

# Utlekking av perfluorerte forbindelser fra jord forurenset av brannslukningsikum

**Forfatter:** Aina Marie Nordskog

**Veiledere:** Gijsbert D. Breedveld (NGI/UiO),  
Gro D. Villanger (Avinor) og Kim Rudolph-Lund (Sweco)

**Levert:** Januar 2013



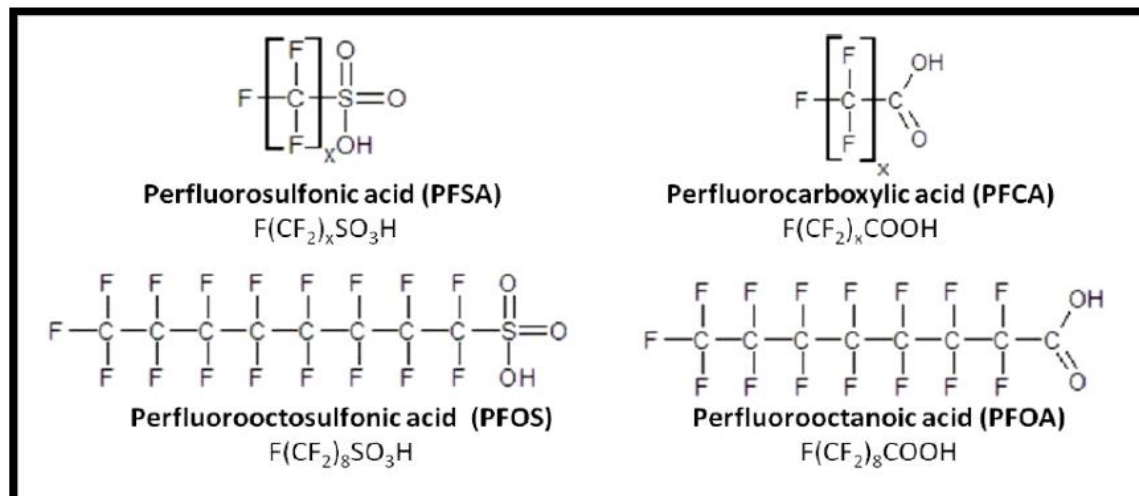
## Innhold:

- Introduksjon
- Mål
- Metoder
- Resultat og diskusjon
- Konklusjon



# Hva er perfluorerte forbindelser?

- En stor gruppe forbindelser som kan deles i mange undergrupper
- Deles inn etter type organisk funksjonell gruppe
- Sulfonater, karboksylsyrer, alkoholer, sulfonamider
- Perfluorinert alkyl hale
- Alle hydrogenene i halen er byttet ut med fluor



# Hva brukes PFC'er til?



- Polering, voks, skismøring, insektmiddel, ugressmiddel
- Overflatebelegg på tekstilprodukter som tepper og regnjakker
- Sjampo, kosmetikk, belegg i mat-emballasje, slippbelegg i kjeler og stekepanner
- Brukes også i brannslukningsskum av typen AFFF (aqueous film forming foam)



# Hvordan slippes PFC'er ut i miljøet?

- Både punktkilder og diffuse kilder
- Bruken av brannsluknings-skum ved brannøving på flyplasser
- Bruk og deponering av PFC-behandlede forbruksvarer, urban avrenning og luftforurensning i byer



# Utbredelse i miljøet

- Globalt utbredt
- Detektert i
  - ✓ Jord
  - ✓ Overflate- og grunnvann
  - ✓ Sediment
  - ✓ Luft
  - ✓ Biota
  - ✓ Arktiske strøk
- Konsentrasjoner utenfor kildeområder er vanligvis i nanogram



# Konsekvenser av PFC'er i miljøet

- Bioakkumulerende og biomagnifiserer i næringskjeder
- Veldig persistente i kroppen og i miljøet
- Funnet i prøver av humant serum, blodprøver, morsmelk, og hos nyfødte barn
- PFOS og PFOA har blitt linket til kreft i mennesker og i dyreforsøk
- Hormonforstyrrende



## Mål for oppgaven

1. Finne fordelingskoeffisienter ( $K_d$ ) for utvalgte PFC'er mellom porevann og ulike typer jord
2. Se på påvirkningen av ulike jordkarakteristikker for sorpsjon
3. Bestemme utlekking av utvalgte PFC'er fra uforstyrrede jordprofiler



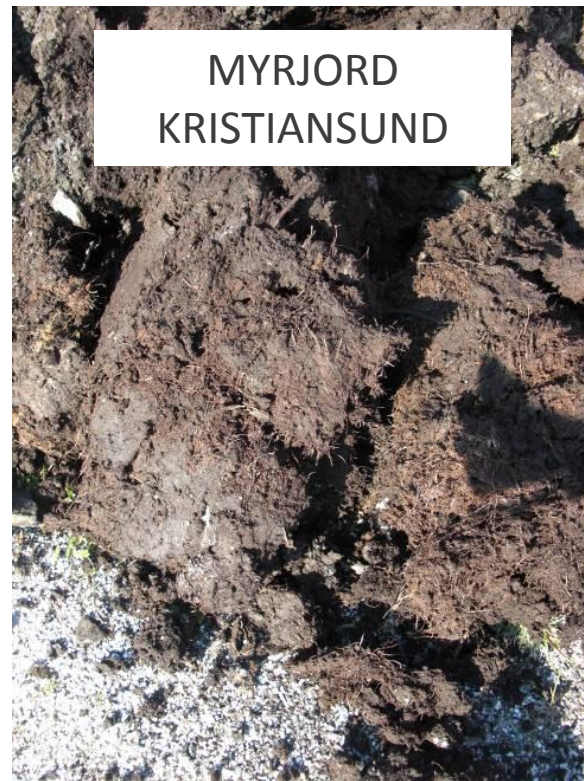


# Brannøvingsfelter



# Jordprøver

- Tre ulike jordarter



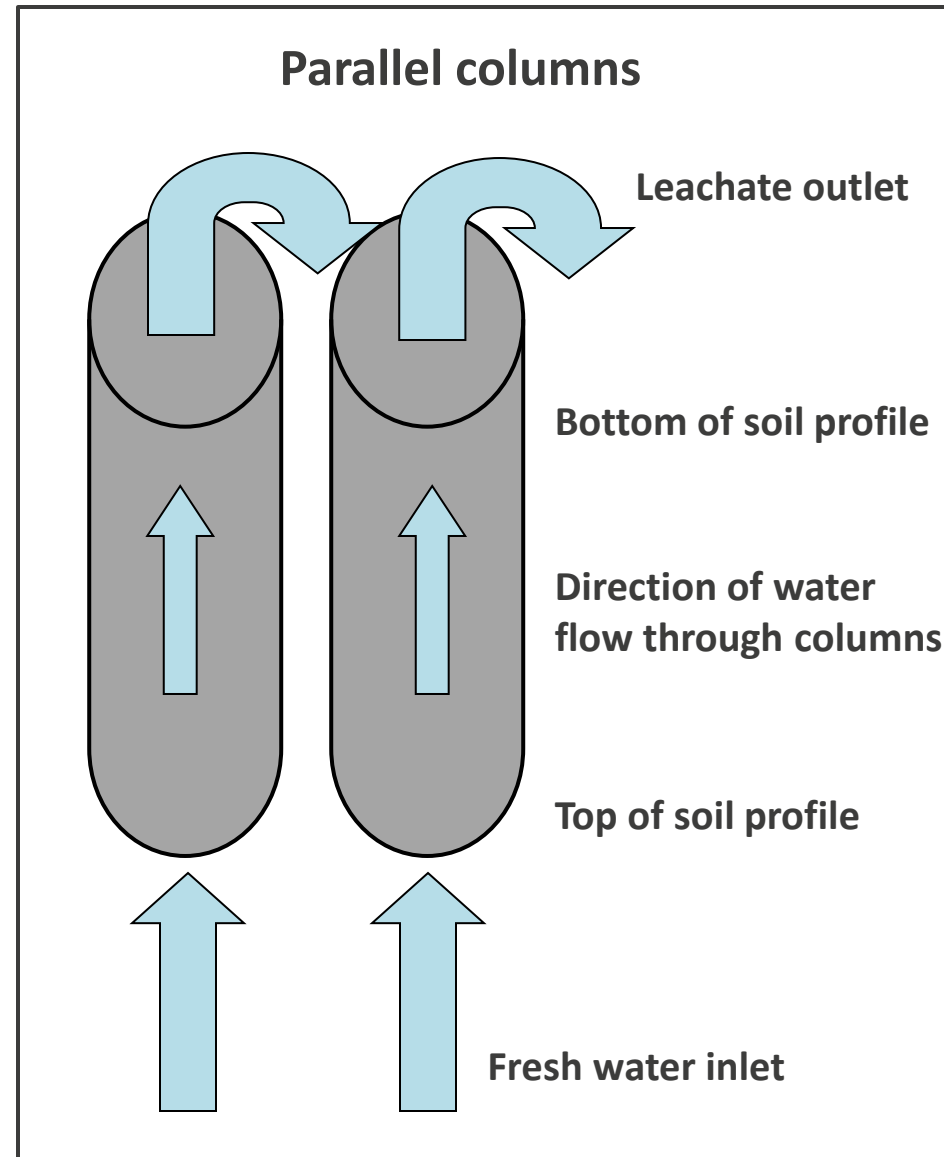
# Risteforsøk

- Syv ulike jordprøver
- Fordelingskoeffisienter ( $K_d$ ) ble bestemt i triplikat
- Jord og vann blandet (L/S 10) og ristet i 10 dager for å oppnå likevekt
- Vannet filtrert gjennom glassfiberfilter (GF/C Whatman glasfiber filters)



# Kolonneforsøk

- Utlekking fra uforstyrrede jordprofiler utført i paralleller
- Ferskvann infiltrert i kolonnene (L/S 10)
- Kontinuerlig oppsamling av sigevann



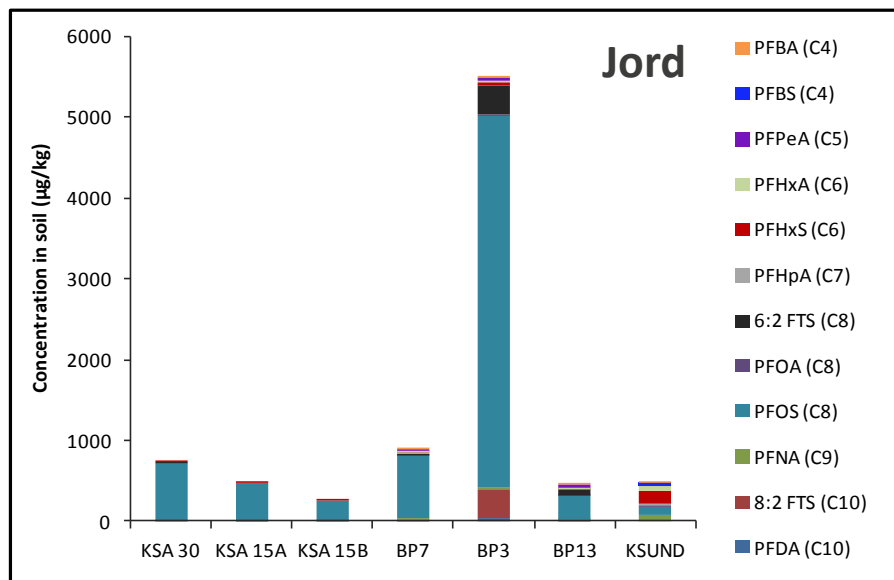
# Jordkarakterisering

Parameter	KSA 30	KSA 15 A	KSA 15 B	BP7	BP3	BP13	KSUND
Soil type	Sand			Organic rich forest soil			Natural peat
Training station active	1985-1998	Until 1985		From 1995			Until 2004
Depth of sampling (cm)	80-100	50	80-85	10-20	0-10	0-15	200-250
TOC %	0.21	1.66	1.36	8.55	9.51	45.7	43.2
Water content %	10.9	18.4	17.1	62.1	117	328	383
foc	0.002	0.017	0.014	0.085	0.095	0.457	0.432
Ca (mg/kg dw)	970	1167	937	2867	2800	3567	7500
ΣPFC concentration in soil excl. LOQ (µg/kg dw)	733	490	268	905	5501	464	477



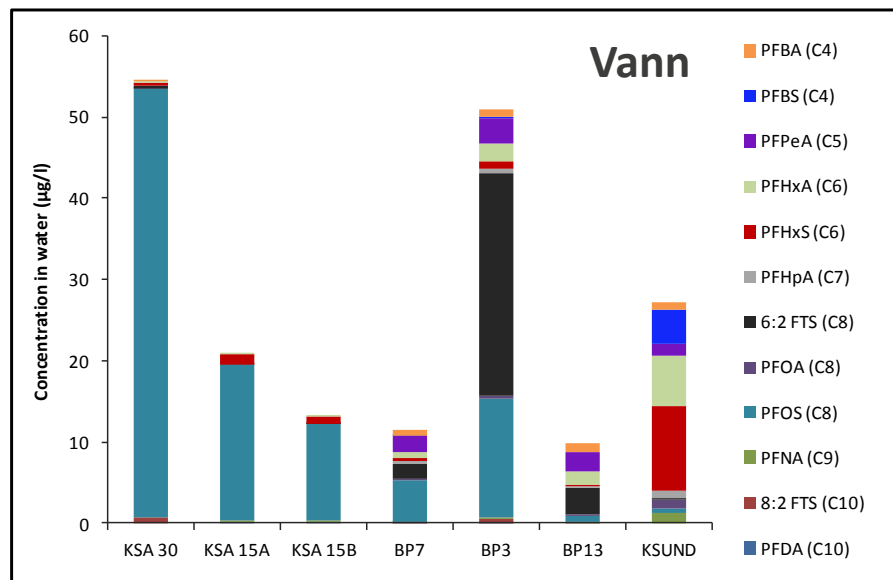
Økende TOC nivå

# Risteforsøk: PFC konsentrasjoner i jord og vann



## Jord

- Prøve BP3 med organisk rik skogsjord fra Bergen hadde høyest total konsentrasjon (5501 µg/kg)
- Prøve KSA 15B med sand fra Kristiansand hadde lavest total konsentrasjon (268 µg/kg)



## Vann

- Prøve KSA 30 med sand fra Kristiansand hadde høyest total konsentrasjon (54.7 µg/l)
- Prøve BP13 med organisk rik skogsjord fra Bergen hadde lavest total konsentrasjon (9.82 µg/l)

# Jord-vann fordelingskoeffisienter (Kd verdier)

Kd values (l/kg)							
Compounds	KSA 30	KSA 15A	KSA 15B	BP7	BP3	BP13	KSUND
PFBA (C4)	< 6.67	-	-	15.1	13.7	11.2	7.34
PFBS (C4)	-	-	-	< 175	< 35	n.d	7.43
PFPeA (C5)	-	-	-	11.7	11.3	11.6	6.67
PFHxA (C6)	< 20	< 66.7	< 40	14.5	12.8	14.4	8.42
PFHxS (C6)	15.2	8.13	8.53	37.7	31.1	60.4	15.5
PFHpA (C7)	-	-	-	17.7	14.6	18.9	11.1
6:2 FTS (C8)	13.4	< 37.5	< 150	15.7	13.0	22.1	< 54.4
PFOA (C8)	< 16.7	-	< 117	30.9	70.4	54.9	17.8
PFOS (C8)	13.5	24.6	21.2	153	312	332	202
PFNA (C9)	-	31.9	21.3	66.0	145	119	57.0
8:2 FTS (C10)	14.2	-	-	220	711	294	-
PFDA (C10)	-	36.0	28.2	354	753	>212	-

Økende TOC nivå



# Jord-vann fordelingskoeffisienter (Kd verdier)

Kd values (l/kg)							
Compounds	KSA 30	KSA 15A	KSA 15B	BP7	BP3	BP13	KSUND
PFBA (C4)	< 6.67	-	-	15.1	13.7	11.2	7.34
PFBS (C4)	-	-	-	< 175	< 35	n.d	7.43
PFPeA (C5)	-	-	-	11.7	11.3	11.6	6.67
PFHxA (C6)	< 20	< 66.7	< 40	14.5	12.8	14.4	8.42
PFHxS (C6)	15.2	8.13	8.53	37.7	31.1	60.4	15.5
PFHpA (C7)	-	-	-	17.7	14.6	18.9	11.1
6:2 FTS (C8)	13.4	< 37.5	< 150	15.7	13.0	22.1	< 54.4
PFOA (C8)	< 16.7	-	< 117	30.9	70.4	54.9	17.8
PFOS (C8)	13.5	24.6	21.2	153	312	332	202
PFNA (C9)	-	31.9	21.3	66.0	145	119	57.0
8:2 FTS (C10)	14.2	-	-	220	711	294	-
PFDA (C10)	-	36.0	28.2	354	753	>212	-



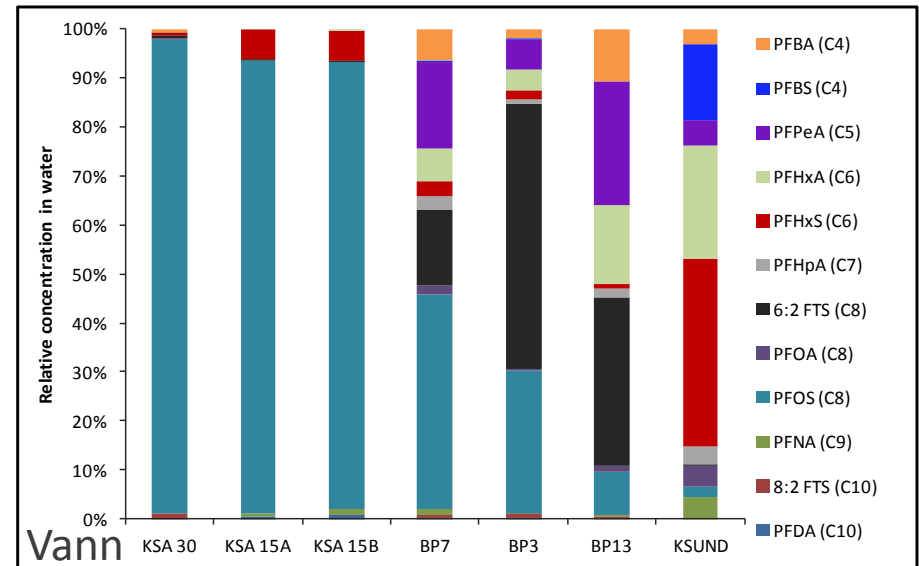
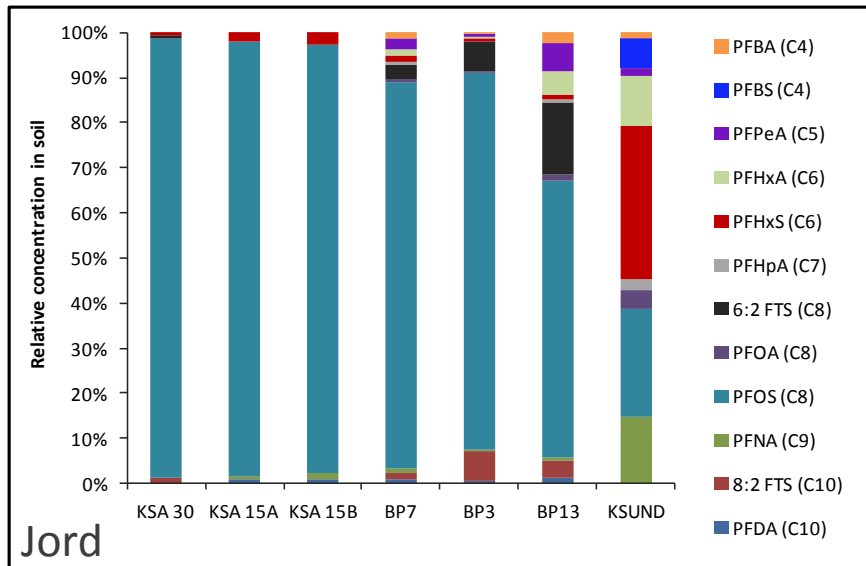
Økende Kjedelengde



# Jord-vann fordelingskoeffisienter (Kd verdier)

Kd values (l/kg)							
Compounds	KSA 30	KSA 15A	KSA 15B	BP7	BP3	BP13	KSUND
PFBA (C4)	< 6.67	-	-	15.1	13.7	11.2	7.34
PFBS (C4)	-	-	-	< 175	< 35	n.d	7.43
PFPeA (C5)	-	-	-	11.7	11.3	11.6	6.67
PFHxA (C6)	< 20	< 66.7	< 40	14.5	12.8	14.4	8.42
PFHxS (C6)	15.2	8.13	8.53	37.7	31.1	60.4	15.5
PFHpA (C7)	-	-	-	17.7	14.6	18.9	11.1
6:2 FTS (C8)	13.4	< 37.5	< 150	15.7	13.0	22.1	< 54.4
PFOA (C8)	< 16.7	-	< 117	30.9	70.4	54.9	17.8
PFOS (C8)	13.5	24.6	21.2	153	312	332	202
PFNA (C9)	-	31.9	21.3	66.0	145	119	57.0
8:2 FTS (C10)	14.2	-	-	220	711	294	-
PFDA (C10)	-	36.0	28.2	354	753	>212	-

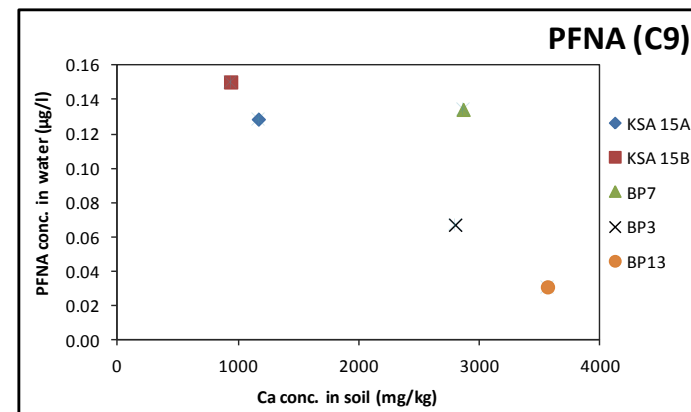
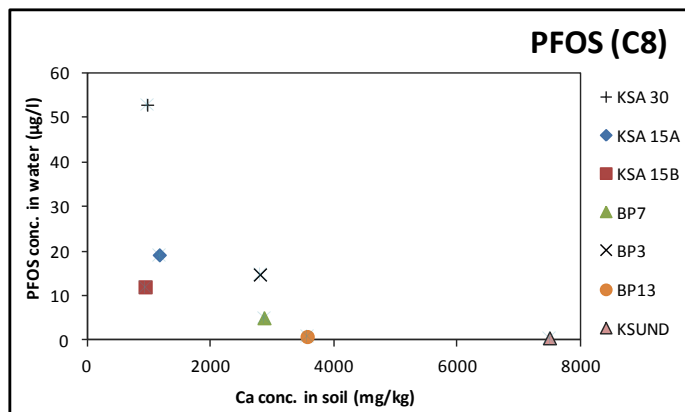
# Relativ fordeling i jord og vann



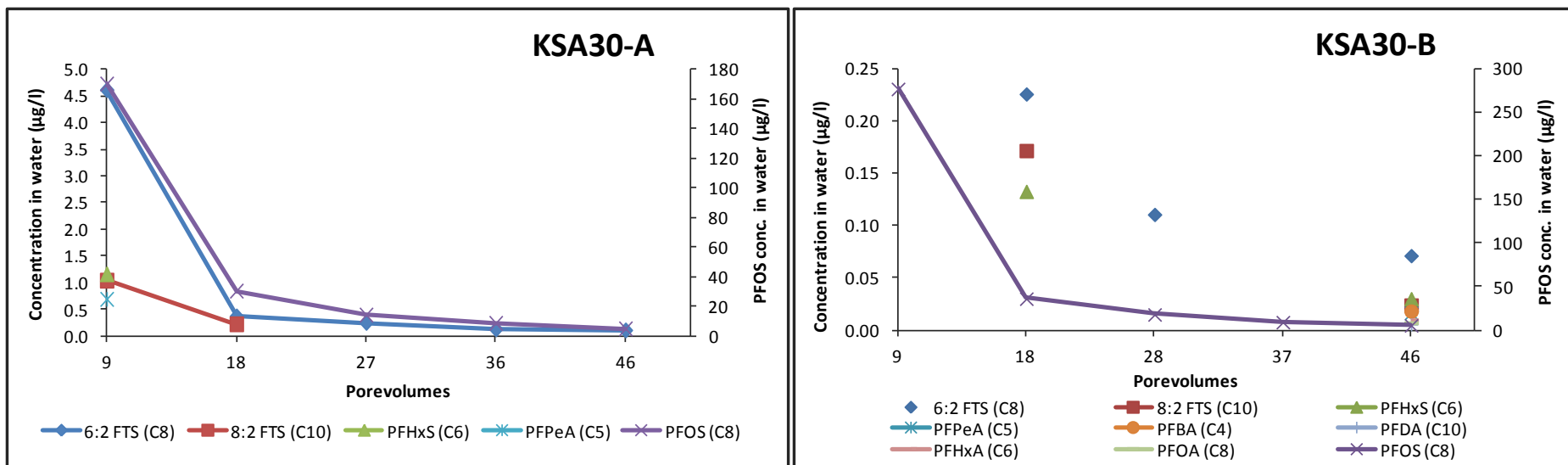
- Forbindelser med lengere kjedelengde hadde høyere relativ fordeling i jord enn i vann
- Forbindelser med kort kjedelegde hadde høyere relativ fordeling i vann enn i jord
- PFOS dominerte kun i vannprøver fra jord med lav TOC
- Kortkjededede forbindelser dominerte i vannprøver fra jord med høyere TOC nivå

# Forholdet mellom innhold av kalsium og innhold av PFC'er i vann

- Konsentrasjoner av forbindelser med lang kjedelengde ( $\geq C8$ ) i vannfasen minket med økende innhold av kalsium i jord
- Dette kan ha en sammenheng med økt positiv ladning på mineraloverflaten ved høyt kalsiuminnhold i jord

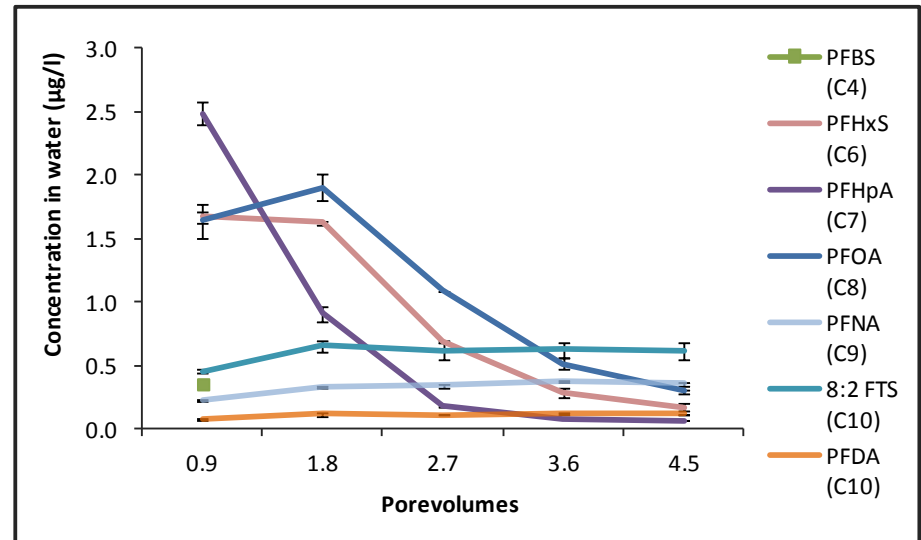
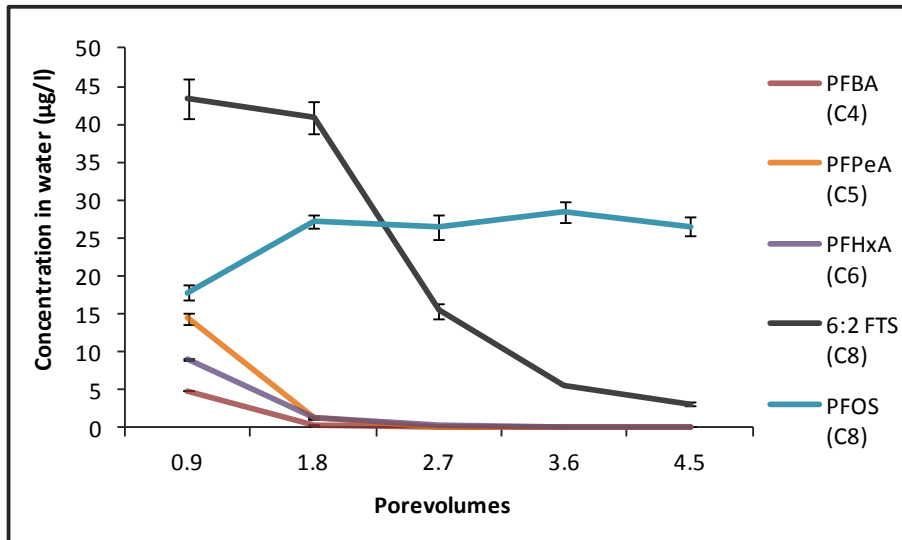


# PFC i sigevann fra kolonner, Ksand



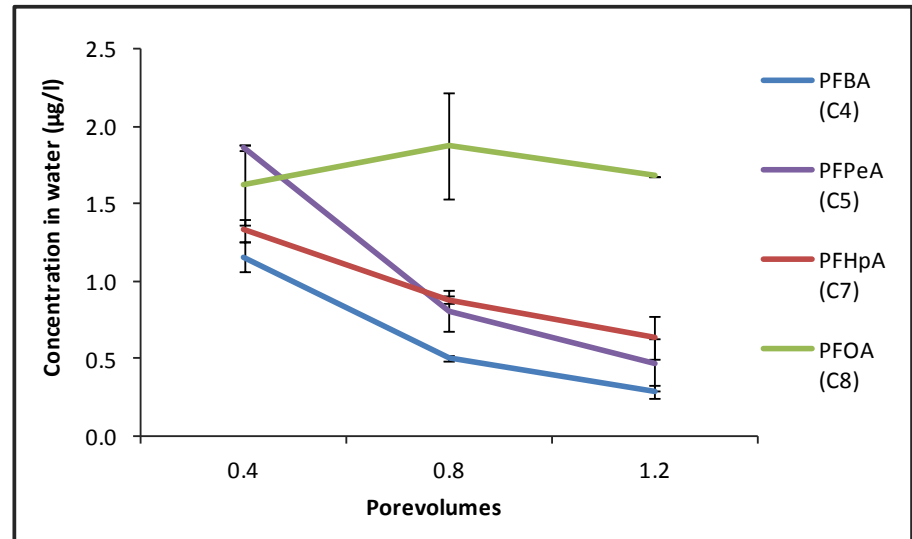
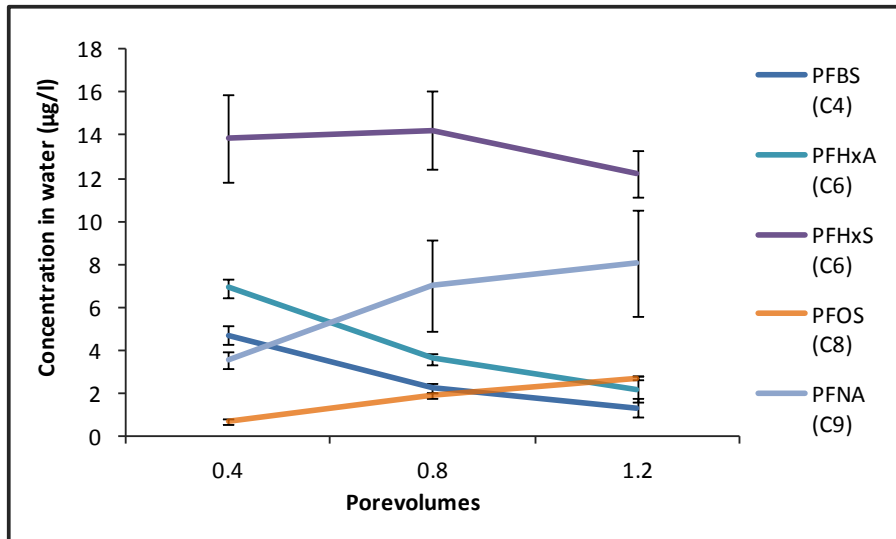
- Stor forskjell mellom parallelle kolonner i de første sigevannsprøvene
- PFOS hadde høyest konsentrasjon i alle sigevannsprøvene
- Total PFC konsentrasjon minket over tid
- 46 porevolum og en gjennomsnittts vannhastighet på 39 ml/t

# PFC i sigevann fra kolonner, Bergen



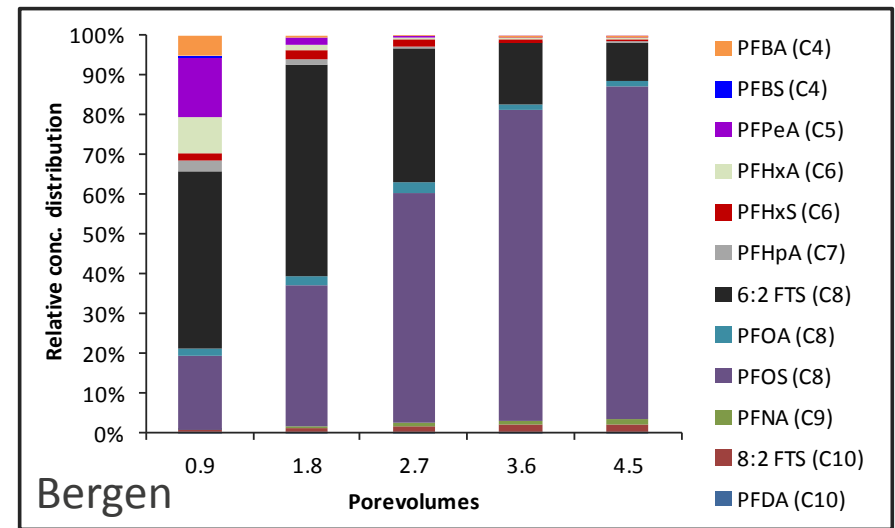
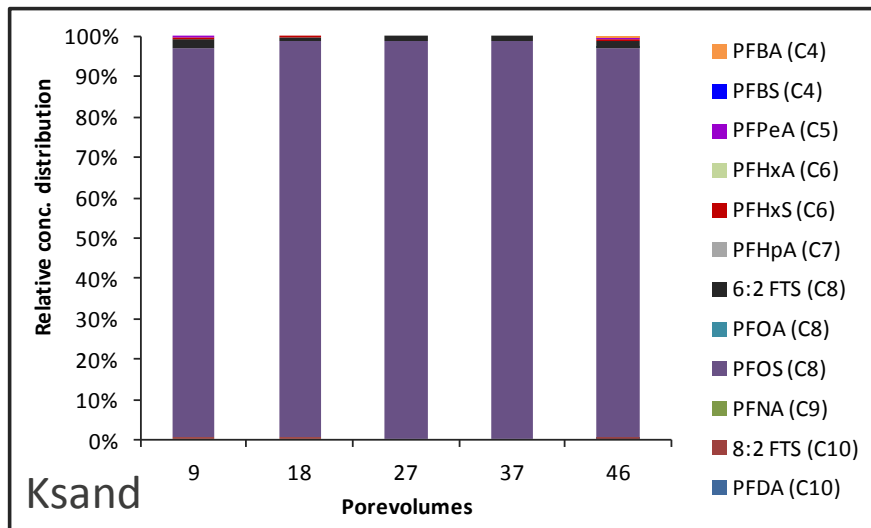
- God reproduserbarhet mellom de parallelle kolonnene
- Forbindelsene med kort kjedelengde lakk ut raskest
- Forbindelsene med lang kjedelengde lakk ut med lavere hastighet
- 4.5 porevolum og en gjennomsnitts vannhastighet på 12.8 ml/t

# PFC i sigevann fra kolonner, Ksund

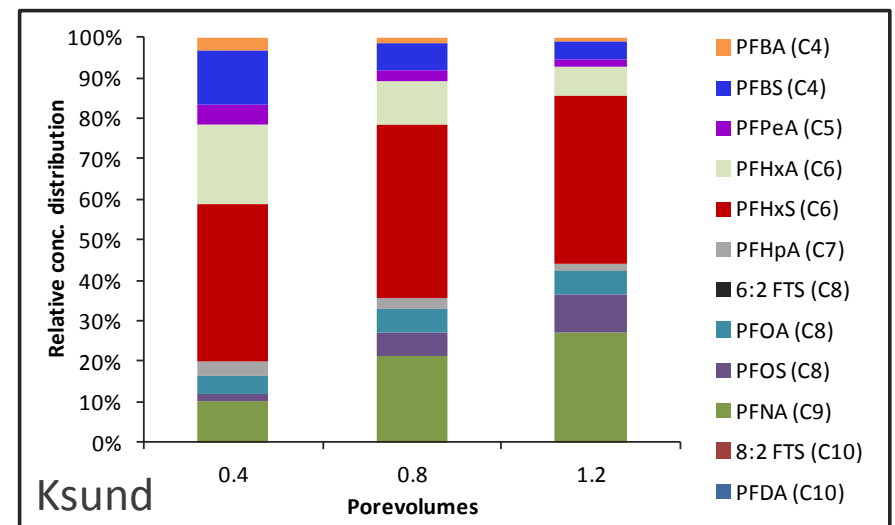


- Relativt god reproduserbarhet mellom de parallelle kolonnene
- Forbindelsene med lang kjedelengde lakk ut med lavere hastighet
- Lavere hastighet på utlekkingen kan være påvirket kalsiuminnholdet i jorda
- 1.2 porevolum og en gjennomsnitts vannhastighet på 3.8 ml/t

# Prosentvis fordeling av PFC'er i sigevann over tid



- De kortkjedede forbindelsene ble ikke holdt tilbake i jorden
- Forbindelsene med lengre kjedelengde hadde økende grad av utlekking over tid



# Konklusjon

- Lengden på karbon kjeden til forbindelsene var veldig viktig for utlekkingen
- Kd økte med økende karbon kjede, og økende TOC nivå i jorda
- De sulfoniske forbindelsene PFOS og PFHxS hadde høyere sorpsjon i jord enn karboksylsyrer av samme kjedelengde
- Forbindelser med lang kjedelengde (>C8) var sterkere tilbakeholdt i jord med høyere kalsium innhold



# Takk for oppmerksomheten!

Takk til

Avinor for finansiering av prosjektet

NGI for bruk av deres miljølab

Sweco og Cowi for hjelp under feltarbeidet

