

Diffus forurening med PFAS i danske jorde

PFAS taskforce projekt

Oplægsholder: Bjarne W. Strobel

KØBENHAVNS UNIVERSITET



Diffus forurening og i forvejen forekommende niveauer af PFAS i danske jorde

Miljøprojekt nr. 2292

Februar 2025

Bjarne W. Strobel

- Lektor i miljøkemi på Københavns Universitet
- Fokus på kemiske stoffer i jord og vand – spredning og forekomst i det åbne land
- Menneskeskabte kemisk stoffer og naturligt producerede stoffer i planter som spredes og har uønsket effekt i jord og vandløb
- Processer der forklarer reaktion og mobilitet af kemiske stoffer, f.eks. sorption og nedbrydning
- Løsninger til at reducere spredning og effekter i vegetation og vandløb
- Jordbunds kemi, jordtyper og vandkvalitet
- Underviser i miljø og naturressourcer



PFAS 22 stoffer

Diffus forurening af PFAS22 stoffer

Jordkvalitetskriterier

Σ PFAS4 : max 10 µg/kg ts

Σ PFAS22 : max 400 µg/kg ts



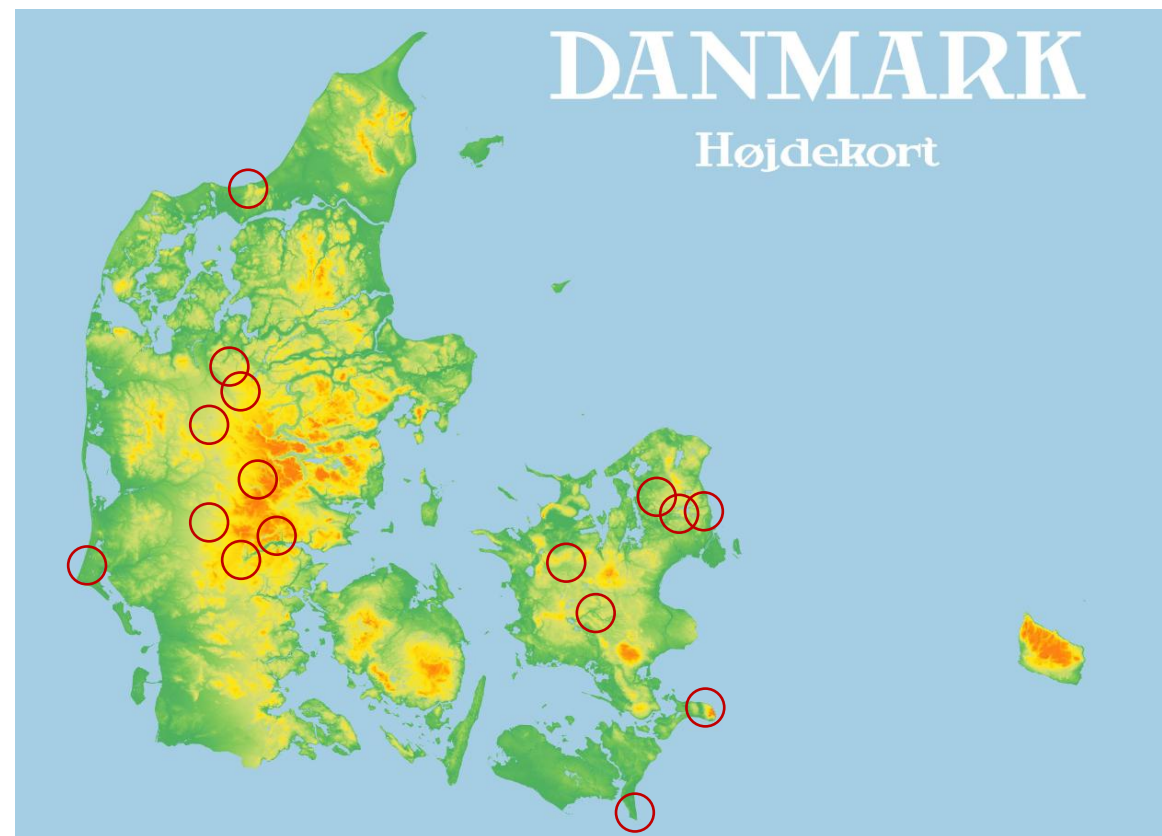
PFAS

Antal fund Lavest Højest

Komponent	LOD	Antal Fund	Lavest	Højest
	µg/kg ts	n=92	µg/kg ts	µg/kg ts
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	<0,04	1	0,061	0,061
PFHxA (Perfluorhexansyre)	< 0,03	33	0,033	0,140
PFHpA (Perfluorheptansyre)	< 0,03	47	0,031	0,560
PFDA (Perfluordekansyre)	< 0,10	12	0,110	1,100
PFUnDA (Perfluorundekansyre)	< 0,10	13	0,100	0,820
PFDoDA (Perfluordodekansyre)	< 0,10	3	0,130	0,180
6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)	< 0,06	3	0,096	0,570
PFBA (Perfluorbutansyre)	< 0,10	53	0,100	3,800
PFPeA (Perfluorpentansyre)	< 0,03	22	0,030	0,200
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	< 0,03	2	0,054	0,062
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	< 0,10	1	0,130	0,130
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	< 0,03	- ²		
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	< 0,10	-		
PFNS (Perfluornonansulfonsyre)	< 0,20	-		
PFDoDS (Perfluordodekansulfonsyre)	< 1,00	-		
PFUnDS (Perfluorundekansulfonsyre)	< 1,00	-		
PFTTrDS (Perfluortridekansulfonsyre)	< 1,00	-		
PFHxS (perfluorhexansulfonsyre), ¹ Lineær+forgrenet	< 0,03	4	0,054	0,260
PFNA (perfluornonansyre) ¹ Lineær+forgrenet	< 0,03	67	0,031	1,200
PFOA (Perfluoroktansyre) ¹ Lineær+forgrenet	< 0,03	85	0,032	3,900
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre) ¹ Lineær+forgrenet	< 0,06	81	0,090	19,000
PFOSA (perfluoroktansulfonamid), Lineær+forgrenet	< 0,10	-		
Sum 22 PFAS jord (lineær+forgrenet)		90	0,035	30,0
Sum 4 PFAS jord (lineær+forgrenet)		90	0,035	24,0

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFBS	0,06	0,06	0,06	1
PFHxA	0,05	0,03	0,13	26
PFHpA	0,06	0,03	0,56	42
PFDA	0,19	0,11	1,10	12
PFUnDA	0,13	0,10	0,82	13
PFDODA	0,16	0,13	0,18	2
6:2 FTS	0,18	0,10	0,57	3
PFBA	0,27	0,10	3,80	49
PFPeA	0,05	0,03	0,20	22
PFHpS	0,07	0,05	0,09	2
PFTTrDA	0,13	0,13	0,13	1
PFHxS	0,13	0,05	0,26	4
PFNA	0,07	0,03	1,20	61
PFOA	0,15	0,03	3,90	67
PFOS	0,42	0,09	19,00	72
Sum PFAS22	0,91	0,15	30,00	72
Sum PFAS4	0,58	0,15	24,00	72

Overblik 72 jorde 0-5 cm dybde



Arealanvendelser – samme niveau

Landbrug

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFHxA	0,06	0,03	0,10	9
PFHpA	0,07	0,03	0,21	14
PFDA	0,12	0,12	0,12	1
PFUnDA	0,11	0,11	0,11	1
PFBA	0,27	0,10	0,95	12
PFPeA	0,04	0,03	0,09	4
PFNA	0,07	0,03	0,20	15
PFOA	0,16	0,04	0,43	17
PFOS	0,22	0,14	3,30	18
Sum PFAS22	0,87	0,17	3,40	18
Sum PFAS4	0,47	0,17	3,40	18

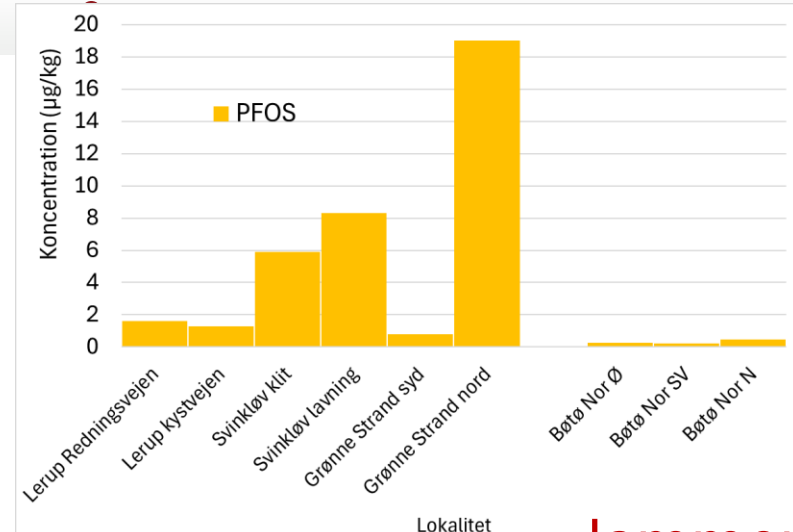
Lysåben natur (tør)

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFHxA	0,09	0,04	0,13	2
PFHpA	0,04	0,04	0,18	9
PFBA	0,17	0,11	0,94	15
PFPeA	0,05	0,04	0,15	3
PFNA	0,05	0,03	0,17	16
PFOA	0,11	0,03	0,29	16
PFOS	0,24	0,13	0,99	20
Sum PFAS22	0,63	0,21	2,90	20
Sum PFAS4	0,40	0,17	1,50	20

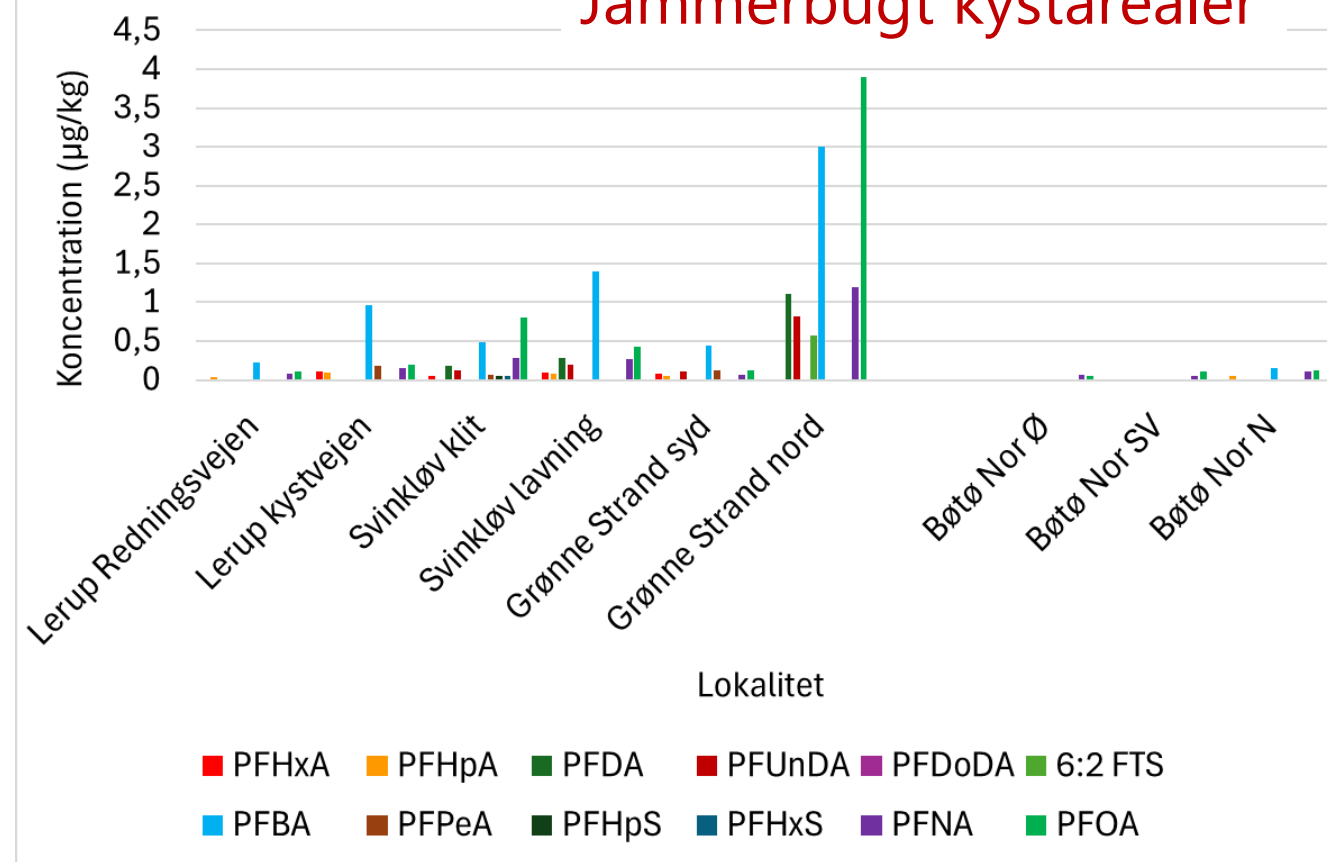
Enge i ådale

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFHxA	0,05	0,03	0,10	5
PFHpA	0,08	0,04	0,41	9
PFDA	0,12	0,11	0,17	3
PFUnDA	0,10	0,10	0,15	3
PFDoDA	0,18	0,18	0,18	1
6:2 FTS	0,18	0,18	0,18	1
PFBA	0,32	0,12	0,95	8
PFPeA	0,04	0,04	0,09	5
PFNA	0,09	0,04	0,22	12
PFOA	0,20	0,04	0,44	13
PFOS	0,31	0,21	1,90	13
Sum PFAS22	1,00	0,32	3,20	13
Sum PFAS4	0,83	0,32	2,60	13

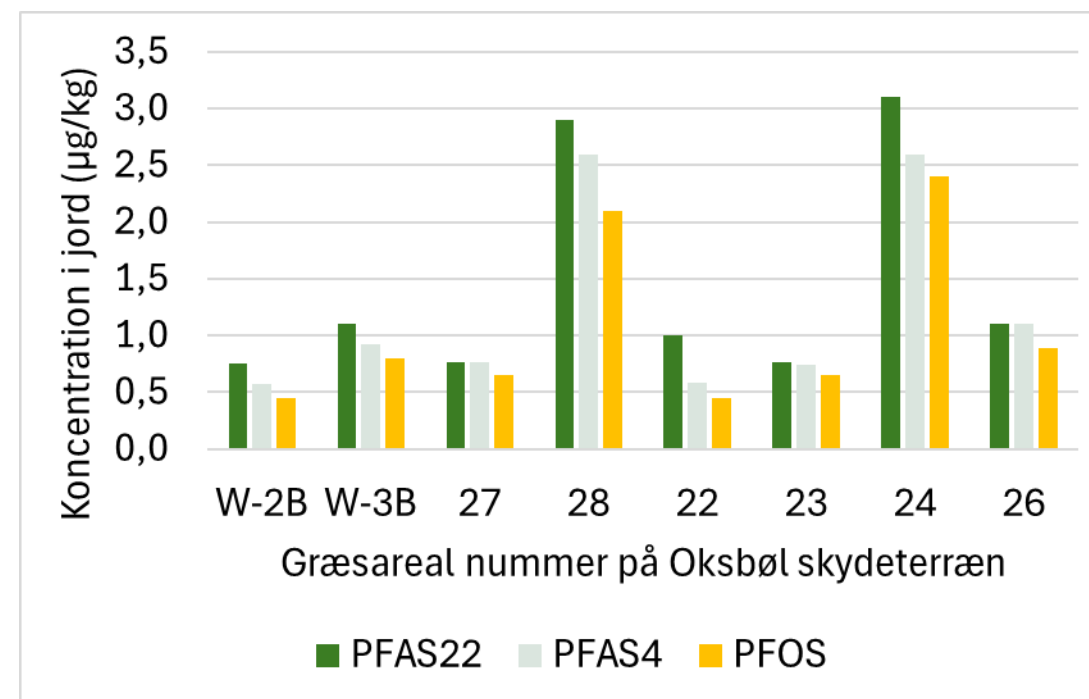
Kystnære arealer



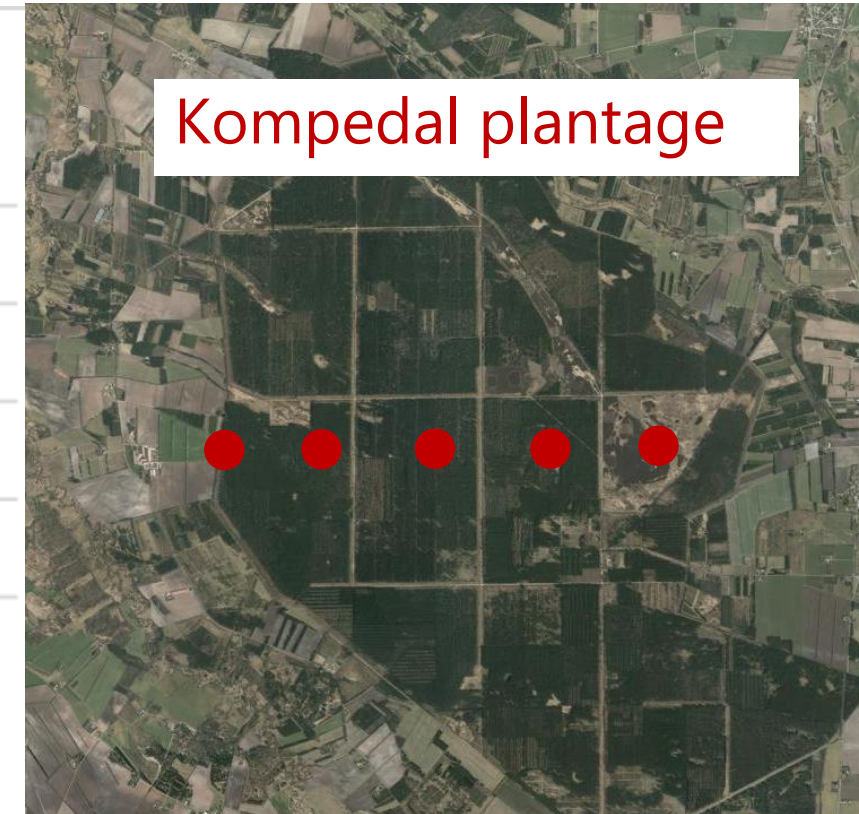
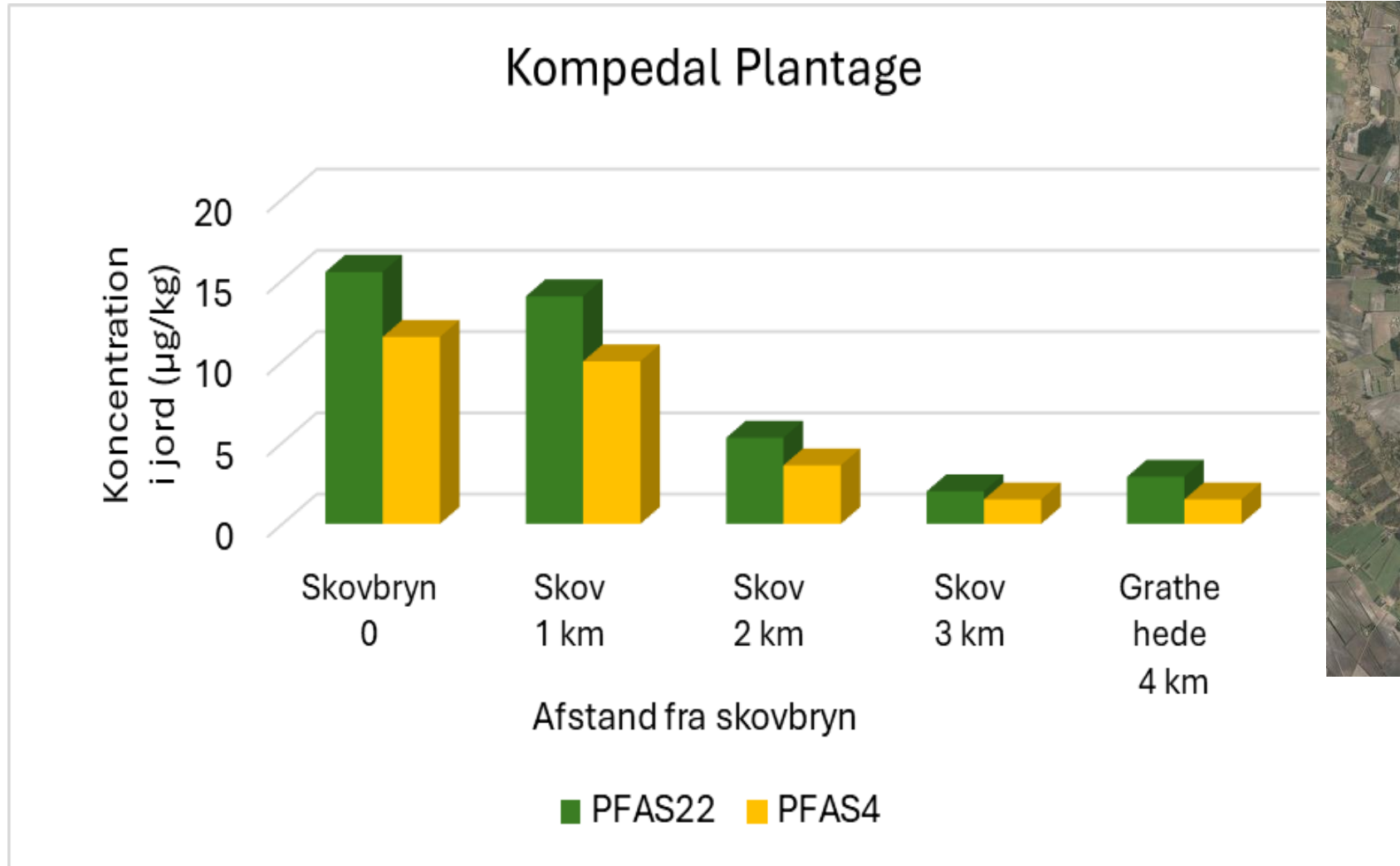
Jammerbugt kystarealer



Oksbøl græsarealer

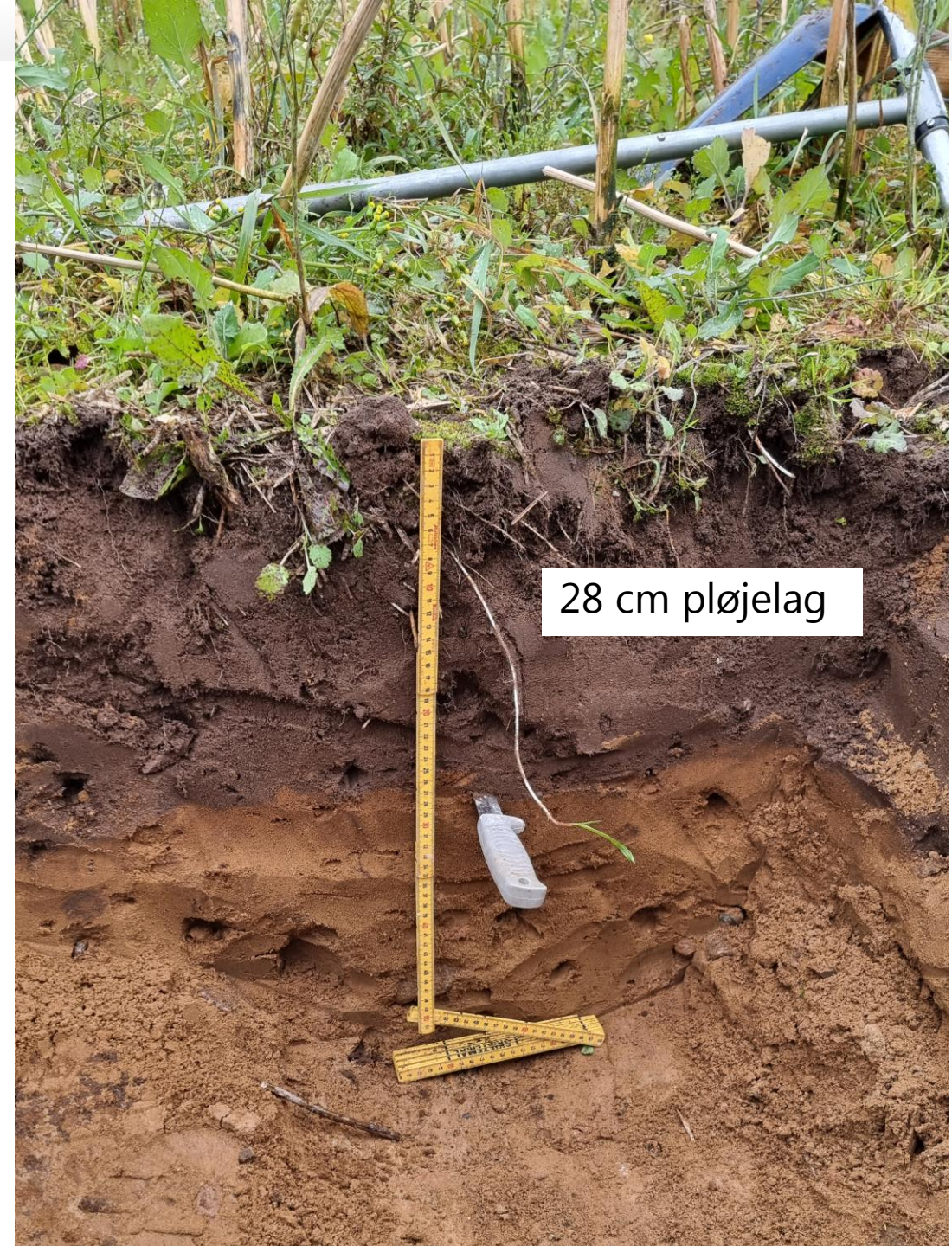
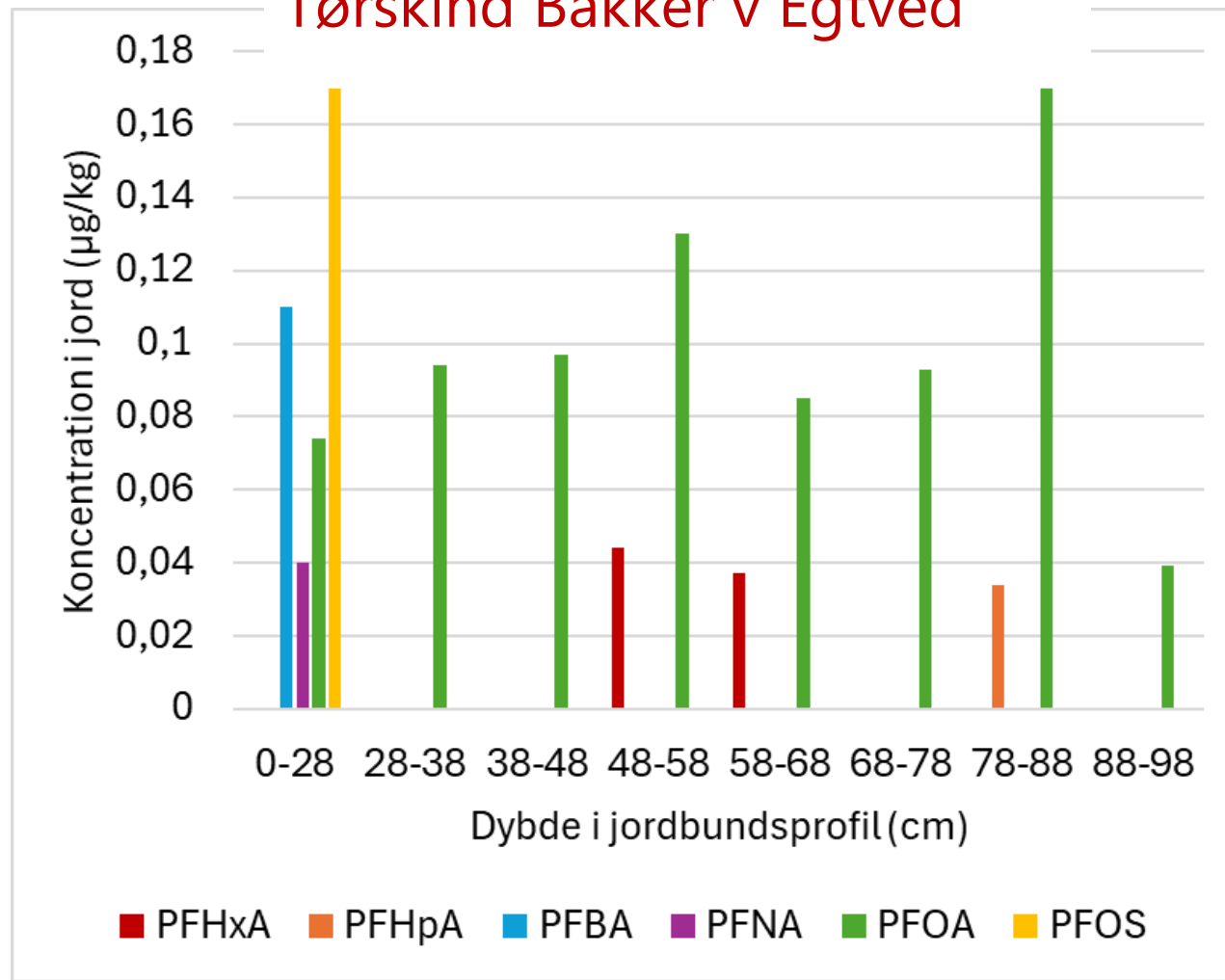


Luftfiltrering i skovbryn – dominerende vestenvind



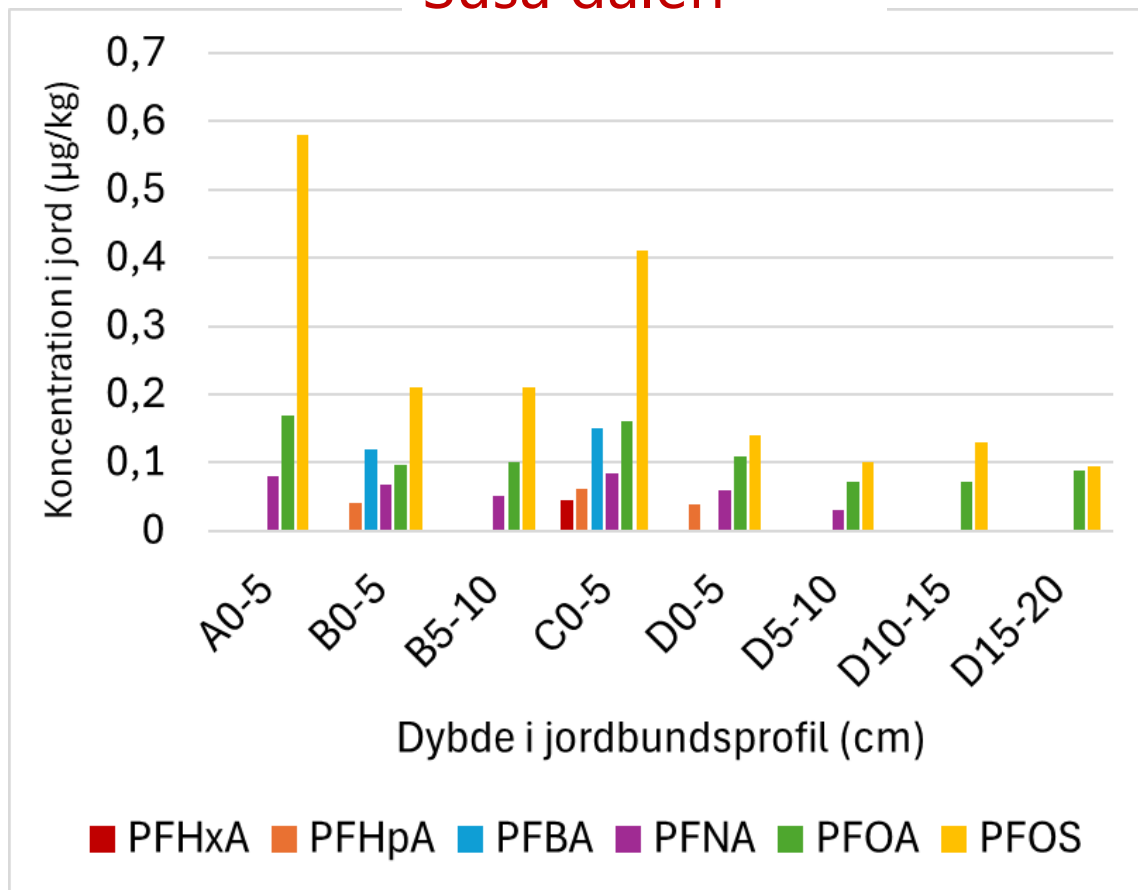
Fordeling i dybden i landbrugsjord

Tørskind Bakker v Egtved



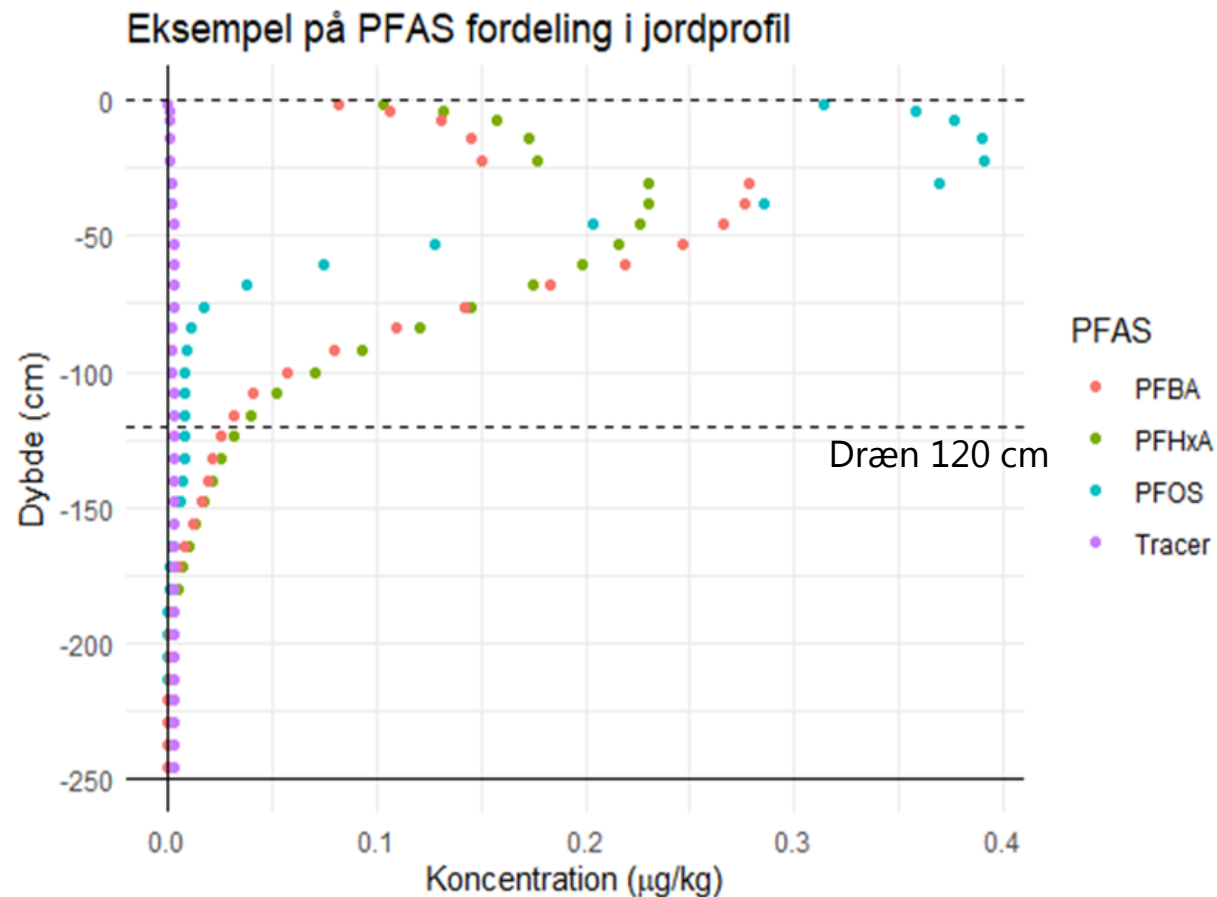
PFAS i overjord i ådal med årlig oversvømmelse (4 : A-B-C-D)

Suså dalen



Modellering af PFAS mobilitet i jord med Daisy modellen

Daisy er en jord-vand-plante-atmosfære model



Formål at beskrive fordeling af PFAS i jordprofil

$$K_d = \frac{\text{koncentration i jord } (\frac{\mu\text{g}}{\text{kg}})}{\text{koncentration i vand } (\frac{\mu\text{g}}{\text{L}})}$$

Kd er fordeling mellem jordpartikler og porevand



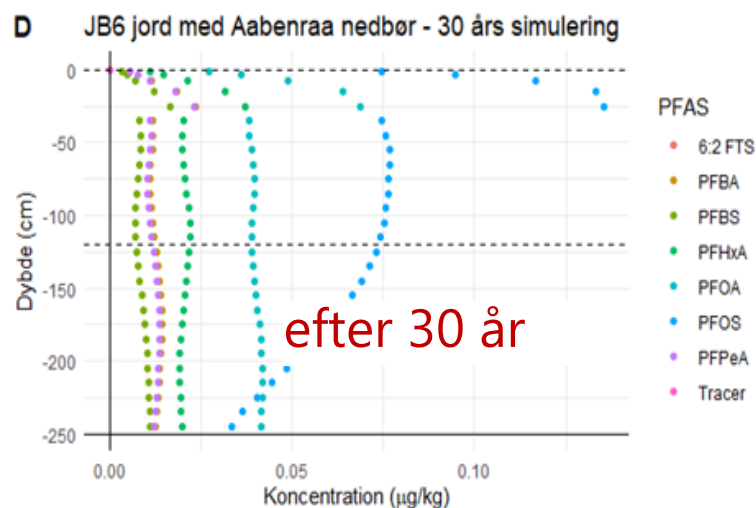
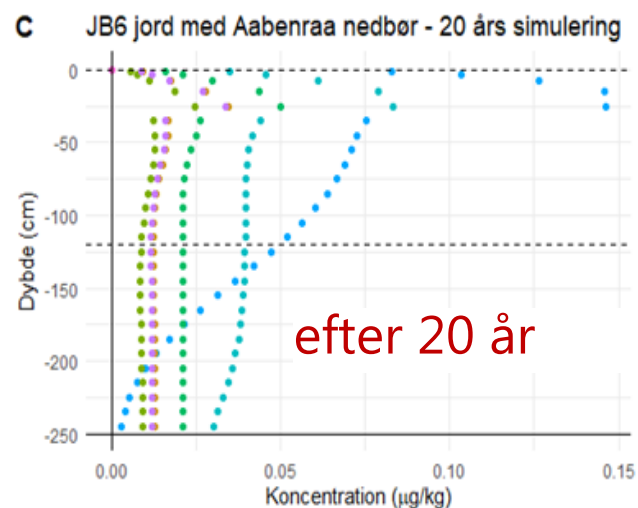
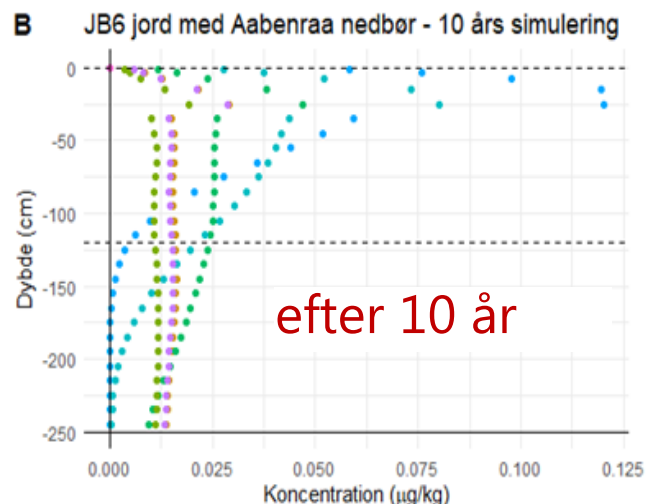
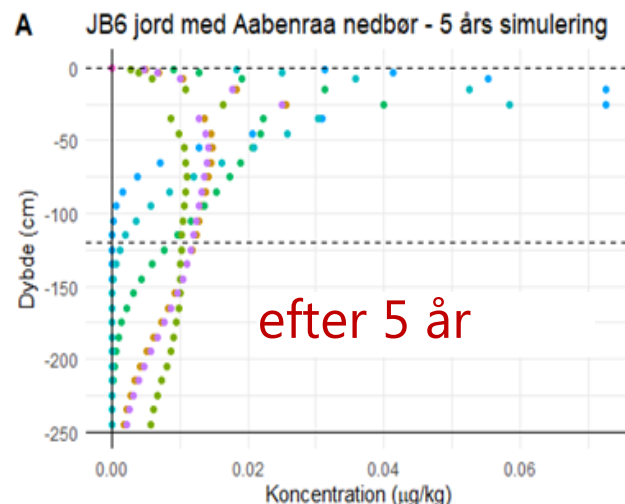
Topjord er mørk med 1-3% kulstof

28 cm pløjelag

daisy.ku.dk modellen frit tilgængelig til download

Fordeling ændres med tiden

Modellering af PFAS mobilitet i jord med Daisy modellen



JB6 muldjord (10-15% ler)

- Start var 0 PFAS i jorden
- Input med nedbør hvert år
- Nedbør som i Åbenrå

Du ser:

0-28 cm: 5 år = 20 år (indhold)

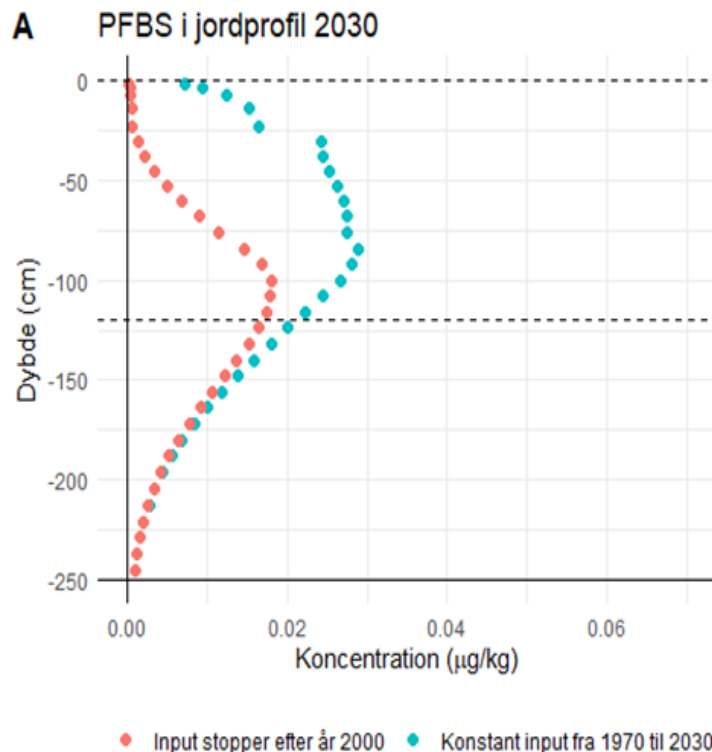
120 cm:

5 år: kun de korte kommet ned

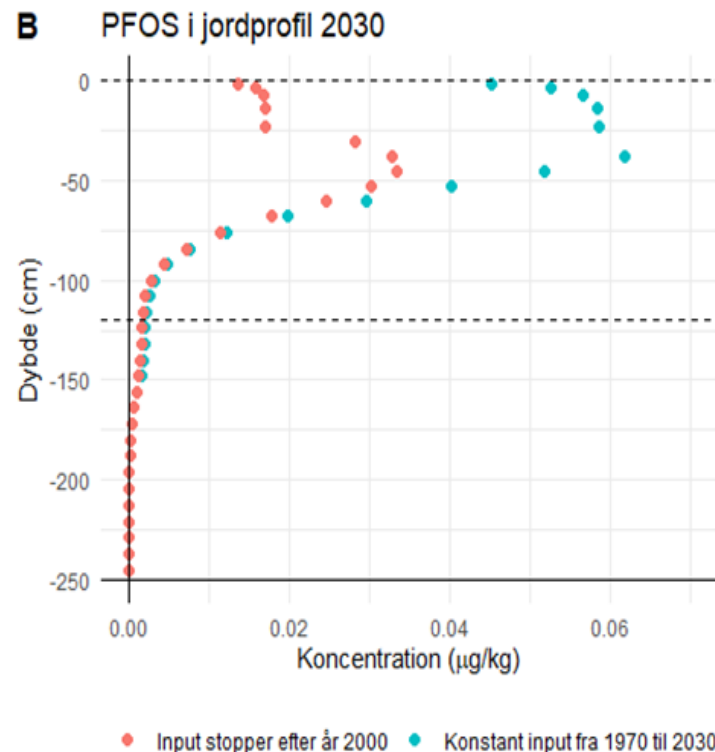
20 år: alle er kommet ned

Fordeling efter 60 år og 30 år + PFAS-fri 30 år

Modellering af PFAS mobilitet i jord med Daisy modellen



PFBS er kortkædet (C4)



PFOS er landkæde (C8)

muldjord (10-15% ler)

- Start var 0 PFAS i jorden
- Nedbør som i Tåstrup
- Rød: Input med nedbør i 30 år + 30 år uden input
- Blå: Input med nedbør i 60 år

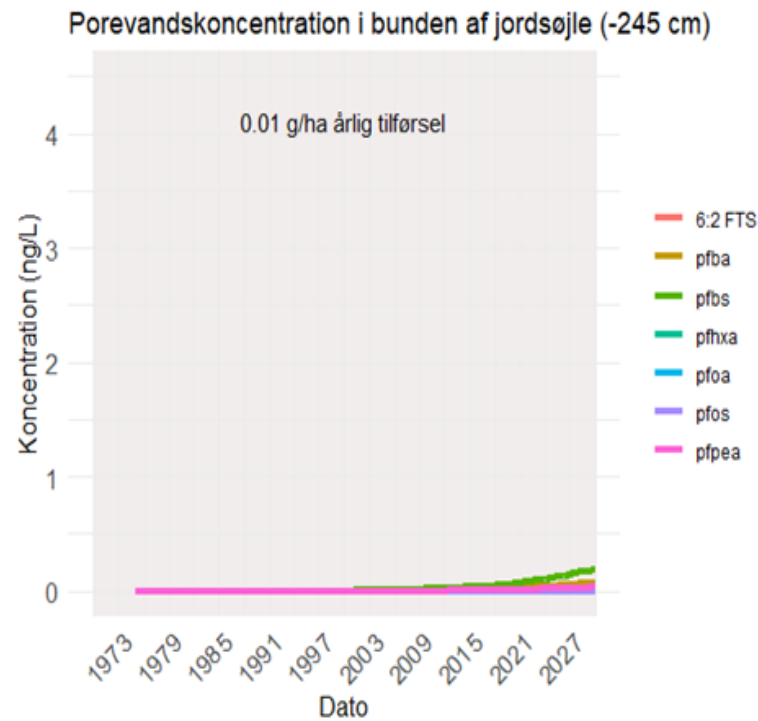
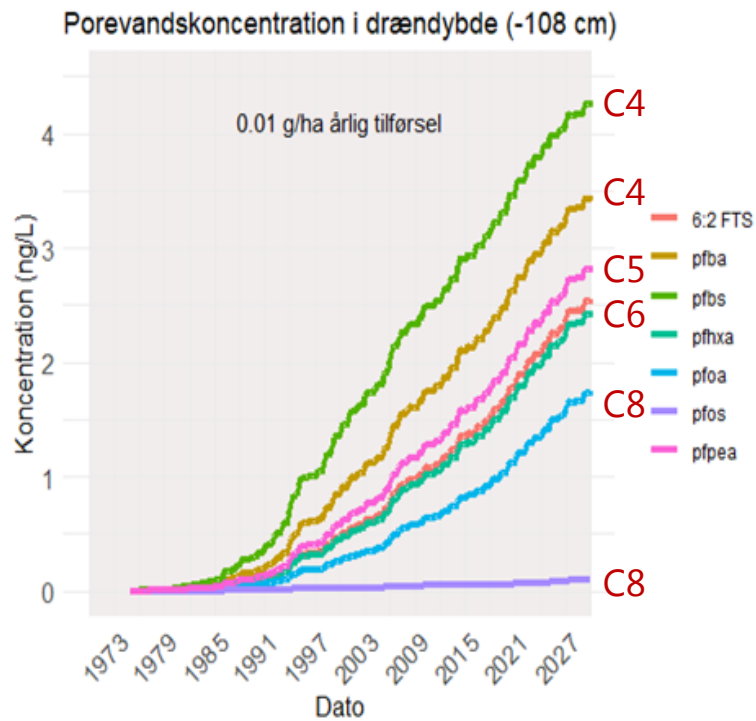
Du ser:

PFBS (kort): efter 30 år uden input er topjord stort set rensat
Stof-puls er nået til 120 cm's dybde

PFOS (lang): efter 30 uden input er konc. i topjord kun det halve
Stof-puls er nået til 50 cm's dybde

PFAS i 108 cm og 245 cm efter 60 år med deposition som nu

Modellering af PFAS mobilitet i jord med Daisy modellen



PFAS i porevand i jorden
JB6 muldjord (10-15% ler)

- Start var 0 PFAS i jorden
- Nedbør som i Tåstrup
- Input med nedbør i 60 år

Du ser:

-108 cm dybde

Korte PFAS løber hurtigst

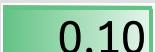
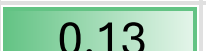
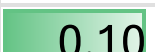
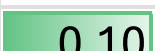
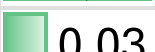
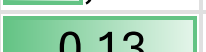
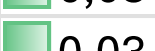
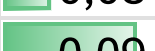
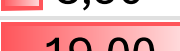
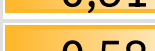
PFOS kun lige begyndt at ses

-245 cm dybde

C4 & C5 er begyndt at stige i konc.

Konklusion: Vi kan modellere PFAS, men modellerne skal kalibreres og valideres med eksperimentelle data

72 jorde
0-5 cm dybde

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFBS	 0,06	 0,06	0,06	1
PFHxA	 0,05	 0,03	0,13	26
PFHpA	 0,06	 0,03	 0,56	42
PFDA	 0,19	 0,11	 1,10	12
PFUnDA	 0,13	 0,10	 0,82	13
PFDoDA	 0,16	 0,13	 0,18	2
6:2 FTS	 0,18	 0,10	 0,57	3
PFBA	 0,27	 0,10	 3,80	49
PFPeA	 0,05	 0,03	 0,20	22
PFHpS	 0,07	 0,05	0,09	2
PFTTrDA	 0,13	 0,13	0,13	1
PFHxS	 0,13	 0,05	 0,26	4
PFNA	 0,07	 0,03	 1,20	61
PFOA	 0,15	 0,03	 3,90	67
PFOS	 0,42	 0,09	 19,00	72
Sum PFAS22	 0,91	 0,15	 30,00	72
Sum PFAS4	 0,58	 0,15	 24,00	72

Konklusion

- PFAS akkumuleres i topjorden
- Mere i 0-5 cm end i 0-20 cm
- Samme koncentrationsniveau i hele landet (undtagen vestkysten)
- Enkelte PFOS langs Vestkysten er meget høje
- Lidt højere koncentration i jord fra skovbryn
- Modelsimulering viser fordeling i jorden
- Jordtype og nedbør er vigtige