

Undersøgelse af koncentrationen af diffus PFAS forurening i jord og førstkommande grundvand

Nanna Thomsen, Rambøll, Ditte Schrøder, specialkonsulent, Region Hovedstaden, Henrik Nordtorp, specialkonsulent, Region Nordjylland, Thomas Ljungberg, konsulent, Region Midtjylland, Lene Søe Højberg, specialkonsulent, Region Sjælland, Agnieszka T. Bentzen, konsulent, Region Syddanmark, Julie Kofoed, senior konsulent, Danske Regioner, Maiken Nielsen, MST, Annette Rosenbom, Ziff Maria Kristensen, Bauke Zegers Rambøll

RAMBØLL

Bright ideas.
Sustainable change.

Hvad er diffus forurening med PFAS

Diffus jordforurening er oprindeligt forårsaget af hændelser, der er relateret til **en eller flere punktkilder**, men der er sket en spredning, opblanding eller fortynding, således at forholdet mellem kilden og jordforureningen er blevet sløret. I modsætning til jordforurening ved punktkilder er diffus jordforurening ikke afgrænset til arealer i umiddelbar nærhed af punktkilden, og **vil typisk omfatte bidrag fra flere kilder**.

Miljøprojekt Nr. 663 2002

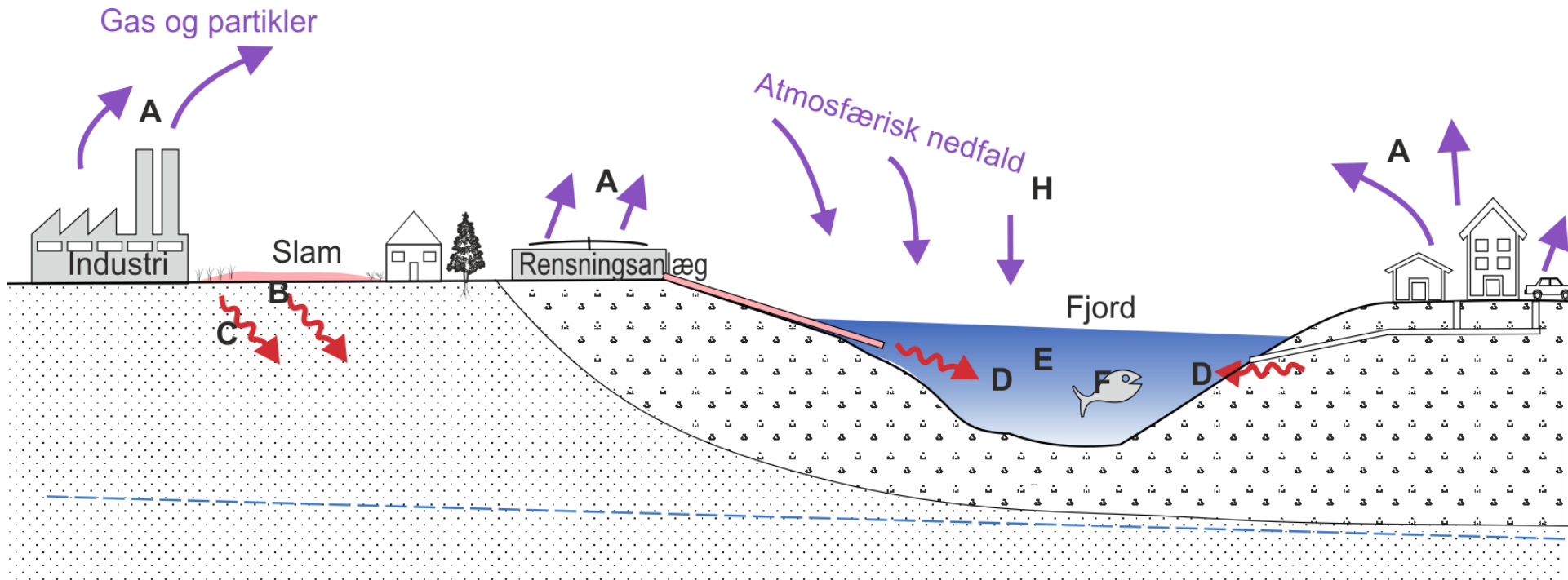
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening

Kortlægning af diffus jordforurening i byområder. Delrapport 1

Erfaringsopsamling og afklaring af kilder til diffus
jordforurening i byområder

Jacqueline Anne Falkenberg og Charlotte E. Riis
NIRAS Rådgivende Ingeniører A/S

Konceptuel model for kilder til diffus forurening med PFAS



- A. Emissioner og fjerntransport
- B. Jordforbedring med slam fra rensningsanlæg
- C. Nedsivning til grundvand efter jordforbedring med slam fra rensningsanlæg
- D. Overfladeafstrømning
- E. Overfladevand
- F. Biota
- G. Atmosfærisk nedfald

Umiddelbart vil forureningsniveauerne for diffus forurening med PFAS forventes at være meget lave og omfatte et bredt spektrum af PFAS-forbindelser.

Kilde: [PFAS-håndbogen 2022_Final \(miljoeogressourcer.dk\)](#)

Formål

Formålet med projektet er at undersøge koncentrationen af PFAS forurening i jord og førstkommende grundvand i Danmark. Undersøgelsen omfatter:

- Undersøge koncentrationen af PFAS i de øverste 0,2 meter af jorden ved forskellige arealanvendelser (Beboelse, Industri og Natur)
- Modellering af sammenhængen mellem PFAS koncentrationen i de øverste 0,2 meter af jorden og PFAS koncentrationen i nedbør (tør og våd deposition/aflejringer)
- Undersøge koncentrationen af PFAS i førstkommende grundvand ved forskellige areal anvendelser (Beboelse, Industri og Natur)
- Modellering af sammenhængen mellem PFAS koncentrationen i de øverste 0,2 meter af jorden og PFAS koncentrationen i førstkommende grundvand(tør og våd deposition/aflejring)

Kriterier for valg af lokaliteter

Projektet omfatter undersøgelse af koncentrationen af PFAS i jorden på 15 lokaliteter i Danmark.

Arealanvendelse

Lokaliteterne har varierende arealanvendelse (Industri, beboelse og natur).

Geologi og grundvand

På lokaliteterne skal jordbundstypen så vidt muligt være sand eller moræneler. Lokaliteterne er derfor screenet for jordbundstype, dvs. at der er set på kort over overfladejorden.

Nærmeste PFAS forurening

For at sikre, at lokaliteterne udelukkende repræsenterer diffus forurening, er de placeret uden for kendte punktkildeforureninger. Derfor er der i udvælgelsen taget hensyn til nærmeste V1- og V2-kortlægninger samt beboelse, industriel aktivitet og motorveje.



Placering af lokaliteter

Arealanvendelse

● Beboelse

● Industri

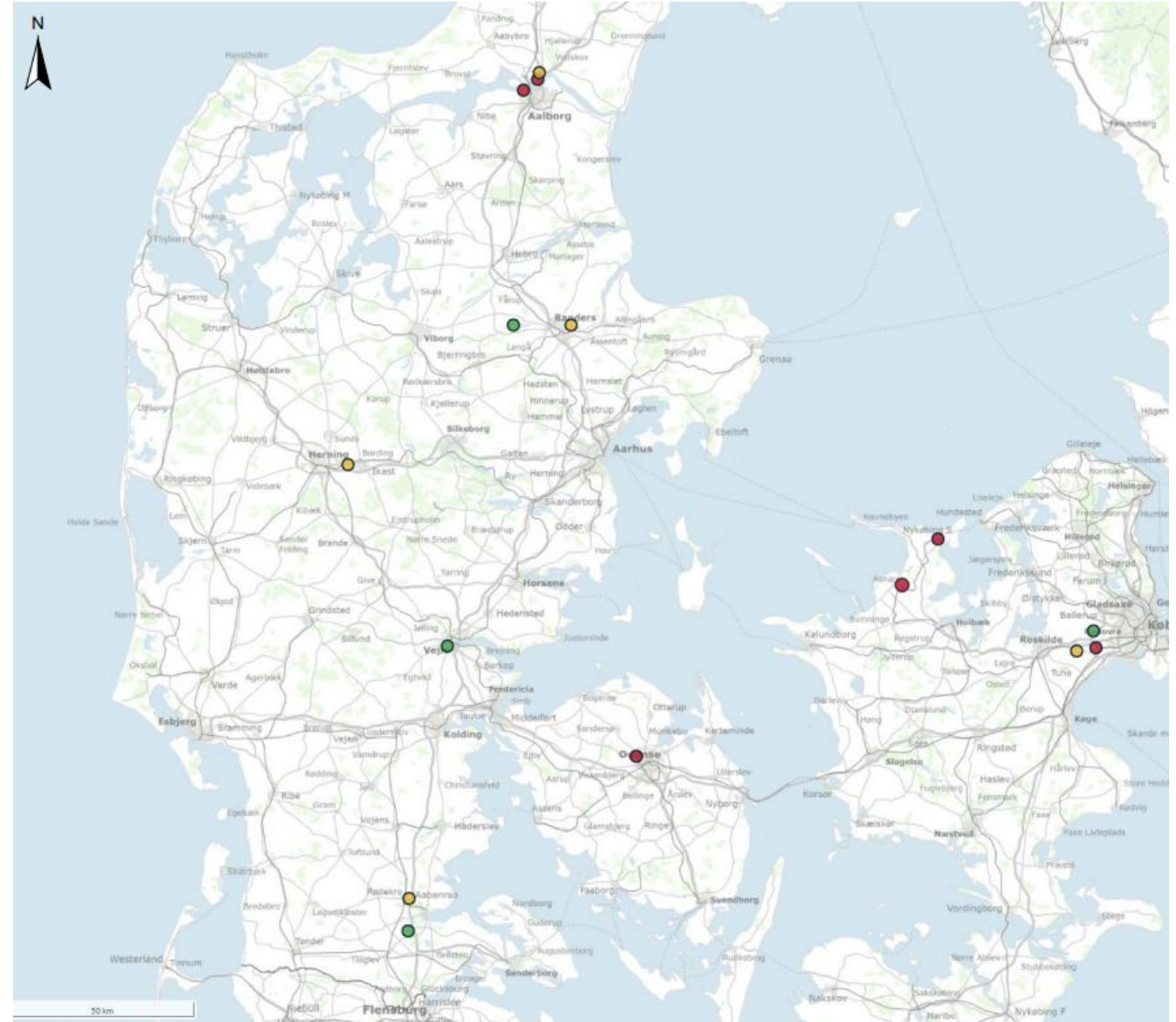
● Skov

Udtagning af jordprøver

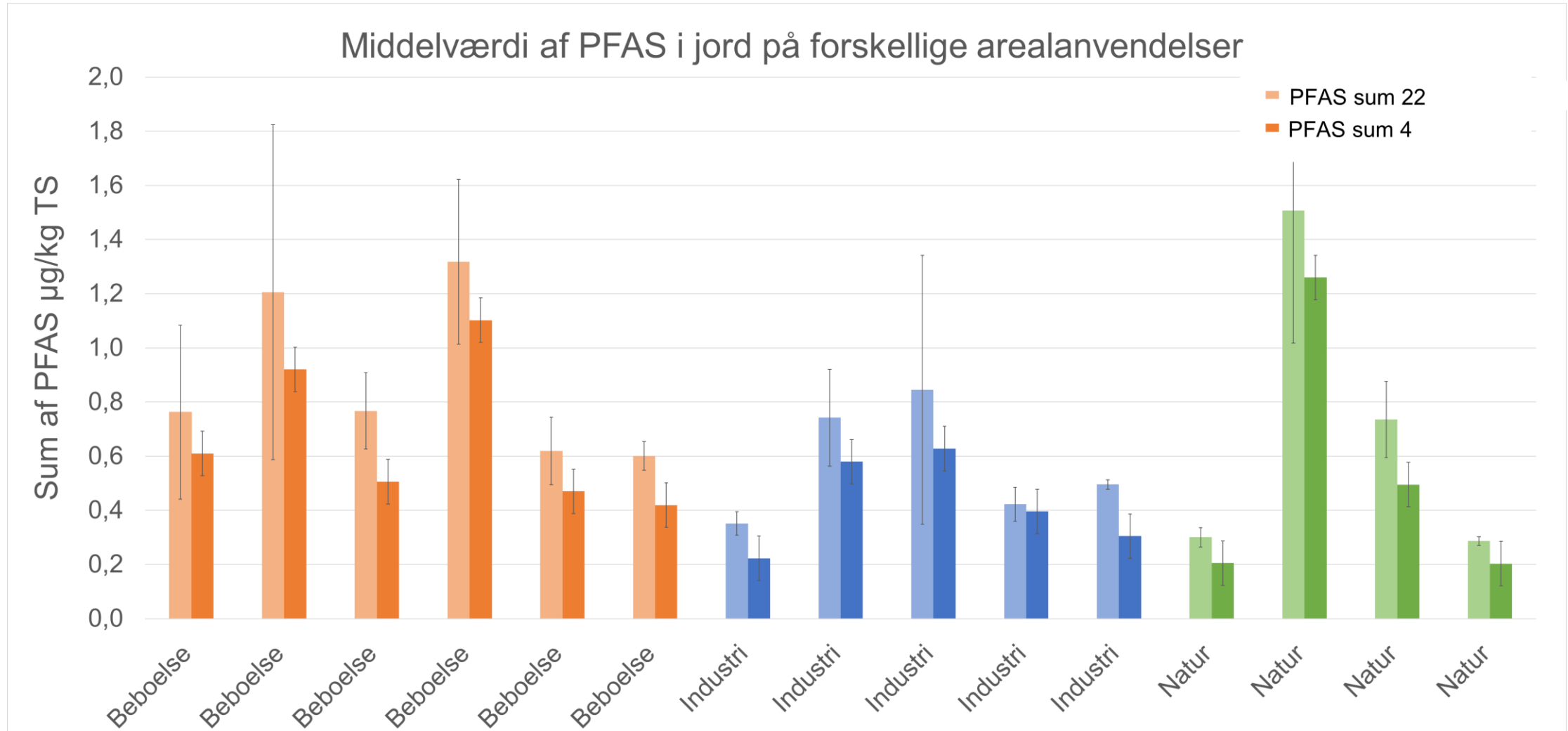
Jordprøverne er udtaget på følgende vis:

Tidspunkt: august/september 2024

Metode: blandprøver af fem nedstik, prøverne er udtaget 0,2 mut

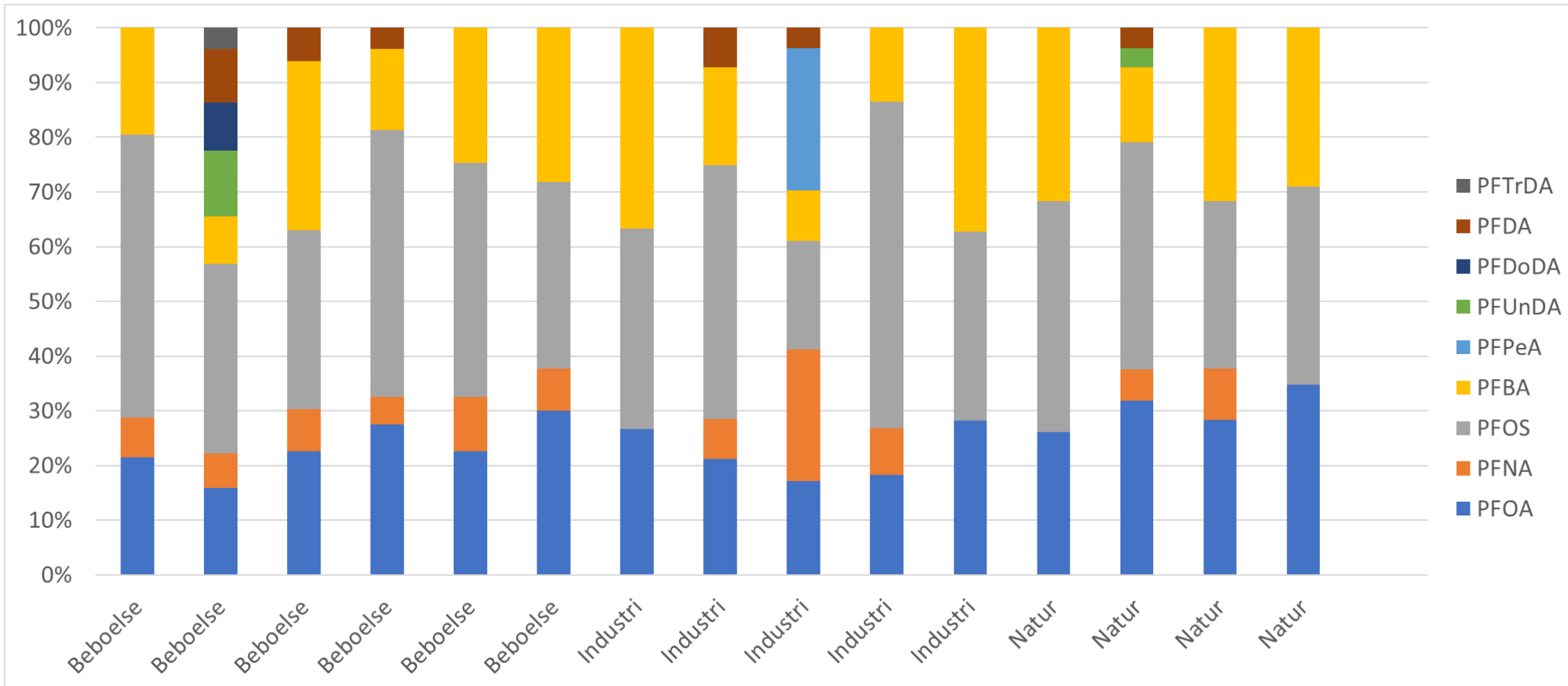


PFAS koncentration målt i jorden 0,2 mut på 15 lokaliteter

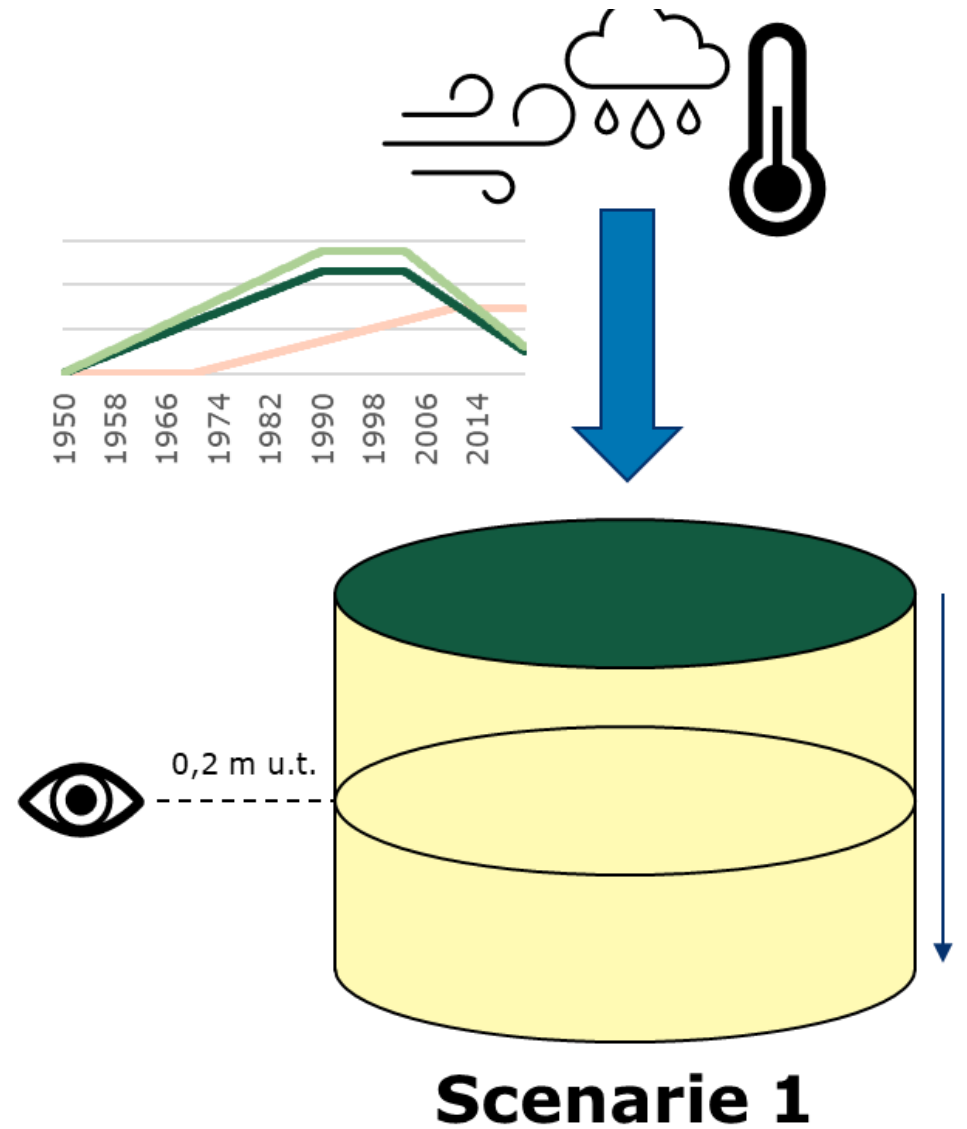


Der er i alt udtaget 85 jordprøver

Sammensætning af PFAS målt i jorden på 15 lokaliteter



Modellering af sammenhængen mellem den målte koncentration af PFAS i jorden og PFAS i nedbør



PFAS i nedbør

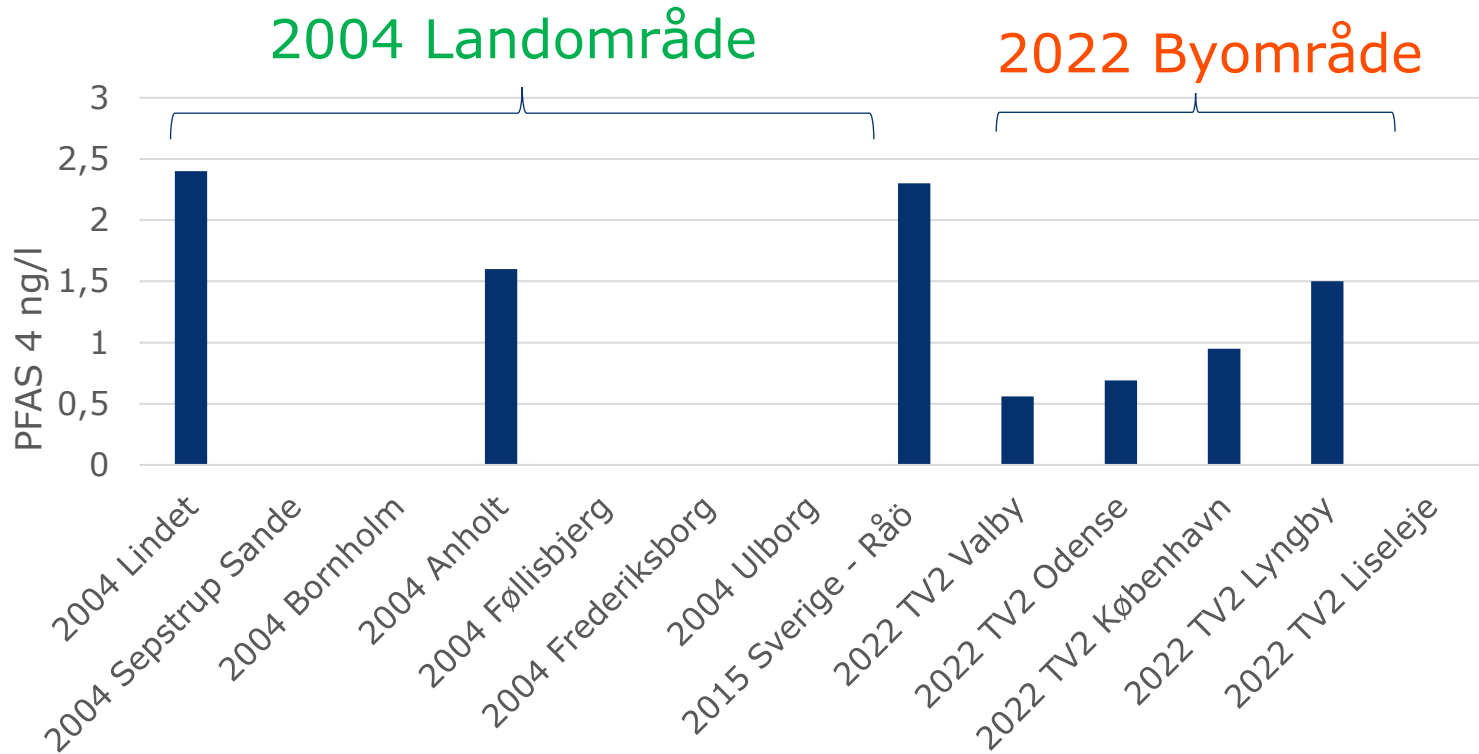
Opsamlingsudstyret er placeret ved AU's bygning på Risø



Tabel 3.3. Gennemsnit koncentrationer (min-max) af PFASs (ng/L) målt i nedbør i perioden november 2023- februar 2024.

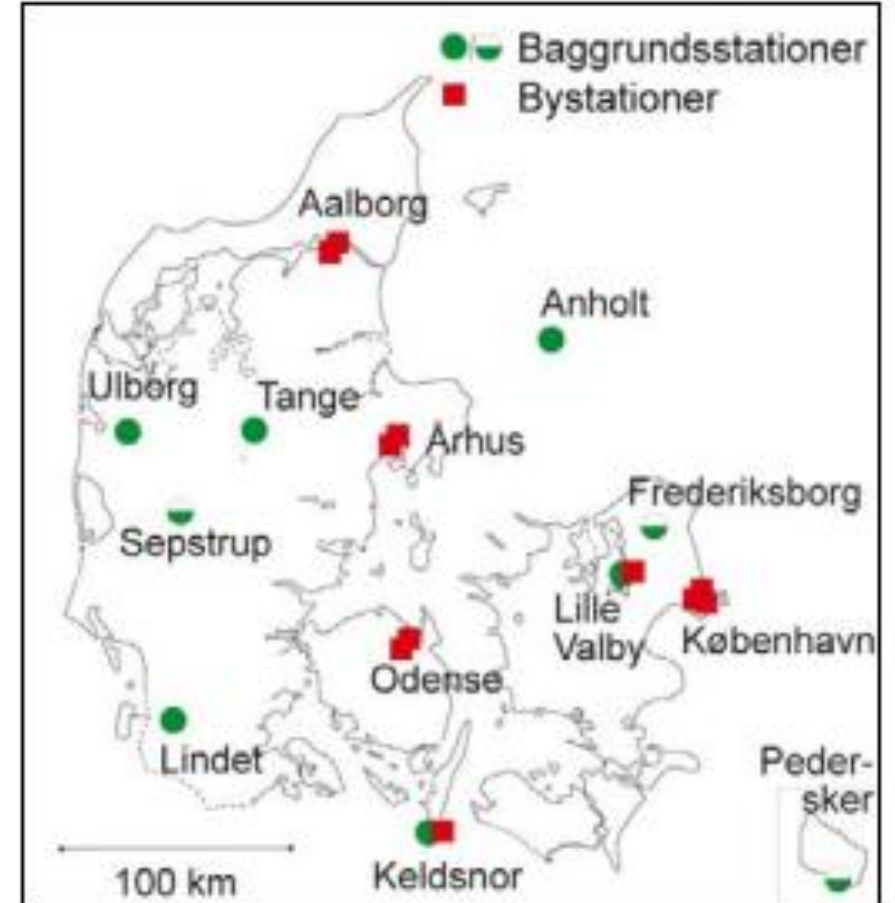
Stof	Wet only opsamling	Bulk opsamling
PFBA	0,58 (n.d.-0,87)	0,73 (0,37-1,66)
PFPeA	0,10 (n.d.-0,13)	0,20 (n.d.-0,39)
PFHxA	0,16 (n.d.-0,19)	0,29 (n.d.-0,45)
PFHpA	0,13 (0,09-0,22)	0,22 (0,12-0,31)
PFOA	0,22 (0,14-0,29)	0,25 (0,17-0,31)
PFNA	0,10 (0,07-0,13)	0,12 (0,07-0,18)
PFDA	0,07 (0,04-0,10)	0,07 (0,04-0,11)
PFUnA	0,07 (0,03-0,11)	0,06 (0,04-0,09)
PFDoA	0,06 (0,03-0,12)	0,05 (0,03-0,11)
PFTTrA	0,12 (n.d.-0,39)	0,06 (0,03-0,08)
PFTeA	0,06 (n.d.-0,09)	0,07 (n.d.-0,11)
PFBS	0,09 (0,08-0,12)	0,10 (0,07-0,12)
PFHxS	0,06 (n.d.-0,07)	0,07 (n.d.-0,08)
PFHpS	0,05 (n.d.-0,05)	0,05 (n.d.-0,05)
PFOS	0,25 (0,13-0,43)	0,30 (0,17-0,68)
6:2 FTUCA	0,03 (n.d.-0,04)	0,02 (n.d.-0,03)
8:2 FTUCA	0,04 (n.d.-0,04)	0,04 (n.d.-0,04)
HFPO-DA	0,08 (n.d.-0,09)	0,10 (n.d.- 0,13)
ADONA	0,04 (n.d.-0,08)	0,04 (n.d.-0,08)
PFOSA	0,30 (0,05-1,13)	0,10 (0,03-0,14)
PFECHS	0,04 (0,03-0,06)	0,05 (0,04-0,06)
6:2 FTSA	0,34 (0,11-1,17)	0,34 (0,14-1,29)
8:3 FTSA	0,01 (n.d.-0,02)	0,01 (n.d.-0,02)
Sum PFAS (n=23)	3,01	3,33

Koncentrationer i Nedbør Danmark og i Sverige (tæt på DK)



2004 der er fund af andre PFAS (PFDA, PFUnA) på Keldsnor og Frederiksborg

Grundvandskvalitetskriterie:
2 ng/l Σ 4 PFAS



Stationer for opsamling af nedbør 2004

Tidlig udvikling i PFAS koncentrationer i blod

- Koncentrationen af PFAS i nedbør er sandsynligvis ikke konstant – Men hvordan har udviklingen været?
- Hull, S. D., Deen, L., Petersen, K. U., Jensen, T. K., Hammer, P., Wils, R. S., Frankel, H. N., Ostrowski, S. R., & Tøttenborg, S. S. (2023). Time trends in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentrations in the Danish population: A review based on published and newly analyzed data. *Environmental Research*, 237, 117036.

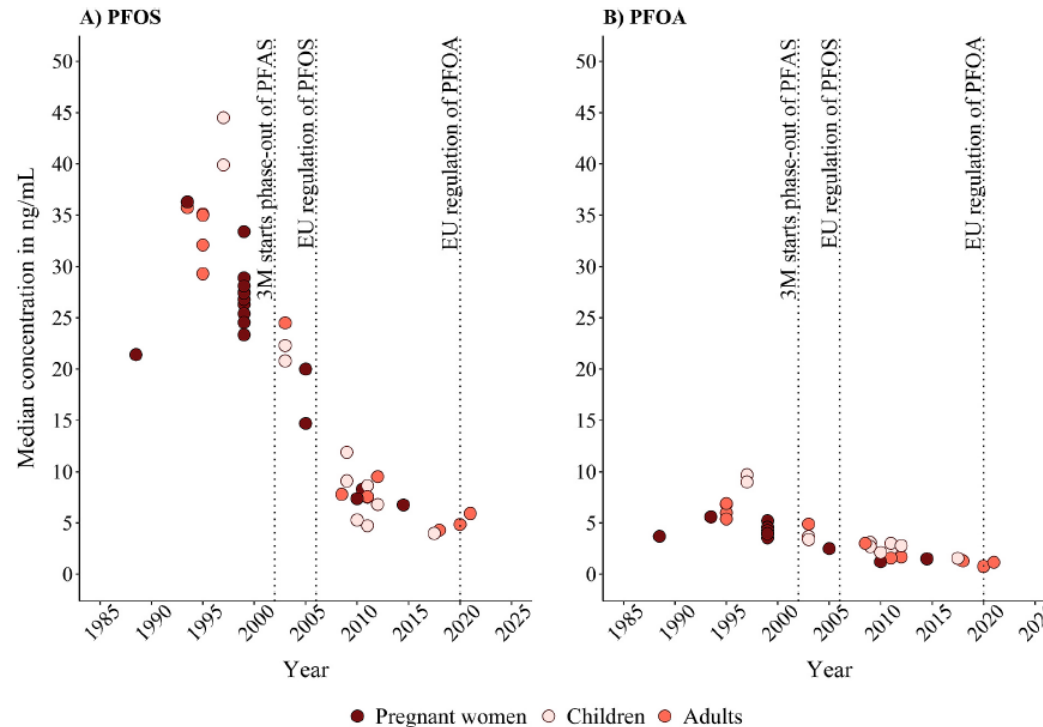


Fig. 1. Median concentration of PFOS and PFOA in ng/mL measured in the Danish population, 1988–2021.

Time trends in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentrations in the Danish population: A review based on published and newly analyzed data

Sidsel Dan Hull^{a,*}, Laura Deen^{a,1}, Kajsa Ugelvig Petersen^a, Tina Kold Jensen^b, Paula Hammer^{b,c}, Regitze Sølling Wils^a, Hannah Norrtoft Frankel^a, Sisse Rye Ostrowski^{d,f}, Sandra Søgaard Tøttenborg^{a,d}

^a Department of Occupational and Environmental Medicine, Copenhagen University Hospital - Bispebjerg and Frederiksberg, Denmark
^b Department of Clinical Pharmacology, Pharmacy and Environmental Medicine, Institute for Public Health, University of Southern, Denmark
^c Department of Occupational and Social Medicine, Holbæk University Hospital, Denmark
^d Department of Public Health, University of Copenhagen, Denmark
^e Department of Clinical Immunology, Rigshospitalet, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark
^f Department of Clinical Medicine, Faculty of Health and Medical Sciences, University of Copenhagen, Copenhagen, Denmark

ARTICLE INFO

Handling Editor: Jose L Domingo

Keywords:

Denmark

PFAS

Per- and polyfluoroalkyl substances

Review

Short communication

ABSTRACT

Introduction: Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) are persistent chemicals used in many industries and everyday consumer products and exposure has been linked to several adverse health outcomes. Currently, no systematic monitoring of PFAS levels in the general Danish population has been conducted.

Objective: To study temporal trends of PFAS concentrations in the Danish population.

Materials and methods: In August 2023, we performed a search for original peer-reviewed reports in PubMed using combinations of search terms for PFAS and Denmark. Reports were included if they comprised a Danish study population and direct measurements of PFAS in serum or plasma samples. Scatter plots of medians presented in the reports were used to visualize time-trends of PFAS concentrations among Danish individuals.

Results: We included 29 reports based on a total of 10,231 individuals from 19 Danish study populations. A total of 24 PFAS measured in serum or plasma were presented in the reports, the most frequent being PFOS, PFOA, PFDA, PFNA, PFHpA, PFHpS, and PFHxS. Median concentrations of PFOS ranged from 4.0 ng/mL to 44.5 ng/mL, PFOA ranged from 0.8 ng/mL to 9.7 ng/mL, while lower concentrations were presented for the other PFAS. Median concentrations of PFOS and PFOA increased from 1980 until the late 1990s followed by a decrease until 2021. A less clear time-trend was observed for the other PFAS.

Conclusion: Blood concentrations of PFOS and PFOA in the Danish population have declined substantially from the late 1990s until 2021 reflecting a phase-out of the production and regulation of the use of these PFAS. Time-trends for PFDA, PFNA, PFHpA, PFHpS, and PFHxS were less evident, yet a tendency toward a decline was observed. As only some of the compounds are measured, it is not possible to determine if the decrease in some PFAS is outweighed by an increase in others.

Abbreviations: PFAS, per- and polyfluoroalkyl substances; PFOS, perfluorooctane sulfonic acid; PFOA, perfluorooctanoic acid; ENFORCE, National Cohort Study of Effectiveness and Safety of SARS-CoV-2 vaccines; DNBC, Danish National Birth Cohort; PFNA, perfluorodecanoic acid; PFDA, perfluorododecanoic acid; PFHxS, perfluorohexane sulfonic acid; PFHpS, perfluorooctane sulfonate; PFHpA, perfluorooctanoic acid; POPs, Persistent Organic Pollutants; REACH, Regulation on the registration, evaluation, authorization and restriction of chemicals; US EPA, United States Environmental Protection Agency.

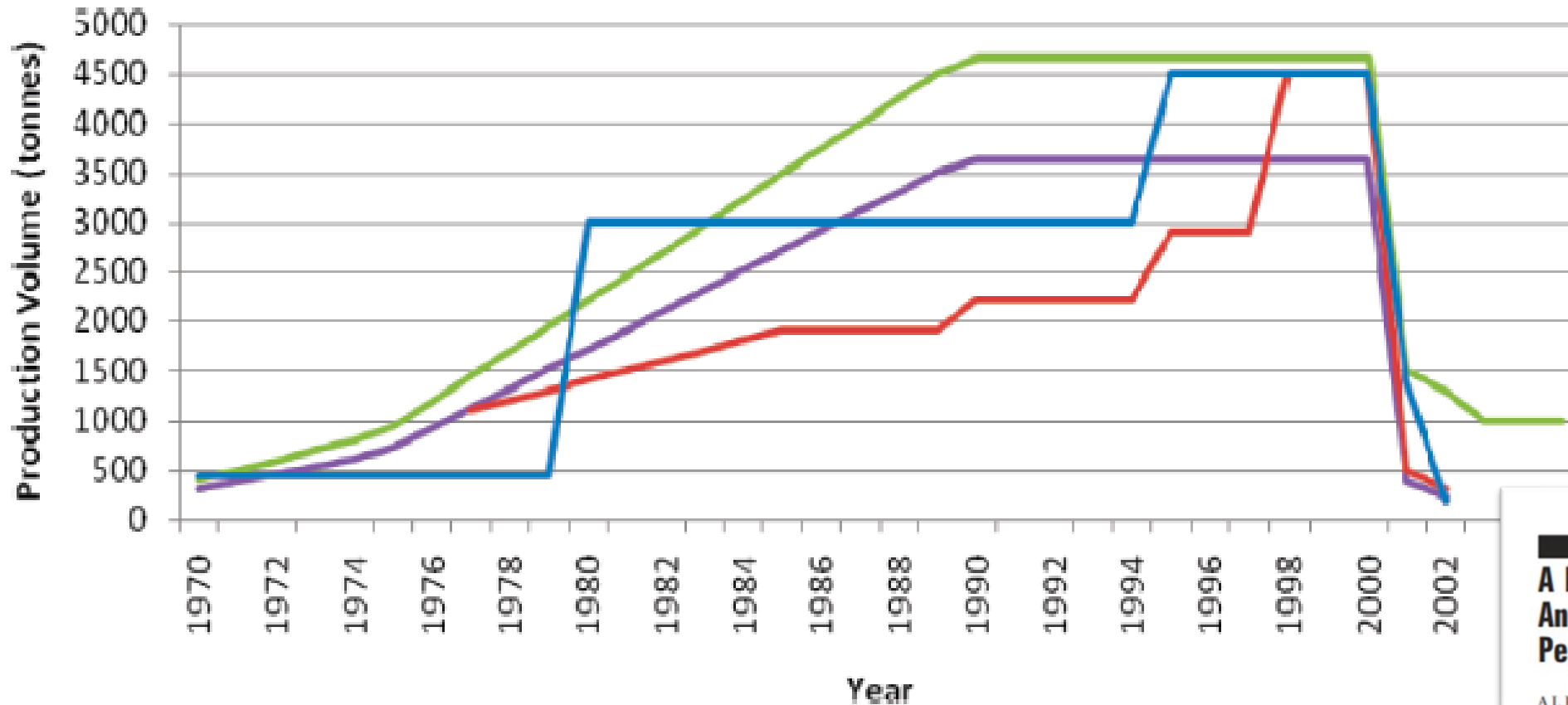
* Corresponding author. Department of Occupational and Environmental Medicine, Copenhagen University Hospital - Bispebjerg and Frederiksberg, Bispebjerg Bakke 23, 2400, Copenhagen, Denmark.

E-mail address: Sidsel.dan.hull@regionh.dk (S.D. Hull).

¹ Co-first authorship, these authors contributed equally to this work.

Udviklingen af årlig produktionsvolumen af PFOS i litteraturen

This work's estimates of total global (green line)
3M's production (purple line)
Smithwick et al. (9) (red line)
Prevedouros et al. (13) (blue line).



ENVIRON. SCI. TECH.

A First Global Production, Emission, And Environmental Inventory For Perfluorooctane Sulfonate

ALEXANDER G. PAUL, KEVIN C. JONES, AND ANDREW J. SWEETMAN*
Centre for Chemicals Management, Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, LA1 4YQ, United Kingdom

Received August 7, 2008. Revised manuscript received October 17, 2008. Accepted November 3, 2008.

4 model scenarier

Gul = sandmark,

brun = opsprækket lermark

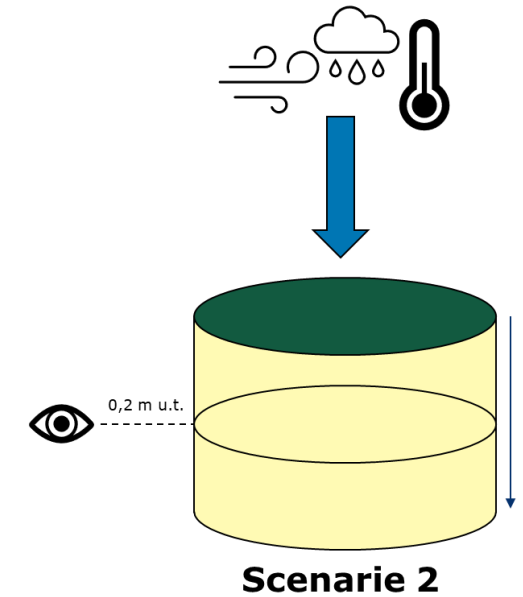
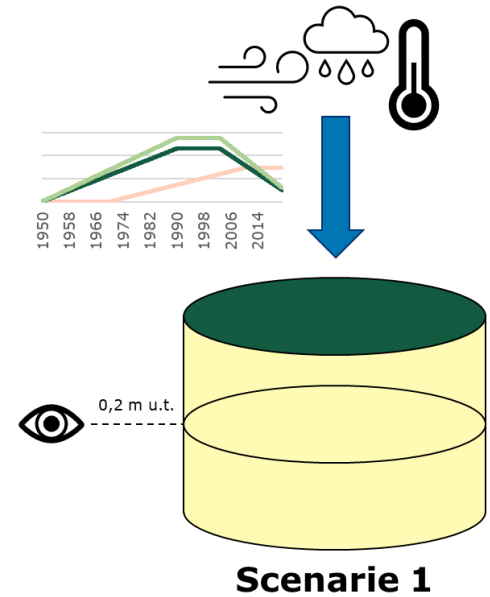
Mørkeblå pil illustrerer *vådt* scenarie

Lyseblå pil illustrerer *tørt* scenarie .

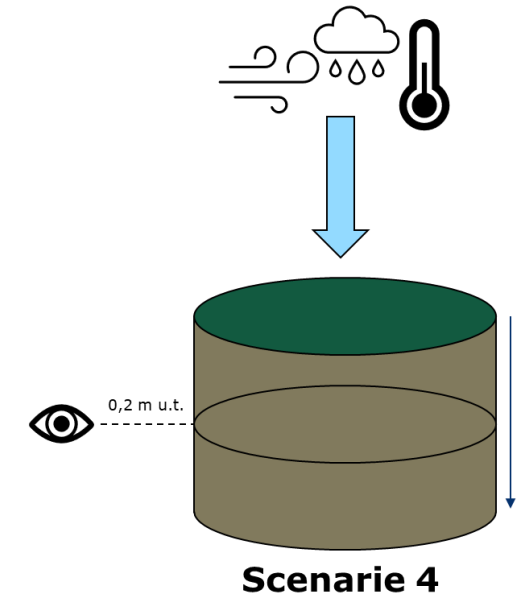
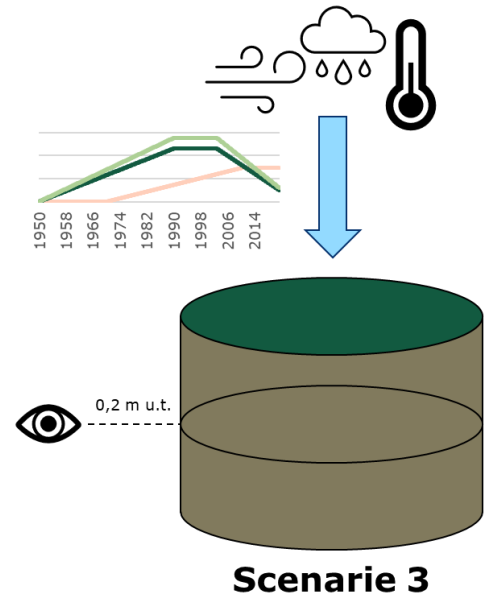
Variierende kildestyrke er illustreret med kurver for scenarier 1 og 3.

Kildestyrken er konstant i scenarie 2 og 4.

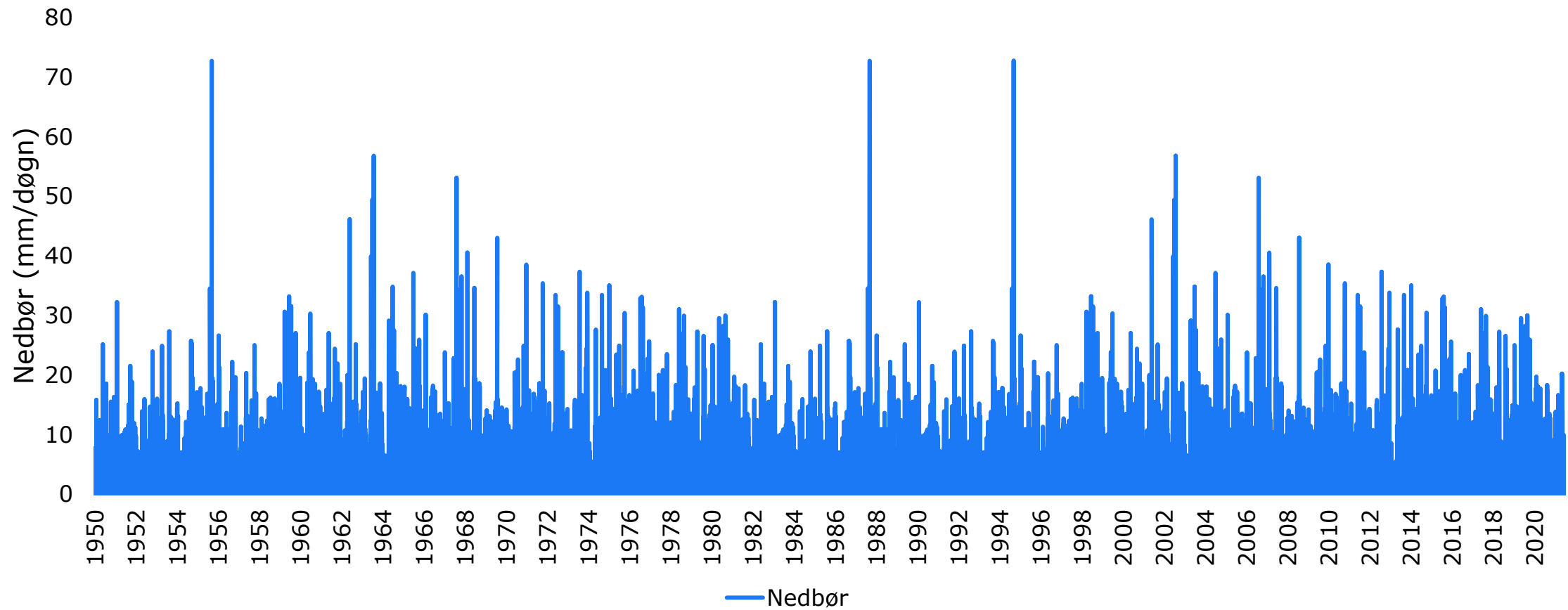
Jylland



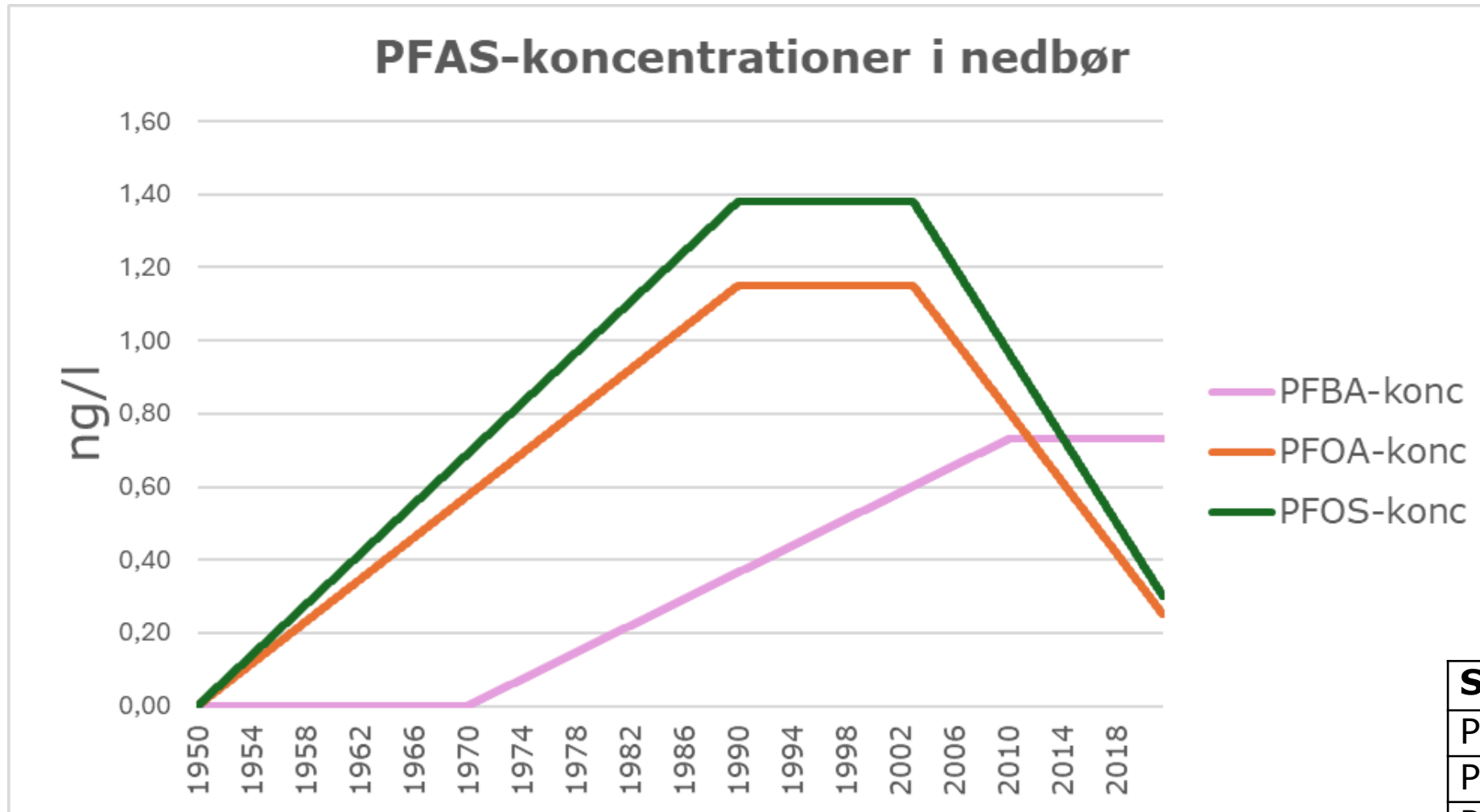
Sjælland



Nedbørsdata fra DK modellen, Høje Taastrup og Aalborg



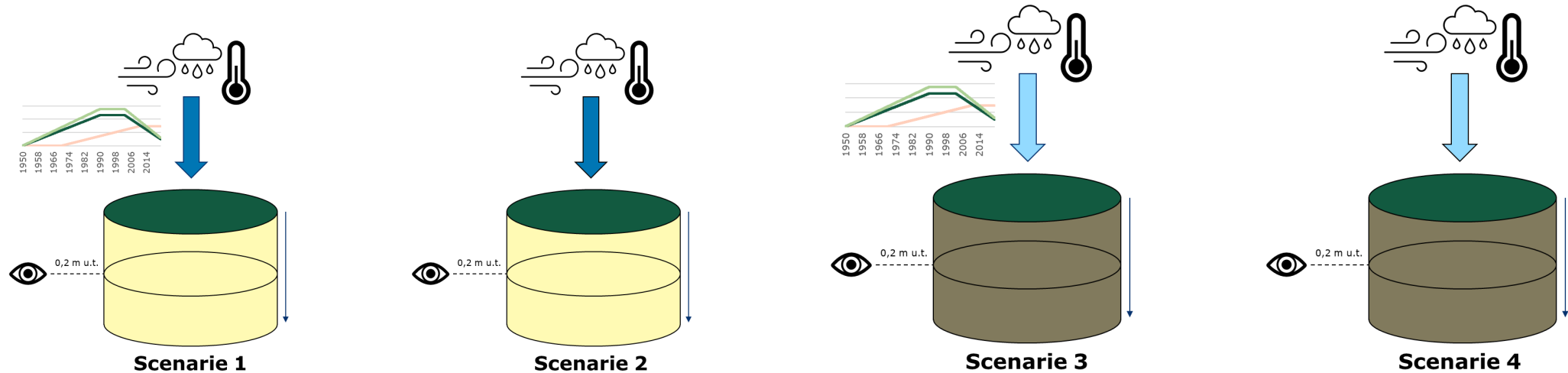
Scenarie for udviklingen af koncentrationen af PFAS i regn



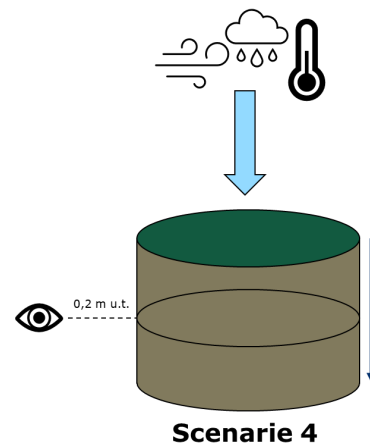
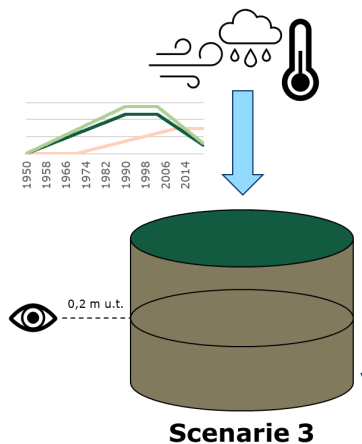
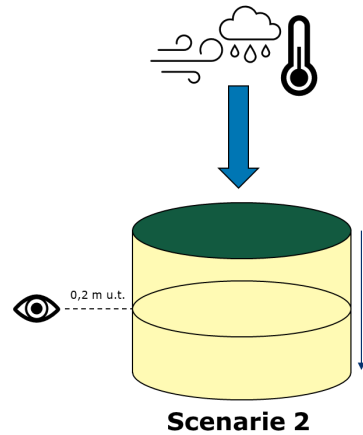
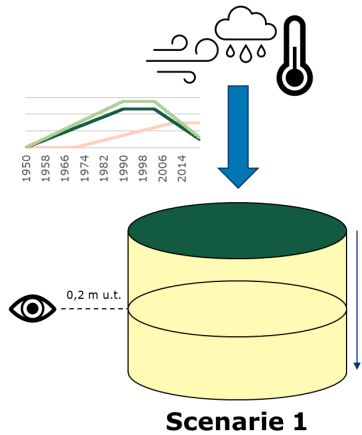
Stof	Bulk opsamling
PFBA	0,73 (0,37 - 1,66)
PFOA	0,25 (0,17 - 0,31)
PFOS	0,30 (0,17 - 0,68)

Total mængde PFAS der falder med den simulerede nedbør i perioden 1950-2021

	Scenarie 1	Scenarie 2	Scenarie 3	Scenarie 4
	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{g}/\text{m}^2$
PFBA	18,8	42,3	16,4	37,0
PFOA	41,3	14,5	36,3	12,7
PFOS	49,6	17,4	43,6	15,2



Sammelingning af den simulerede mængde PFAS som falder med nedbør med den målte koncentration i jord



	PFBA	PFOA	PFOS	Enhed
Overslagsberegninger for scenarie 1				
Beregnet max koncentration af PFAS i øverste 20 cm pba. mængde af PFAS i nedbør	0,086	0,2	0,2	µg/kg TS
Andel af målt koncentration i jorden	53,3	141,4	109,1	%
Overslagsberegninger for scenarie 2				
Beregnet max koncentration af PFAS i øverste 20 cm pba. mængde af PFAS i nedbør	0,2	0,1	0,1	µg/kg TS
Andel af målt koncentration i jorden	119,6	49,6	38,2	%
Overslagsberegninger for scenarie 3				
Beregnet max koncentration af PFAS i øverste 20 cm pba. mængde af PFAS i nedbør	0,1	0,2	0,2	µg/kg TS
Andel af målt koncentration i jorden	34,8	105,5	89,1	%
Overslagsberegninger for scenarie 4				
Beregnet max koncentration af PFAS i øverste 20 cm pba. mængde af PFAS i nedbør	0,2	0,1	0,1	µg/kg TS
Andel af målt koncentration i jorden	78,6	36,9	31,2	%

Konklusion

- Der er påvist PFAS i lave koncentrationer på de 15 lokaliteter
- De fire hyppigst påviste forbindelser er PFOA, PFNA, PFBA og PFOS
- Koncentrationsniveauet er ensartet
- Koncentrationen af PFAS i nedbør i 2023 kan ikke alene forklare koncentrationen af PFAS i jorden i 0,2 mut

Tak

Nanna Thomsen

Teamleder

Phone: +45 5161 0797

E-mail: natn@ramboll.dk

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.