

Udvaskning af PFAS fra jord – sammenligning og vurdering mellem intakte og omrørte kolonner

Vintermøde ATV Jord & Grundvand 2025

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.



**AALBORG
UNIVERSITET**



Jette Kjøge Olsen^a
Morten Birch Larsen^a
Nanna Thomsen^a
Jens Muff^b
Peter B. Mortensen^c
Anne Tipsmark^d

^aRAMBØLL

^bAalborg Universitet

^cEurofins

^dRegion Syddanmark

- Projektet er finansieret med puljemidler fra Den Syddanske Udviklingspulje for rent vand og jord.
- **Ansvarsfraskrivelse:** Offentliggørelse af rapportens resultater betyder nødvendigvis ikke, at Region Syddanmark er enig i rapportens indhold og konklusioner.

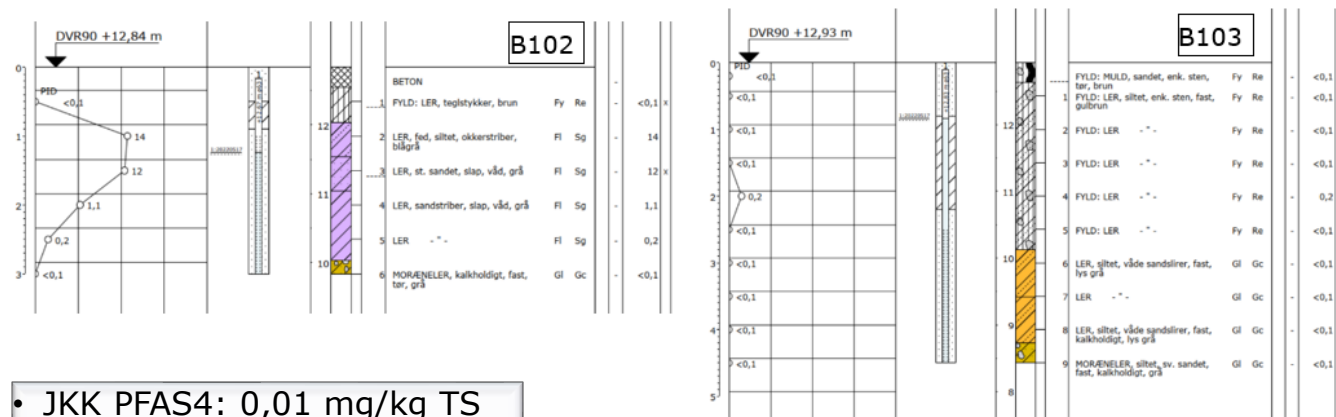
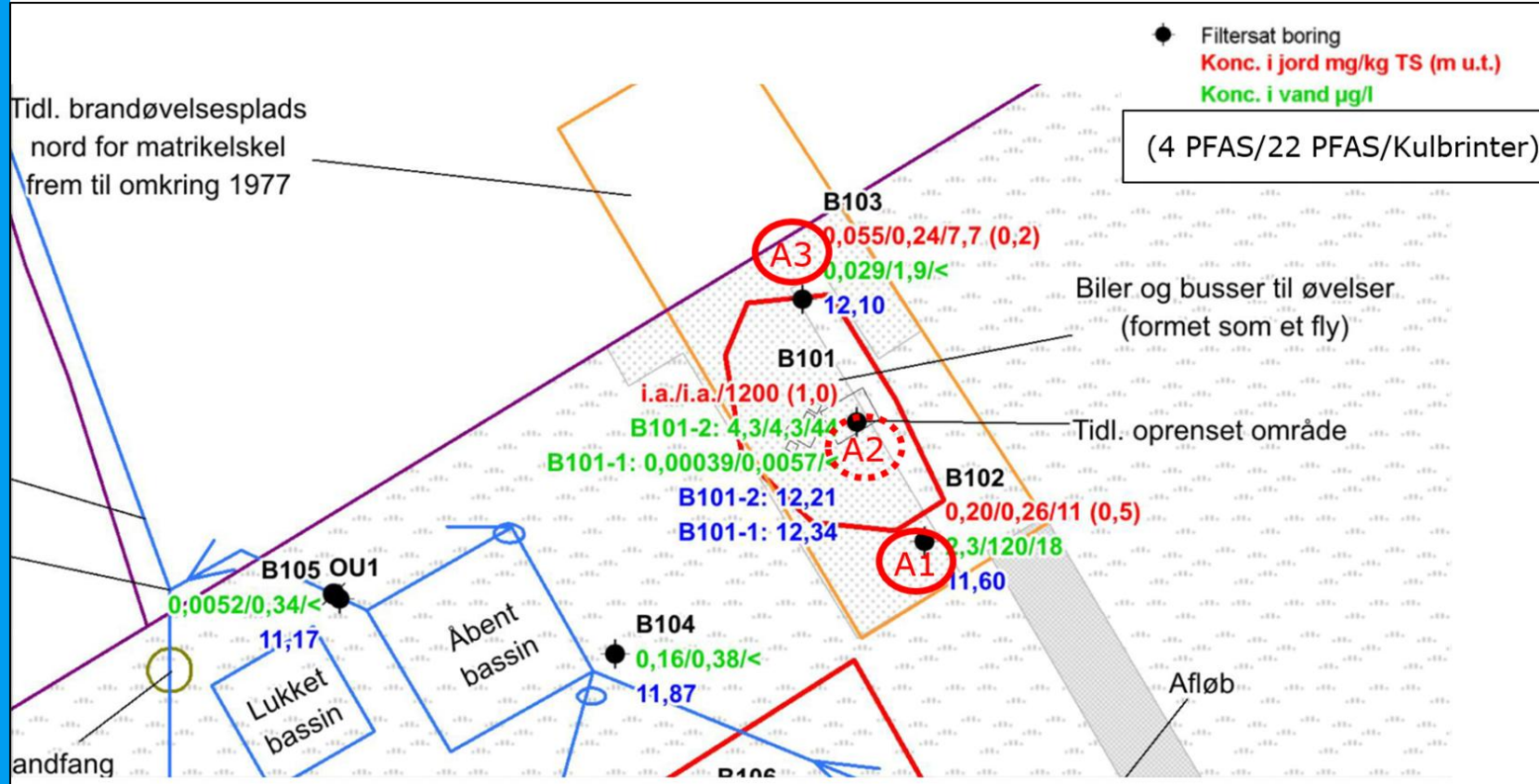
Formål med projektet



- Projektet skal undersøge **udvaskningen af PFAS fra jord i områder, hvor der er truffet lave indhold af PFAS i jorden.**
- Samtidig undersøges det, hvad der har indflydelse på udvaskning af PFAS – om der er **forskel på lerjord og sandjord**, og om PFAS mest binder sig til organisk stof i jorden.
- Det forventes, at projektet vil give en bedre **forståelse af, hvordan PFAS fordeler sig mellem jord og vand**, så man fremover mere sikkert kan vurdere, om der kan ske udvaskning af PFAS fra jord, hvor der er påvist lave koncentrationer og om det kan **udgøre en risiko bl.a. i forbindelse med flytning og genanvendelse af jord.**

Case A

- Odense Lufthavn (HCA Airport)
- Tidl. brandøvelsesplads
- Leret topjord
- Grundvand ca. 1,5 mu.t.
- Her er der påvist PFAS i jord (op til 0,2 mg/kg TS) og grundvand (op til 4,3 µg/l) for PFAS4
- Kilden til PFAS er skumvæske fra slukningsøvelser.

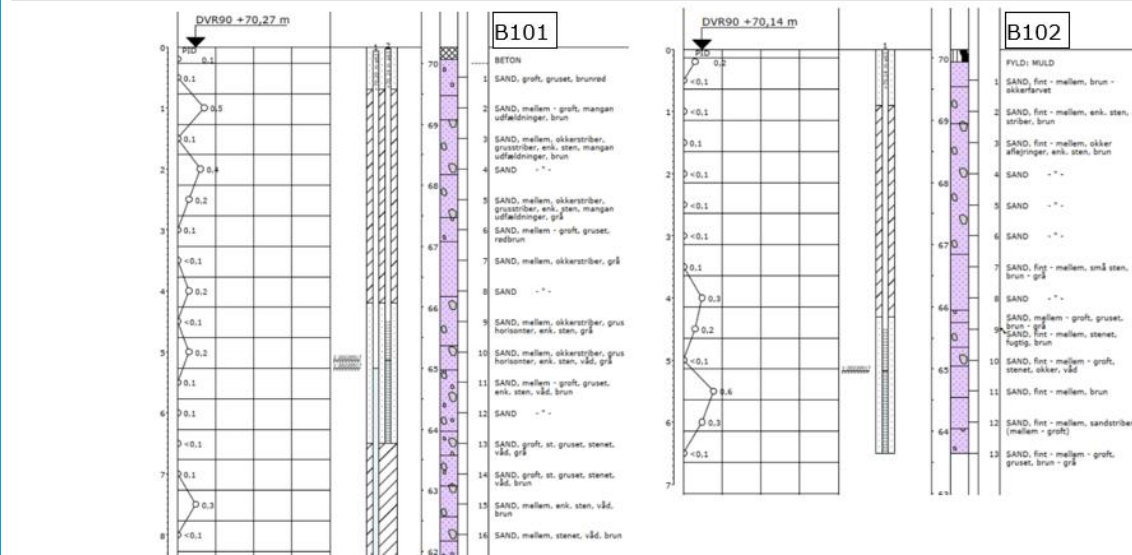
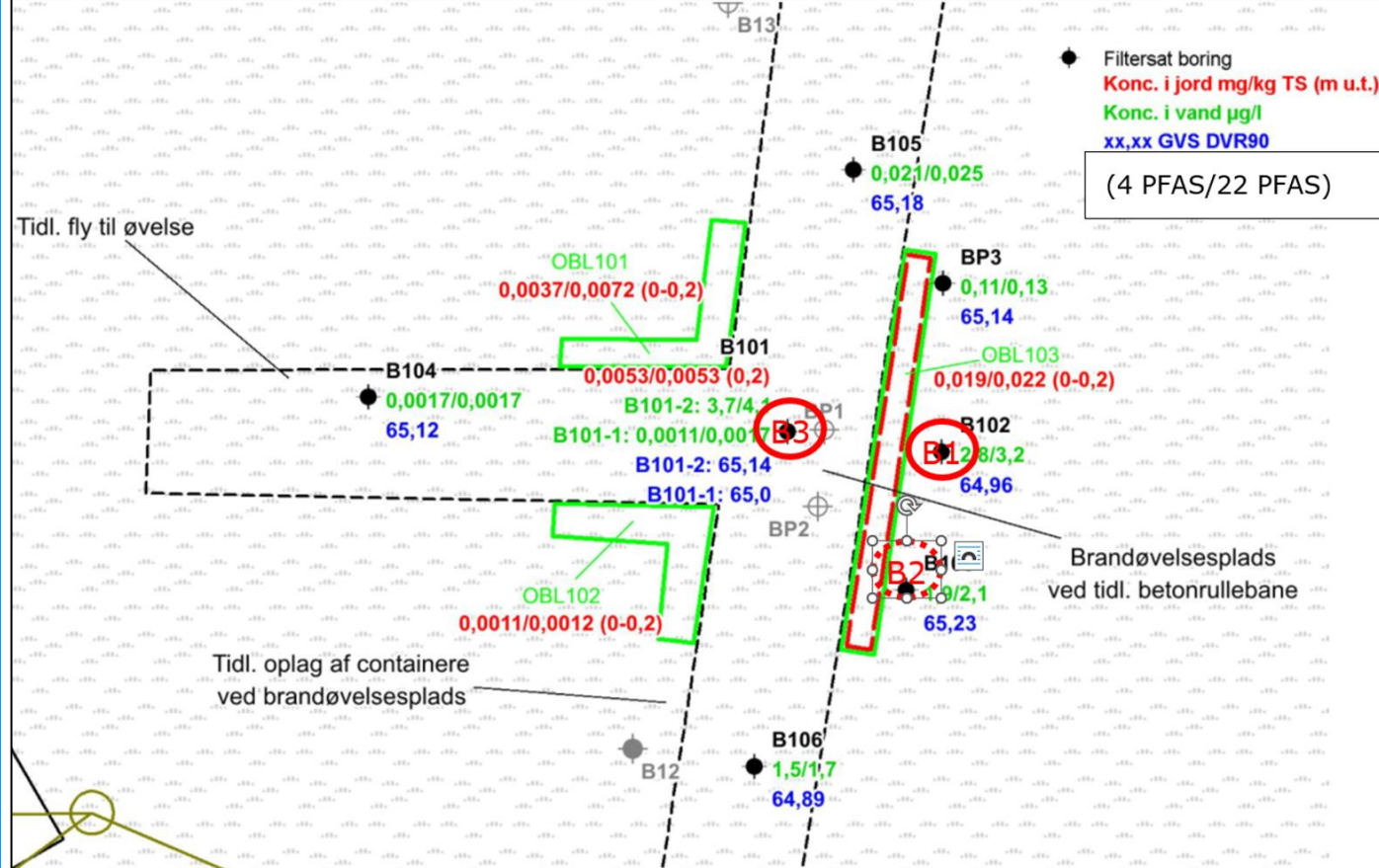


- JKK PFAS4: 0,01 mg/kg TS
- GKK PFAS4: 0,002 µg/l

Case B

- Vandel Flyveplads
- Tidl. brandøvelsesplads
- Der er sand og muldjord i de øverste jordlag.
- Grundvand påtræffes ca. 5 m u.t.
- Påvist PFAS i jord (op til 0,02 mg/kg TS) og grundvand (op til 3,7 µg/l) for PFAS4.
- Kilde til PFAS-forurening er skumvæske fra slukningsøvelser.

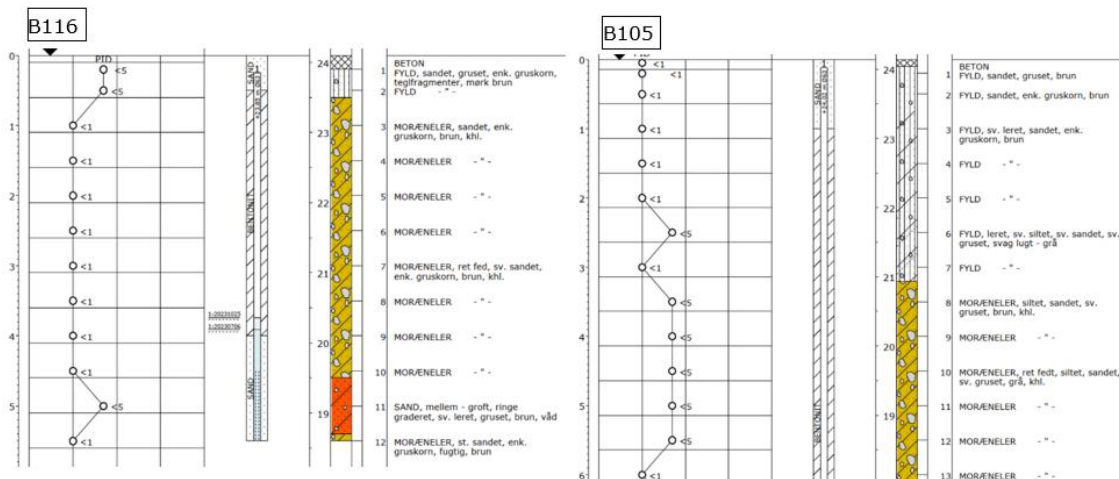
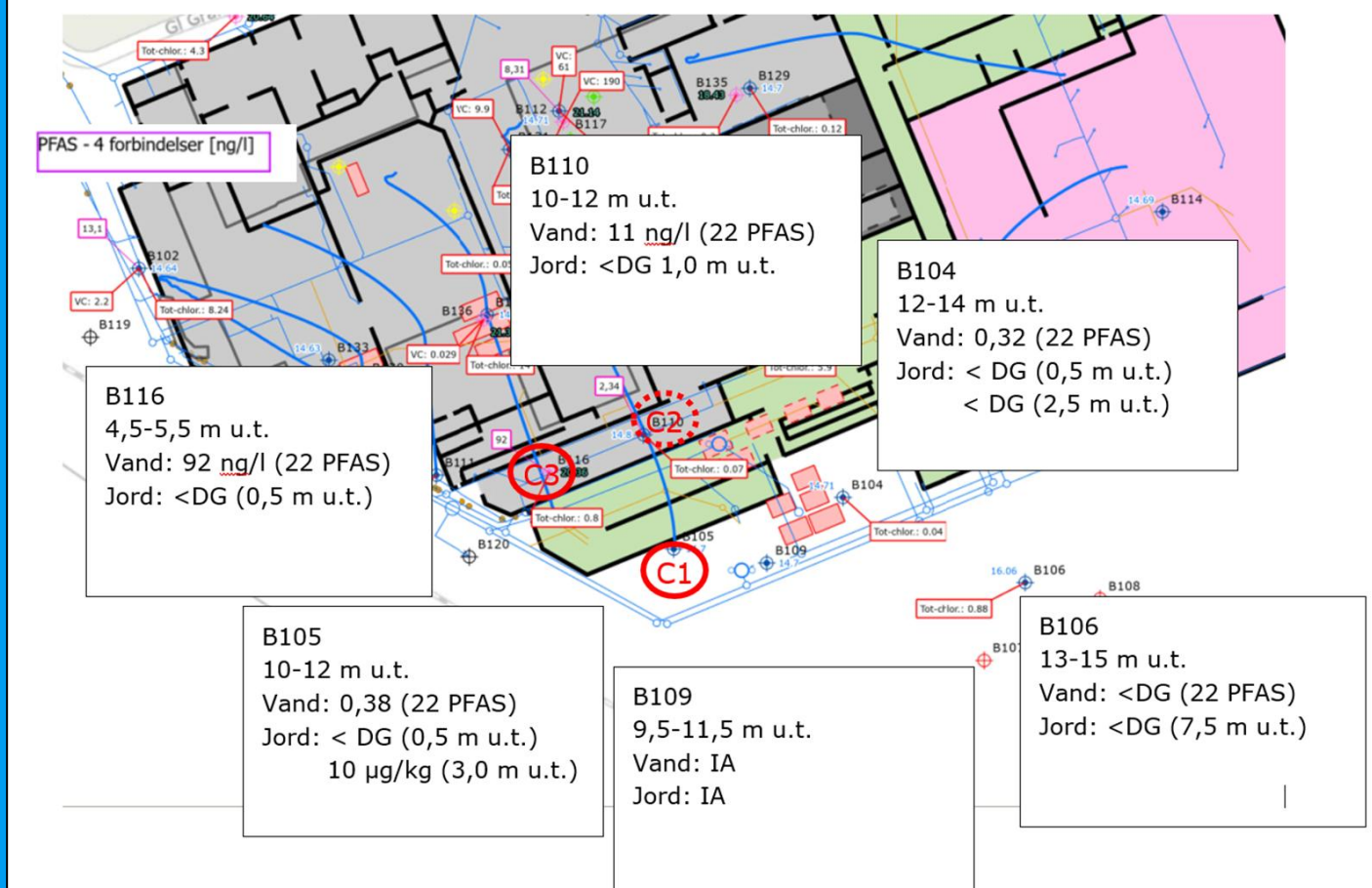
• JKK PFAS4: 0,01 mg/kg TS
 • GKK PFAS4: 0,002 µg/l



Case C

- Grand cykelfabrik
- Tidligere cykelfabrik
- Sandet fyldjord og moræner
- Terrænnært grundvand træffes ca. 3,5 m u.t.
- Påvist PFAS i jord lige over DG og grundvand (op til 92 ng/l) for PFAS4. OBS anden enhed!
- Kilden til PFAS er forchromning, forzinkning og spildevand derfra.

- JKK PFAS4: 10 µg/kg TS
- GKK PFAS4: 2 ng/l



Feltarbejde



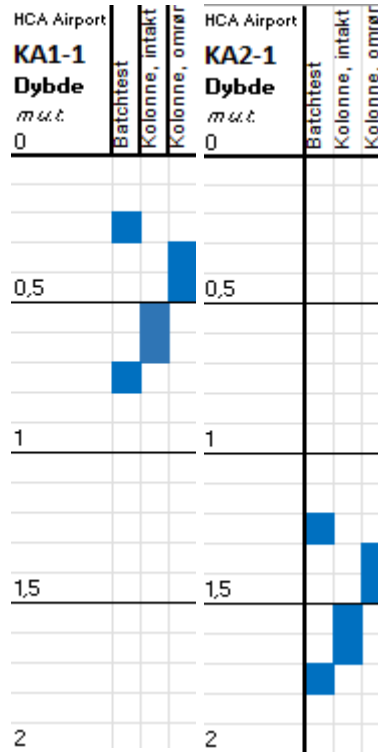
- På alle lokaliteter er udvalgt **to delområder**. Ved hjælp af GeoProbe udtages i hvert delområde **to intaktkerner** fra 0 til 2 eller 3 m u.t.
- Fra hvert delområde skæres den ene kerne op, mens den anden kerne bruges til udvaskningsforsøg.
- Geoproben benyttes efterfølgende til at installere **sugeceller i to niveauer** i to af delområderne.
- På jordprøverne udføres der **geologisk prøvebeskrivelse** og på udvalgte prøver udføres **sigte/slemme analyser og bestemmelse af TOC**, da kornstørrelsesfordelingen og indholdet af organisk stof kan have indflydelse på stoffernes sorption.
- På baggrund resultaterne fra **de første PFAS-analyser, udvælges analysemetoderne** der anvendes ved laboratorieforsøgene.

Oversigt over lab test

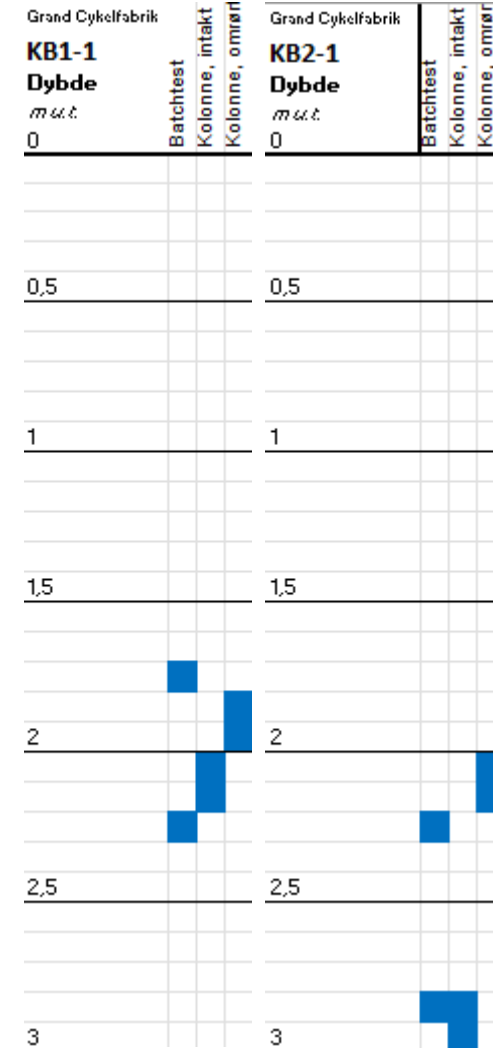
Antal test fra hver lokalitet

- 4 batch test (2 øvre, 2 nedre)
- 2 intakte kolonner (øvre, nedre)
- 2 omrørte kolonner (øvre, nedre)

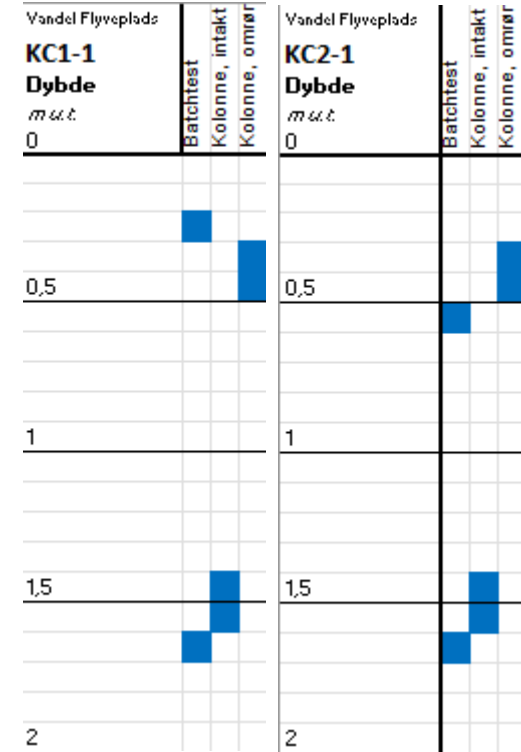
HCA Airport (KA)



Grand Cykelfabrik (KB)



Vandel Flyveplads (KC)



Test protokol



Blindtest af materialer og samlet opstilling til kontrol af afsmitning.

Batchforsøg

- HDDP plastbeholder
- L:S 1:1 – 100g omrørt jord til 100 mL DI vand
- 24 timer ved 10 °C

Kolonneforsøg

- Plastliner anvendt som kolonne
- Kolonnehøjde 20cm, mættet
- DI vand, bottom up, 0,2 mL/min
- Eluat: L:S 0,1 ; 0,2 ; 0,3 ; 0,4 ; 0,5 ; 1 ; 5 ; 10
- Drift: ~3 uger



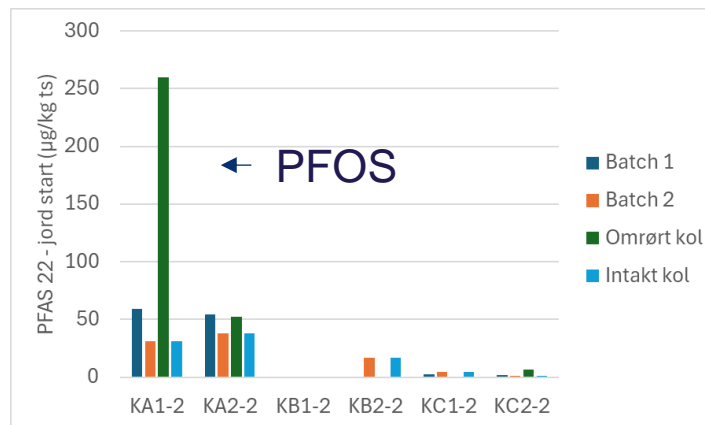
PFAS i jord

Sum af PFAS22 og PFAS4 i jord i de forskellige test inden udvaskning.

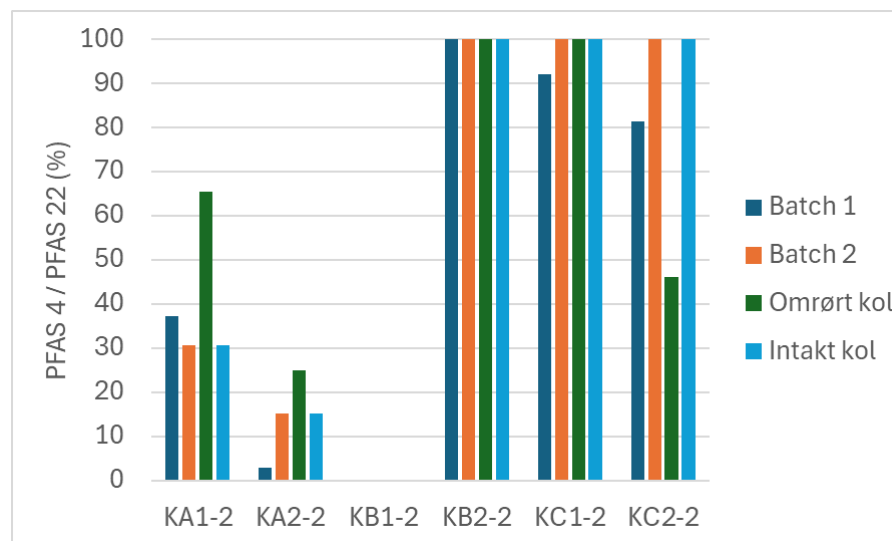
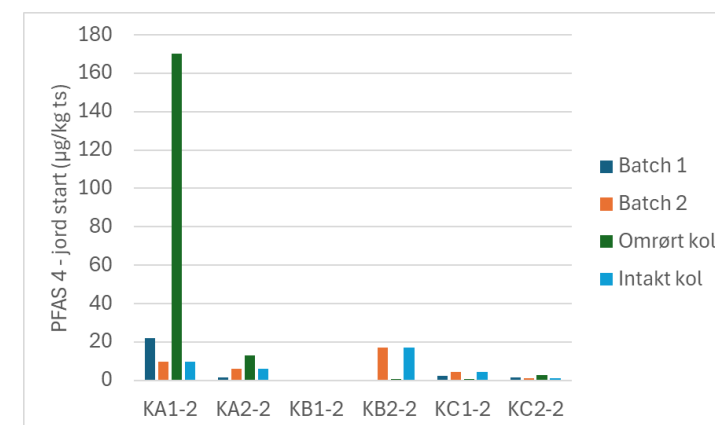
HCA (KA) > Grand Cykelfabrik (KB) > Vandel Flyveplads (KC)

PFAS4 dominerende ved Grand Cykelfabrik og Vandel Flyveplads

PFAS 22



PFAS 4



$$\frac{\text{PFAS 4}}{\text{PFAS 22}} \cdot 100$$

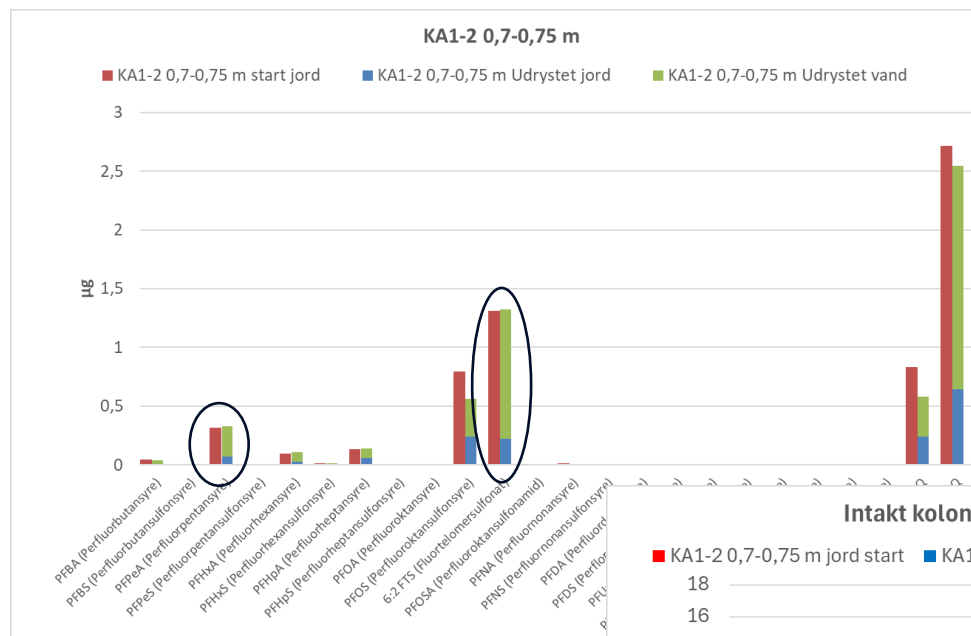
Massebalance - eksempler

Massebalancer generelt ok

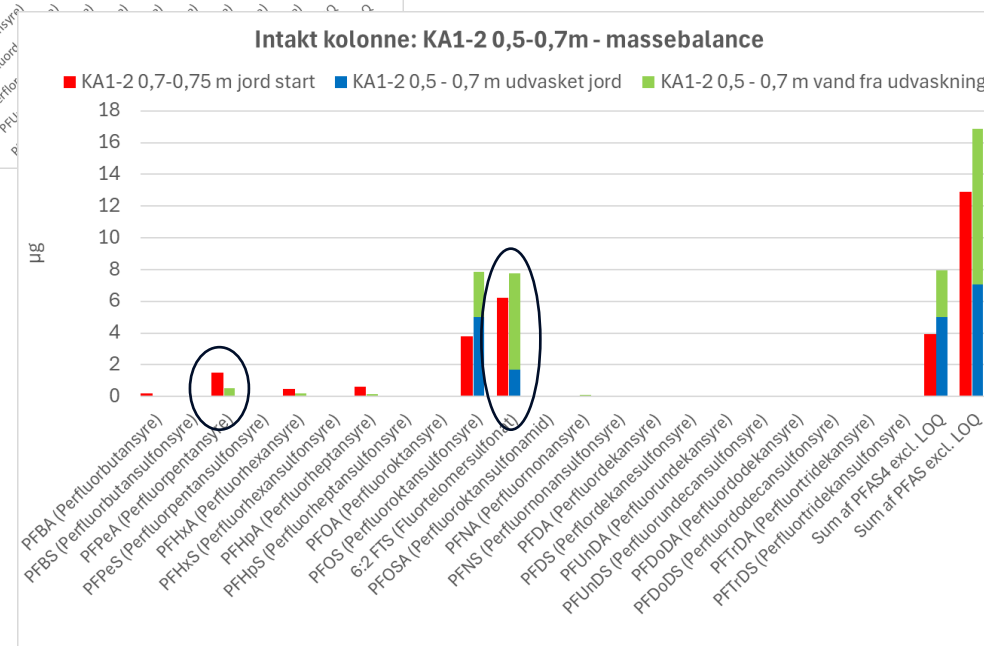
Forskel på PFAS 22 og PFAS 4
domineres af 6:2 FTS, PFPeA,
PFHpA og PFHxA

HCA Airport (øvre)

Batch 2



Intakt kolonne



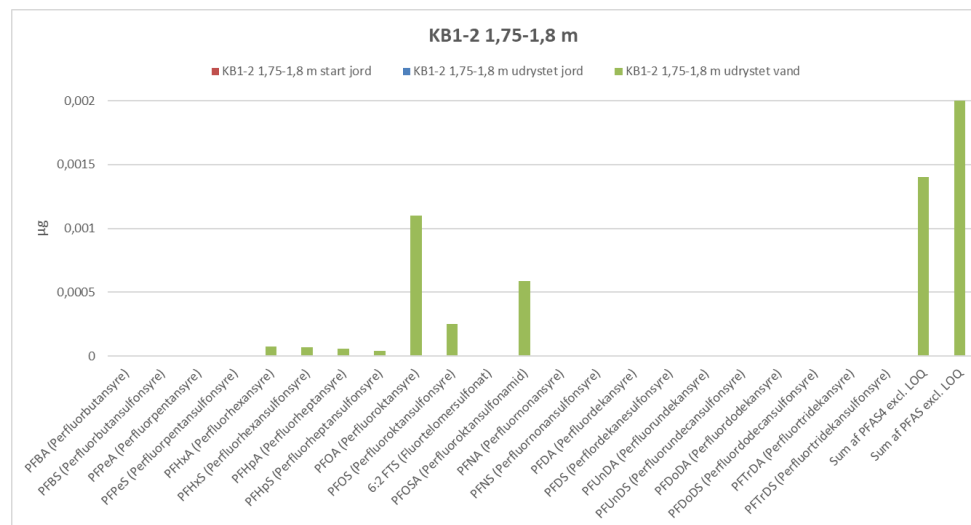
Massebalance - eksempler

Grand Cykelfabrik er et eksempel på, at ikke-detekterbar PFAS i jord kan give anledning til detekterbar PFAS i vand (øvre)

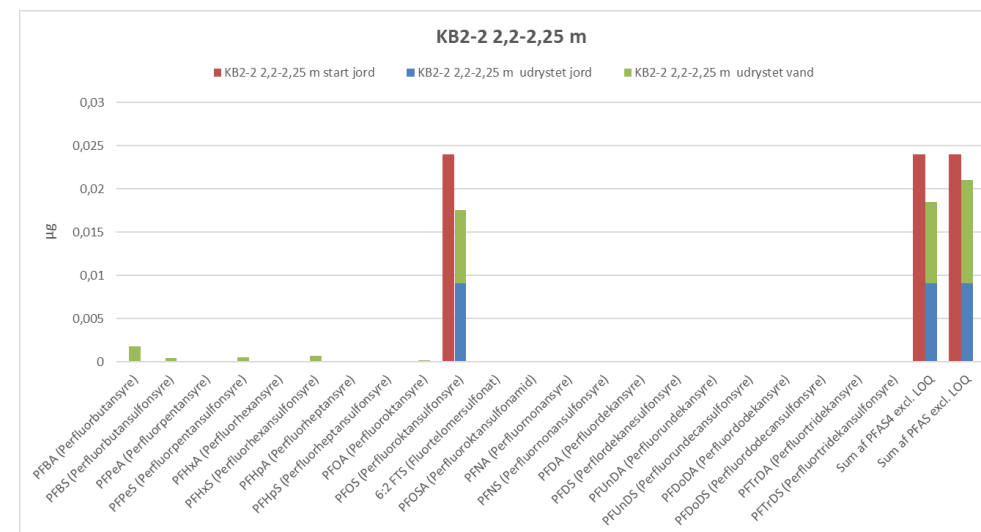
Også i væsentlig lavere koncentrationer er massebalance ok (nedre)

Grand Cykelfabrik (øvre og nedre)

Batch (øvre)



Batch (nedre)

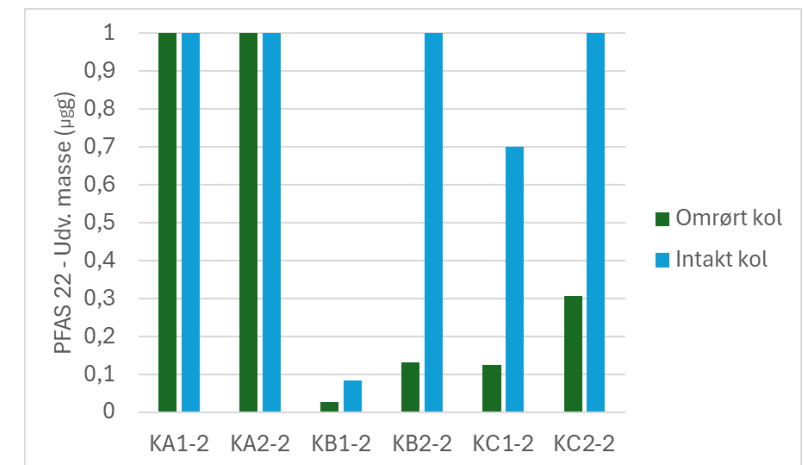
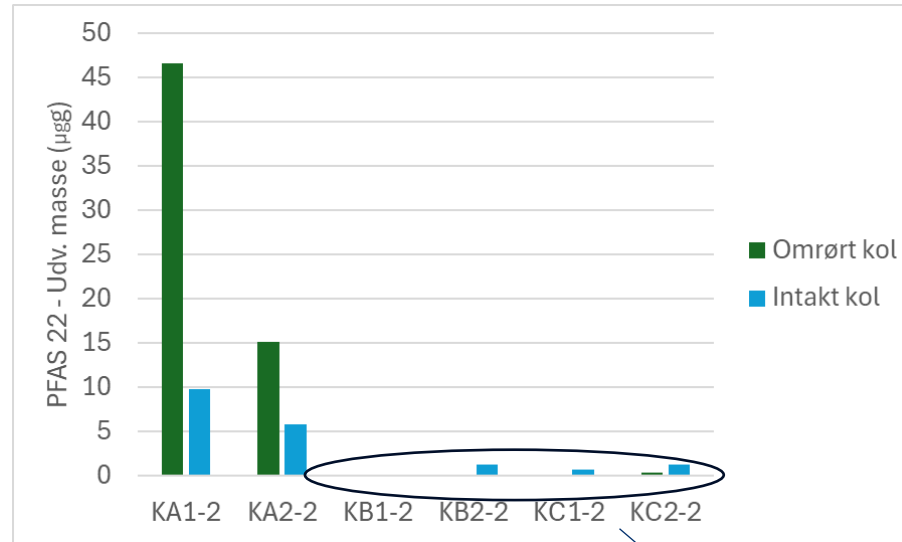


Kolonneforsøg – udvasket PFAS22

Samlet udvaskning af PFAS22

- Øget akkumuleret udvaskning af PFAS fra omrørte kolonner fra HCA Airport (leret jord).
- Ikke i samme grad tilfældet ved Grand Cykelfabrik og Vandel Flyveplads (sandet jord).

PFAS 22



Udvasknings profiler

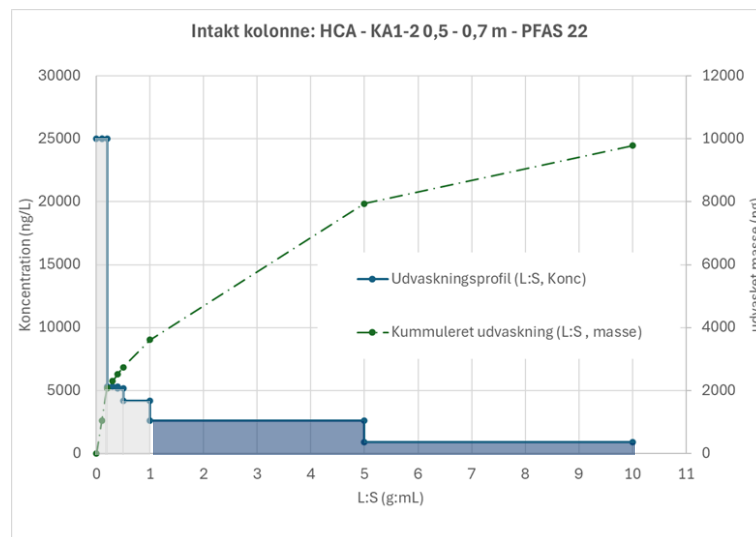
NB: forskel i grænser for y-akser

Højere koncentration af PFAS22 i eluent fra omrørt kolonne (~x5). Men også højere koncentration i jord.

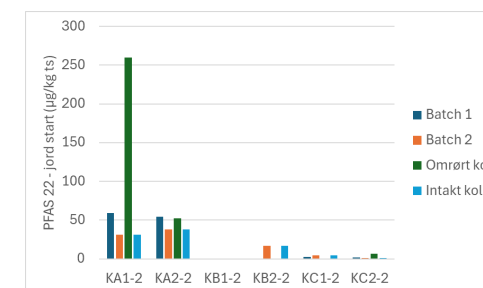
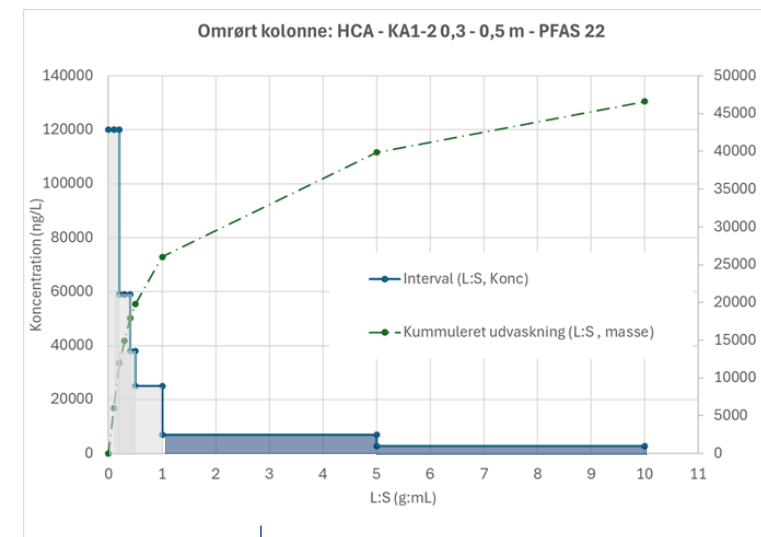
Indikation på hurtigere udvaskning fra omrørt kolonne.

HCA Airport (øvre)

Intakt kolonne



Omrørt kolonne



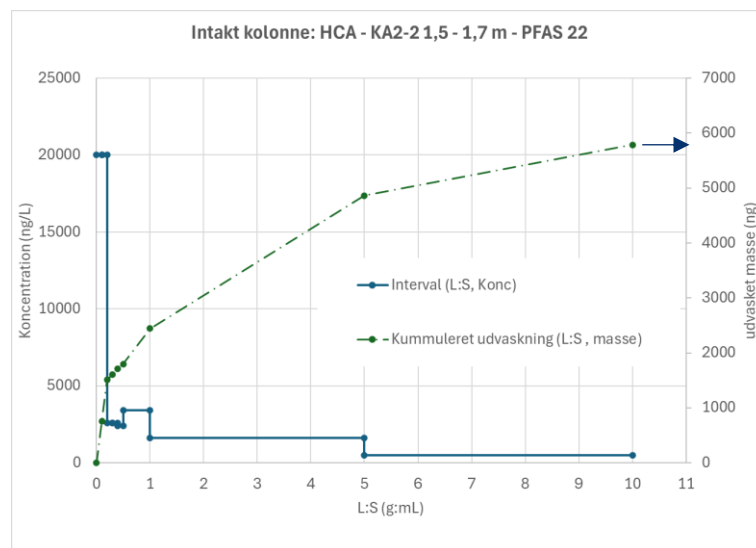
Udvasknings profiler

NB: samme grænser for y-akser

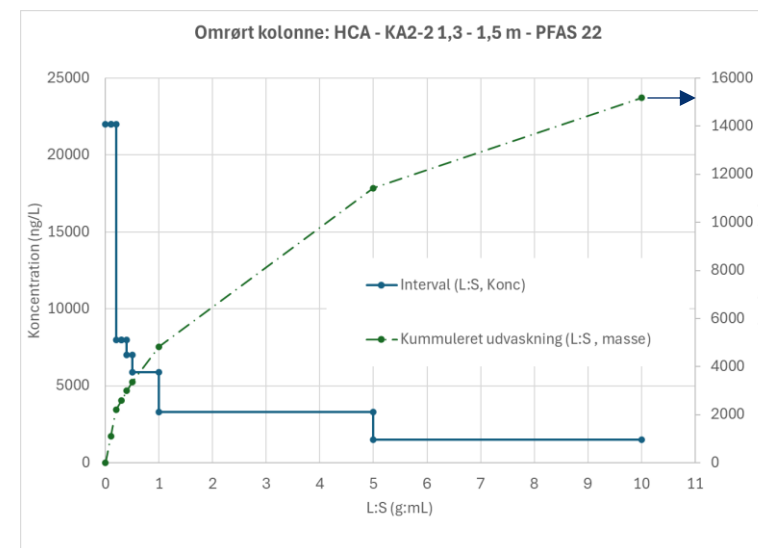
Ved mere sammenlignelige jordkoncentrationer er effekten ikke så udpræget. Men stadig samlet forøget udvasket masse ($\sim \times 2,5$).

HCA Airport (nedre)

Intakt kolonne



Omrørt kolonne



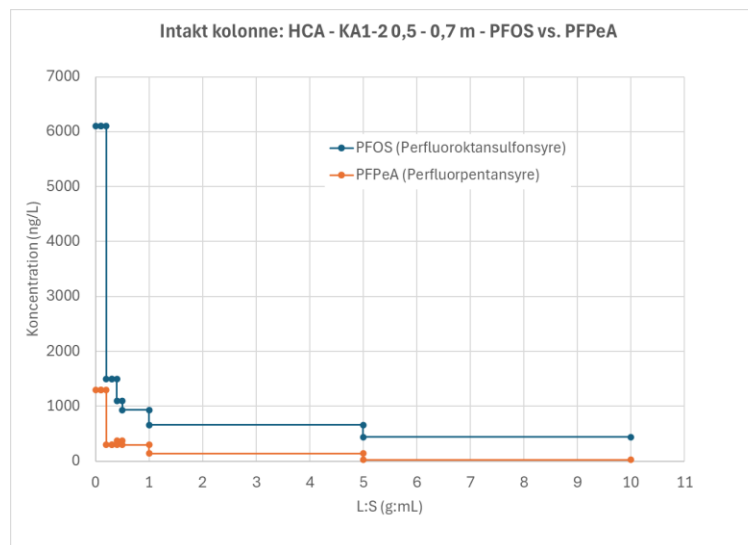
Udvasknings profiler

NB: forskel i grænser for y-akser

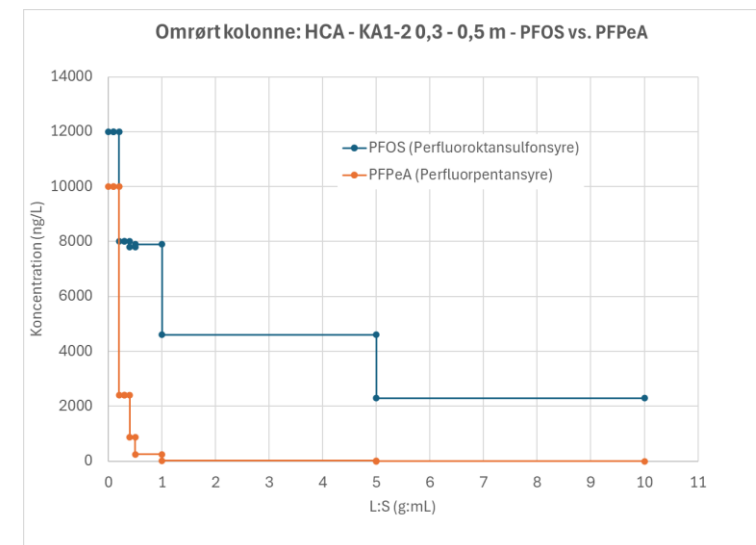
Tendens til at PFAS med kortere kæde (PFPeA, C5) mobiliseres mere i omrørt jord (sammenlignet med PFOS, C8).

HCA Airport (øvre) – PFOS (C8) vs. PFPeA (C5)

Intakt kolonne



Omrørt kolonne



Udvasknings profiler

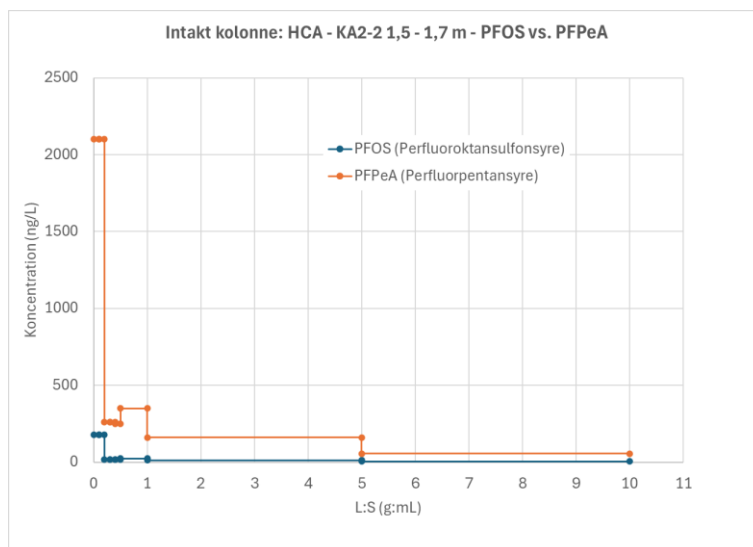
NB: forskel i grænser for y-akser

Tendens til at PFAS med kortere kæde (PFPeA, C5) mobiliseres mere i omrørt jord (sammenlignet med PFOS, C8).

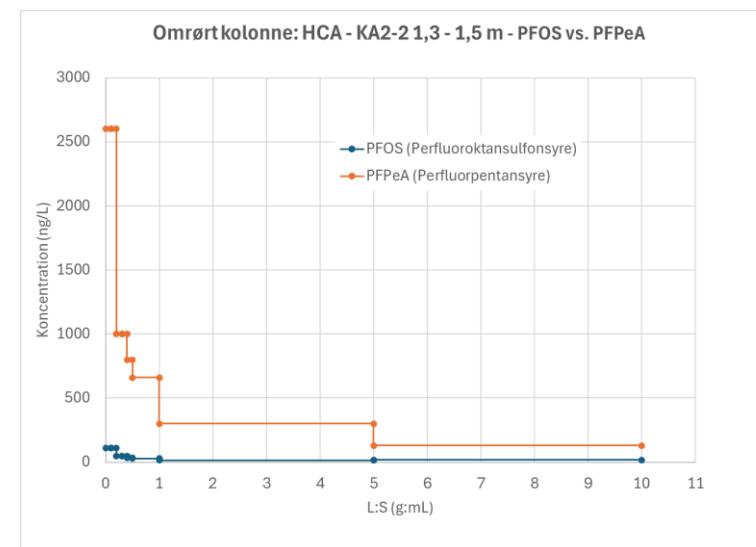
Højere koncentration af PFPeA i den nedre/dybere kerne.

HCA Airport (nedre) – PFOS (C8) vs. PFPeA (C5)

Intakt kolonne



Omrørt kolonne

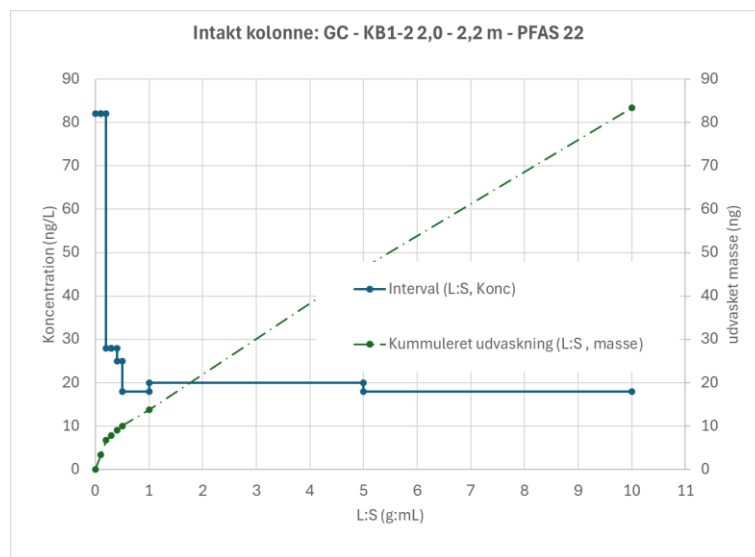


Udvasknings profiler

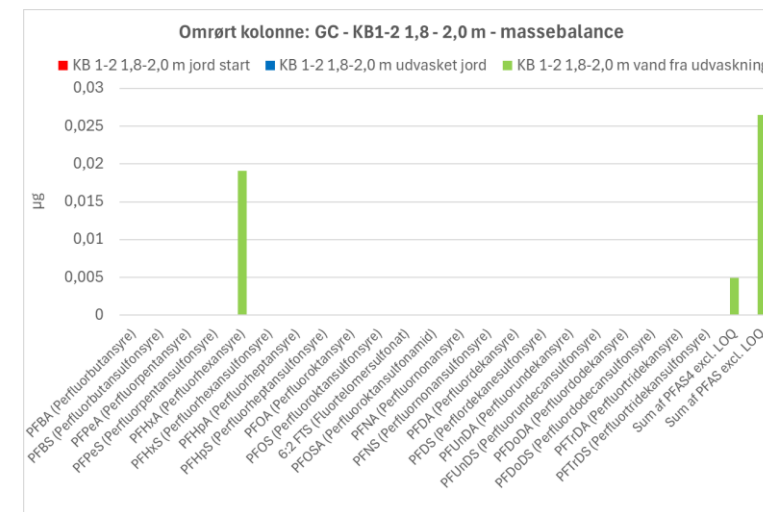
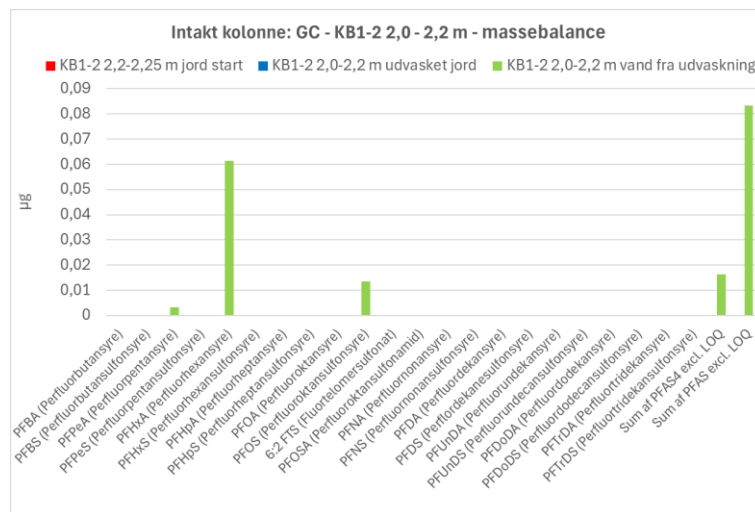
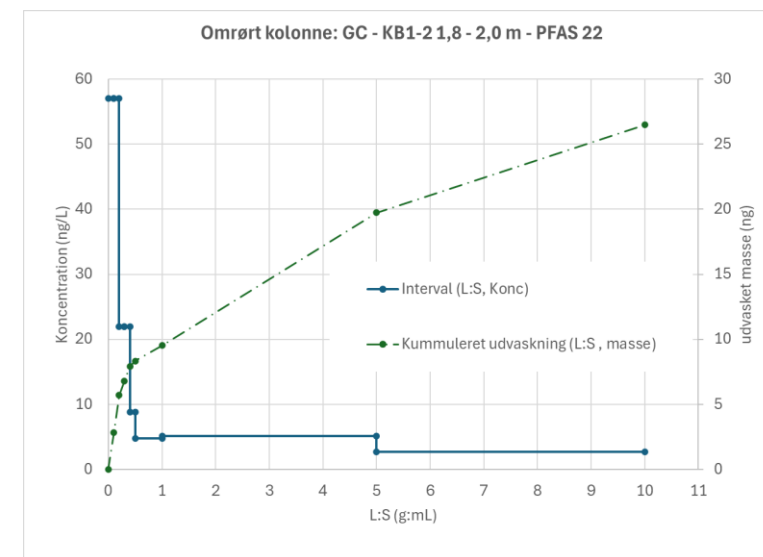
Ved lave PFAS22 koncentrationer, samme indikation på at PFAS22 udvaskes hurtigere i omrørte kolonner.

Grand Cykelfabrik – PFAS22

Intakt kolonne



Omrørt kolonne



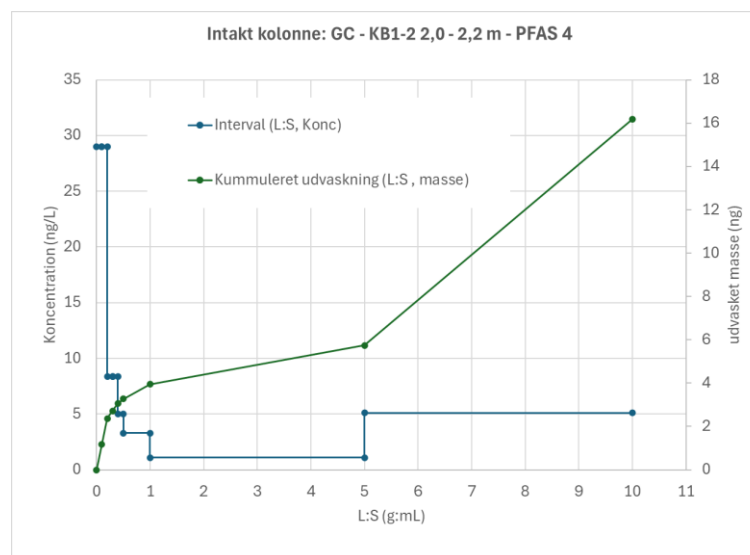
Udvasknings profiler

Ikke målbar PFAS22 i jord kan give anledning til overskridelse af PFAS4 GKK (2 ng/L).

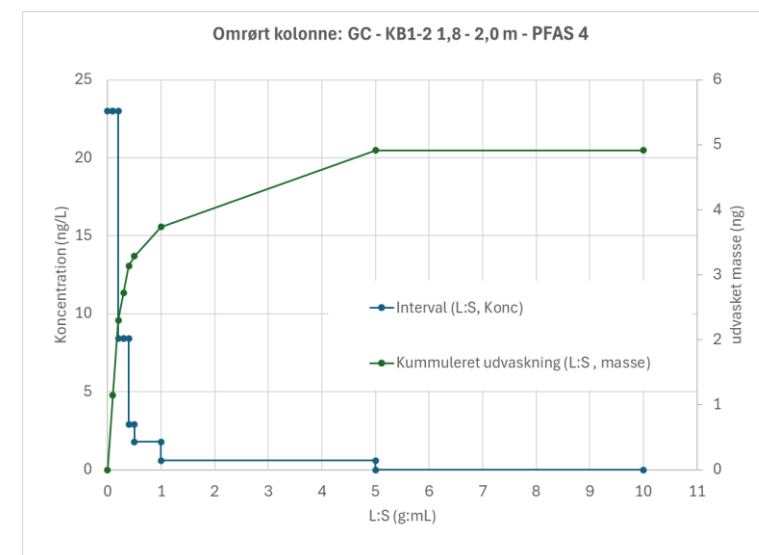
Hurtigere udvaskning i omrørt jord.

Grand Cykelfabrik – PFAS4

Intakt kolonne



Omrørt kolonne



Vand-jord kontakt

Brilliant blue farvning.

Ved leret jord tydelig visuel forskel på, hvor meget af jorden i kolonnen, som farvestoffet har været i kontakt med.

HCA Airport (øvre)

Intakt



Omrørt



Vand-jord kontakt

Brilliant blue farvning.

Ved mere sandet jord, mindre forskel og væsentlig højere grad af kontakt.

Grand Cykelfabrik (øvre)

Intakt



Vandel Flyveplads (øvre)

Intakt



Omrørt



Omrørt



Opsamling på lab-test

- Massebalancer er overvejende ok
- Indikation på, at omrørte kolonner udvaskes hurtigere end intakte kerner – mere udpræget ved leret jord (HCA Airport) end ved jord fra de to andre lokaliteter
- Indikation på, at kortkædede (PFPeA, C5) udvaskes hurtigere end langkædede (PFOS, C8)
- Ikke detekterbar PFAS22 i jord kan medføre detekterbar PFAS4 i vand i koncentrationer over grundvandskriterier (Grand Cykelfabrik)

Perspektivering og videre forløb

Vurdere **fordelingen af de enkelte PFAS stoffer** ned gennem formationen ift. kædelængde

Sammenholde de **parametre som har størst betydning for transport** under hhv. umættede og mættede forhold

Dermed vurdere **indflydelse af parametre som vandmætning, TOC, porøsitet** etc.

Sammenholde alle analyser fra felten og laboratoriet – hvad ser vi og hvad overser vi ved alm. PFAS22?

Binder PFAS sig til jorden og er det muligt at bruge de nuværende jordanalyser til at udføre en robust risikovurdering?

Rapporten forventet **færdig i løbet af sommeren 2025.**

Tak for
opmærksomheden

Spørgsmål?



Jette Kjøge Olsen
Teamleder,
Civilingeniør
JETK@ramboll.dk
Mobil: 51 61 24 06



Jens Muff
Vice institutleder, Lektor
Civilingeniør
jm@bio.aau.dk
Mobil: 99 40 35 64