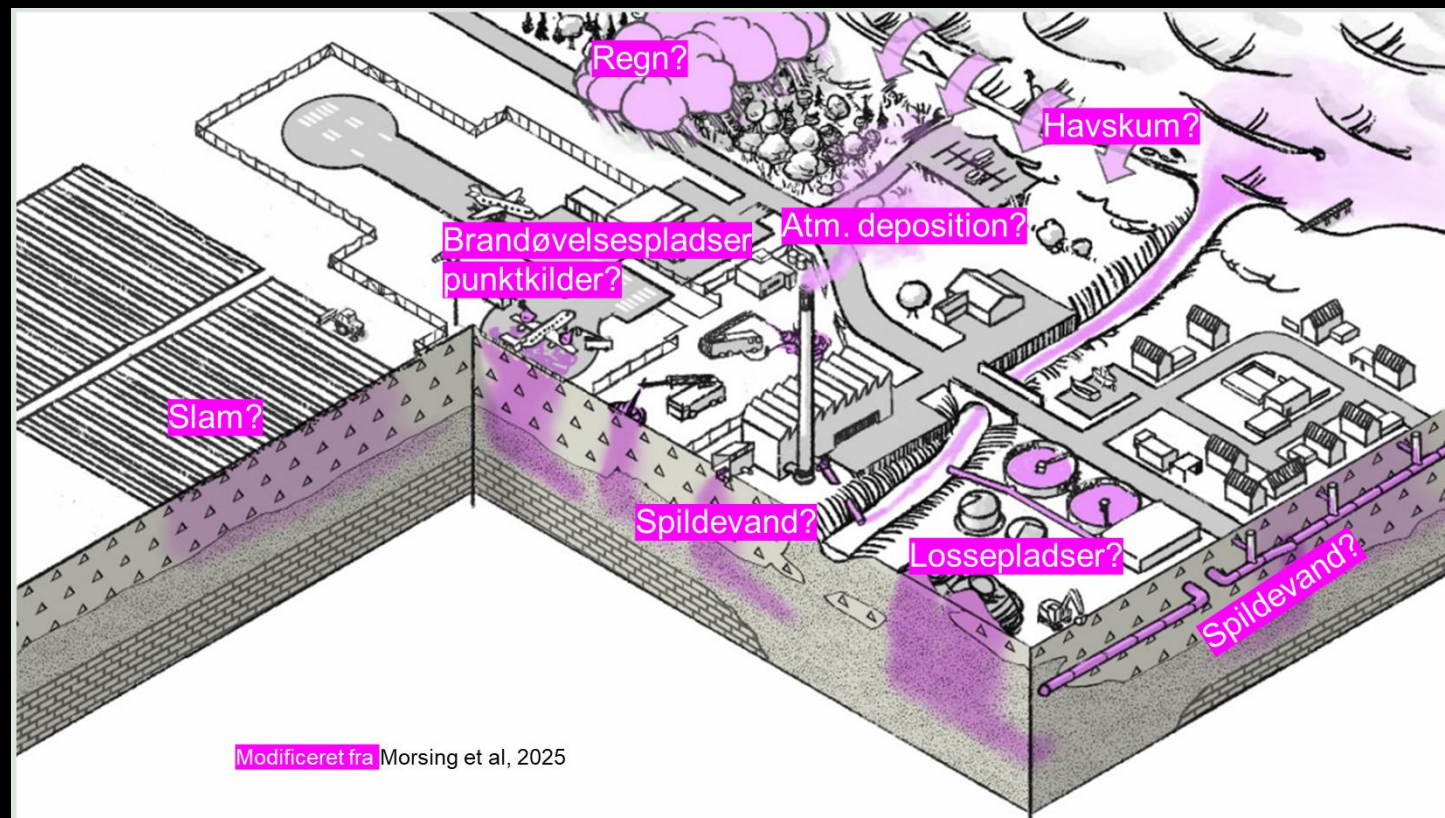


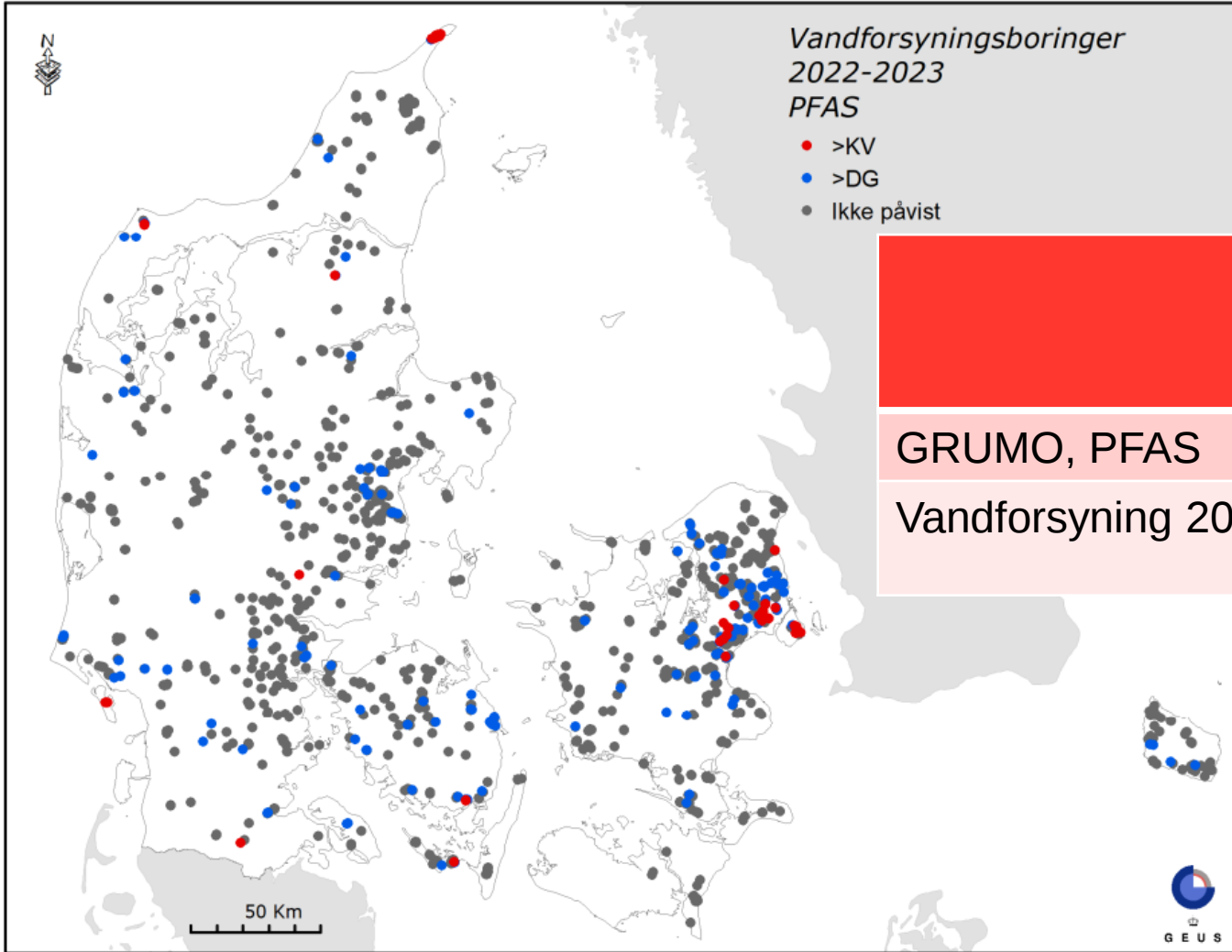
PFAS i grundvandet

Væsentlige (?) kilder





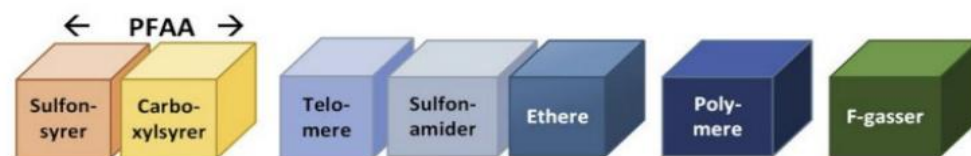
Der er PFAS i grundvand og drikkevand



	Fund af mindst et PFAS	Fund af PFAS 4 over KVK på 2 ng/l
GRUMO, PFAS	25%	9 %
Vandforsyning 2021-2023	16%	4,4 %

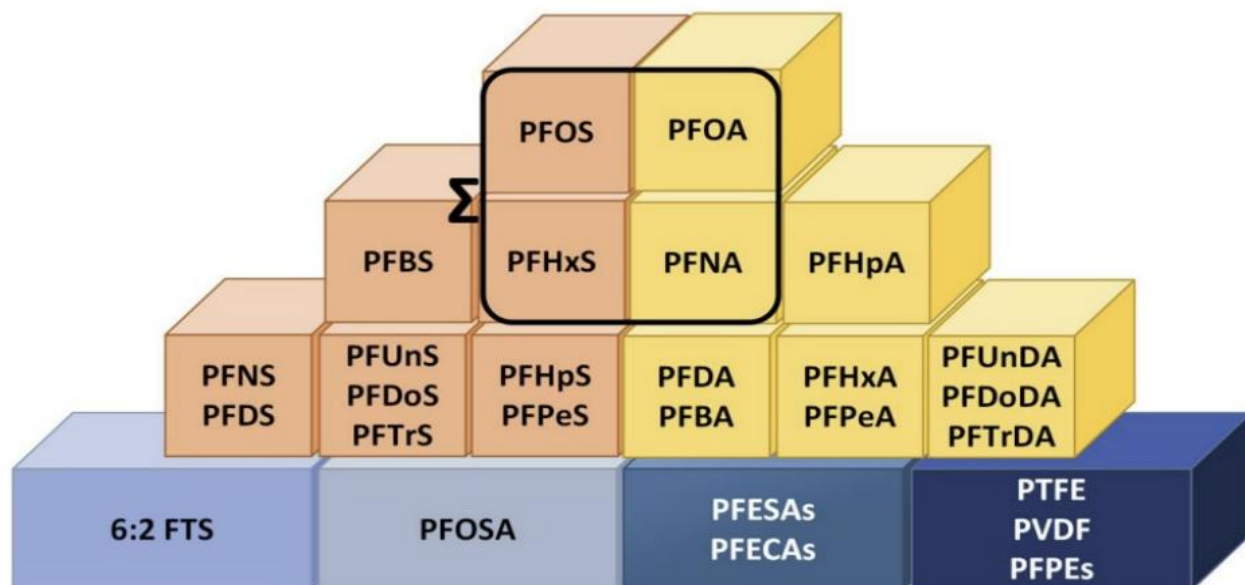
Oversigt over PFAS forbindelser

Kilde: Baun et al., 2023
Videnstaskforce rapport del I



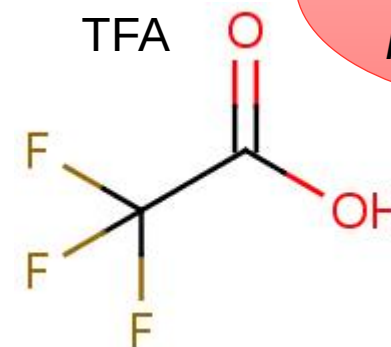
PFAS grupper

Vigtige PFAS



OECD definition

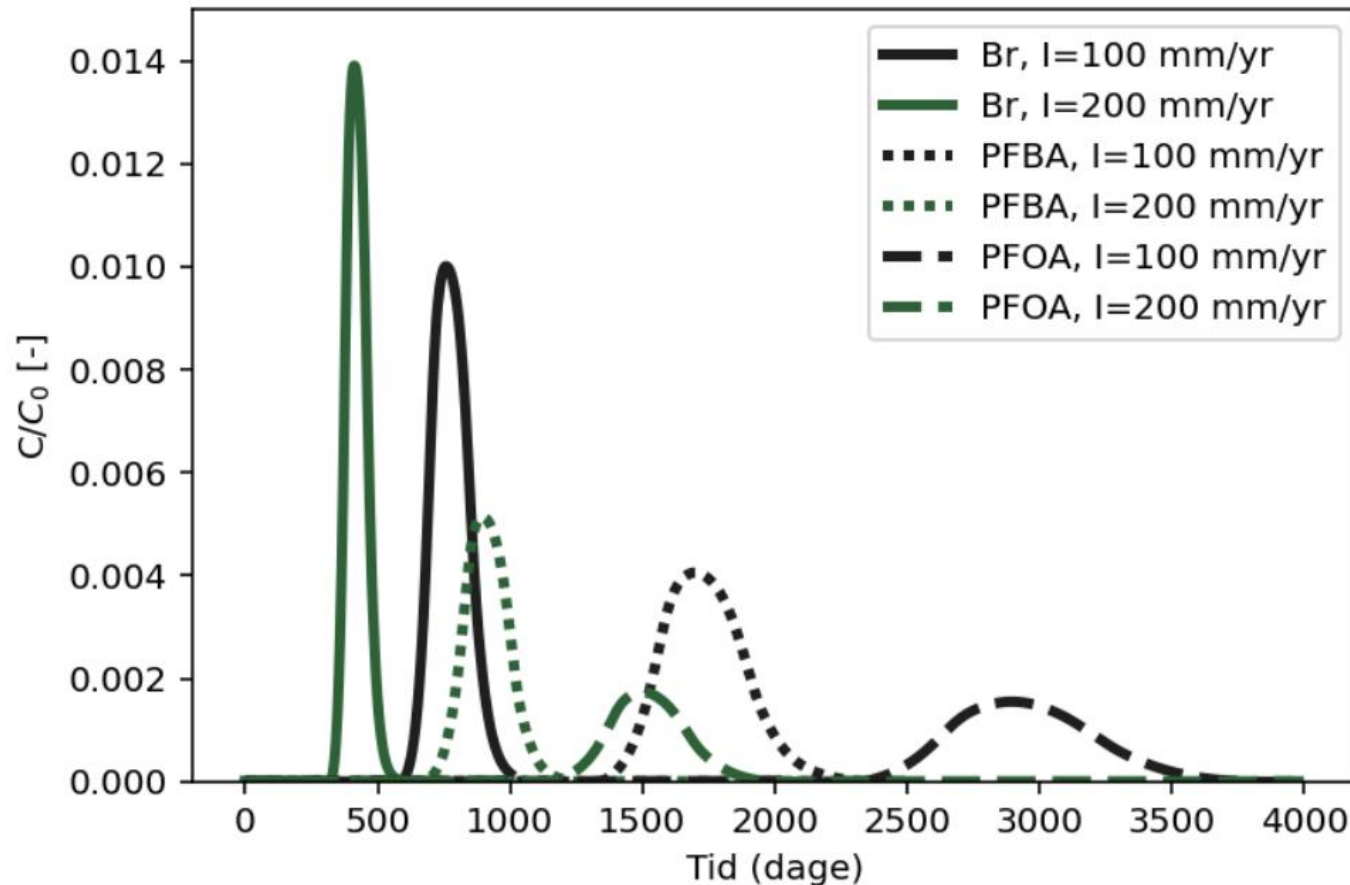
PFASs are defined as fluorinated substances that contain **at least one** fully fluorinated methyl or methylene carbon atom (without any H/Cl/Br/I atom attached to it), i.e. with a few noted exceptions, any chemical with at least a perfluorinated methyl group ($-\text{CF}_3$) or a perfluorinated methylene group ($-\text{CF}_2-$) is a PFAS.



Jeg kommer ikke til at tale mere om TFA

den korteste PFAS (jf. OECD)

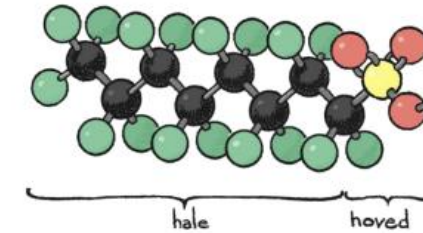
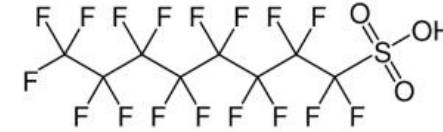
WSIP



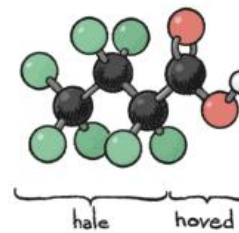
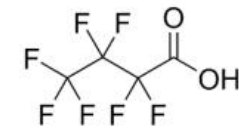
Perfluorerede sulfonsyrer

Perfluorerede carboxylsyre

PFOS



PFBA



Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde

UDARBEJDET
AF DTU, WSP og NIRAS

 **Miljø- og
Ligestillingsministeriet**
Miljøstyrelsen

Miljøprojekt nr. 2286
Januar 2025

Adsorption i luft-vand grænsefladen forsinker nedsivning af PFAS

Styrende processer og betydende parametre

Sorption til jord

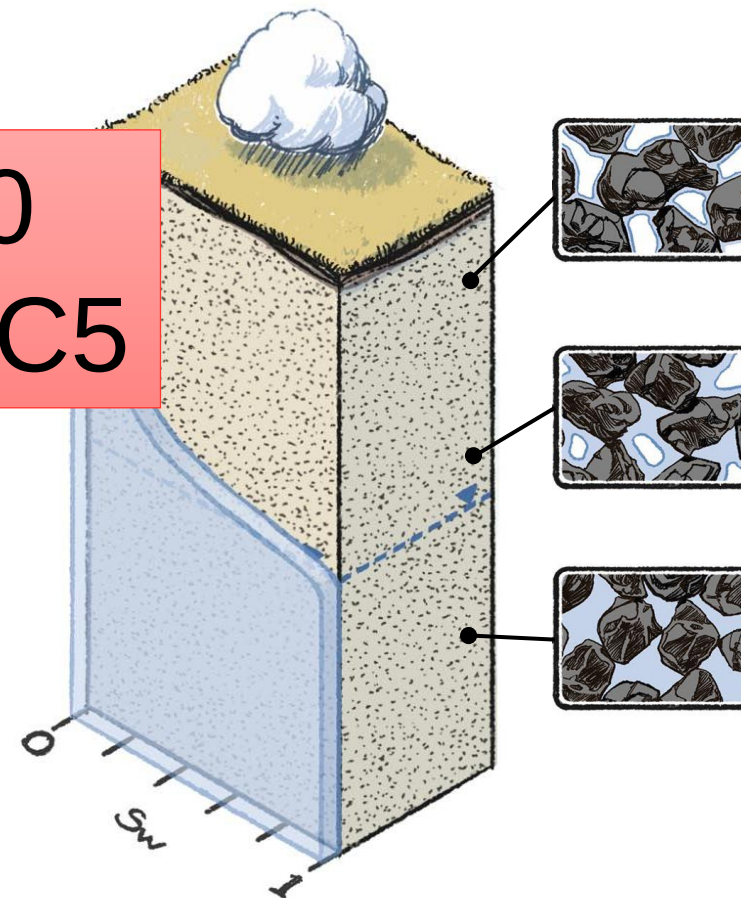
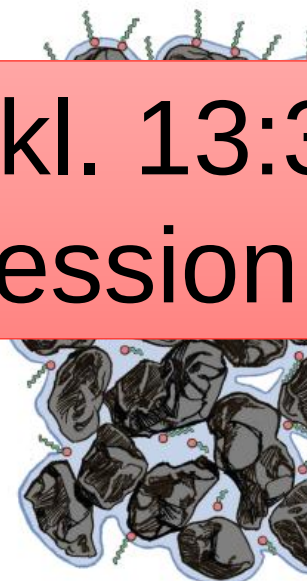
Adsorption til luft-vand grænsefladen

Retardationsfaktor

$$R = 1 + \frac{K_d}{\theta_w}$$

- K_{ia} → Sorptionskoeffi
- A_{ia} → Luft-vand græn
- K_d → Fordelingskoefficient til jord (l/kg)
- θ_w → Vandindhold (-)
- ρ_b → Rumvægt - bulk density (kg/l)

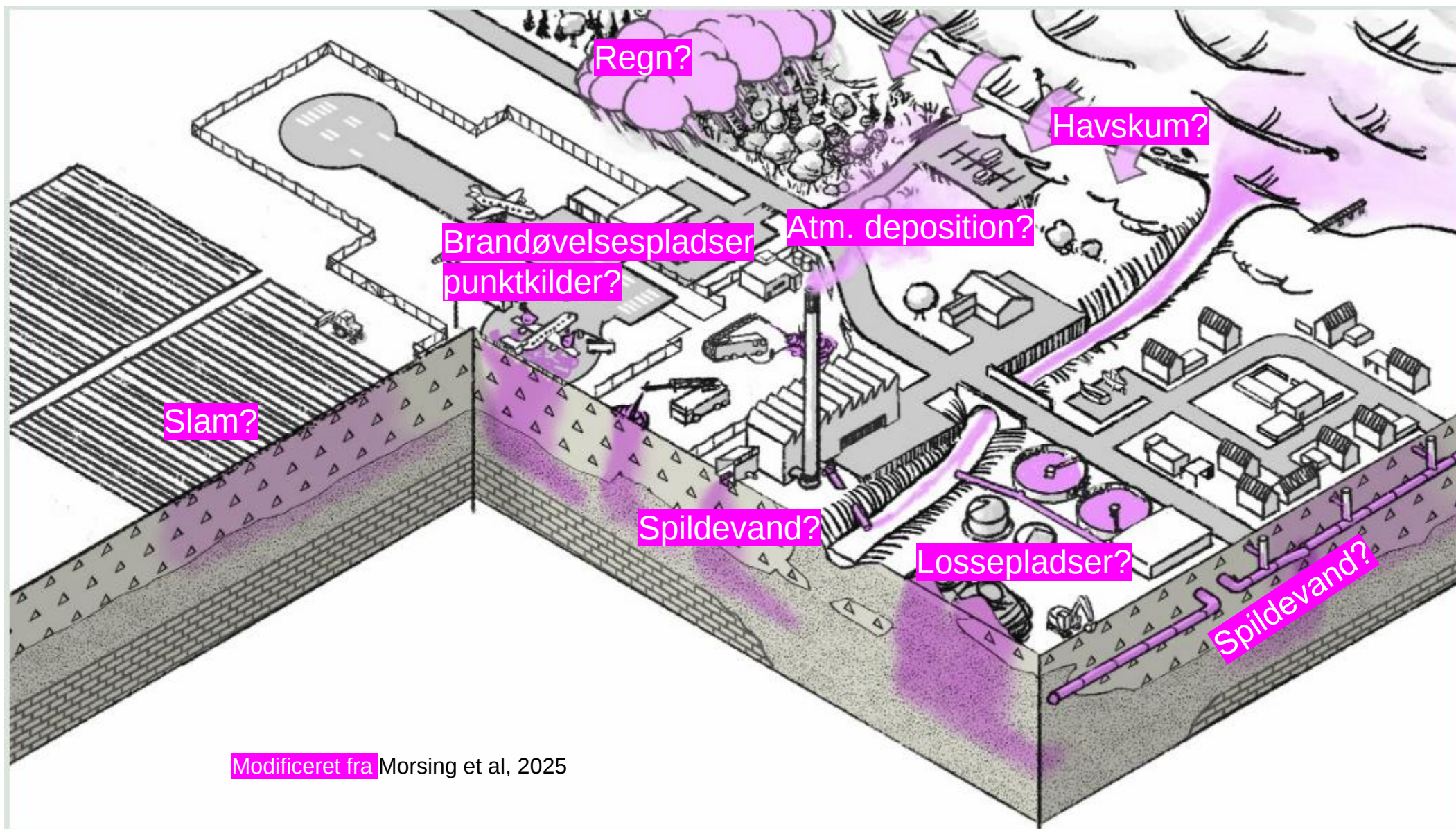
Mere om det kl. 13:30
Poul Bjerg, Session C5



	Retardation	
	Høj vandmætning	Lav vandmætning
PFOS	87	365
PFBA	16	2,9



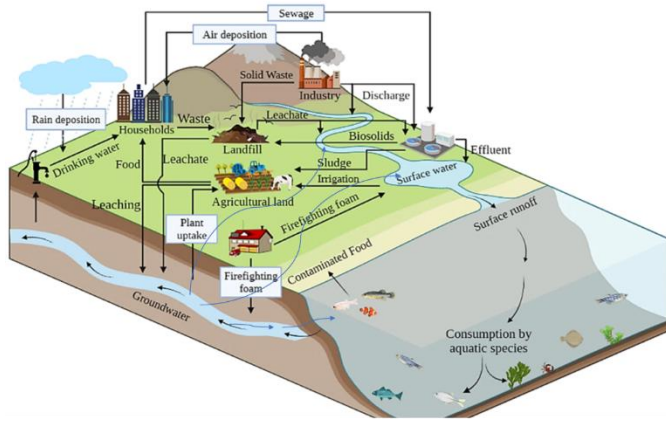
PFAS i grundvandet kommer fra både punkt- og diffuse kilder



Modificeret fra Morsing et al, 2025



Det regner med PFAS



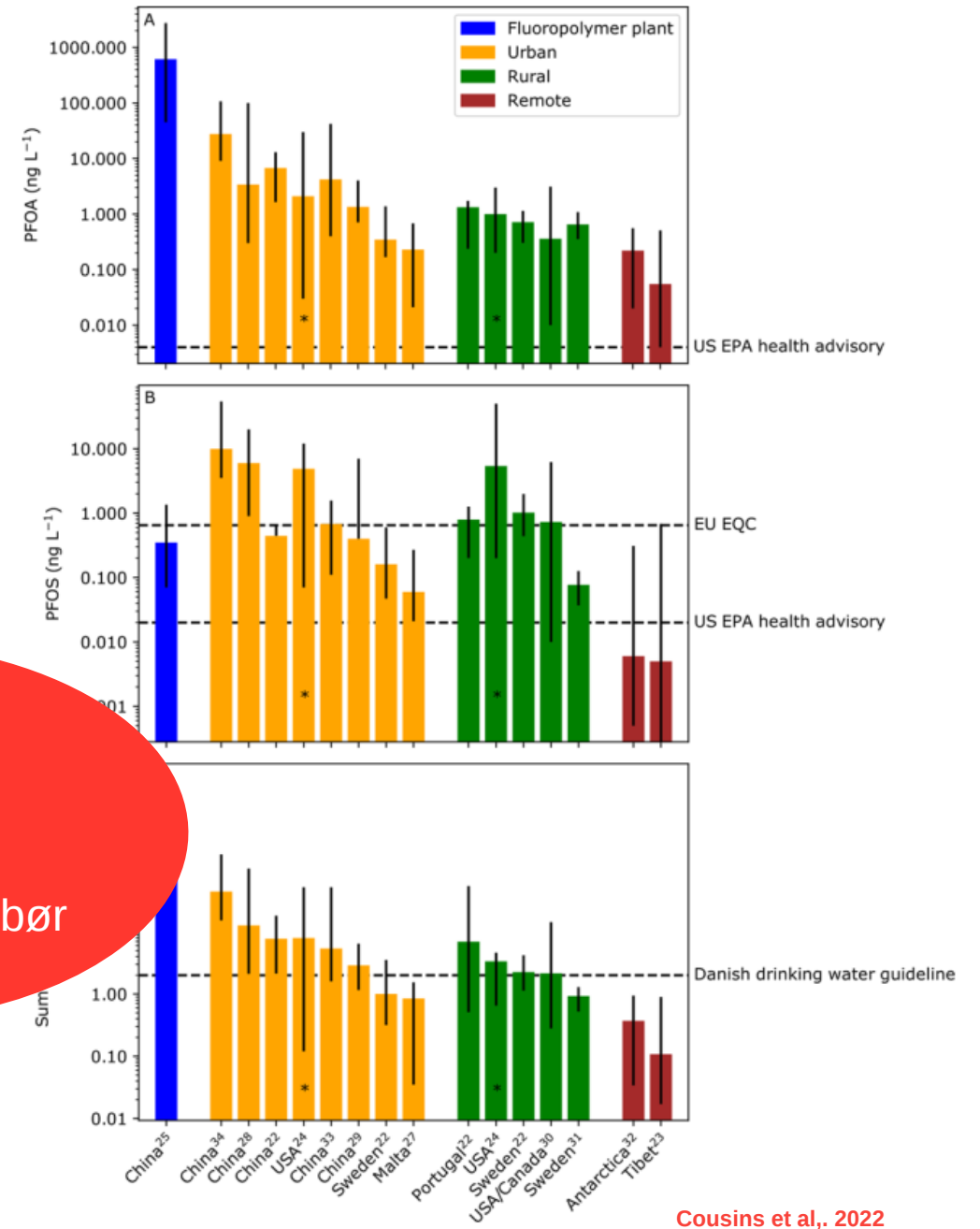
Selv i de fjerneste egne af Antarktis er der en smule PFAS!

Bossi, Rossana, 2024. Målinger af PFAS i luft og nedbør
Nationalt Center for Miljø og Energi, 23 s. - Teknisk rapport

Stof

	2022	2023
Beregnet sum af 4 PFAS	0,63	0,74
Beregnet Sum af målte PFAS	3,0	3,34
Heraf ikke i PFAS 22	0,58	0,6

60 kg /år på DK
landareal
 $A = 40.000 \text{ km}^2$
 $0,5 \text{ m/år nettonedbør}$



Cousins et al., 2022



og derfor er der PFAS i jord + pesticider + gødning...+ havskum

72 jordprøver 0- 5 cm
(min-med-maks PFAS22 µg/kg TS)

Arealtyper:

- Landbrug (0,17-**0,87**-3,4)
- Skove og skovbryn (1,7-5)
- Kystnære græsarealer (0,37-**2,1**-30)
- Overdrev (0,21-**0,63**-2,9)
- Enge og lavbundslande (0,32-**1**-3,2)

	Median	Min	Max	Antal
	µg/kg ts			
PFBS	0,06	0,06	0,06	1
PFHxA	0,05	0,03	0,13	26

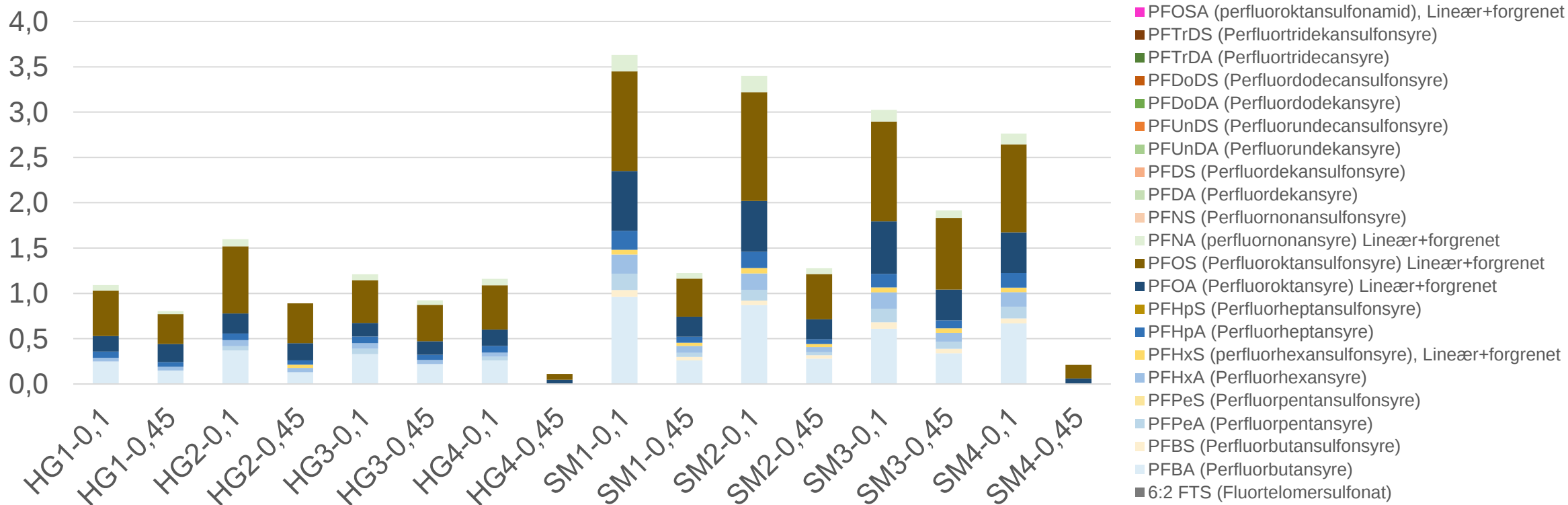
Mere om det kl. 13:30
Bjarne Strobel, Session C5

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



Jordprøver fra grønne byområder

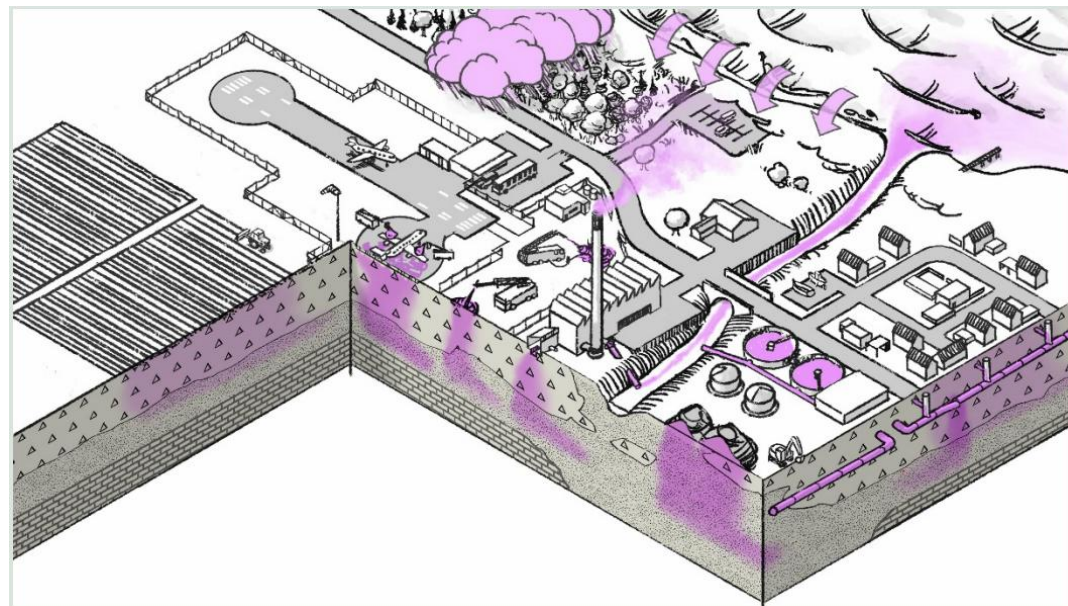
Dominerende forbindelser PFOS, PFOA og PFBA. Derudover mindre bidrag fra PFNA, PFHpA, PFHxA, PFHxS, PFPeA, PFBS





Der er PFAS i spildevandsslam

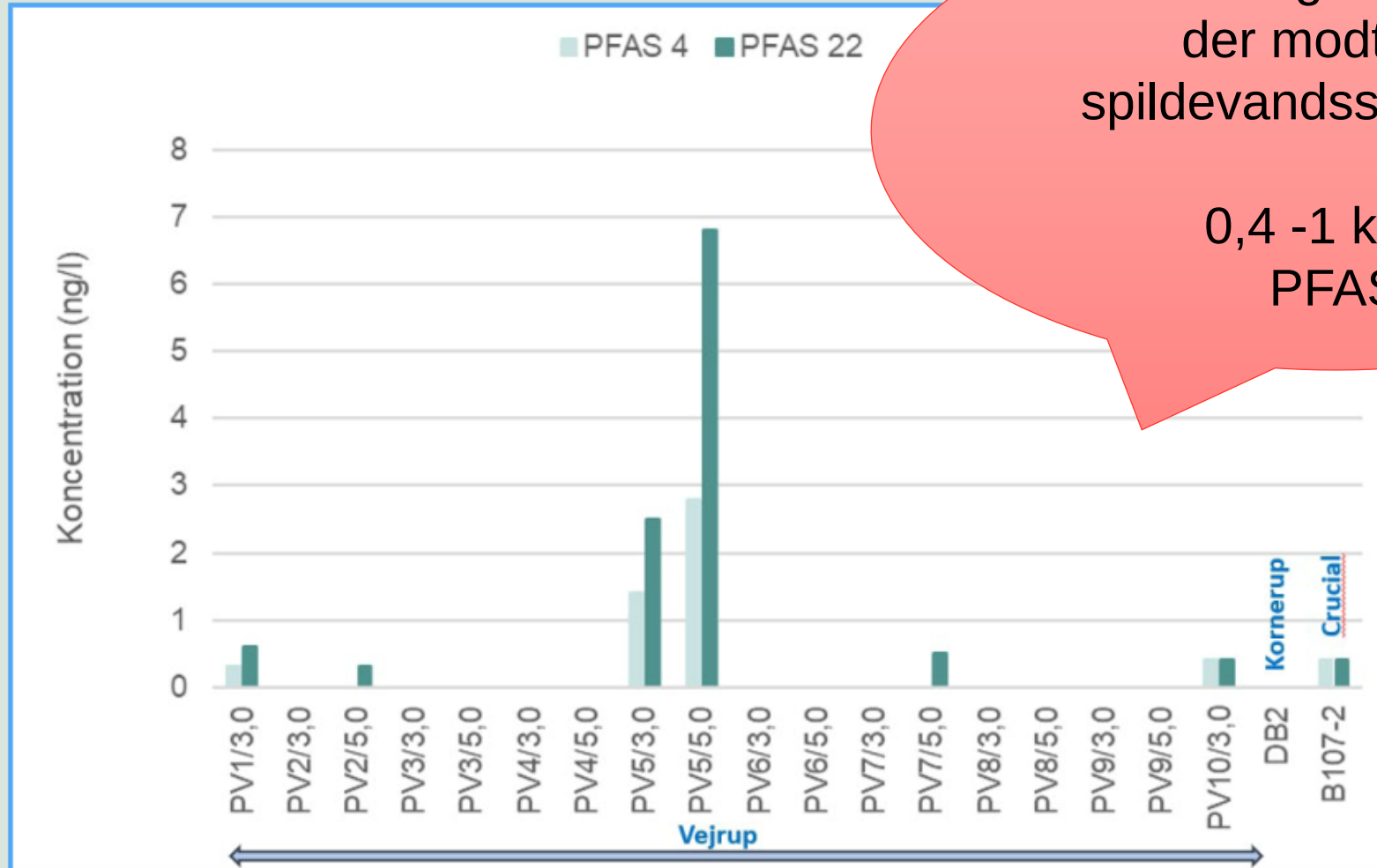
Indhold af PFAS 4 og PFAS 22 i spildevandsslam jf. Miljøstyrelsen 2022 i prøver fra oktober 2021 til juli 2022. Værdier i $\mu\text{g/kg TS}$ på baggrund af 384 besvarelser



	GENNEMSNIIT	25 FRAKTIL	50. FRAKTIL	75. FRAKTIL	GRÆNSEVÆRDI
PFAS (Sum af 4)	8,1	2,2	5,2	9,4	10
PFAS (Sum af 22)	12,2	4,6	9,4	16	400



"Lave" indhold af PFAS i (pore-)vandprøverne i landbrugsjord der havde modtaget spildevandsslam

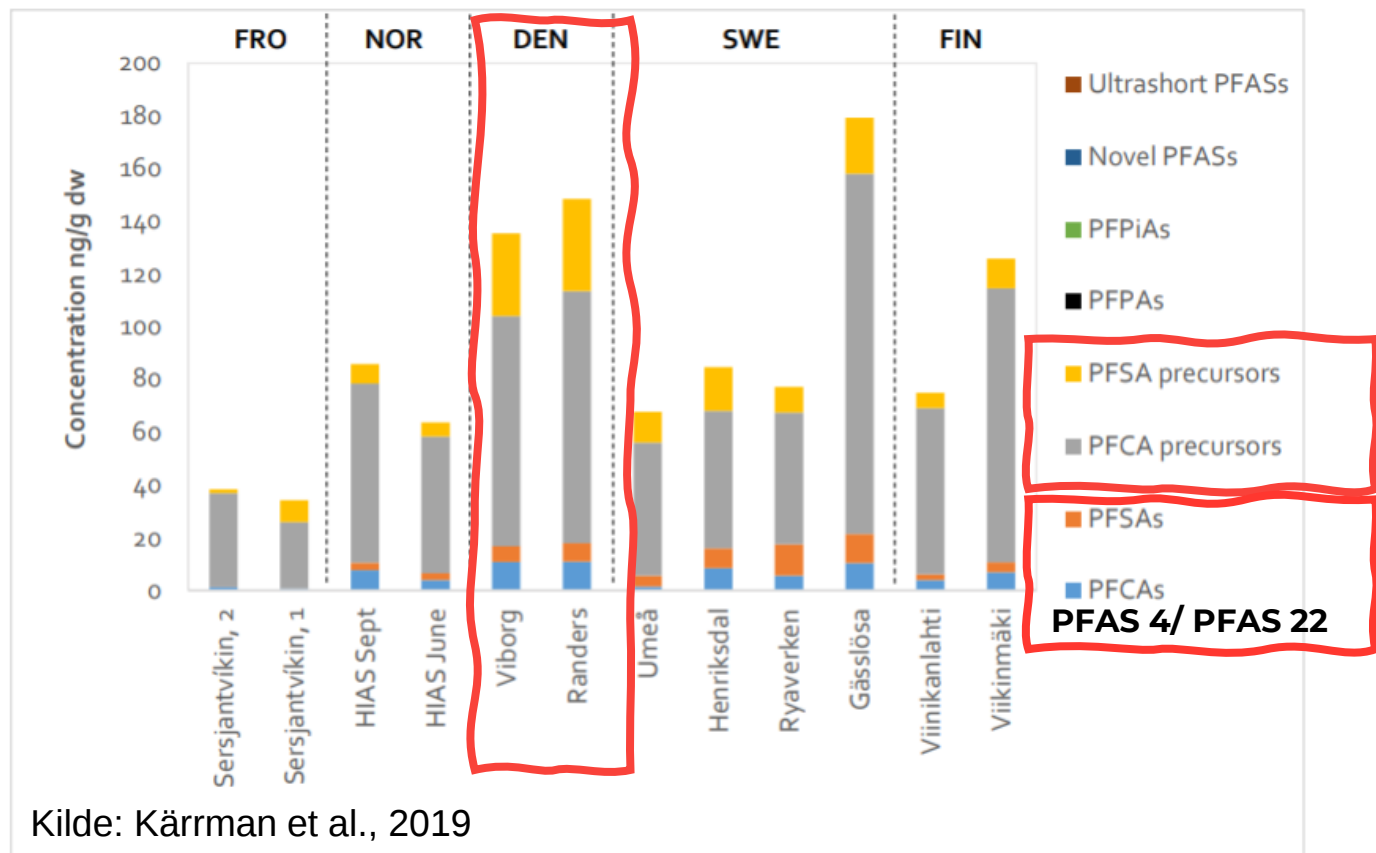


Hvis vi antager 130.000 ha
der modtager
spildevandsslam årligt

0,4 -1 kg/år
PFAS



Hvad med alle de andre PFAS?



Husk at der er mange flere PFAS end PFAS22 i spildevandsslam

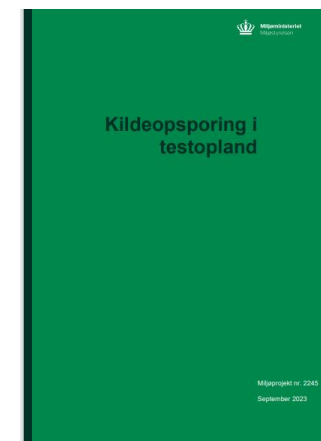
Der er PFAS i spildevand

DANVA har er målinger fra indløb til
50 Danske renseanlæg, indløb.
PFBA, PFBS, PFPeA, PFPxA,
PFHxS, PFHpA, PFHpS, PFOA,
PFOS, 6:2 FTS, PFOSA, PFNA,
PFDA.

Medianværdier for PFAS4 i dansk
spildevand (indløb til anlæggene)
er:

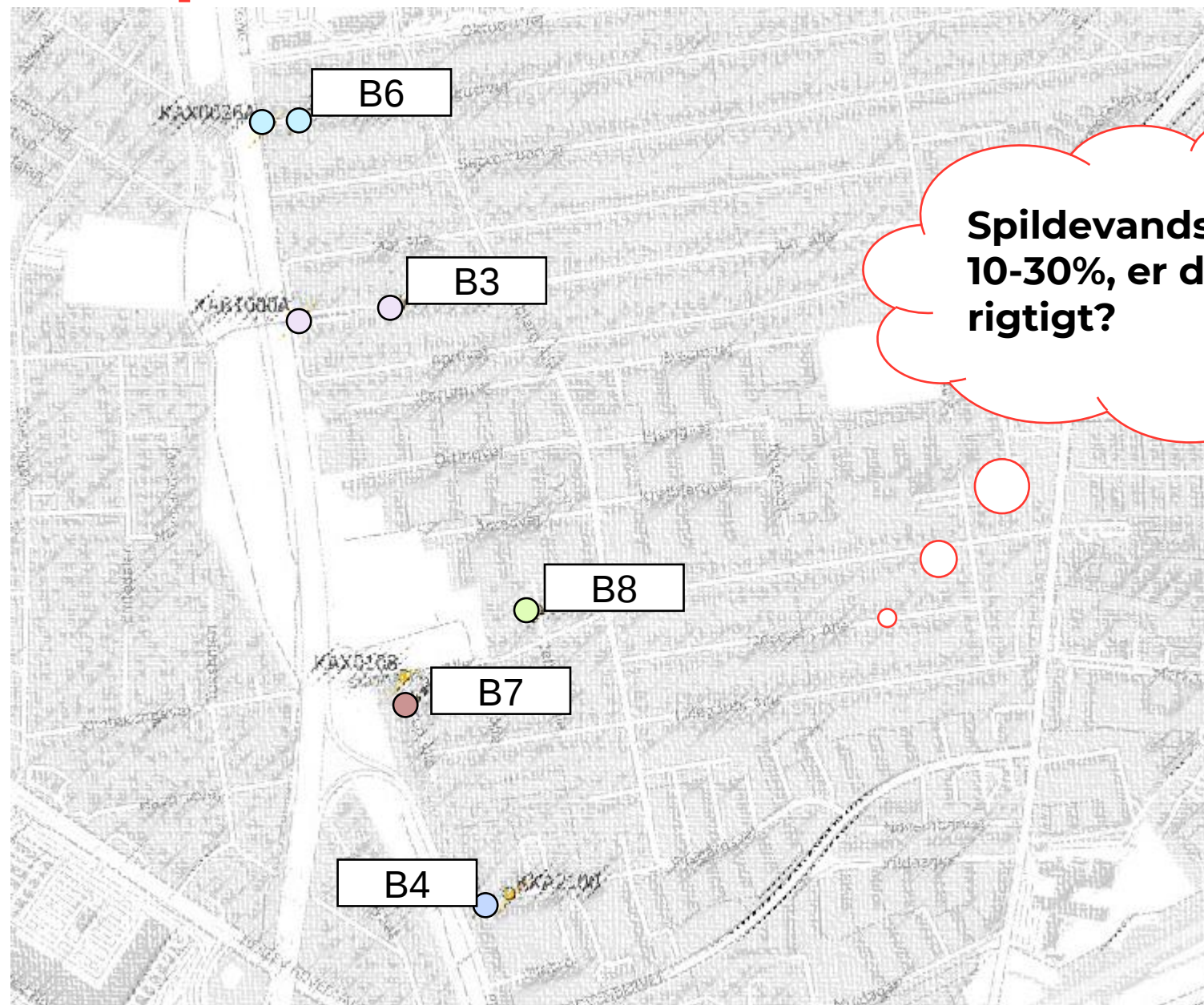
**4,1 ng/L for PFAS 4 og 11 ng/l for
PFAS 22.**

Gennemsnitlige koncentrationer er
på 9,9 og 31 ng/l.



Odense testopland: Kilde-:		PFAS 4 ng/l	PFAS22 ng/l
Åbent Land	RBU Fælles- ældre boligområde	2,9	12
	RBU separat-mindre erhvervsområde	1,7-1,8	3,8-4,3
	RBU separat-nyt boligområde	8	8
Byområde	Fælleskloakkeret spildevandsoverløb	1,5	7,6
	Fælleskloakkeret spildevandsoverløb	0,37	1,7
	Fælleskloakkeret spildevandsoverløb	1,6	9,6

Analyseresultater fra boringer ved kloakker i et byområde med kloak i meget dårlig tilstand



**Spildevandstab
10-30%, er det mon
rigtigt?**

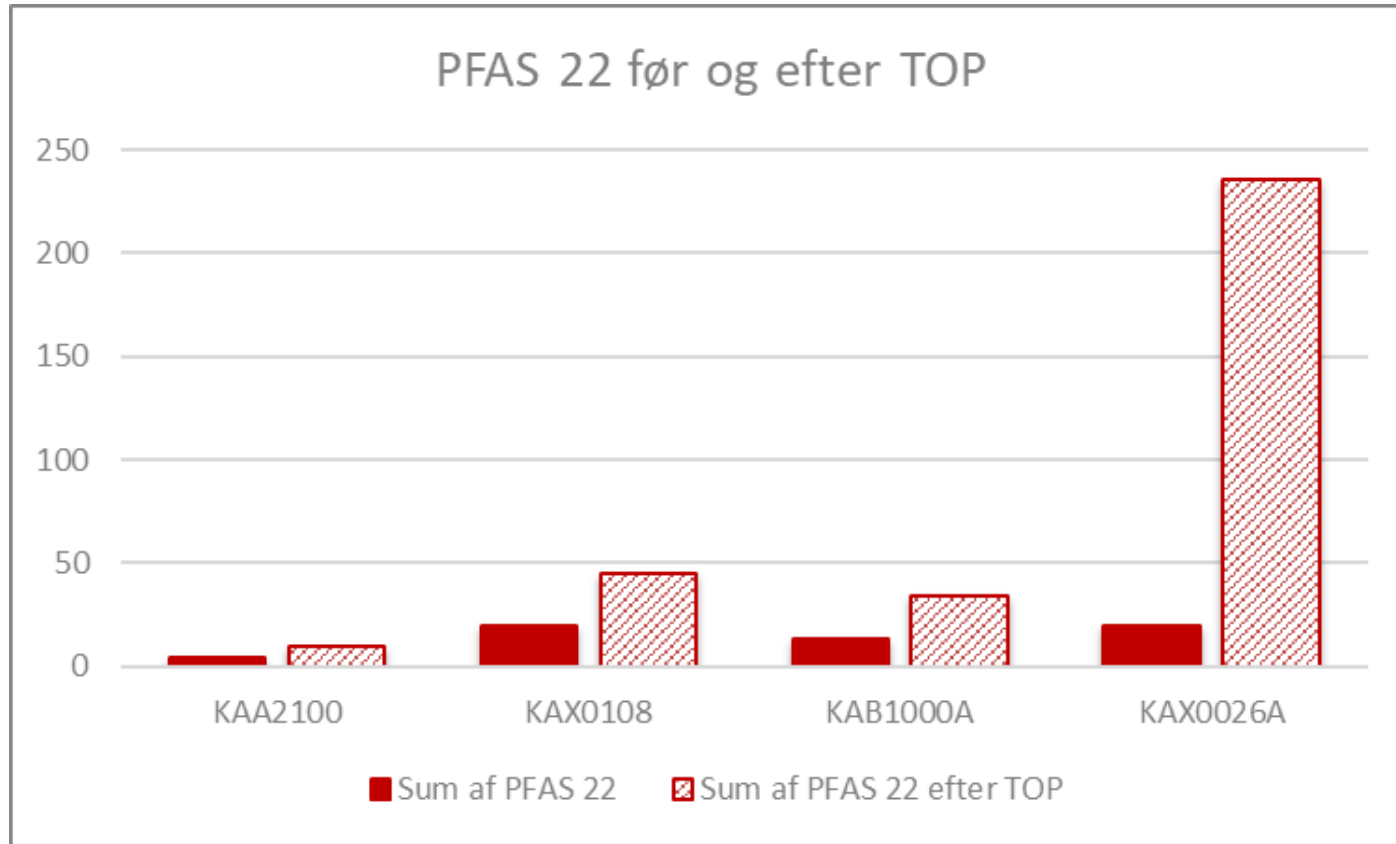
Diffuse Kilder



Medie	Antal prøver og analysepakke
Spildevand	4 prøver PFAS41 (+ TOP)
Grundvand	5 prøver PFAS73 (+ TOP)

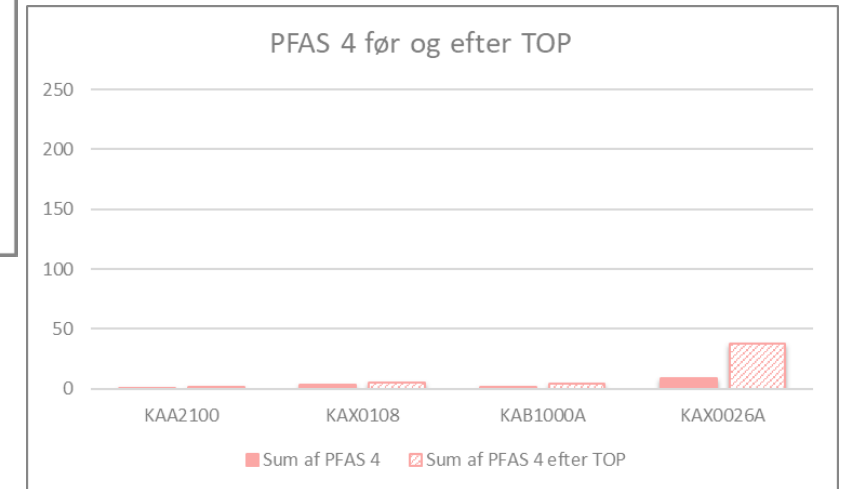


Analyseresultater fra kloakbrønde (spildevand)

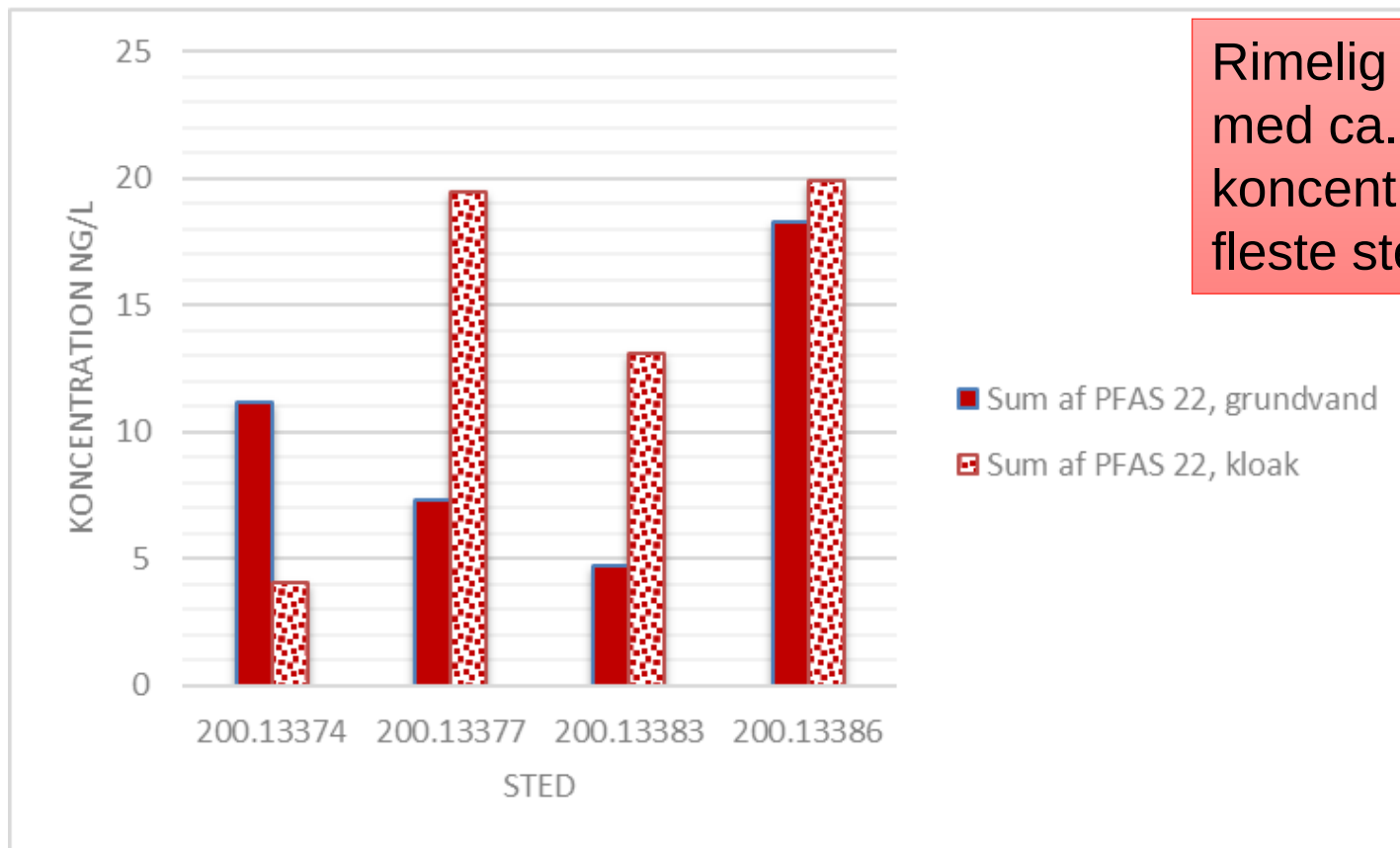


Analyseret for 41 PFAS men fundet kun PFAS 22 (op til 20 ng/l)

OBS! 2-10 gange stigning efter TOP



PFAS i terrænnær grundvand (B4-B7) i de nærliggende boringer vs. fund i kloakkerne



Rimelig sammenhæng i niveauer med ca. dobbelt så høje koncentrationer i spildevand de fleste steder

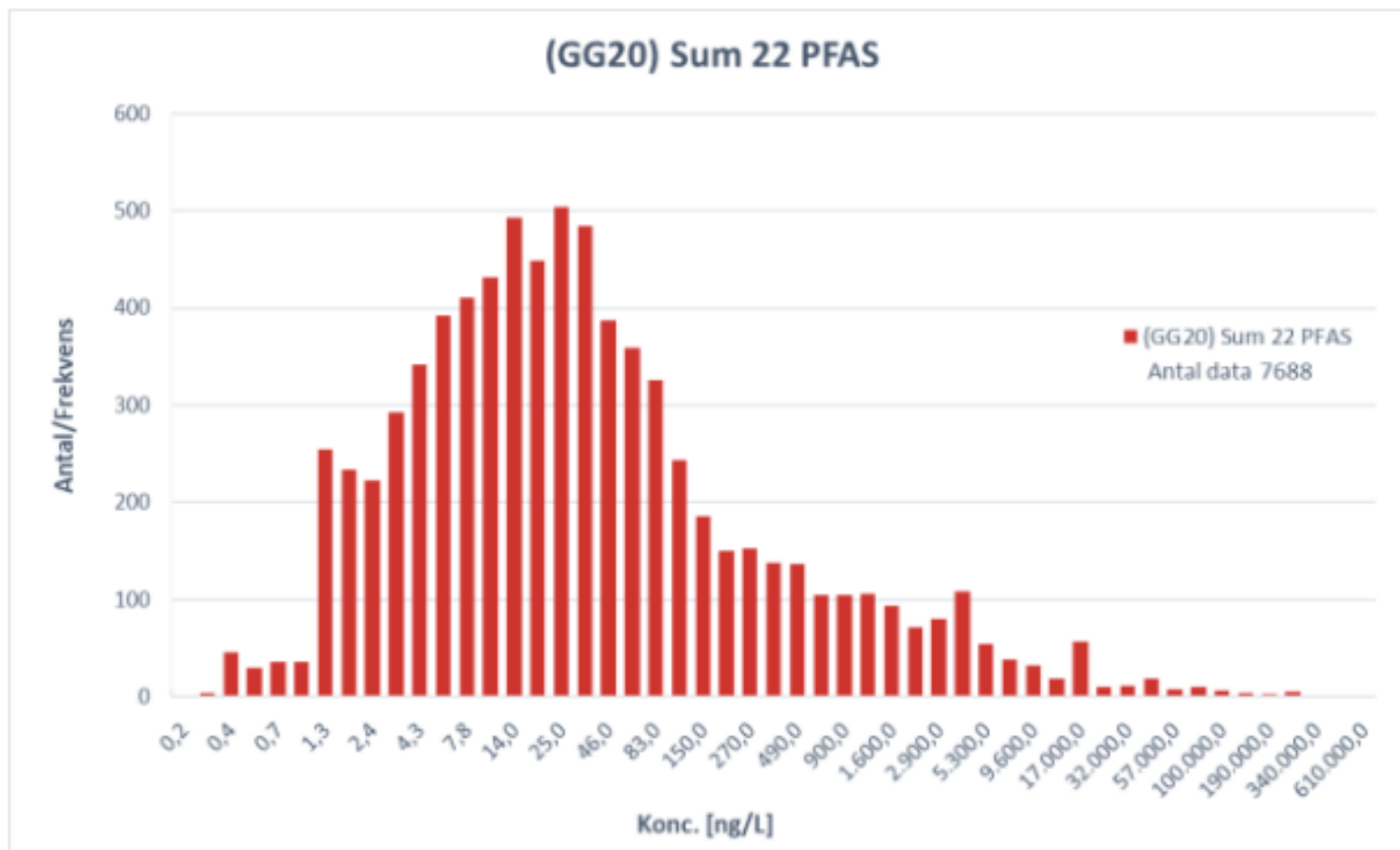
10 % tab af spildevand

$C = 30 \text{ ng/l}$

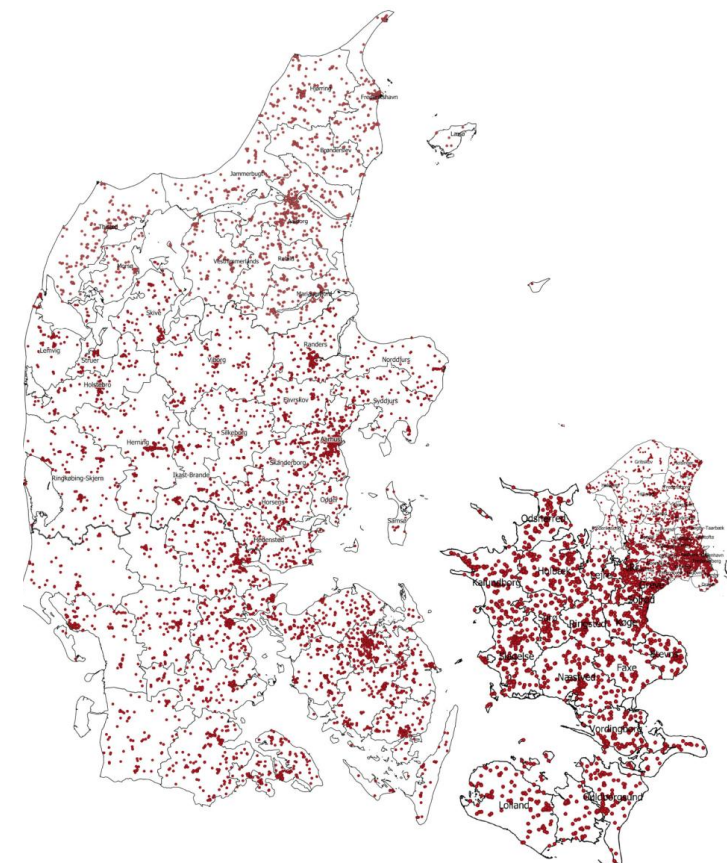
$Q = 720 \text{ mio. m}^3/\text{år}$

Ca. 2-3 kg/år

PFAS i grundvand stammer også fra forurenede grunde



50% fraktil: 25 ng/l
80% fraktil :150 ng/l
95% fraktil: 2.900 ng/l



50% af prøverne for PFAS4 ligger under 9,6 ng/l, 80% ligger under 66 ng/l og 95% fraktilen har en værdi under 1400 ng/l.

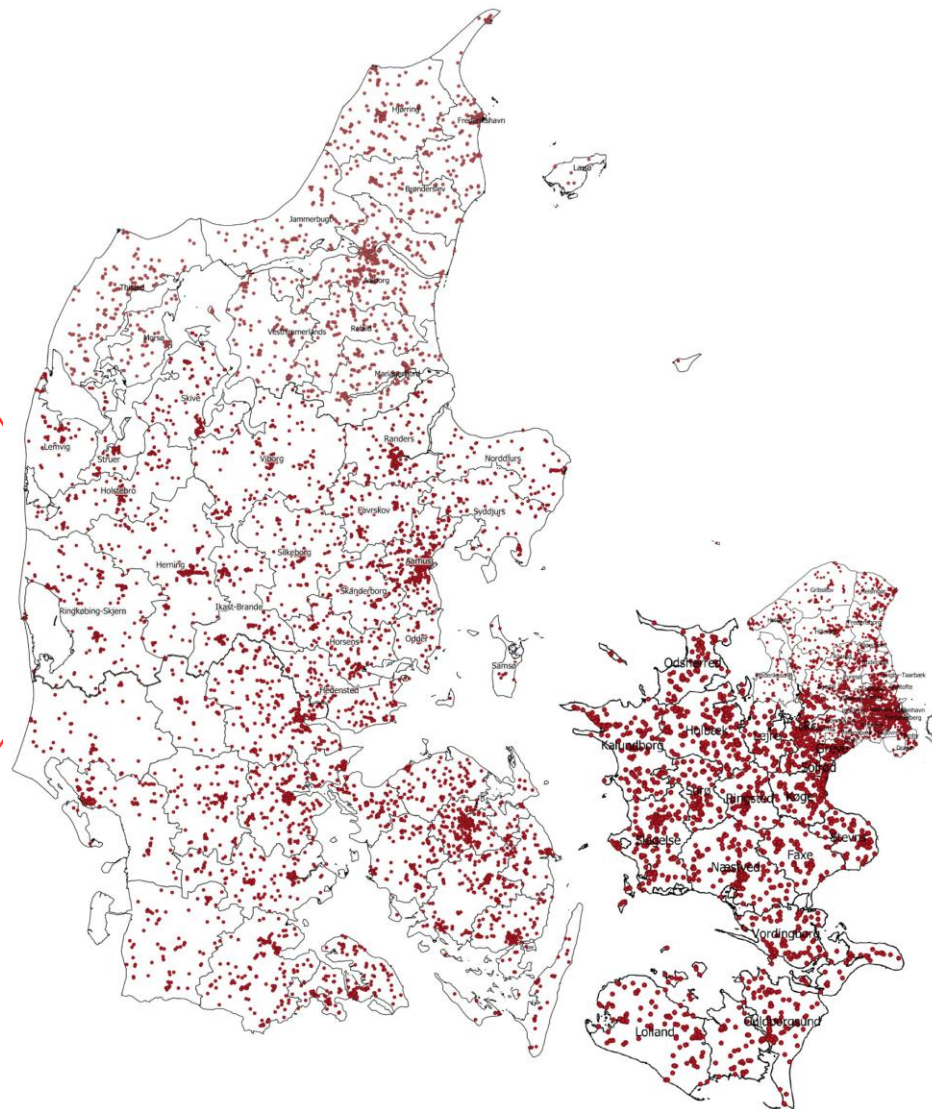
En frisk beregning af punktkilde-bidrag

Antager vi 15.000 lokaliteter med typisk kildeareal på 1000 m² og C(80%) 150 ng/l

PFAS 22

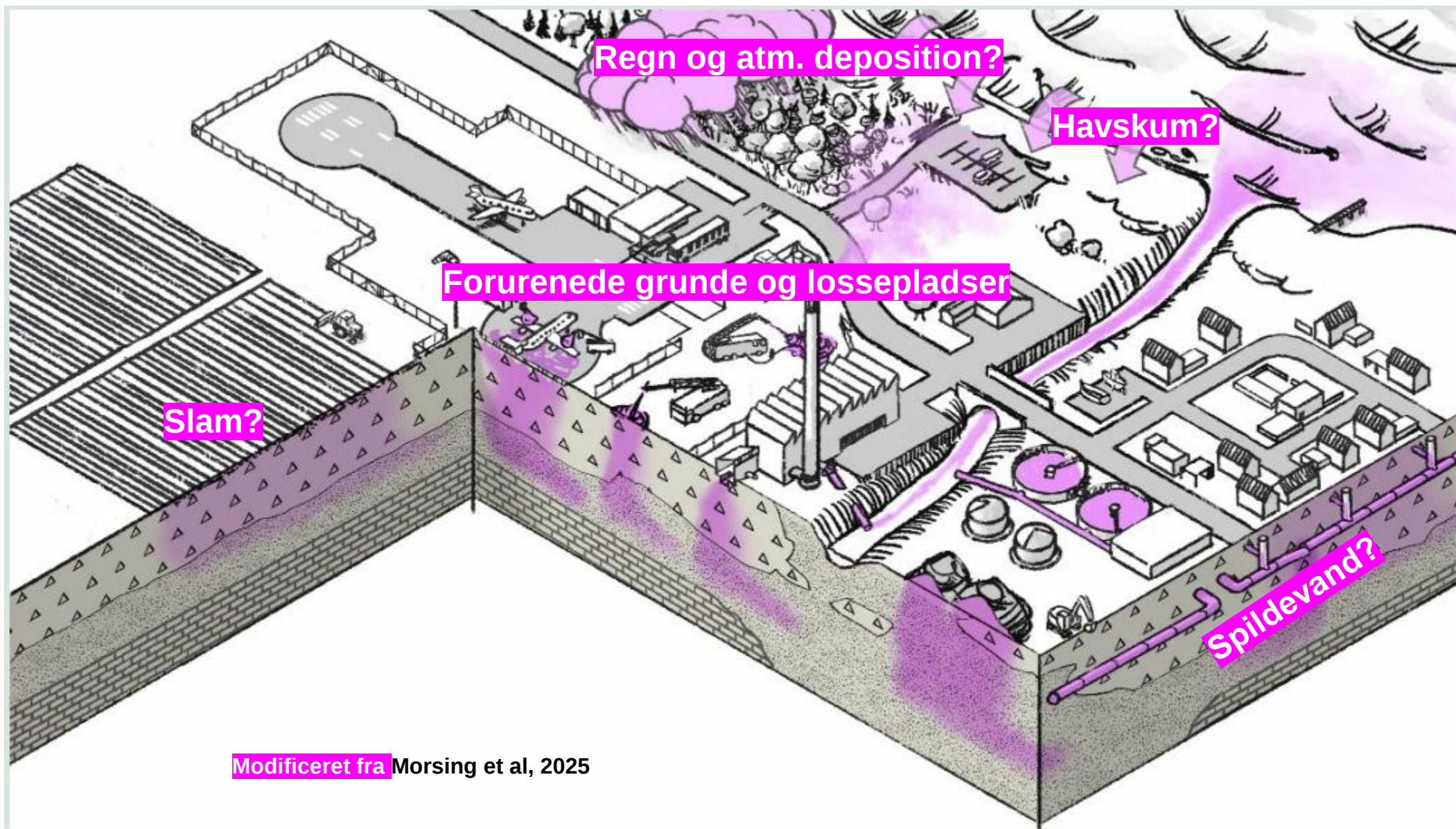
0,6 kg/år

Selvom det ikke er "meget" på landsplan kan det godt være væsentligt på oplandsniveau





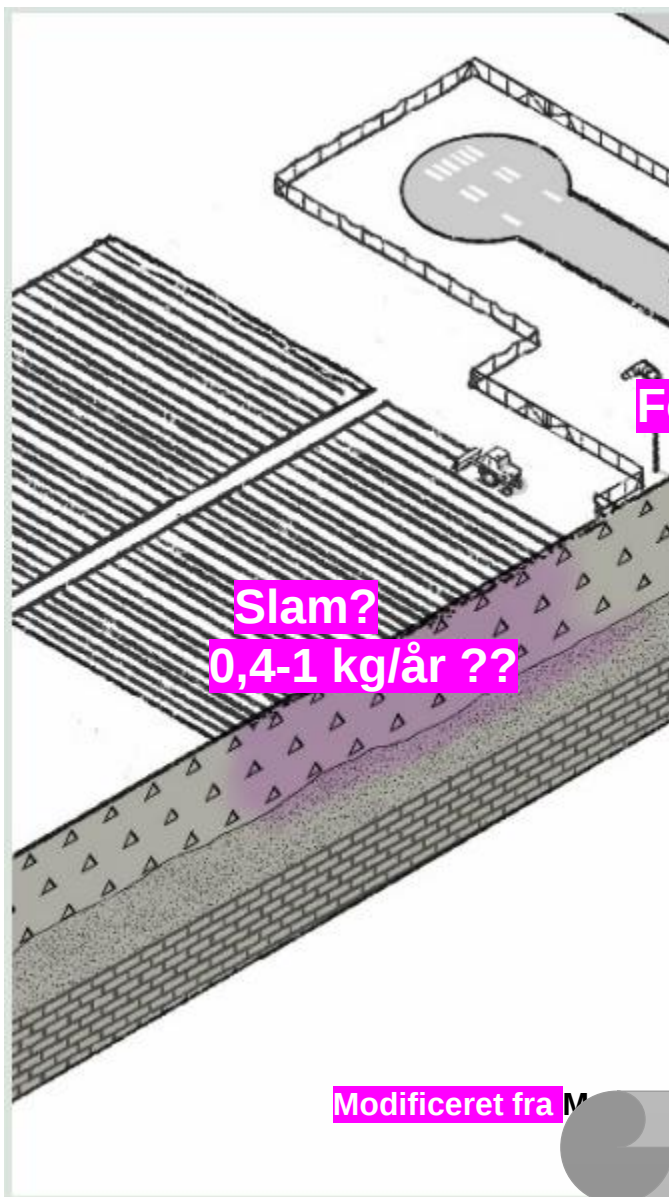
PFAS i grundvandet kommer fra både punkt- og diffuse kilder



Modificeret fra Morsing et al, 2025



PFAS i grundvandet kommer fra både punkt- og diffuse kilde på figuren?



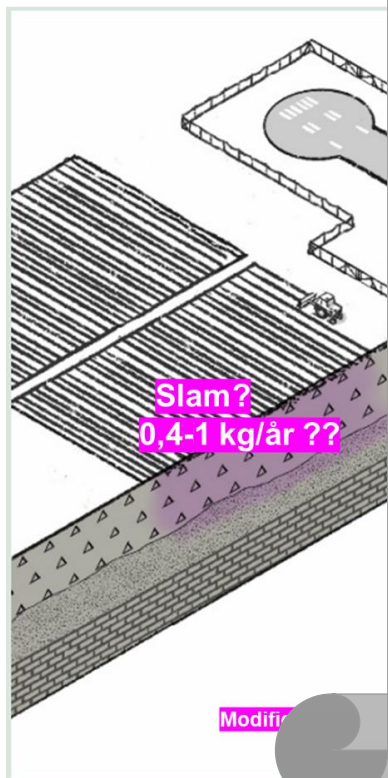
Modificeret fra M

DISCLAIMER:
Alle beregninger er lavet på bagsiden af en konvolut.

Der er tale om hurtige bud, og ikke reelle opgørelser 😊



PFAS i grundvandet diffuse kilde

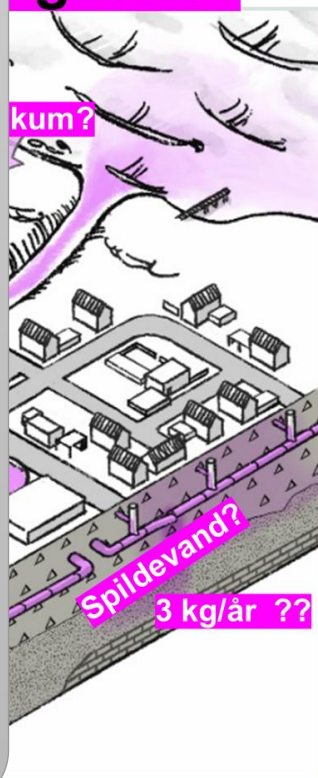


DISCLAIMER:

Alle beregninger er lavet på bagsiden af en konvolut.

Der er tale om hurtige bud, og ikke reelle opgørelser 😊

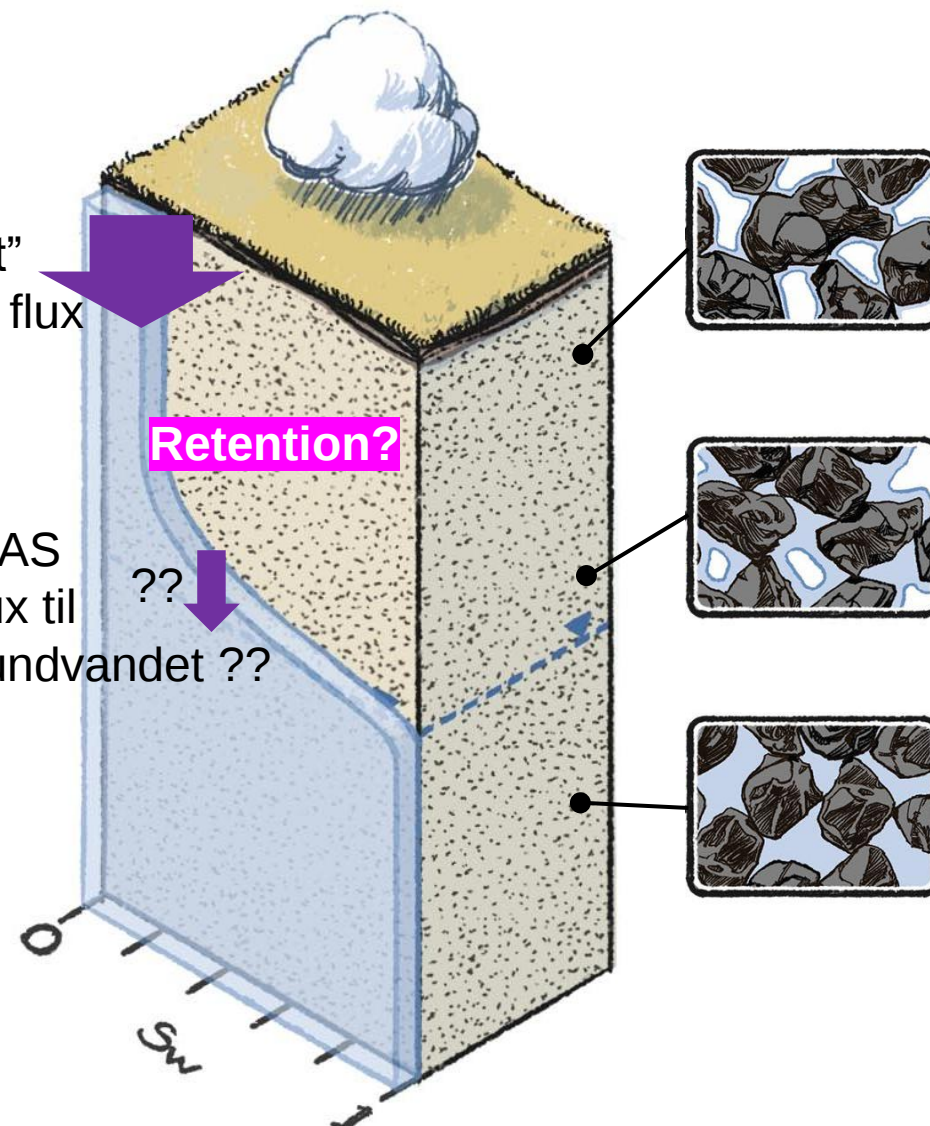
punkt- og kilden?



"kendt"
PFAS flux

Retention?

PFAS
Flux til
grundvandet ??





Læs videre...

- Ministry of Environment, Substance Flow analysis of PFASs in Denmark, Final Report, februar 2024, Udarbejdet af Carsten Lassen, Jakob Maag, Anne Krag, and Martin Sigaard Dau, COWI A/S
- Tsitonaki, Priess og Roost, Overblik over viden om PFAS til vurdering af grundvandets mulige påvirkning af overfladevand, december 2023, <https://mst.dk/media/dzaifm1w/overblik-over-viden-om-pfas-til-vurdering-af-grundvandets-mulige-paavirkning-af-overfladevand.pdf>
- Morsing, L.; Tsitonaki, K.; Dyreborg, S.; Mosthaf, K.; Fjordbøge, A. S.; Hjorth, R.; Jensen, B.; Baun, A.; Bjerg, P. L. (2025): Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde, Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS- forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark.
- Morsing, L., & Petersen, T. E. L. (2024). Assessment of parameters for transport and distribution of PFAS in the unsaturated and saturated zone of a sandy aquifer. Master Thesis. DTU Sustain. Technical University of Denmark.
- Miljøstyrelsen (2025). Porevandsprøver til vurdering af grundvandsrisiko på PFAS-forurenede lokaliteter. Miljøprojekt nr. 2294.
- Diffus forurening og i forvejen forekommende niveauer af PFAS i danske jorde, Miljøprojekt Miljøprojekt nr. 2292 Februar 2025
- Kortlægning af PFAS-forurenede jord, Mængder og mulig håndtering Miljøprojekt nr. 2299 Marts 2025
- Baun, A., Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. (2025) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 2: Forslag til handle muligheder for vidensopbygning og håndtering. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening
- Baun, A., Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. (2023) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening.



TAK FOR OPMÆRKSOMHEDEN

og tak til alle de gode projekter jeg har lånt slides fra...

Aikaterini.Tsitonaki@wsp.com

Og mange andre!

Tak til

Region Hovedstaden

Ditte Lykkesborg Schrøder

Maria Hag og mange andre

Tak til mine kollegaer

WSP Danmark

Karen Andreasen

Katrine Hauge Smith

Bolette B. Jensen

Tak til DTU Sustain

Laura Morsing

Poul L. Bjerg

Annika Fjordbøge

Klaus Mosthaf

Tak til

Medarbejdere fra
kommunen og forsyningen



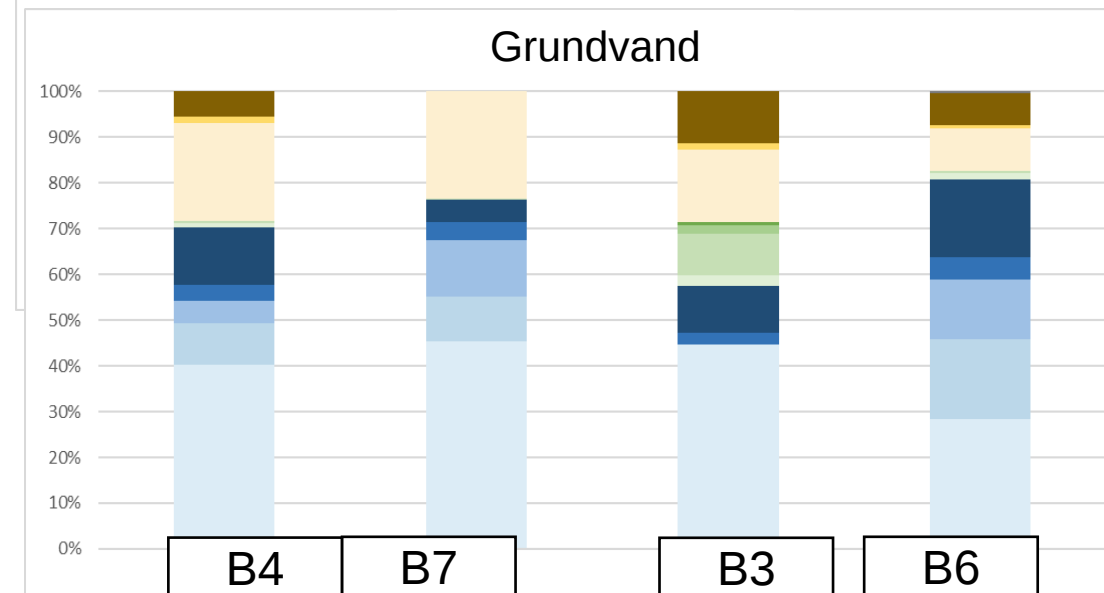
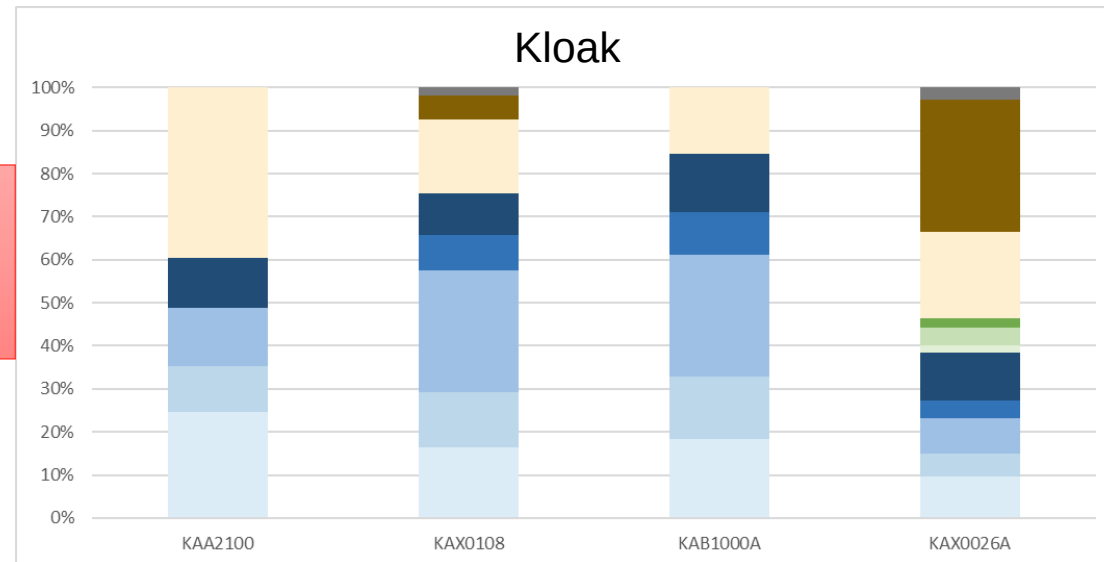
Ekstra slides



Analyseresultater fra kloakbrønde

Rimelig sammenhæng i sammensætning i kloak og grundvandsprøver

1 Almindelig spildevand og utætte kloakker



- PFBA (Perfluorbutansyre)
- PFHpA (Perfluorheptansyre)
- PFDA (Perfluordekansyre)
- PFTrDA (Perfluortridekansyre)
- PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)
- PFNS (Perfluorononansulfonsyre)
- PFDnDS (Perfluordodekansulfonsyre)
- PFPeA (Perfluoropentansyre)
- PFDA (Perfluordekansyre)
- PFUnDA (Perfluorundekansyre)
- PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)
- PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)
- PFDS (Perfluordekane-sulfonsyre)
- PFTrDS (Perfluortridekane-sulfonsyre)
- PFHxA (Perfluorhexansyre)
- PFNA (Perfluorononansyre)
- PFDoDA (Perfluordodekane-syre)
- PFPeS (Perfluoropentansulfonsyre)
- PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)
- PFUnDS (Perfluorundecansulfonsyre)
- 6:2 FTS (Fluortelomersulfonat)