opmærksomheden!

Tak til medforfattere og
Simon Hansen (Region Hovedstaden)
Kim Franck Larsen (Region Hovedstaden)
Jens Schaarup Sørensen (DTU Sustain)

Kontakt: Laura Morsing (laumo@dtu.dk)
eller Kristine Rasmussen
(kristine.bjerre.rasmussen@regionh.dk),
hvis du vil vide mere om projektet.

