

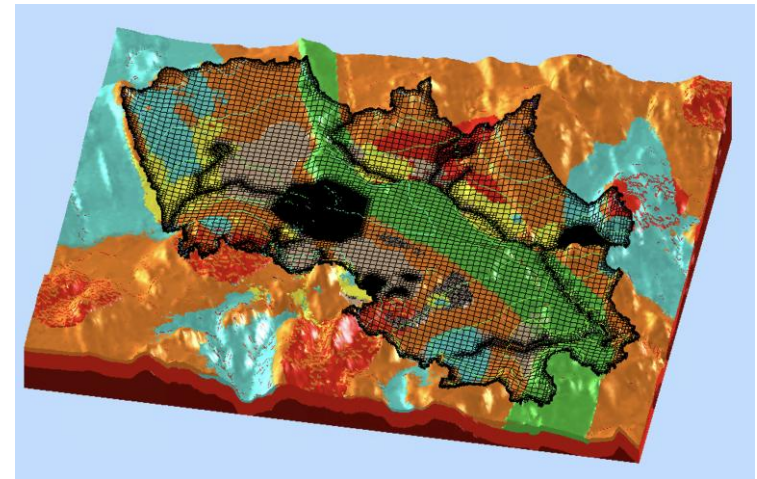
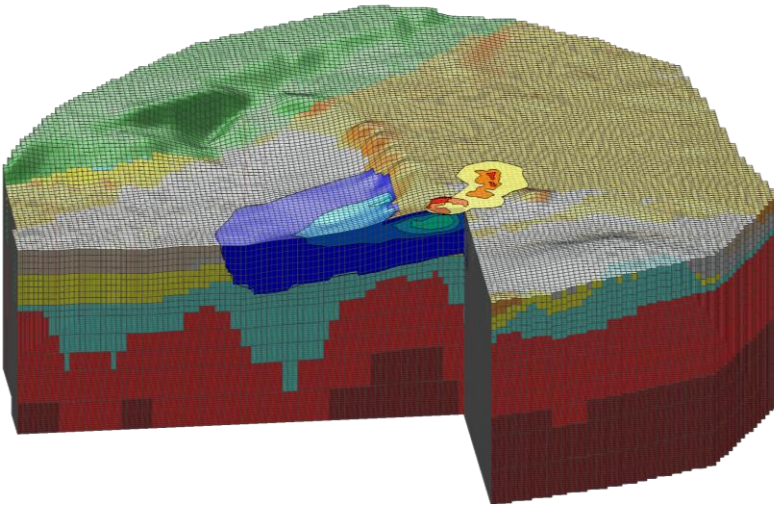


UPPSALA
UNIVERSITET



STATENS
GEOTEKNISKA
INSTITUT

Transportmodellering av PFAS från förorenade hotspots – utmaningar och möjligheter



Fritjof Fagerlund

Institutionen för Geovetenskaper, Uppsala Universitet

Medförfattare:

Robert Earon SGI, Dan Berggren Kleja SGI/SLU, Agnes Zúniga Ekenberg UU, Mamata Das UU

Kontakt: Fritjof.Fagerlund@geo.uu.se



UPPSALA
UNIVERSITET

- Hur tar sig PFAS till vårt dricksvatten?



- Höga halter av **PFAS i dricksvatten** hittades första gången i Sverige 2011 av en slump. I en sommarskola vid Stockholms universitet hittade man höga PFAS halter i dricksvattnet hos en elev från Tullinge.

=> Tullinges grundvatten har förorenats från **brandövningsplatsen vid F18**

- I Uppsala hittades ökande PFAS-halter i blodet på förstagångsmammor 2011. 2012 kopplade man halterna till Uppsalas dricksvatten.

=> Uppsalas grundvatten har förorenats från **brandövningsplatsen vid F16**

- I Kallinges dricksvatten uppmättes PFAS halter på över **10 000 ng/L** 2013. Höga PFAS halter har också uppmätts i **blodet** på människorna som drack vattnet.

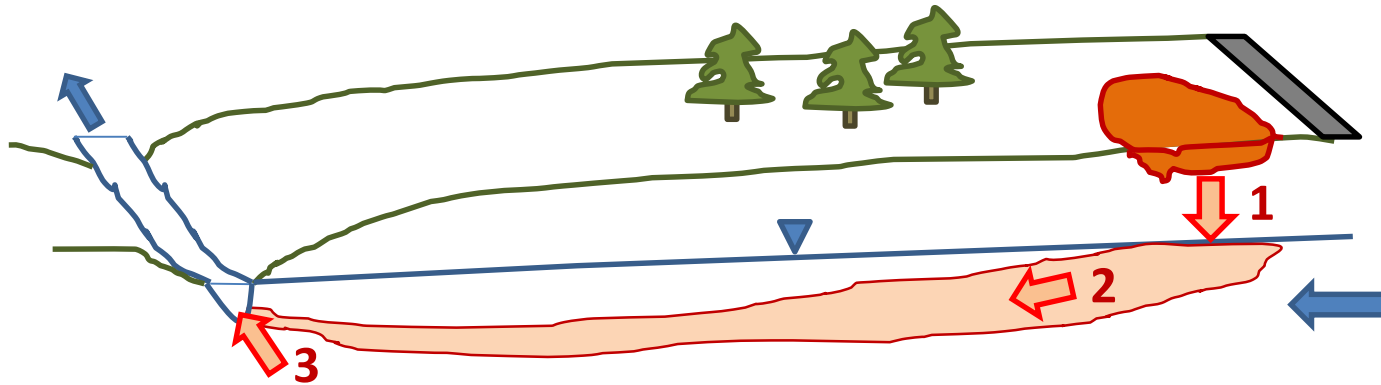
=> Kallinges grundvatten har förorenats från **brandövningsplatsen vid F17**

- Mer än **hälften av dricksvattenverken** har **PFAS i råvattnet**. (Livsmedelsv. 2021)

=> Spridning från hotspots är en avgörande faktor



PFAS-transport från hotspots till vattenresurser



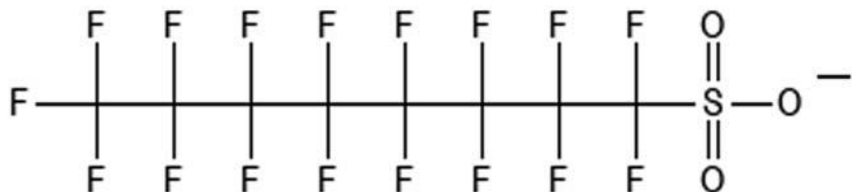
- Källor till **PFAS** finns ofta i **ytjorden** och sprids sedan till **grundvatten** och **ytvatten**
- Vi behöver **kunskap** och **modeller** för de **mekanismer** som styr **transporten** från **hotspots** vidare ut i miljön och till våra **vattenresurser**
- **Transportmodellering** kan användas:
 - som stöd vid **tolkning av mätningar** i fält
 - för att förstå och **prediktera spridningen** av PFAS (riskbedömning)
 - för **design** och **utvärdering** av åtgärder
 - för **källspårning** av PFAS



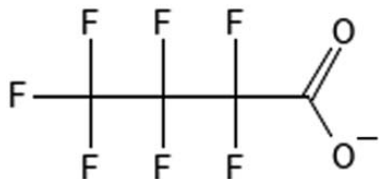
UPPSALA
UNIVERSITET

Per- & polyfluorerade alkylsubstanser (PFAS)

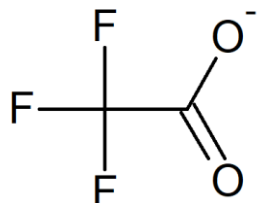
PFOS – lång CF-kedja



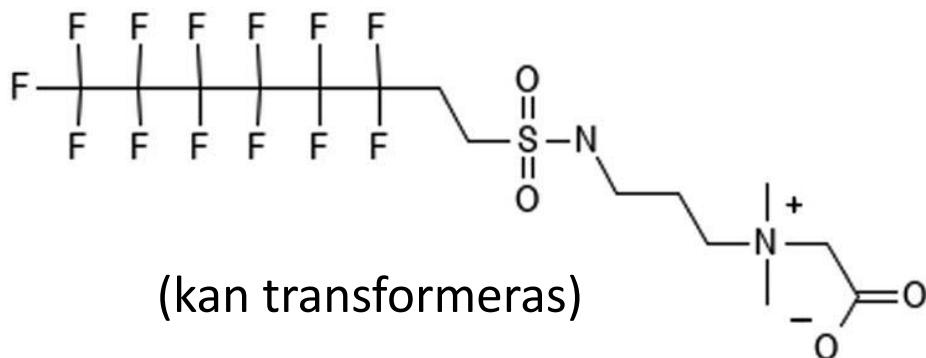
PFBA – kort



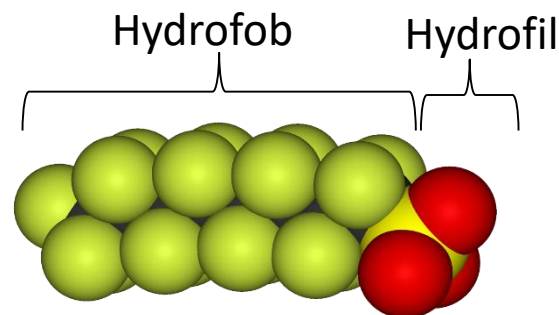
TFA – ultrakort



6:2 FTAB – prekursor



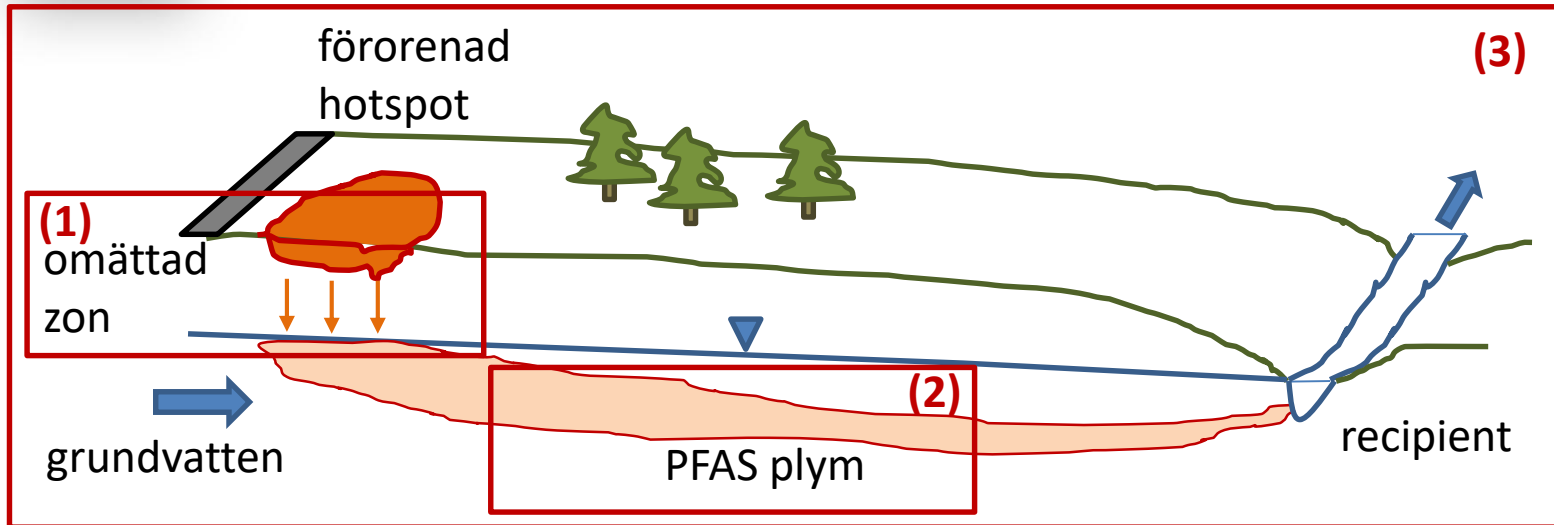
- > 10 000 PFAS
- Olika egenskaper:
 - längd
 - funktionell grupp
 - laddning
- Många är surfaktanter



- Perfluorerade ämnen är extremt persistenta
- Vissa kan transformeras



Utmaningar & behov av modellutveckling



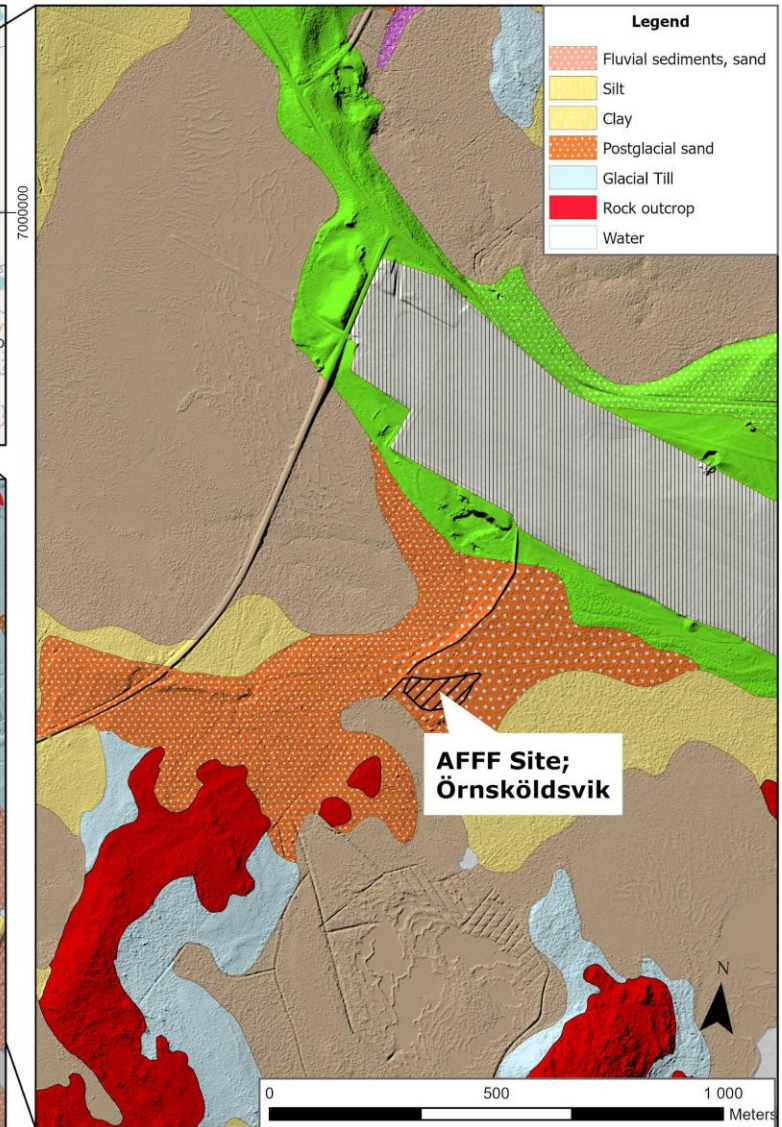
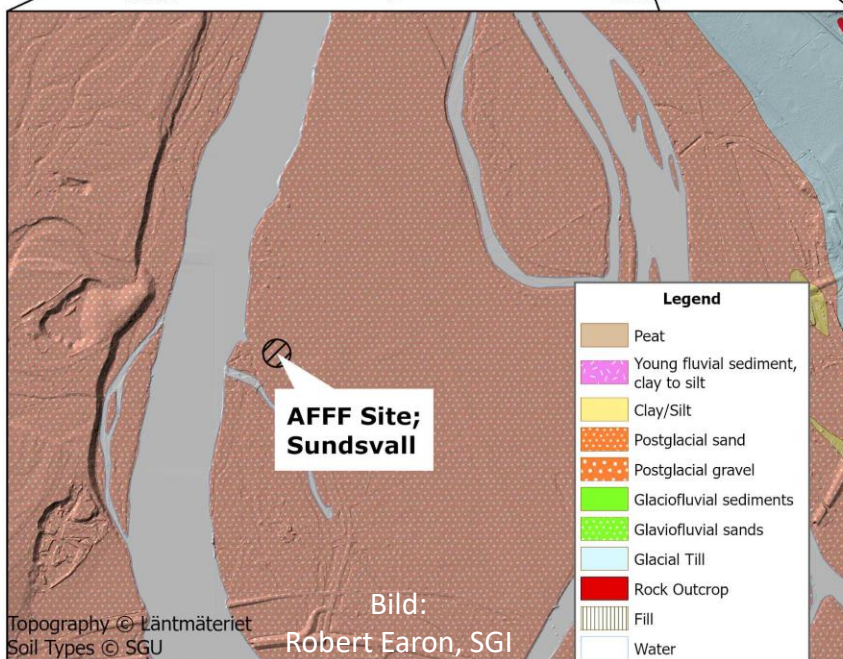
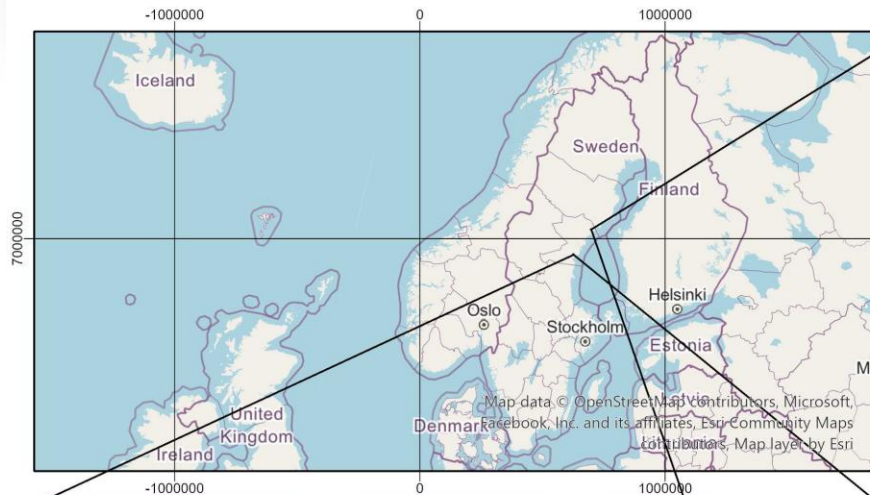
1. Omättad zon:
 - fastläggning av PFAS på gränssytor mellan luft och vatten
 - transformering av prekursorer, konkurrenseffekter, heterogenitet
2. Grundvattenzonen
 - sorption och konkurrens om sorptionsplatser
 - transformering av prekursorer, mobilitet hos olika PFAS, heterogenitet
3. Praktiska modelleringsverktyg från källzon till recipient

Projekt (1): Praktiska modeller för spridning av PFAS från källzon till recipient

Projekt (2): Modellering av PFAS stabilisering med sorbenter

Fältplatser i Sundsvall & Örnsköldsvik

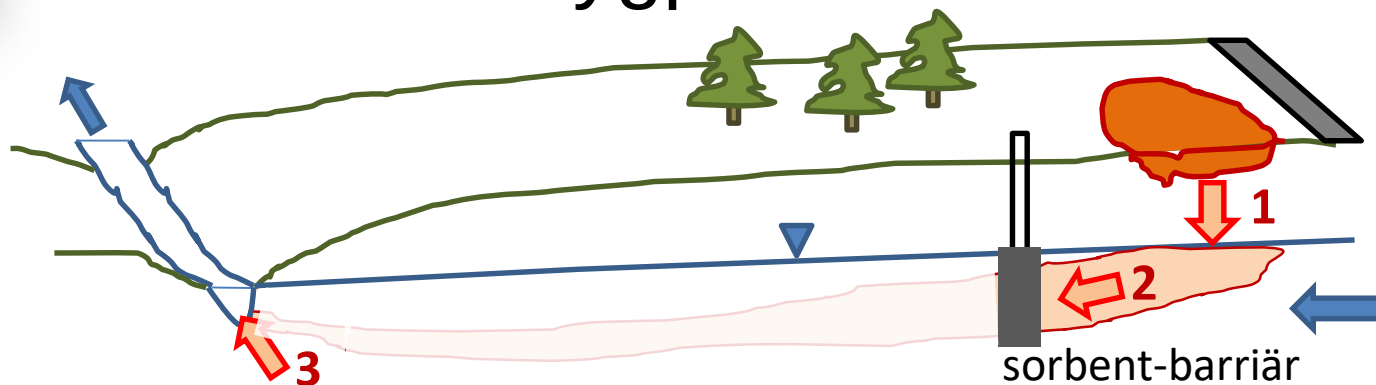
- Hör till SGU's & SGI's regeringsuppdrag (RU PFAS)
- Nya modeller ska jämföras med detaljerade fältdata



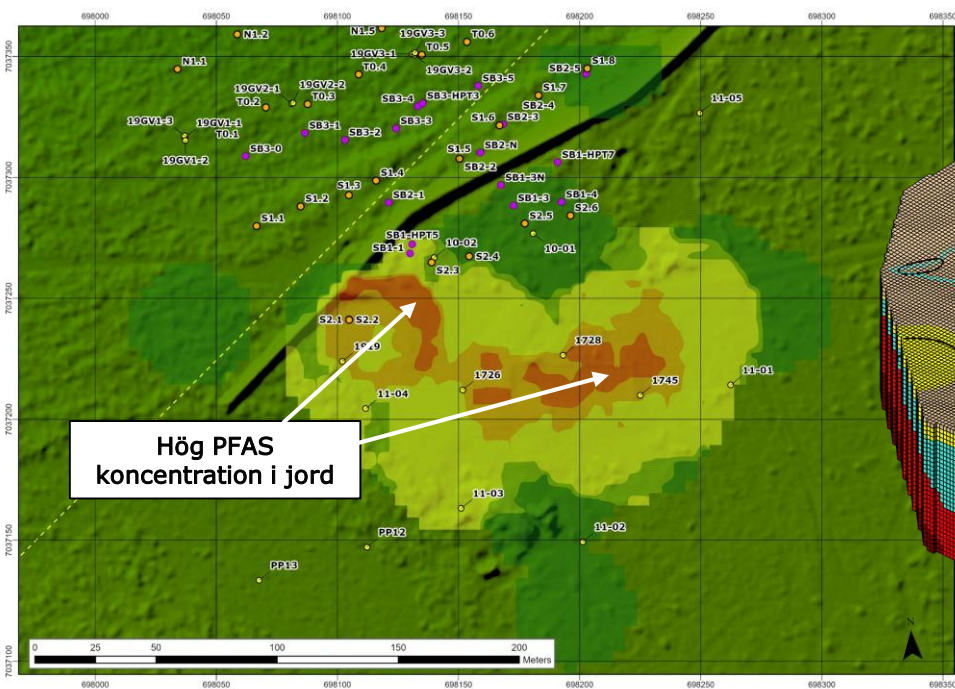


UPPSALA
UNIVERSITET

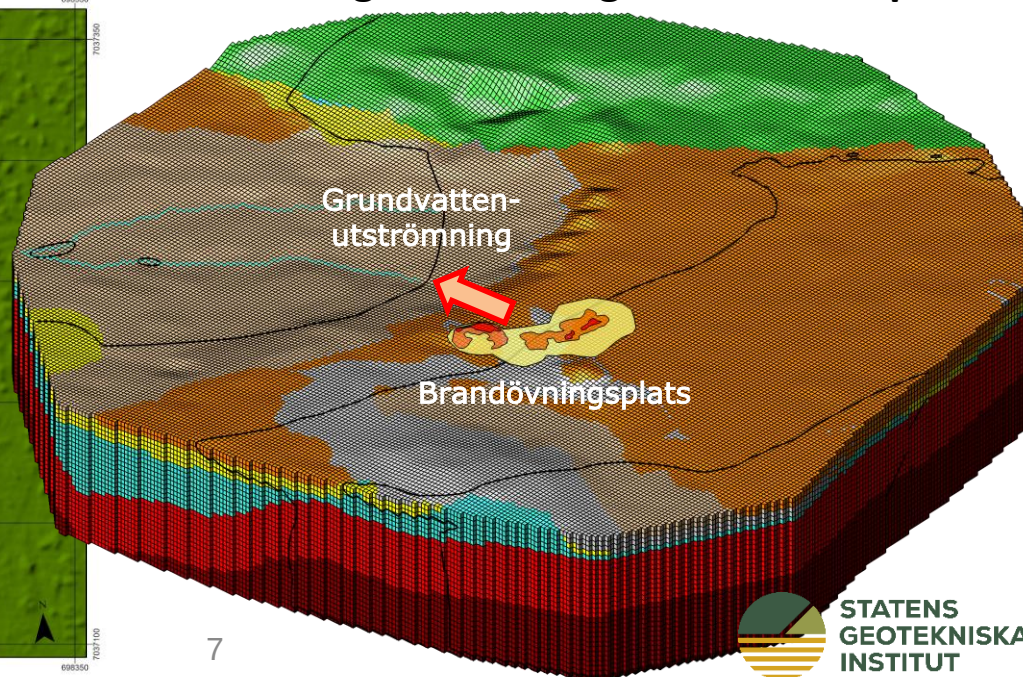
Pilottest med aktivt-kol-barriär på Örnsköldsvik flygplats



Källzon med PFAS i jord ovan grundvattnet

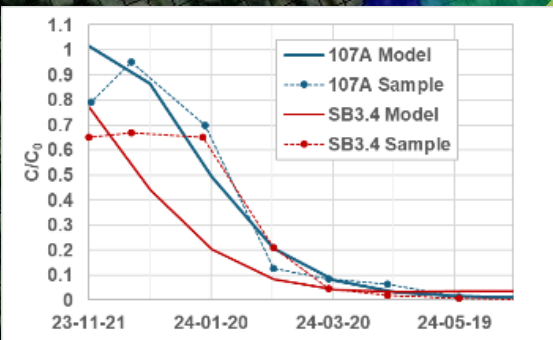
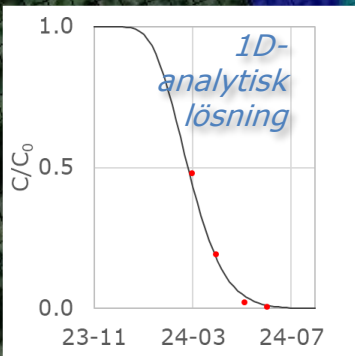
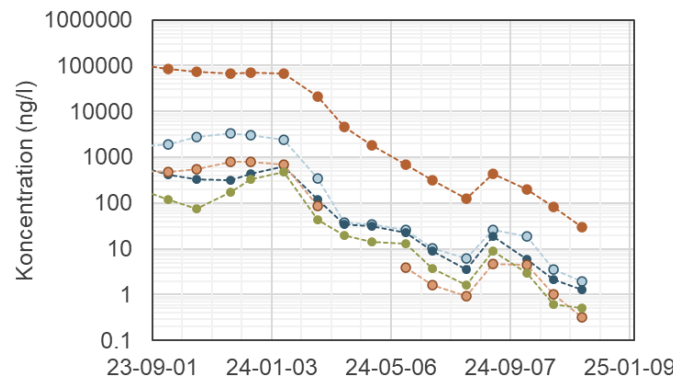


Modell för g.v.strömning & PFAS-transport



Modellering av barriärens effekt

- Hydrogeologiska modeller viktiga för tolkningen av barriärens effekt
- Grundvattenströmningen är central för PFAS transporten
- Den snabba reduktionen av PFAS nedströms barriären visar en snabb transport i jord utan sorbenter
- Transporthastigheter varierar både i rum och tid
- En nyckelfråga är hur lång tid barriären kan bromsa transporten av olika PFAS
- Utmaningar kvarstår, bl.a.: omvandling av prekursorer, konkurrens, belastning från den omättade zonen.



Exempel på
modellerade PFOS-
koncentrationer efter
barriären.

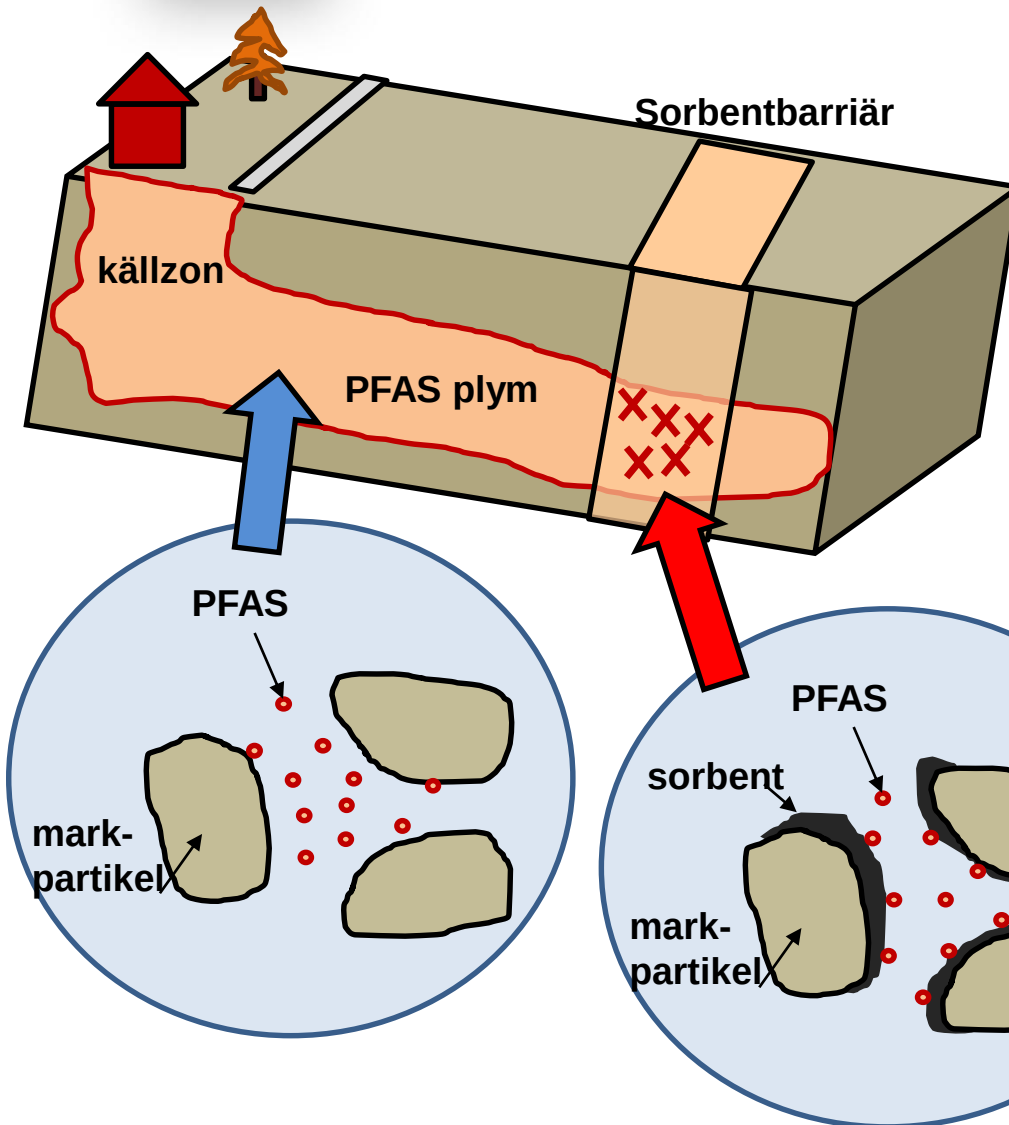
— Modellerade
- - - Verkliga



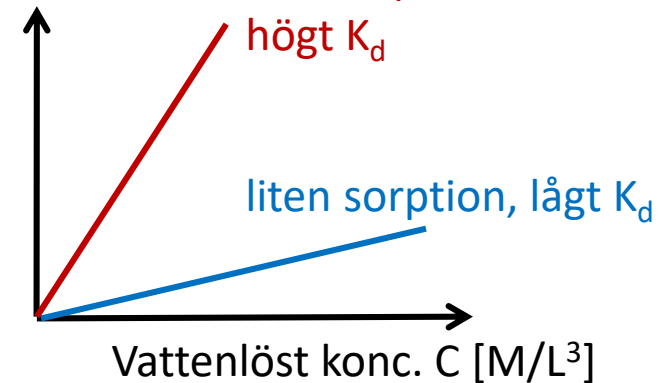


UPPSALA
UNIVERSITET

Sorption med och utan sorbenter



Sorberad konc. C^*
[M/M]



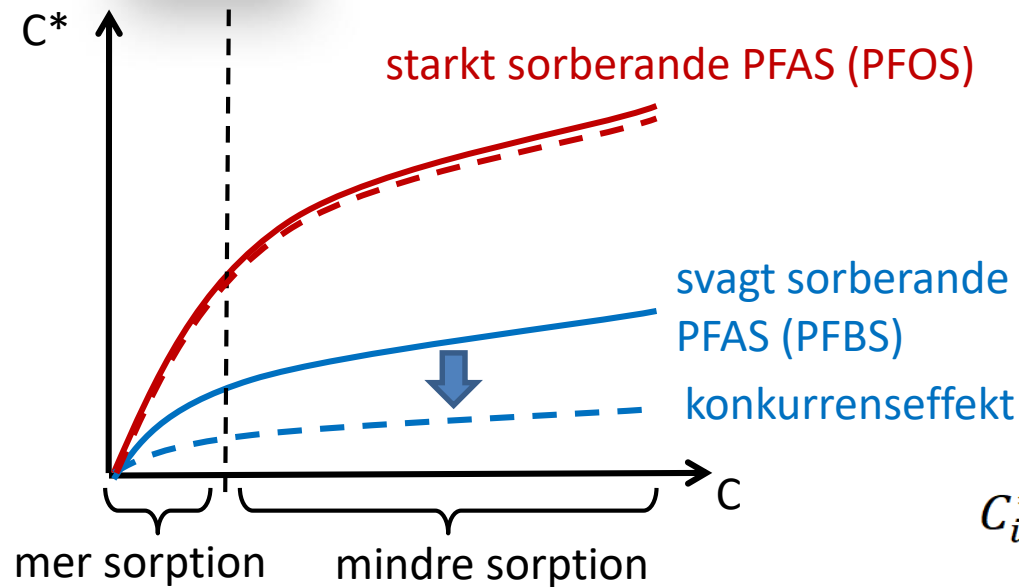
Retardation

$$\bar{v}_c = \frac{\bar{v}}{1 + \frac{\rho_B}{\theta} K_d} \quad \text{R}$$



UPPSALA
UNIVERSITET

Sorptionsmodell med konkurrens



Freundlich isoterm

$$C_i^* = K_{f,i} C_i^{n_i}$$

Freundlich-konkurrens

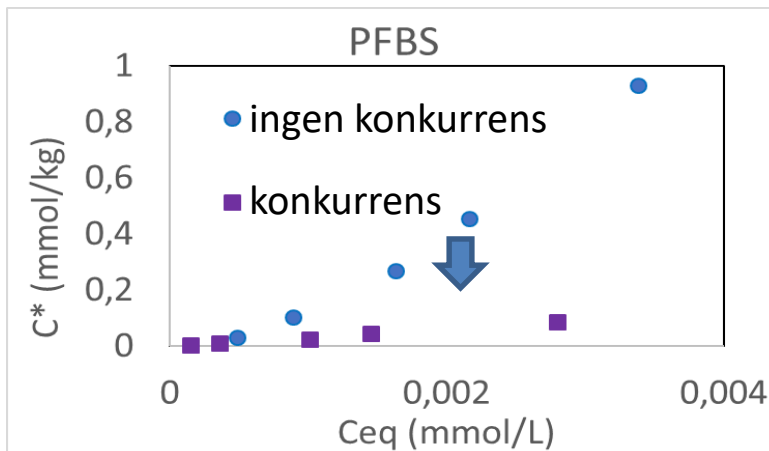
$$C_i^* = K_{f,i} C_i * (C_i + \sum_{j=1, j \neq i}^{N_c} \alpha_{ij} C_j)^{n_i - 1}$$

Interaktion mellan
olika PFASs:

$$\alpha_{ij} = \frac{K_{f,j} n_j}{K_{f,i} n_i}$$

Retardation under konkurrens

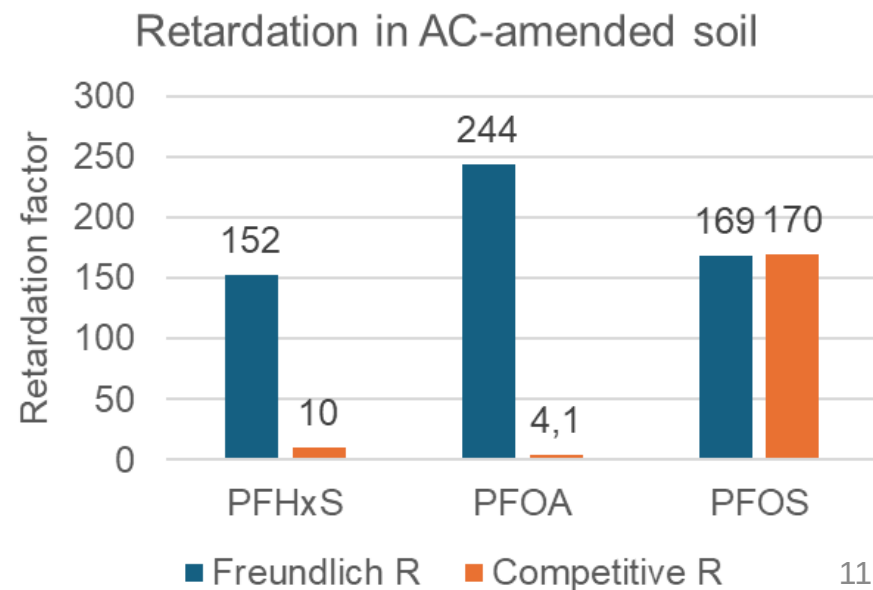
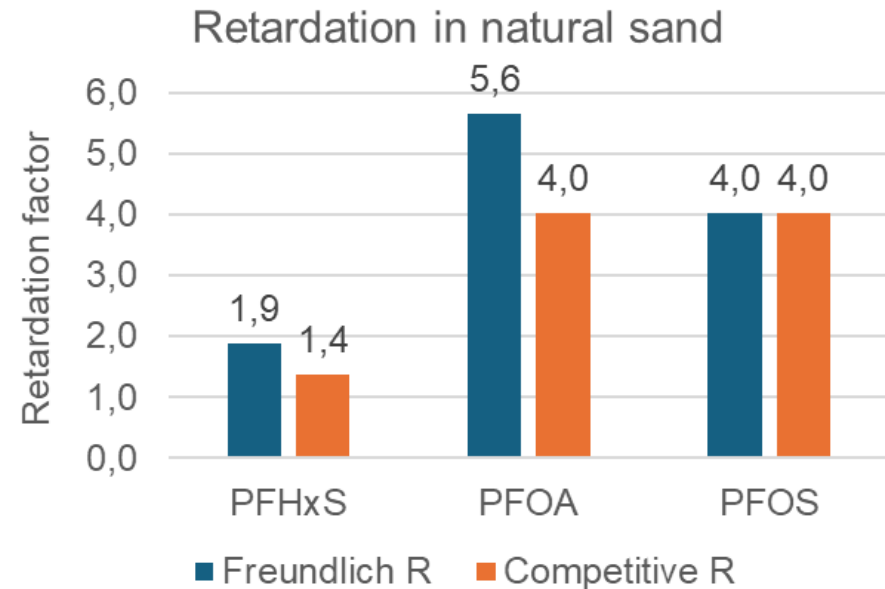
$$R = 1 + \frac{\rho_b}{\theta} \left(K_i (C_i + \sum \alpha_{ij} C_j)^{n_i - 2} (C_i n_i + \sum \alpha_{ij} C_j) \right)$$





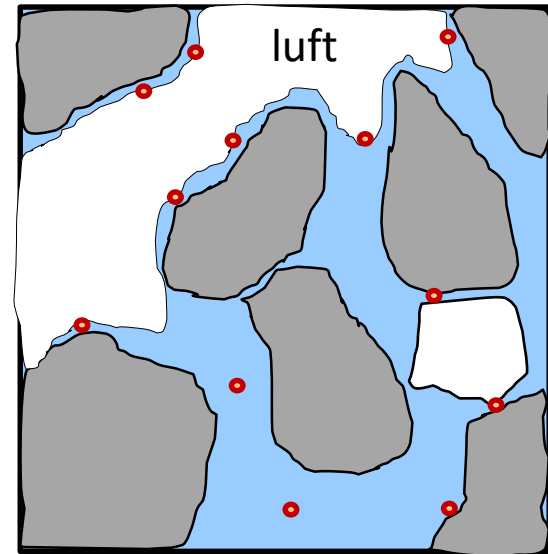
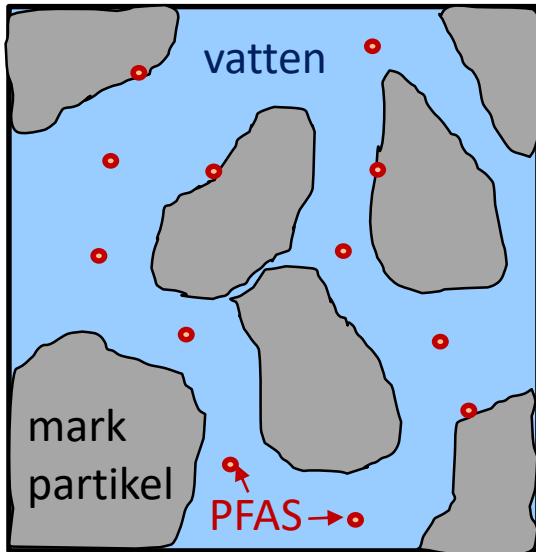
Sorptions-konkurrens med och utan sorbenter

- I naturlig sand är konkurrenseffekten liten för alla 3 PFAS
- I sand med aktivt kol är konkurrenseffekten stor för PFHxS och PFOA
- Retardationen beror också av koncentration
 - PFOA har initial högt R pga låg koncentration
 - Hög PFOS konc. påverkar PFHxS & PFOA
- Kromatografisk effekt
 - PFOS konkurrerar bara så långt den transporterats





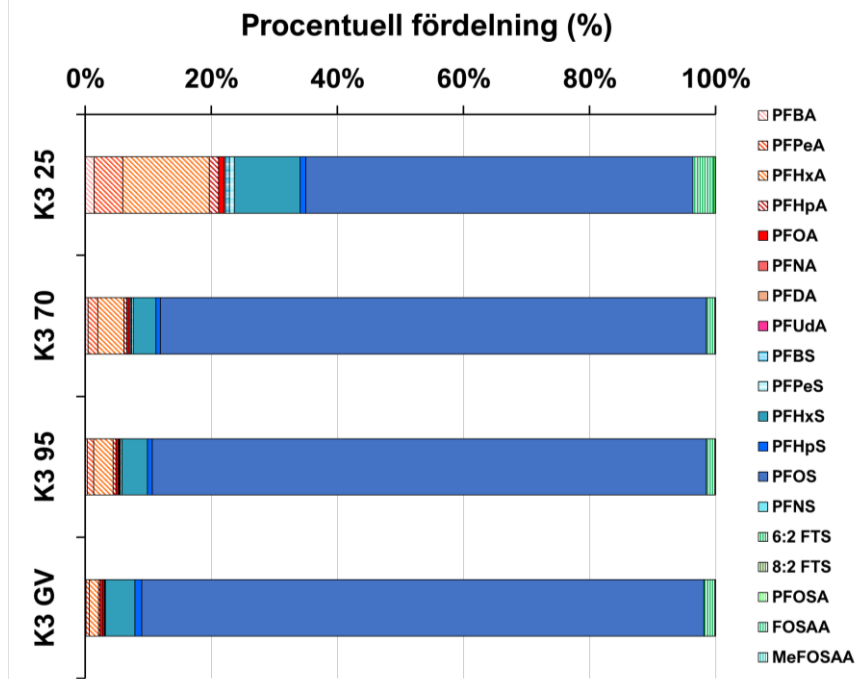
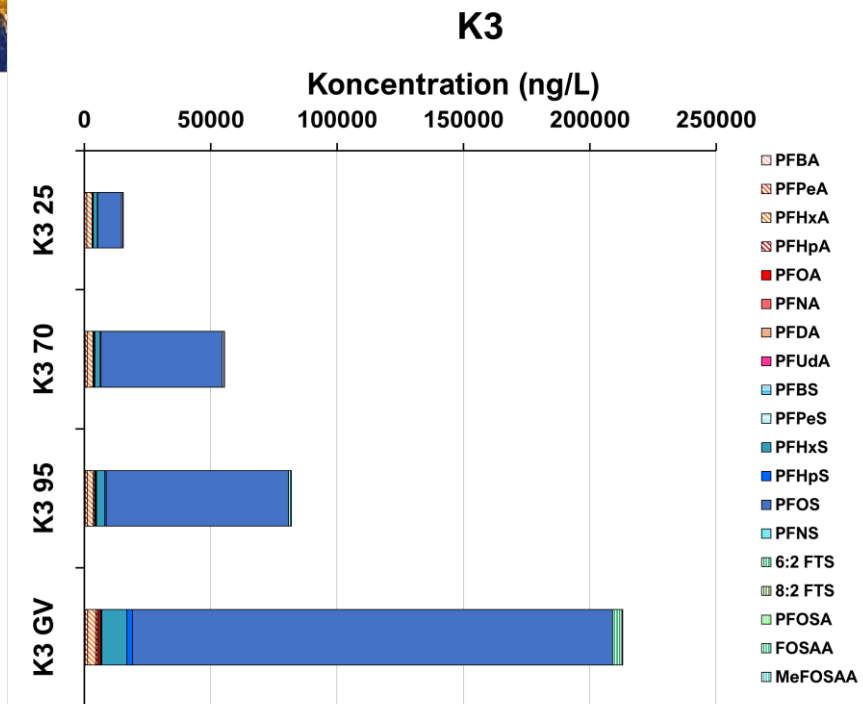
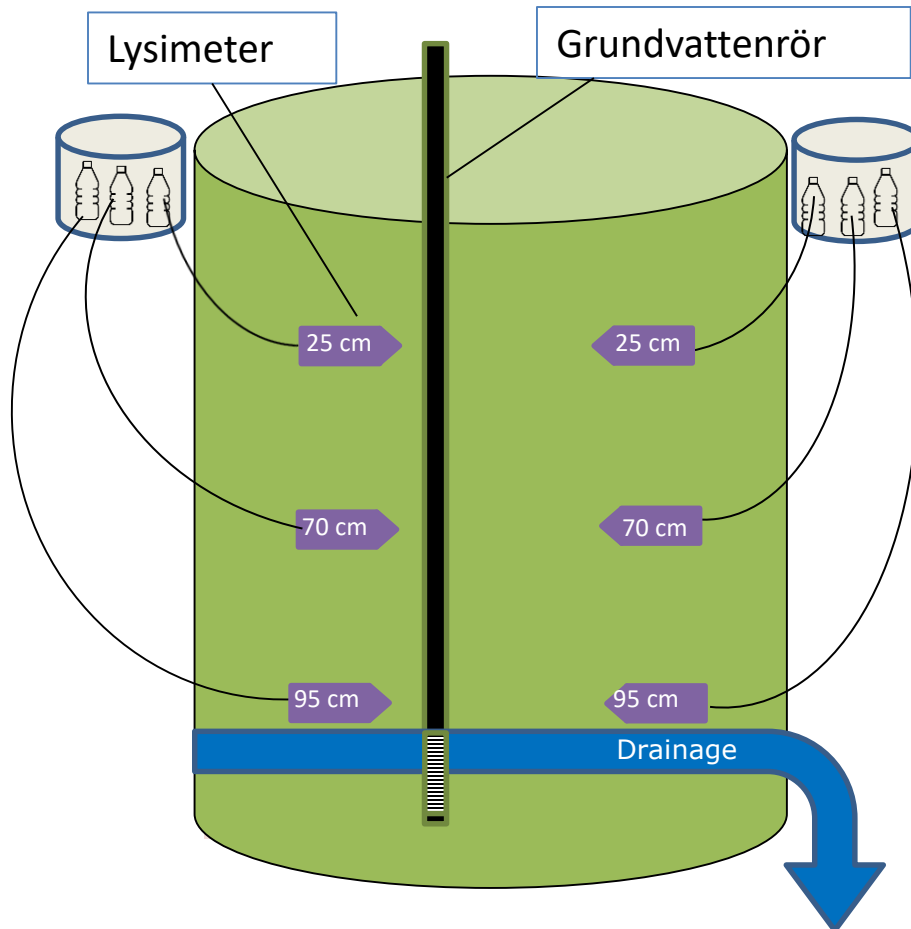
PFAS-kvarhållning i omättad zon



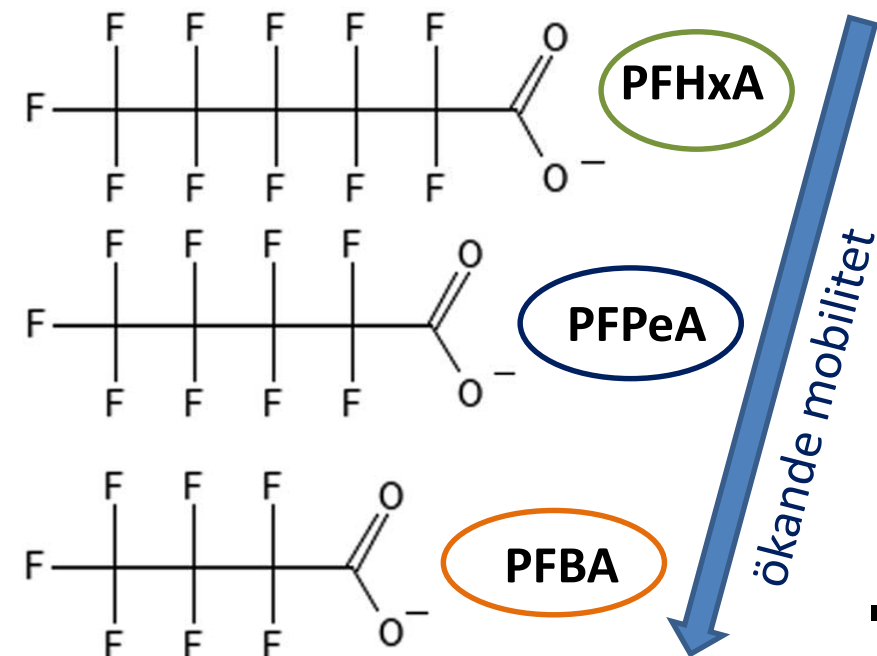
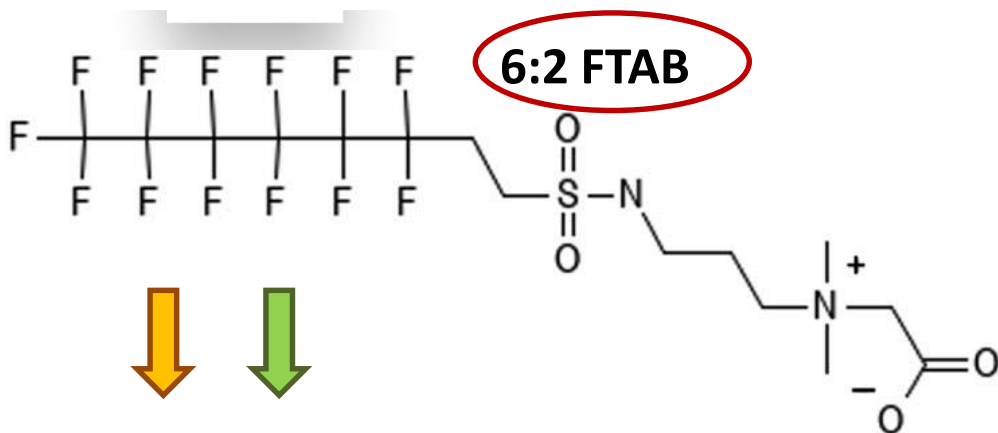
- **Fastläggning** av PFAS till **gränsytor** mellan **luft & vatten** leder till att PFAS binds och hålls kvar i den omättade zonen
 - Utlakning från omättad zon kan ta 100-tals år
- Fastläggningen beror av **storleken på gränsytan** (beror av porfyllnad)
- Påverkas av stora **regn** och **variationer i grundvattenytans läge**

Lysimeterförsök

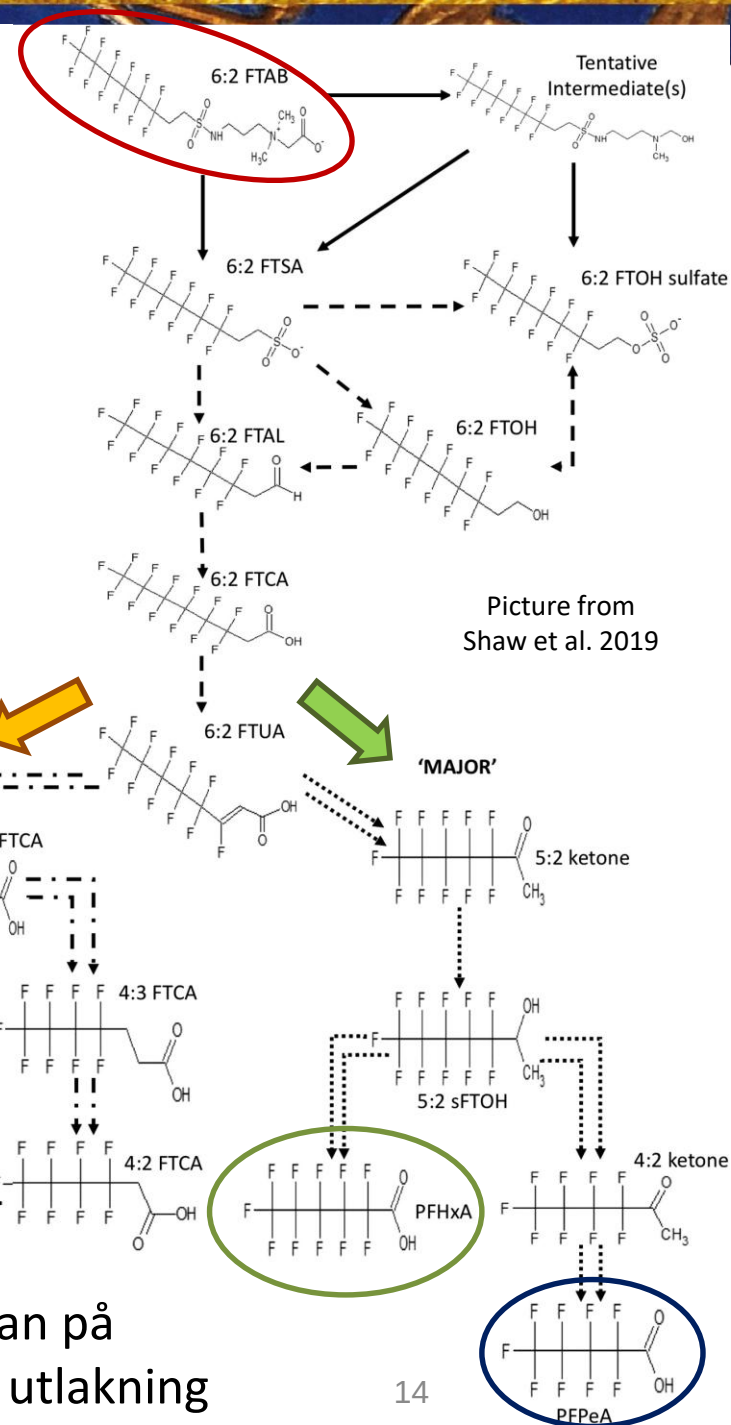
Sundsvall



Transformering av prekursorer



- Stor påverkan på mobilitet & utlakning





Tack så mycket!

Slutsatser

- Kunskap om PFAS transport i mark-grundvatten-systemet är avgörande för skydd av miljö och vattenresurser
- Transportmodeller behöver utvecklas för att ta hänsyn till PFAS specifika egenskaper
 - Dessa egenskaper kan innebära både fördelar och nackdelar när vi vill stoppa spridningen
- Förhoppningsvis kan modeller hjälpa oss att fatta bättre beslut om PFAS



This work was supported by the Swedish Environmental Protection Agency grant 2023-00059, TUFFO – a research and innovation program on contaminated sites managed by the Swedish Geotechnical Institute (grant 1.1-1708- 0501). and the Government of Sweden's Grant no. 1:4 for remediation and restoration of contaminated sites. Presented material includes preliminary results from the Swedish Geotechnical Institute's and Geological Survey of Sweden's governmental assignment for PFAS.