

DANSK MILJØRÅDGIVNING A/S
... din rådgiver gør en forskel



Luftbåren PFAS ved den danske vestkyst

Den Syddanske Udviklingspulje

Maria Fisker og Poul Larsen, DMR A/S

Niels Søndergaard Jørgensen,
Region Syddanmark

ATV Vintermøde 4. marts 2026

www.dmr.dk



Agenda

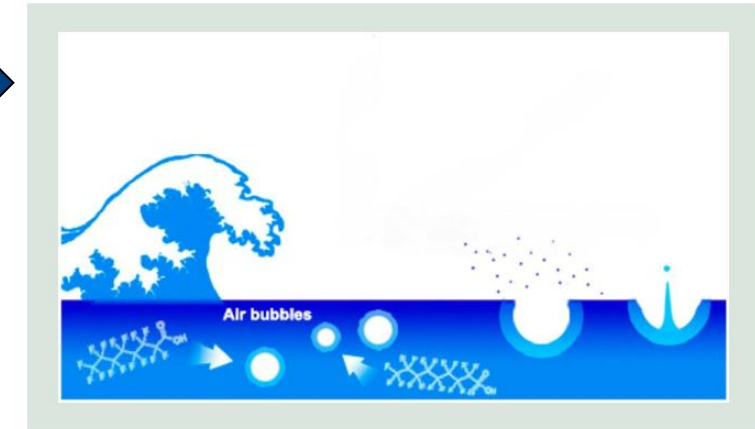
- Baggrund
- Uddrag af tidligere undersøgelser af PFAS i aerosoler
- Indledende konceptuel forståelse
- Projektets formål
- Prøvetagning og analyse af aerosoler og nedbør
- Resultater og vurdering
- Sammenligning med tidligere undersøgelser
- Opdateret konceptuel forståelse
- Perspektivering



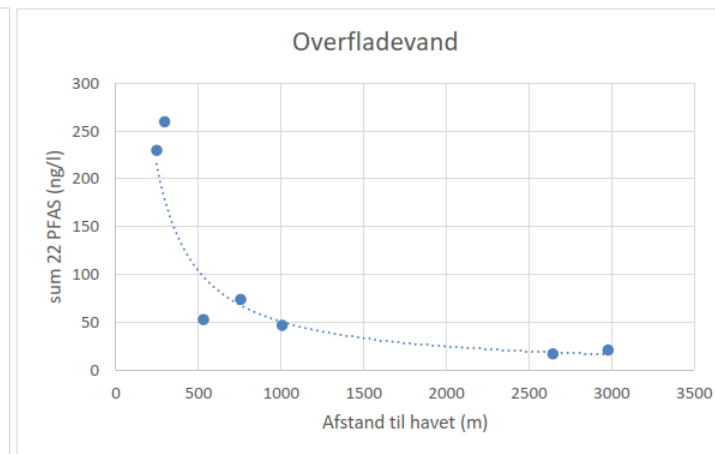
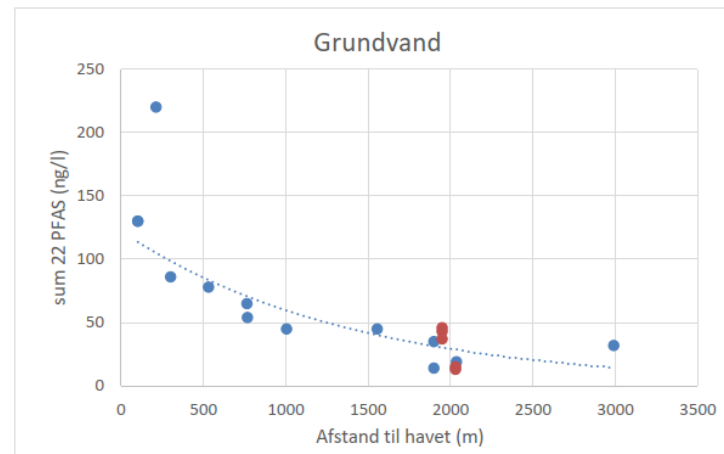
[/www.visitfanoe.dk/](http://www.visitfanoe.dk/)

Baggrund

- Ved bølgeprocesser dannes luftbobler, som stiger til overfladen, hvor disse kan briste og danne aerosoler/SSA (luftbårne partikler) eller blive i overfladen og samles til havskum. PFAS kan opkoncentreres i såvel havskum som aerosoler.
- Der er lavet adskillige danske undersøgelser, der påviser at PFAS opkoncentreres i havskum med koncentrationer af PFAS22 på op til mere end 100.000 ng/L.
- Undersøgelser fra 2023 indikerer desuden, at terrænnært grundvand og overfladevand ved vestvendte kyster kan være påvirket af PFAS fra havet.



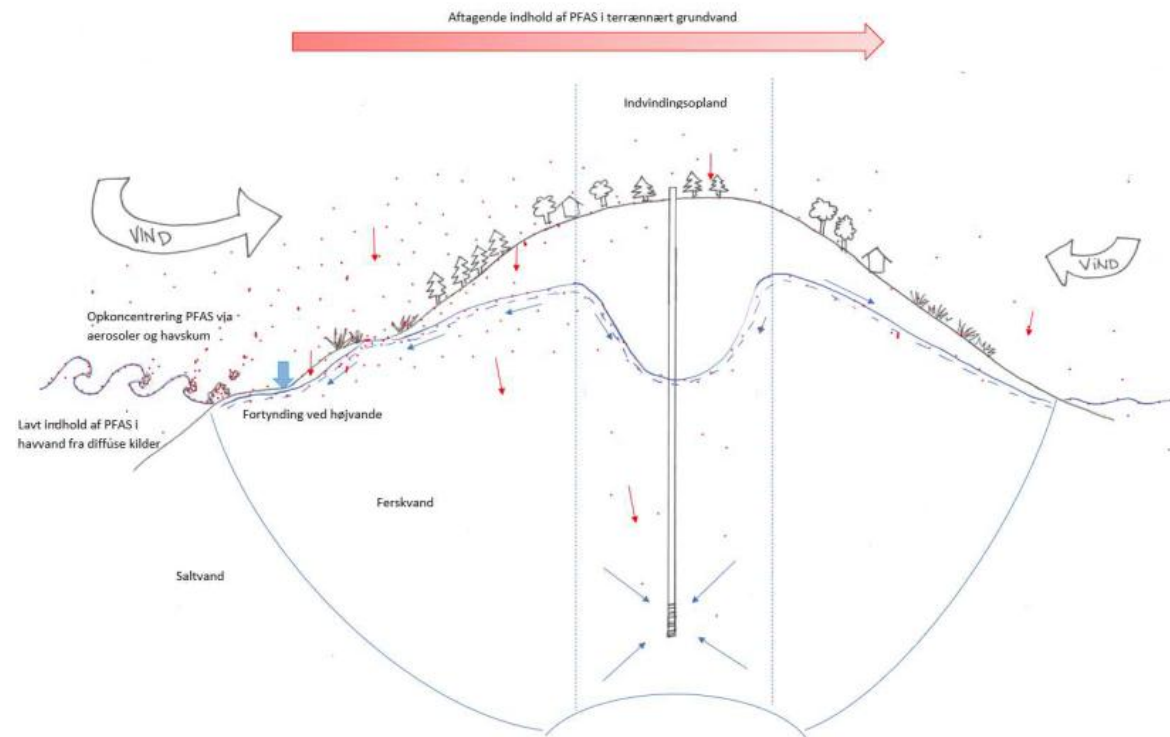
/Niras, 2025/: PFAS-påvirkning fra hav til land Del 1, Teknologiprogrammet for jord- og grundvandsforurening, Miljøprojekt nr. 2307, Niras A/S, august 2025



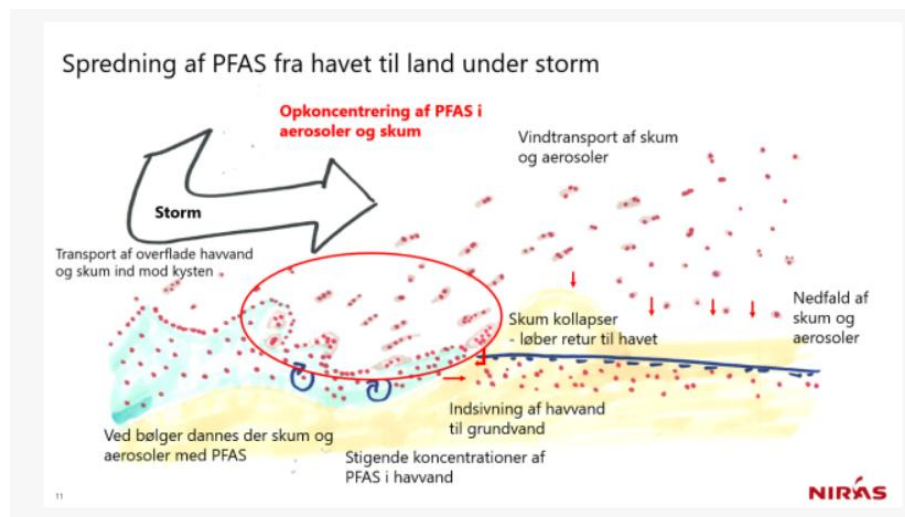
/Niras, 2023/: Undersøgelser af kystnær PFAS-forurening af jord- og grundvand, Den syddanske Udviklingspulje, Journal nr. 22/52316, Niras A/S, oktober 2023

Indledende konceptuel forståelse

- PFAS opkoncentreres i havskum.
- Bølgeprocesser danner havskum og aerosoler (luftbårne partikler/SSA) med PFAS (luft/vand grænsefladen). Typisk ved vindhastigheder over 3-4 m/s og hyppigt ved vindhastigheder over 7-10 m/s.
- PFAS spredes diffust ind over land via havskum, regnvand og aerosoler, hvorefter PFAS nedsiver til terrænnært grundvand, overfladevand m.v.



/Niras, 2023/



Uddrag af tidligere undersøgelser af PFAS i aerosoler

- Ved undersøgelser i eks. Belgien af PFAS i aerosoler ved vestvendte kyster, er der konstateret indhold af PFAS4 på op til 0,105 ng/m³. /Vito, 2023/

- AU-DCE har udtaget prøver af aerosoler i udeluft til analyse for otte neutrale PFAS samt sideløbende udtaget nedbørprøver til analyse for 35 udvalgte PFAS /AU-DCE, 2024/.
 - Prøver udtaget ved Forskningscenter Risø ved Roskilde (= ikke ved hav/vestvendt kyst).
 - Der blev konstateret indhold af de otte PFAS på 0,0007-0,015 ng/m³ i aerosoler i udeluft og op til ca. 3 ng/L i nedbørsprøverne.
 - De otte PFAS målt i aerosoler i udeluften omfattede dog ikke nogle af de 22 PFAS i MST's kriterier, men de neutrale/flygtige FTOH'er, FOSA'er og FOSE'er.

Liste med stoffer målt i luft

Forkortelse	Fuld navn
4:2 FTOH	4:2 Fluorotelomer alcohol
6:2 FTOH	6:2 Fluorotelomer alcohol
8:2 FTOH	8:2 Fluorotelomer alcohol
10:2 FTOH	10:2 Fluorotelomer alcohol
N-Me-FOSA	N-Methylperfluoro-1-octanesulfonamide
N-Et-FOSA	N-Ethylperfluorooctane-1-sulfonamide
N-Me-FOSE	N-Methylperfluorooctanesulfonamido-ethanol
N-Et-FOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamidoethanol



Liste med stoffer målt i nedbør

Forkortelse	Fuld navn
PFBA	Perfluorobutanoic acid
	Perfluoropentanoic acid
	Perfluorohexanoic acid
	Perfluoroheptanoic acid
	Perfluorooctanoic acid
	Perfluorononanoic acid
	Perfluorodecanoic acid
	Perfluoroundecanoic acid
	Perfluorododecanoic acid
	Perfluorotridecanoic acid
	Perfluorotetradecanoic acid
	Perfluoropentane sulfonate
	Perfluorohexane sulfonate
	Perfluoroheptane sulfonate
	Perfluorooctane sulfonate
	Perfluorononane sulfonate
PFDS	Perfluorodecane sulfonate
PFUdS	Perfluoroundecane sulfonate
PFDoS	Perfluorododecane sulfonate
PFTriS	Perfluorotridecane sulfonate
6:2 FTCA	6:2 Fluorotelomer carboxylic acid
8:2 FTCA	8:2 Fluorotelomer carboxylic acid
10:2 FTCA	10:2 Fluorotelomer carboxylic acid
6:2 FTUCA	6:2 Unsaturated fluorotelomer carboxylic acid
8:3 FTUCA	8:2 Unsaturated fluorotelomer carboxylic acid
HFPO-DA (Gen-X)	Hexafluoropropylene oxide-dimer acid
ADONA	4,8-dioxa-3H-perfluorononanoic acid
PFOSA	Perfluorooctane sulfonamide
11-Cl-PF3OUdS	11-Chloroeicosafluoro-3-oxaundecane-1-sulfonic acid
9-Cl-PF3ONS	9-chlorohexadecafluoro-3-oxanone-1-sulfonic acid
PFECHS	Perfluoroethylcyclohexane sulfonate
4:2 FTSA	4:2 Fluorotelomer sulfonic acid
6:2 FTSA	6:2 Fluorotelomer sulfonic acid
8:2 FTSA	8:2 Fluorotelomer sulfonic acid

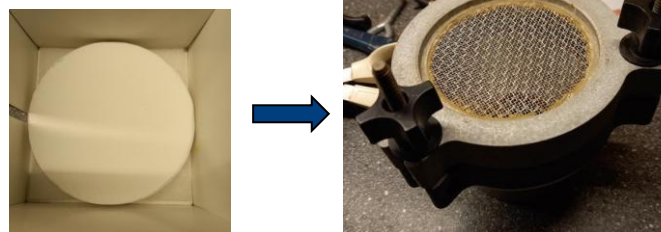
/AU-DCE, 2024/: Målinger af PFAS i luft og nedbør; Rossana Bossi; Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center og Miljø og Energi, nr. 313, 2024

/Vito, 2023/: PFAS in zeewater en zeechuim EINDRAPPORT, Studie uitgevoerd in opdracht van: Agenschap Zorg Gezondheid; VITO: Katleen De Bruewre, Johan Gemoets, Griet Jacobs, Stefan Voorspoels; Referentie: 2022/SCT/R/2837, Januari 2023

1. Afprøvning af AU-DCE's metode til prøvetagning af aerosoler på vestkysten, hvor havskum og aerosoler forventes at medføre spredning af PFAS over land -> højere koncentrationer i aerosoler end inde i landet.
2. Undersøgelse af evt. sammenhæng mellem indhold af PFAS i aerosoler/nedbør med vind- og vejrforhold.
3. Udarbejde opdateret konceptuel model for spredning af PFAS via aerosoler.
4. Opstilling af anbefalinger til, hvordan denne nye viden kan inddrages i forbindelse med risikovurderinger for drikkevand og natur, der kan være påvirket af diffus PFAS-forurening fra havområder.

Prøvetagning og analyse af aerosoler og nedbør

- Opbygning af prøvetager til aerosolprøvetagning med udgangspunkt i AU-DCE's prøvetagning.
 - Bestående af stativ, skærm (rustfri stål), pumpe og vejrstation.
 - On/off switch med sms-kontakt.
 - Online monitoring via DMR Cloud.
- Prøvetagning af aerosoler.
 - Udtagning på kvartsfiberfilter.
 - Flow 2,5 m³/time.
 - Ca. 48 timer for at opnå tilfredsstillende detektionsgrænse.
 - Der tilstræbes en så kort prøvetagningsperiode som muligt.
 - Prøvetagning igangsættes kun under betydelig vind fra vest.
 - Analyse for PFAS22 hos AU-DCE.
- Prøvetagning af nedbør.
 - PP-flaske og tragt.
 - Opsamles under hver aerosolprøvetagning.
 - Analyse for PFAS22 hos ALS Environmental A/S.



/AU-DCE, 2024/

Laboratorietests

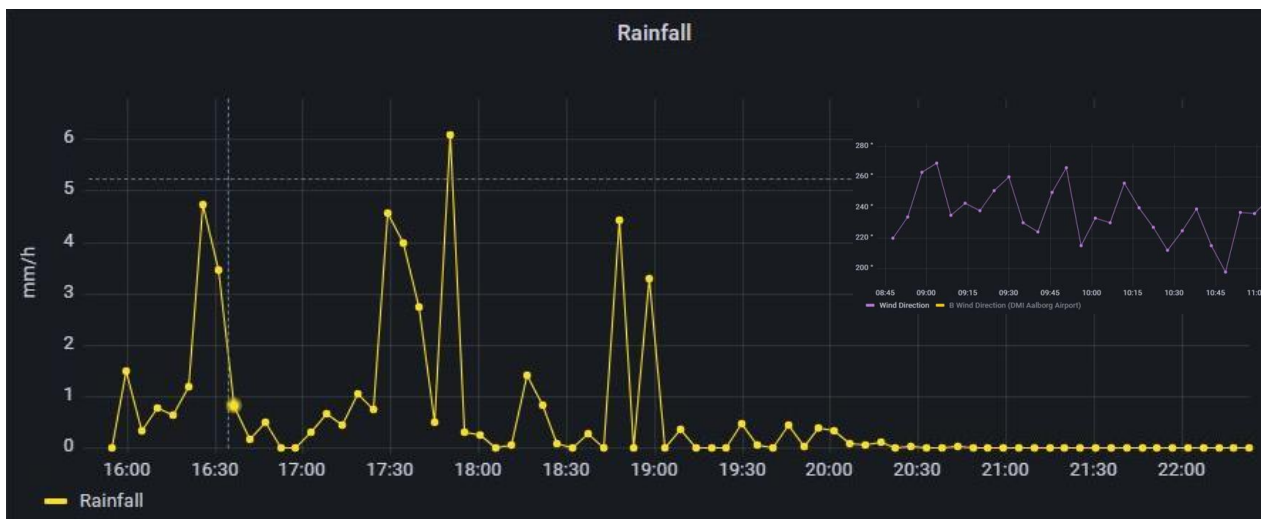
- Afsmitningstests* af udstyrsdele i kontakt med prøven forud for opsamling.
 - Hætte
 - Tragt
- Afsmitningstests udført ved nedsænkning af udstyr i hanevand. Efterfølgende analyse af vandfasen for PFAS22 hos ALS.
 - Hætte ➡ ingen afsmitning
 - Tragt ➡ mindre afsmitning
 - Prøveopstilling justeres således tragten udgår.



* PP-flaske til opsamling af regnvand er testet for afsmitning i forbindelse med et tidligere projekt.

Felttests

- Prøveopstilling testes indledningsvist hos DMR Equipment i Nørresundby.
 - Flowmåleren viste sig at være ustabil. Derfor blev flowet målt manuelt under prøvetagningen på testlokaliteten.
- Efter endt test opsættes prøvetageren på testlokaliteten.



Lokalitetsbeskrivelse – testlokalitet



/Google Maps, 2026/

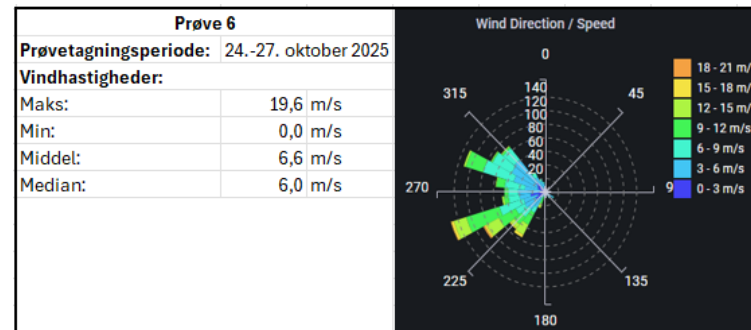
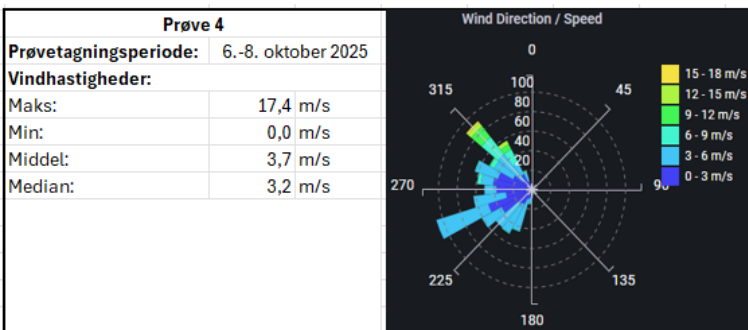
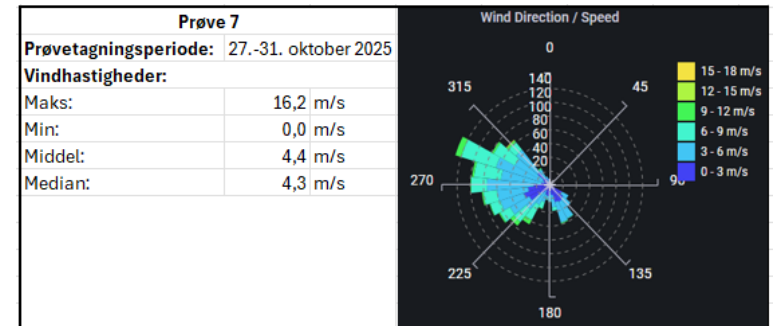
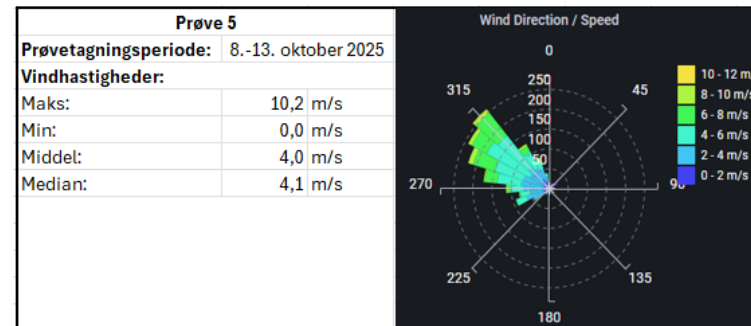
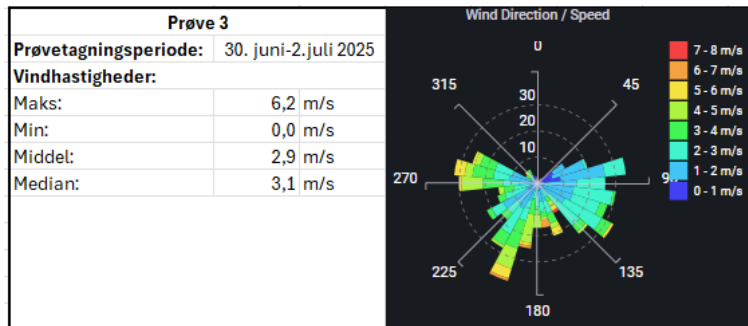
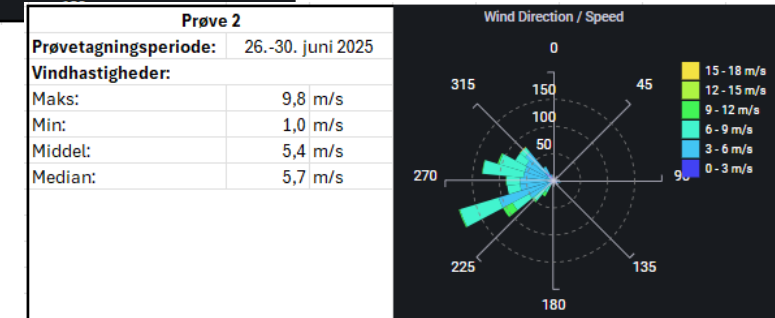
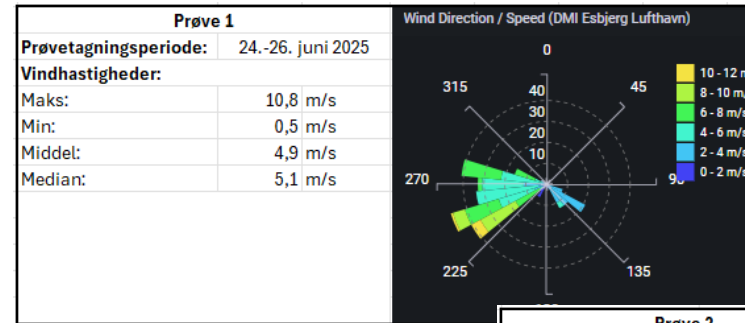
- Vestvendt lokalitet.
- Offentligt tilgængeligt område (toiletbygning). Tilladelse indhentet ved lodsejer (Fanø Kommune).
- Ingen kortlagte lokaliteter i nærområdet.

Prøvetagning

- Prøve 1 udtaget d. 24. – 26. juni 2025
- Prøve 2 udtaget d. 26. – 30. juni 2025
- Prøve 3 udtaget d. 30. juni – 2. juli 2025
- Prøve 4 udtaget d. 6. – 8. oktober 2025
- Prøve 5 udtaget d. 8. – 13. oktober 2025 (ingen nedbørsprøve)
- Prøve 6 udtaget d. 24. – 27. oktober 2025
- Prøve 7 udtaget d. 27. – 31. oktober 2025



Region Syddanmark



Resultater

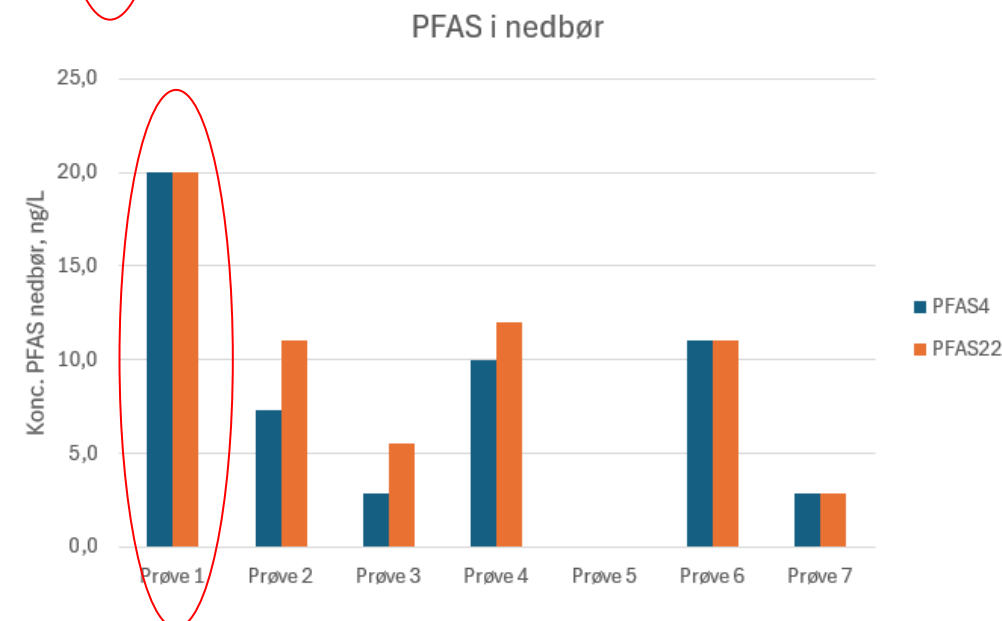
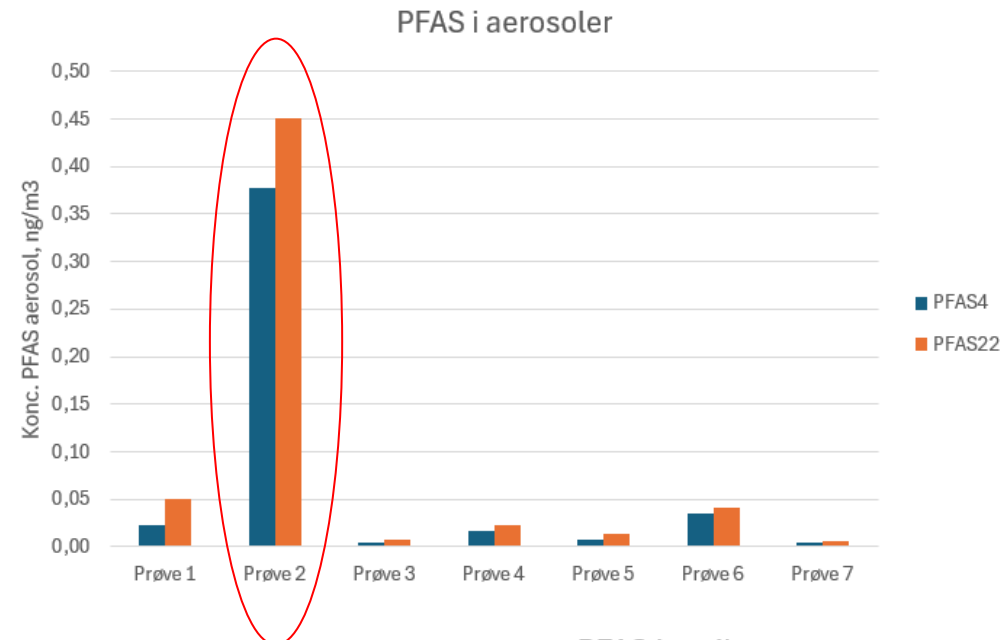


Region Svddanmark

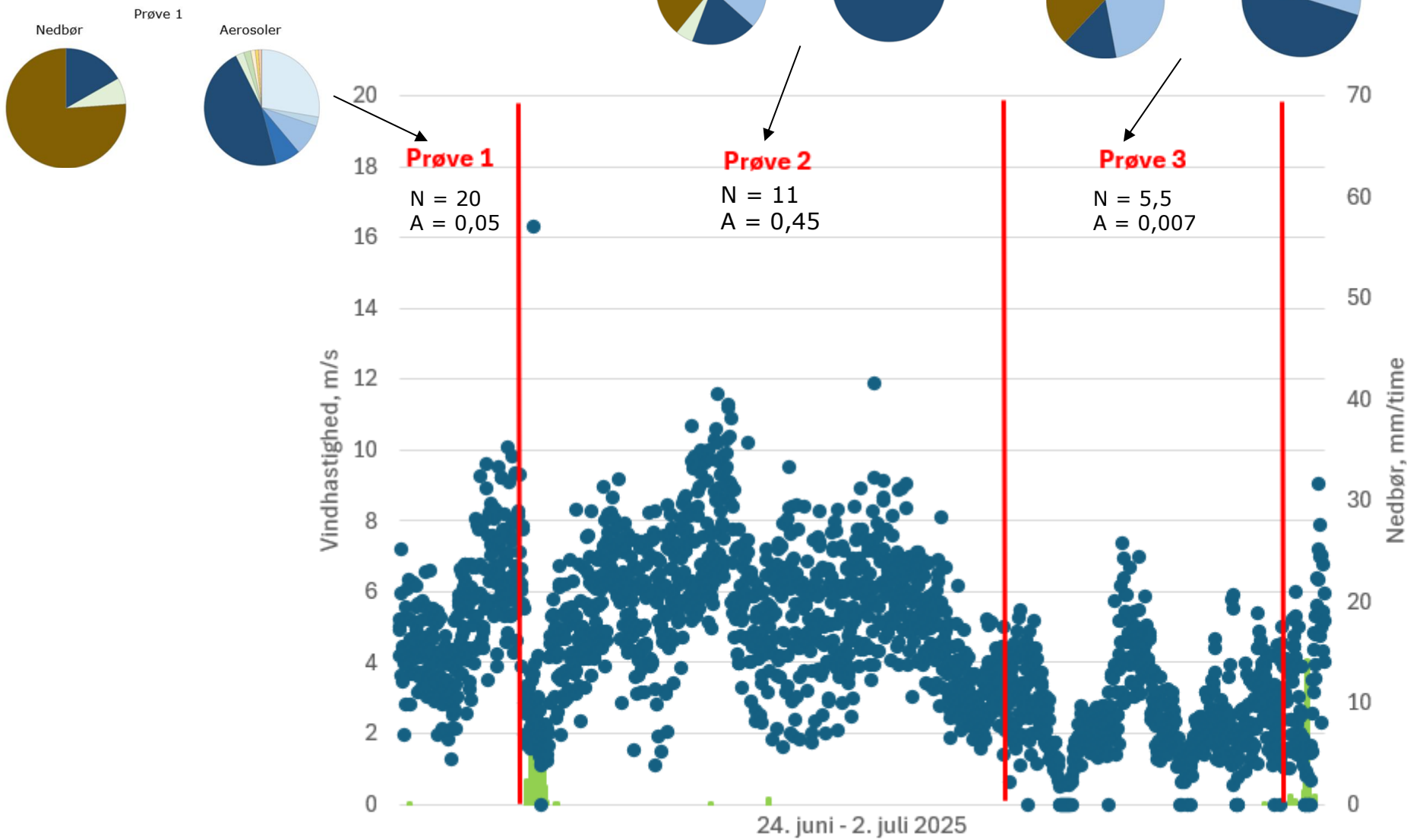


- PFAS22 i aerosoler: 0,007-0,451 ng/m³
- PFAS22 i nedbør: 2,9-20 ng/L

	Aerosoler		Nedbør	
	PFAS4	PFAS22	PFAS4	PFAS22
	ng/m3	ng/m3	ng/L	ng/L
Prøve 1	0,024	0,050	20,0	20,0
Prøve 2	0,377	0,451	7,3	11,0
Prøve 3	0,005	0,007	2,9	5,5
Prøve 4	0,016	0,023	10,0	12,0
Prøve 5	0,008	0,014	i.a.	
Prøve 6	0,035	0,041	11,0	11,0
Prøve 7	0,004	0,007	2,9	2,9



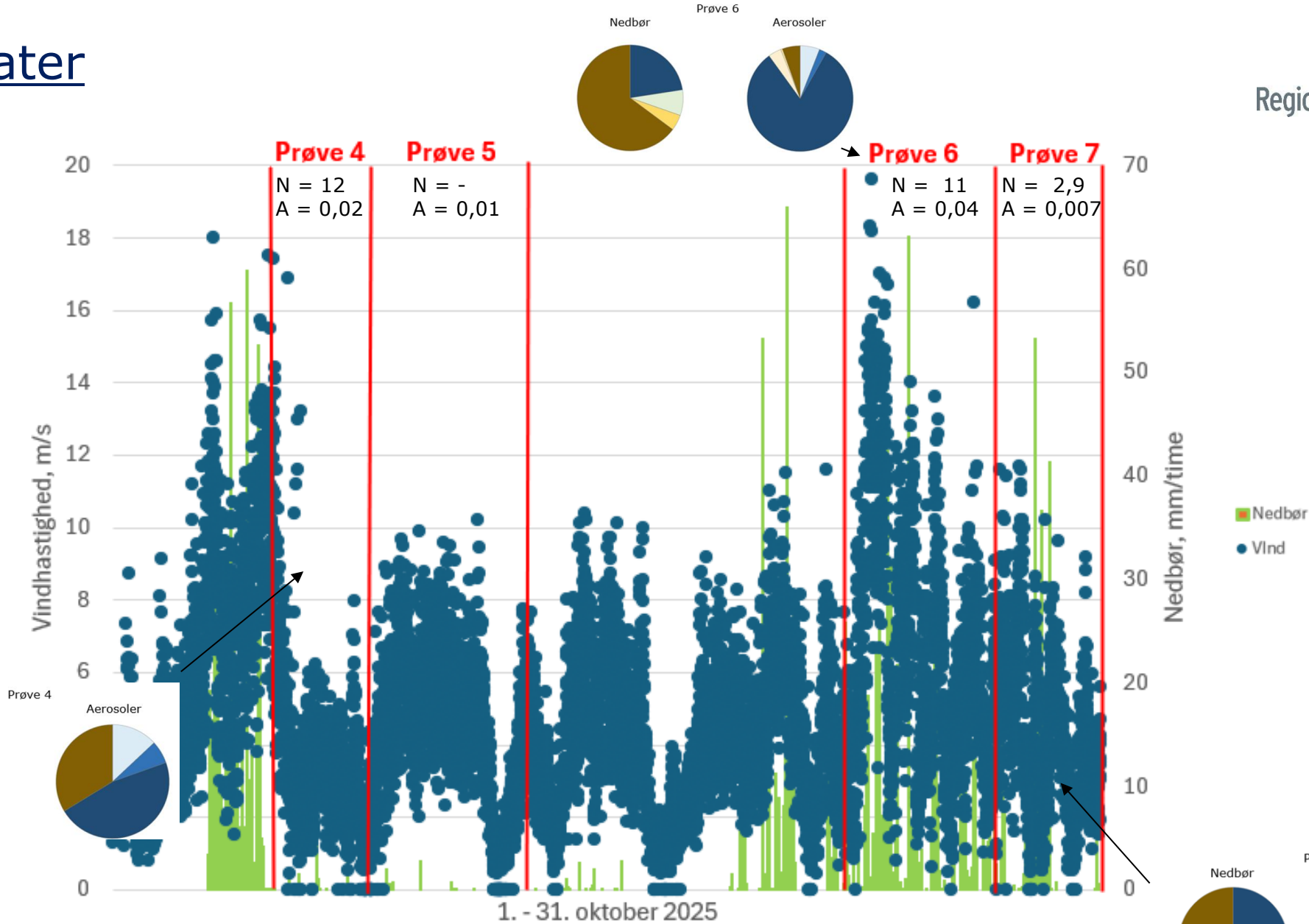
Resultater



Komponent	#C-atomer
PFBA	3
PFPeA	4
PFHxA	5
PFHpA	6
PFOA	7
PFNA	8
PFDA	9
PFUnDA	10
PFDoDA	11
PFTTrDA	12
PFBS	4
PFPeS	5
PFHxS	6
PFHpS	7
PFOS	8
PFNS	9
PFDS	10
PFUnDS	11
PFDoDS	12
PFTTrDS	13
6:2 FTS	6
PFOSA	8

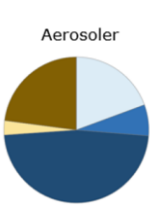
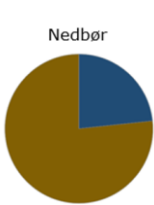
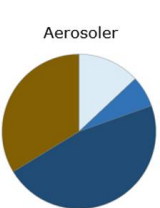
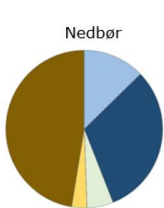
N = PFAS22 i nedbør, ng/L
A = PFAS22 i aerosoler, ng/m³

Resultater



Komponent	# C-atomer
PFBA	3
PFPeA	4
PFHxA	5
PFHpA	6
PFOA	7
PFNA	8
PFDA	9
PFUnDA	10
PFDODA	11
PFTTrDA	12
PFBS	4
PFPeS	5
PFHxS	6
PFHpS	7
PFOS	8
PFNS	9
PFDS	10
PFUnDS	11
PFDODS	12
PFTTrDS	13
6:2 FTS	6
PFOSA	8

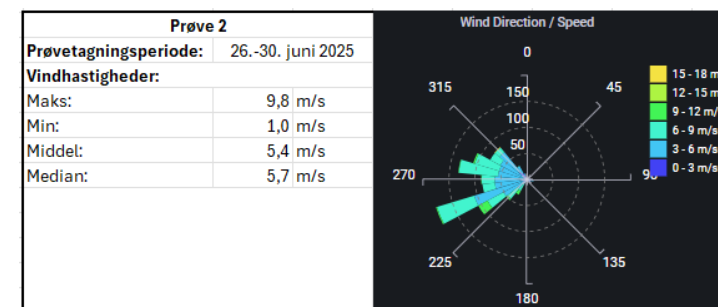
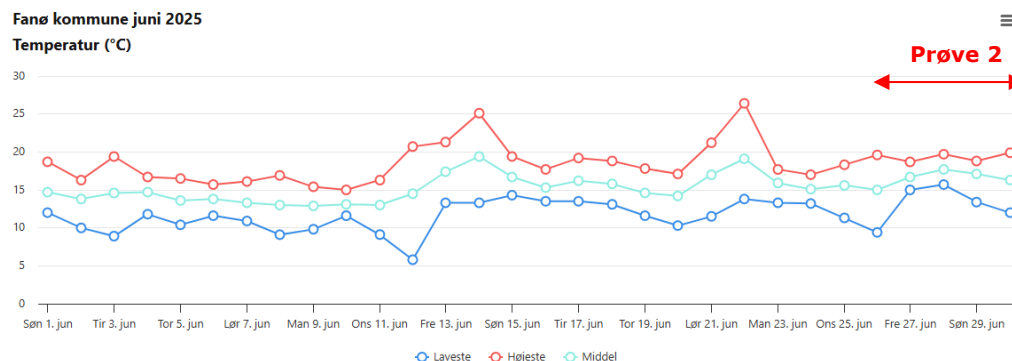
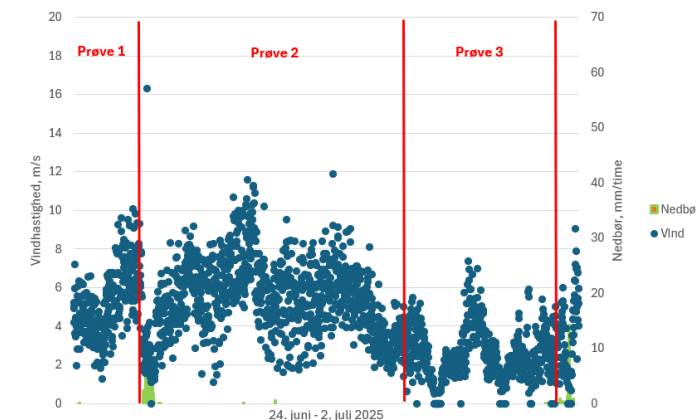
N = PFAS22 i nedbør, ng/L
A = PFAS22 i aerosoler, ng/m³



- PFAS4 dominerer i de fleste prøver i såvel nedbør som i aerosoler.
- I flere af prøverne er der dog flere andre PFAS tilstede (bl.a. prøve 2 og prøve 4).
- I prøver af aerosoler ses en tendens til en større variation af PFAS end i nedbørsprøver.
- PFOS dominerer i nedbør og PFOA dominerer i aerosoler, herudover findes der fortrinsvist kortkædede PFAS (<C7).
- Indikation på større andel af PFOA i aerosoler jo højere vindhastighed.
- Indikation på højere indhold af PFAS i aerosoler jo mere direkte vestenvind.

Vurdering af resultater

- Indhold af PFAS22 i aerosoler i prøve 2 er en ca. faktor 10-60 højere end i de resterende aerosolprøver. Er der en naturlig forklaring?
 - Vindforhold i perioden op til og under prøveudtagning?
 - Vindretning og vindhastighed? Mere direkte vestenvind under prøvetagning af prøve 2 end de resterende prøver.
 - Temperatur (evt. øget afdampning)?
 - Nedbørsmængde og –intensitet?



- Det er sandsynligt, at vi ville se dette koncentrationsniveau igen, hvis vi havde et større datasæt.

PFAS i aerosoler

- DMR SUP 2025/2026:
- Risø v/ Roskilde /AU-DCE, 2024/:
- Belgien /Vito, 2023/:

PFAS22/PFAS4 på op til 0,451/0,377 ng/m³.
FTOH'er m.v. på op til 0,015 ng/m³.
PFAS4 på op til 0,105 ng/m³.

PFAS i nedbør

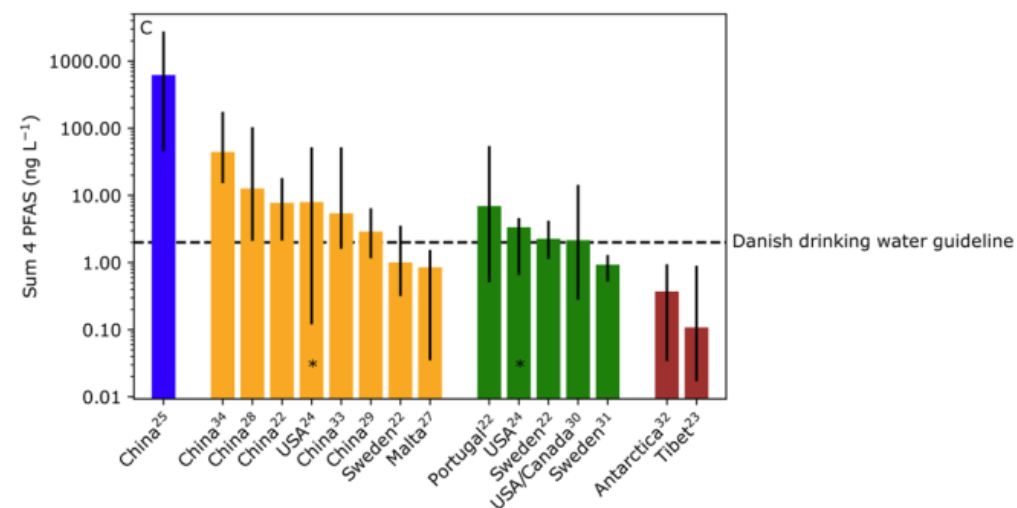
- DMR SUP 2025/2026 Fanø:
- Risø v/ Roskilde /AU-DCE, 2024/:
- TV2's egen undersøgelse i 2022:
- Undersøgelser fra udlandet /Cousins, 2022/:

PFAS22 på 2,9-20 ng/L.
35 udvalgte PFAS på op til 3,3 ng/L.
PFAS(4?) på op til 1,5 ng/L.
PFAS4 på op til >10 ng/L.

/AU-DCE, 2024/: Målinger af PFAS i luft og nedbør; Rossana Bossi; Teknisk rapport fra DCE – Nationalt Center og Miljø og Energi, nr. 313, 2024

/Vito, 2023/: PFAS in zeewater en zeechuim EINDRAPPORT, Studie uitgevoerd in opdracht van: Agenschap Zorg Gezondheid; VITO: Katleen De Bruewere, Johan Gemoets, Griet Jacobs, Stefan Voorspoels; Referentie: 2022/SCT/R/2837, Januari 2023

/Cousins, 2022/: Outside the Safe Operating Space of a New Planetary Boundary for Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS); Ian T. Cousins, Jana H. Johansson, Matthew E. Salter, Bo Sha and Martin Sherlinger, Environ. Sci. Technol. 2022, 56, 11172-11179



Fluxbetragtninger

- Horizontal PFAS-spredning via aerosoler ind over Fanøs vestkyst:

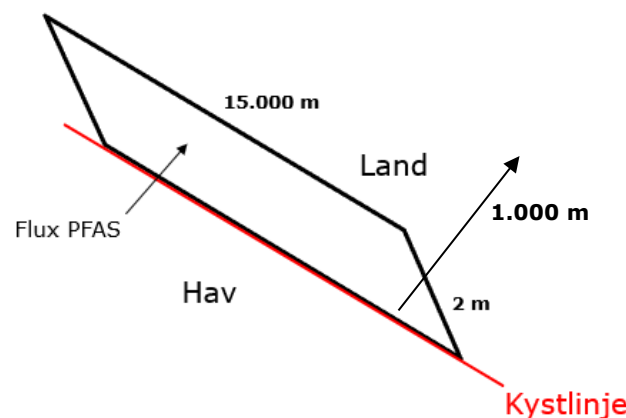
- Estimeret horizontal flux af PFAS22 i aerosoler ind over land: **Ca. 90 kg/år.**
- Svarende til en påvirkning inden for de første 1.000 m fra kystlinjen på **ca. 6 g/år/m².**

Kun relevant, når der dannes havskum og aerosoler ved vindhastigheder $\geq 3-4$ m/s.

Ca. 70% af tiden under DMR's prøveudtagning

- Vertikal PFAS-spredning via regnvand til terrænnært grundvand:

- Arealet er baseret på længden af den vestvendte kystlinje på Fanø samt en bredde på 1.000 m, jf. /Niras, 2023/, hvor de højeste indhold af PFAS i det terrænnære grundvand er truffet indenfor de første 1.000 m fra havet.
- Estimeret vertikal flux af PFAS22 i nedbør på op til **82,5 g/år.**



Forudsætninger for beregning:

Areal af vertikal fluxkasse: 15.000 m x 2 m

Vindhastighed (median): 4,2 m/s

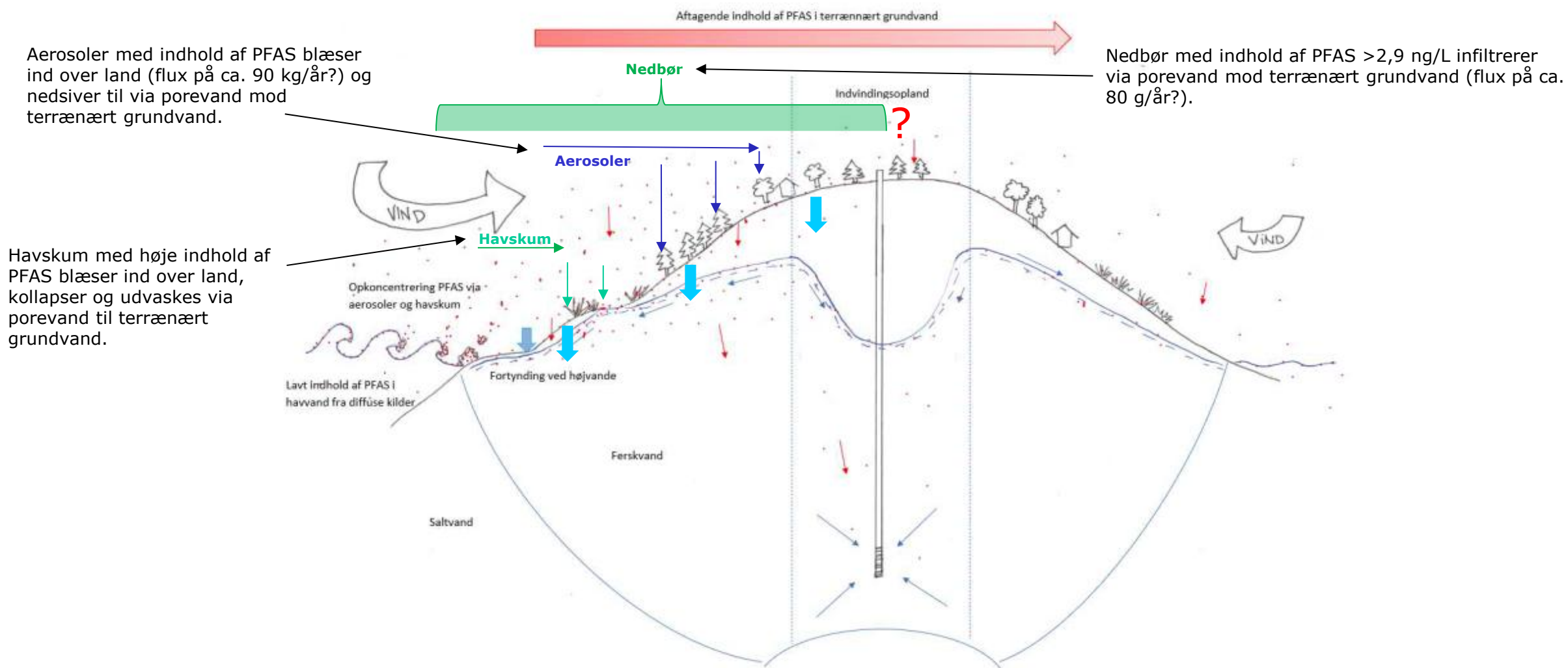
Koncentration af PFAS22 i aerosoler (median): 0,023 ng/m³

Areal af horizontal fluxkasse: 15.000 m x 1.000 m

Nedbør: 500 mm/år (JAGG2.1)

Koncentration af PFAS22 i nedbør (median): 11 ng/L

Opdateret konceptuel forståelse



Modificeret efter /Niras, 2023/

Perspektivering

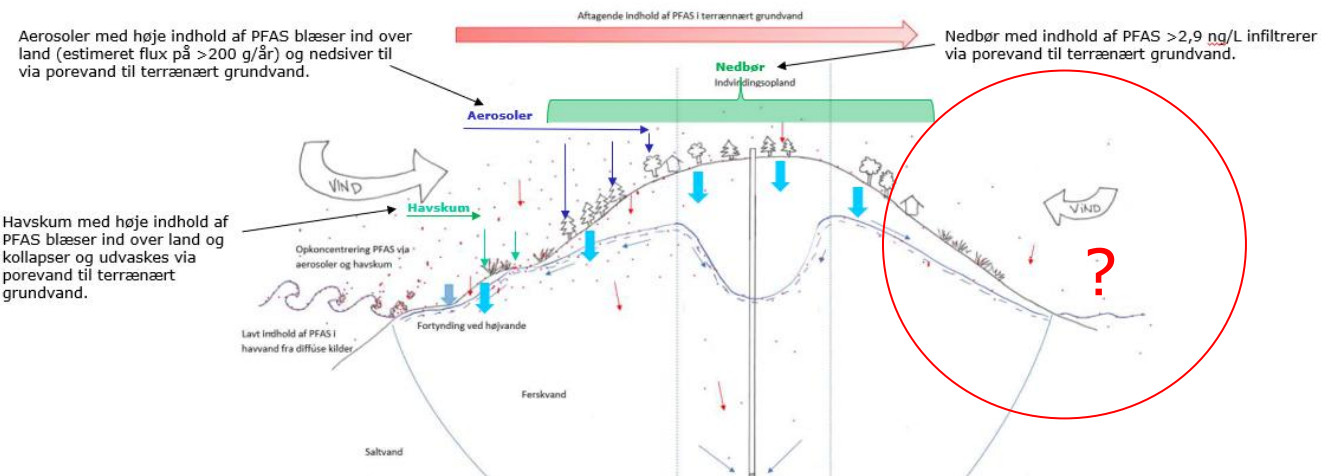
- Forbedret prøvetagning.
 - Udbygge prøvetageren med kontinuerte flowmålinger (forbedret version).
 - Udbygge prøvetager med partikelsæ
 - Automatiseret eventdrevet prøveta

- Hvordan med forhold vi ikke ken
 - Havstrømme? Temperatur over hav
 - Målinger i forskellige afstande fra k

- Udvidelse af datasæt
 - Flere prøvetagninger hen over året

- PFAS-påvirkning ved østenvind?
 - Er der en påvirkning fra aerosoler fra øst?
 - Diffus forurening inde fra fastlandet?

- Undersøgelse af indhold af flere PFAS i aerosoler end PFAS22.
 - Evt. for de neutrale/flygtige forbindelser (AU-DCE, 2024/)?



Forkortelse	Fuld navn
4:2 FTOH	4:2 Fluorotelomer alcohol
6:2 FTOH	6:2 Fluorotelomer alcohol
8:2 FTOH	8:2 Fluorotelomer alcohol
10:2 FTOH	10:2 Fluorotelomer alcohol
N-Me-FOSA	N-Methylperfluoro-1-octanesulfonamide
N-Et-FOSA	N-Ethylperfluorooctane-1-sulfonamide
N-Me-FOSE	N-Methylperfluorooctanesulfonamido-ethanol
N-Et-FOSE	N-Ethylperfluorooctanesulfonamidoethanol

Modificeret efter /Niras, 2023/

Tak for opmærksomheden