



Forslag til plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning

Deklaration af konsulentrapporter udarbejdet for offentlige myndigheder

Titel på rapport:

Forslag til plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning

Formål med rapport:

Denne rapport afrapporterer ét ud af syv vidensopbygningsprojekter, som i 2024 blev igangsat i umiddelbar forlængelse af Videnstaskforcen for PFAS' rapport "Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller" (Baun et al., 2024). I rapporten identificerede Videnstaskforcen eksisterende videnshuller inden for PFAS-området og foreslog tolv vidensopbygningsprojekter, som adresserer nogle af videnshullerne beskrevet. Det blev besluttet at igangsætte syv af disse projekter i 2024, hvor dette er Projekt 5.

Udarbejdet af:

Syddansk Universitet, Aarhus Universitet, Holbæk Sygehus

Udarbejdet for:

Videnstaskforcen for PFAS

Finansieret af:

Miljøstyrelsen

Leveringsdato for rapport:

December 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet;

Christina Raun-Petersen, Syddansk Universitet;

Nete Lundager Klokke Rausgaard, Syddansk Universitet;

Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet

Ann Christine Lyngberg, Holbæk Sygehus

ISBN: 978-87-7038-726-2

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Forord	4
2.	Resume	5
2.1	Dansk resume	5
2.2	English Summary	5
3.	Indledning	7
3.1	Indledning	7
3.2	Formål	7
3.3	PFAS helbredseffekter	7
4.	Litteraturgennemgang	9
4.1	Litteraturgennemgang i dansk og europæisk sammenhæng	9
4.2	Danske populationer	9
4.3	Europæiske populationer	10
4.4	Resultater	10
4.5	Igangværende biomonitorering for PFAS i europæisk sammenhæng	18
5.	Forslag til national handlingsplan for systematisk biomonitorering af PFAS	19
5.1	Formål med biomonitorering i Danmark	19
5.2	Forslag om biomonitorering i Danmark	19
5.3	Eksempel på tværsnitsstudie	20
6.	Diskussion, konklusion og anbefalinger	22
	Bilag 1. Referencer	23

1. Forord

Denne rapport afrapporterer ét ud af syv vidensopbygningsprojekter, som i 2024 blev i igangsat i umiddelbar forlængelse af Videnstaskforcen for PFAS' rapport "Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller" (Baun et al., 2024). I rapporten identificerede Videnstaskforcen eksisterende videnshuller inden for PFAS-området og foreslog tolv vidensopbygningsprojekter, som adresserer nogle af videnshullerne beskrevet. Det blev besluttet at igangsætte syv af disse projekter i 2024. En oversigt er vist neden for.

Oprindelige projekt nummer og projekt titel

Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Projekt 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS

Projekt 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning

Projekt 6: Vurdering af forskellige eksponeringsveje bidrag til den samlede humane eksponering

Projekt 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevareprøver og humane prøver)

Projekt 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde

Projekt 10: Diffus forurening og i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS

Videnstaskforcen for PFAS blev nedsat i august 2023 med det formål at foretage en opsamling på den viden, som findes om PFAS både nationalt og internationalt. På baggrund af den tilgængelige viden, Videnstaskforcens ekspertvurderinger samt resultaterne fra ovenstående vidensopbygningsprojekter har Videnstaskforcen afslutningsvist udarbejdet en rapport med handlemuligheder, som skal danne grundlag for myndighedernes fremtidige fokus og indsats mod PFAS-forurening.

Videnstaskforcen er en uafhængig ekspertgruppe med Miljøstyrelsen som sekretariat. Videns- taskforcen har følgende sammensætning: Professor Anders Baun, Danmarks Tekniske Universitet (forperson); Chef-læge Ann Lyngberg, Arbejds- og Socialmedicinsk Afdeling, Holbæk Sygehus; Professor Anne Marie Vinggaard, Danmarks Tekniske Universitet; Lektor Bjarne W. Strobel, Københavns Universitet; Viceinstituteder John Jensen, Aarhus Universitet; Professor Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet; Professor Poul L. Bjerg, Danmarks Tekniske Universitet; Professor Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet; Lektor Xenia Trier, Københavns Universitet.

Nærværende projekt Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning er beskrevet som projekt nr. 5 i Baun et al. (2024). Projektet er udført i perioden 24. april – 20. december 2024. Projektet er udført af Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet; Christina Raun-Petersen, Syddansk Universitet; Nete Lundager Klokke Rausgaard, Syddansk Universitet; Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet og Ann Christine Lyngberg, Holbæk Sygehus.

En følgegruppe med nedenstående sammensætning har fulgt projektet: Lykke Boysen, Miljøstyrelsen; Mette Albæk Kristensen, Miljøstyrelsen; Susanne Bennekou, Styrelsen for Patientsikkerhed; Charlotte Legind, Fødevarestyrelsen; Lulu Krüger, Fødevarestyrelsen; Lisbeth Knudsen, Københavns Universitet; Sandra Søgaard Tøttenborg, Bispebjerg Hospital.

2. Resume

2.1 Dansk resume

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) har gennem de senere år været omdrejningspunkt i en række miljøforureningssager i Danmark. Dette har øget bekymringen for folkesundheden i befolkningen og hos myndighederne, da udsættelse for PFAS er sammenhængende med en række helbredseffekter såsom nedsat antistofrespons ved børnevaccinationer, forhøjet kolesterol, lavere fødselsvægt og nyrekræft.

Videnstaskforcen for PFAS vurderede, at der mangler en national, fortløbende biomonitoreringsplan, der kan give viden om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning. En sådan plan vil gøre det muligt for myndighederne at følge PFAS-eksponeringen over tid og vurdere effekten af indsatser og regulering.

Formålet med dette projekt var at gennemgå eksisterende forskning om PFAS i humane prøver (human biomonitorering) i Danmark og EU samt at udarbejde et forslag til en national handlingsplan for fortløbende, systematisk biomonitorering af PFAS blodniveauer hos danskere.

Ved gennemgang af eksisterende forskning fandt vi 16 undersøgelser, der målte PFAS hos voksne danskere, gravide og/eller børn fra 1992 til 2021. Størstedelen af undersøgelserne målte PFAS i serum, herunder PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS og PFDA, mens de nyere kortkædede PFAS og PFAS-erstatningsstoffer ikke blev målt. Deltagerantallet varierede fra 12 til 2373 personer. Det nyeste danske studie blandt voksne fra 2021 inkluderede SARS-covid-2-vaccinerede, som ikke kan anses for at være repræsentative for baggrundsbefolkningen. De nyeste danske studier af gravide og børn var fra hhv. 2015 og 2019.

Ekspertgruppen konkluderer, at der mangler konkret viden om de nuværende PFAS-koncentrationer i blodet i den danske befolkning, herunder eksponering for nyere kortkædede PFAS og specifikke PFAS-erstatningsstoffer. Denne manglende viden gør det vanskeligt at yde klinisk rådgivning til særligt eksponerede og sårbare grupper samt at vurdere effekten af indsatser og regulering, målrettet reduktion af PFAS i miljøet og dermed i den generelle befolkning.

Ekspertgruppen anbefaler fortløbende biomonitorering af danskere, begyndende med et tværsnitstudie, der måler PFAS i serum hos 1500 unge danskere i alderen 18-28 år, fordelt over landets fem regioner. PFAS overføres via moderkagen og udskilles via modermælk til fostre og små børn, som er særligt sårbare, da de er under udvikling. Vi foreslår derfor at fokusere på unge, da den tidlige eksponering i fremtidens generationer i høj grad vil afhænge af PFAS eksponeringen hos unge i den reproduktive alder. Derudover er unge ikke udsatte for PFAS i et langt liv, hvilket gør dem mere sammenlignelige. Undersøgelsens resultater vil give viden om den nuværende eksponering i den danske befolkning, som kan anvendes i kliniske risikovurderinger og som referenceværdier for fremtidige målinger.

Ekspertgruppen anbefaler at undersøgelsen af unge danskere gentages løbende og kombineres med genundersøgelser af tidligere deltagere. På den måde kan det vurderes, om PFAS-niveauerne er ændrede over tid, både i den generelle befolkning og hos de tidligere deltagere. Resultaterne kan anvendes til at vurdere om indsatser og reguleringstiltag har den ønskede effekt.

2.2 English Summary

Recently exposure to per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) have raised public concern due to high exposure in hot spots areas e.g. Korsør. Exposure to PFAS has been associated

with adverse health effects such as impaired antibody response after vaccination, increased serum cholesterol, decreased birth weight and kidney cancer.

Therefore, the PFAS Taskforce concluded that there is an urgent need for a Danish national human biomonitoring program to gain knowledge on current blood levels of PFAS. A national biomonitoring program will inform authorities about trends in PFAS exposure and allow evaluation of the effect of interventions and regulations.

The purpose of this project was to review existing Danish and European research on PFAS exposure in human samples (human biomonitoring) and to propose a national plan for continuous and systematic biomonitoring of PFAS blood levels in Denmark.

Through the review of the existing research, we found 16 studies that measured PFAS in adult Danes, pregnant women, and/or children between 1992 and 2021. Most studies measured PFAS in serum focusing on PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS, and PFDA, but did not measure short-chain PFAS or PFAS substitutes. The number of participants in the studies ranged from 12 to 2,373. The most recent Danish study in adults was conducted in 2021 and included adults vaccinated against SARS-Covid-2, thus was not representative of the general Danish population. The latest Danish studies on pregnant women and children were from 2015 and 2019, respectively.

The working group concludes that information on current PFAS blood concentrations in Danes is lacking, including exposure to short-chain PFAS and PFAS substitutes. This knowledge gap complicates clinical guidance of vulnerable groups and hinders evaluation of interventions and regulations aimed at reducing PFAS exposure.

The working group recommend continuous biomonitoring of Danes. First a cross-sectional study among 1,500 young people aged 18-28 from all five regions is recommended. PFAS is transferred through the placenta and breast milk thereby exposing the vulnerable fetus and infant. Exposure of future generations therefore largely depends on PFAS concentrations in young people of reproductive age. In addition, due to the fact that young people have been exposed to PFAS for a shorter period they represent a more homogeneous group. The study will provide valuable information on current PFAS exposure in Denmark, which in turn will help in clinical risk assessments and serve as reference values for future measurements.

The working group recommend that the study of young Danes is repeated in fixed intervals both by including new participants and with follow-up of already included participants. This approach will ensure that time trends in PFAS exposure can be assessed and will guide authorities in the evaluation of interventions.

3. Indledning

3.1 Indledning

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) har gennem de senere år været omdrejningspunkt for en række miljøforureningssager i Danmark, hvilket har medført en stigende bekymring for folkesundheden i befolkningen og hos myndighederne. I 2023 nedsatte Regeringen en Videnstaskforce for PFAS med henblik på at sikre overblik om forekomst, risici og spredning af PFAS i miljøet i Danmark og internationalt og i relation til eksponering af mennesker. Ekspertene i gruppen har identificeret flere konkrete videnshuller inden for dette område og udarbejdet en rapport med forslag til flere projekter, der kan bidrage til at lukke nogle af disse videnshuller (1).

En litteraturgennemgang fra 2023 fandt, at PFOS- og PFOA-koncentrationerne i blodet hos danskere steg fra 1988 til slutningen af 1990'erne efterfulgt af et fald især efter stoffernes regulering omkring 2006 (2). Gennemgangen viste imidlertid også, at kun få PFAS ud over PFOS og PFOA er målt og at der mangler viden om eksponering for især de nyere kortkædede PFAS, der i stigende grad erstatter de oprindelige langkædede PFAS.

Under overskrifterne *human eksponering* og *overvågningsstrategi* vurderede taskforcen, at der mangler konkret viden om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning. Denne manglende viden har allerede vanskeliggjort håndteringen af og rådgivning i konkrete tilfælde, hvor borgere har været højt eksponerede på grund af forureningssager. Derudover mangler vi viden om eksponering for de nyere kortkædede PFAS og specifikke erstatningsstoffer som f.eks. GenX (HFPO-DA).

I lyset af den omfattende tilstedeværelse af PFAS i miljøet og den følgende eksponering i befolkningen blev det i taskforcen vurderet, at der mangler en national strategi for den fremadrettede biomonitorering af PFAS-niveauerne i den danske befolkning. En national fortløbende biomonitoreringsplan vil, udover at bidrage med viden om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning, være handlingsanvisende, idet myndighederne kan følge PFAS-eksponeringen over tid samt vurdere effekten af indsatser og regulering.

3.2 Formål

Ovenstående vurdering dannede baggrund for taskforcens forslag til projekt 5 – Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning. Formålet med dette projekt var således at gennemgå den eksisterende forskning om biomonitorering af PFAS i Danmark og EU-regi samt udarbejde et forslag til en national handlingsplan for fortløbende systematisk biomonitorering af danskernes blodniveauer af PFAS.

3.3 PFAS helbredseffekter

Sundhedsstyrelsen udarbejdede i samarbejde med en ekspertgruppe i 2023 en rapport om helbredseffekter af eksponering for perfluoroktansyre (PFOA), perfluoronansyre (PFNA), perfluoroktansulfonsyre (PFOS) og perfluorhexansulfonsyre (PFHxS) hos børn og voksne (3).

Rapporten byggede på den tilgængelige litteratur på daværende tidspunkt, herunder Den toksikologiske profil for PFAS udarbejdet af det amerikanske Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (4), risikovurderingen af PFAS udarbejdet af den europæiske fødevarer sikkerhedsautoritet (European Food Safety Authority, EFSA) (5) samt National Academy of Sciences Engineering and Medicine's (NASEM) vejledning om eksponering for PFAS, testing og klinisk follow-up (6).

Det konkluderes samlet set, at der er væsentlig mistanke om, at PFAS-eksponering øger risikoen for

- Nedsat antistofrespons i forbindelse med vaccination hos børn og voksne (PFOA, PFOS, PFHxS)
- Forhøjet kolesterol hos børn og voksne (PFOA, PFOS og PFNA)
- Lille reduktion i fødselsvægt (PFOA, PFOS, PFNA)
- Nyrekræft hos voksne (PFOA).

Siden rapportens tilblivelse har WHO's kræftforskningscenter International Agency for Research on Cancer (IARC) kategoriseret PFOA som kræftfremkaldende for mennesker (gruppe 1) og PFOS som muligt kræftfremkaldende for mennesker (gruppe 2B) (7).

Derudover har der været rejst mistanke om sammenhæng mellem PFAS-eksponering og øget risiko for forhøjet blodtryk i graviditet, ændring i leverenzymmer, påvirkning af skjoldbruskkirtlen samt øget risiko for kronisk betændelse i tyktarmen.

4. Litteraturgennemgang

4.1 Litteraturgennemgang i dansk og europæisk sammenhæng

Vi gennemførte litteratursøgninger i PubMed med henblik på at identificere originale studier, som har målt PFAS i biologiske materialer fra befolkningen i Danmark. Følgende søgeord og MeSH-termer blev anvendt: Perfluorooctanoic Acid, Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS, Perfluorinated Compounds, Fluorocarbons, Environmental Monitoring, Biomonitoring, Biological Monitoring, Human Exposure og Denmark. Udover de elektroniske søgninger anvendte vi manuel litteraturgennemgang i form af håndsøgning for at identificere yderligere relevante publikationer.

I udvælgelsen af danske studier inkluderede vi originale studier, der målte PFAS i den generelle befolkning; og ekskluderede dermed studier på højteksponerede kohorter f.eks. fra Grønland og Færøerne. Dette resulterede i 65 danske publikationer. For at opnå det bedst mulige overblik over de danske publikationer inkluderede vi de mest repræsentative jf. største population og/eller flest målte PFAS, hvis der var mere end en publikation, hvor populationen indgik (se afsnit 4.2).

Udover de danske studier inkluderede vi også originale studier, som indgår i etablerede europæiske programmer, samt enkelte originale svenske studier, i alt 8 publikationer. Listen af europæiske og svenske studier er således ikke udtømmende. Flere publikationer var baseret på samme population og vi inkluderede den publikation, hvor flest PFAS var målt (se afsnit 4.3).

Tabel 1 viser således resultater fra 26 publikationer (8-33) samt et endnu ikke publiceret studie (34). I alt 16 danske og 4 europæiske populationer havde målt PFAS i hhv. serum, plasma, placenta og føtalt væv.

4.2 Danske populationer

Fra Odense Børnekohorte identificerede vi 16 publikationer (21, 29, 35-48), hvoraf vi inkluderede 2 i tabel 1 (21, 29). Derudover har vi inkluderet nye, ikke-publicerede data fra Odense Børnekohorte (34).

Fra The Danish National Birth Cohort (DNBC) identificerede vi 20 publikationer (10, 25, 49-66), hvoraf vi inkluderede 2 i tabel 1 (10, 25).

Fra The Danish Diet, Cancer, and Health Cohort identificerede vi 3 publikationer (16, 67, 68), hvoraf vi inkluderede 1 i tabel 1 (16).

Fra den Århusianske Fødselskohorte og Biobank identificerede vi 5 publikationer (23, 69-72), hvoraf vi inkluderede 1 i tabel 1 (23).

Fra The Prebirth Danish Fetal Origins 1988 (DaFO88) kohorten i Århus identificerede vi 5 publikationer (26, 73-76), hvoraf vi inkluderede 1 i tabel 1 (26).

Fra The European Youth Heart Study identificerede vi 3 publikationer (15, 30, 77), hvoraf vi inkluderede 2 i tabel 1 (15, 30).

For de resterende danske populationer, blev alle identificerede publikationer (1 eller flere pr. population) inkluderet i tabel 1 (8, 9, 11-14, 17, 20, 22, 24, 27, 28).

4.3 Europæiske populationer

Fra Human Biomonitoring for Europe (HBM4EU) identificerede vi 5 publikationer (31, 32, 78-80), hvoraf vi inkluderede 2 i tabel 1 (31, 32).

Derudover inkluderede vi 3 svenske publikationer i tabel 1 (18, 19, 33). De europæiske publikationer udgør således eksempler på udenlandske studier og ikke en fyldestgørende liste.

4.4 Resultater

Tabel 1 er baseret på 16 danske og 4 europæiske populationer og er opdelt i 1) befolkningen generelt, 2) gravide kvinder og 3) børn og teenagere. Tabel 1 angiver, hvilke populationer publikationerne baseres på, de specifikke PFAS-median-koncentrationer (ng/mL), materialet, de er målt i, indsamlingsperiode og information om populationen.

Alle publikationer har opgivet resultater for PFOA og PFOS. PFNA blev målt i 17 populationer; PFHxS i 16 populationer; PFDA i 14 populationer; PFHpA og PFHpS 7 populationer; PFUdA/PFUnDA i 6 populationer; PFUnA i 5 populationer; FOSA/PFOSA og PFDaA/PFDaDA i 4 populationer; PFPeA, PFHxA og PFTrA i 2 populationer; og de resterende (PFBA, PFBS, MeFOSAA, EtFOSAA, PFDS og PFTeA) i 1 population.

I den generelle befolkning i både Danmark og Europa var deltagerne mellem 18 og 70 år og antallet af deltagere var mellem 12 og 2373. PFAS-målingerne blev foretaget i serum eller plasma i perioden 1992 til 2021. De nyeste danske publikationer er baseret på Covid-19 patienter fra 2020 (9) og SARS-covid-2-vaccinerede voksne fra 2021 (8).

Blandt gravide kvinder i både Danmark og Europa var antallet af deltagere mellem 23 og 2355. Der blev målt PFAS i alle 3 trimestre, postpartum, vinter og sommer samt på placenta og føtalt væv efter intrauterin død. De nyeste PFAS-målinger var fra 2015 (20).

Hos børn i både Danmark og Europa var deltagerne mellem 0 og 18 år og antallet af deltagere var mellem 52 og 913. PFAS-målingerne blev foretaget i serum eller plasma i perioden 1997 til 2021. De seneste PFAS målinger i Danmark er fra 2019 (34) og i Europa fra 2021 (31).

PFOA- og PFOS-median-koncentrationerne var faldende i perioden 1992 til 2021 for alle grupper (befolkning, gravide og børn). De højeste median-koncentrationer af hhv. PFOA og PFOS blev målt i plasma blandt drengebørn (9,7 ng/mL og 44,5 ng/mL) i populationen European Youth Heart Study i 1997 (15). De lavest kvantificerbare værdier af PFOA (0,2 ng/mL) og PFOS (0,6 ng/mL) blev målt i placenta og føtale organer efter intrauterin død i Danmark i 2014-2015 (27). De målte PFAS-værdier i Danmark og Europa adskilte sig ikke nævneværdigt fra hinanden inden for samme tidsperioder.

TABEL 1.1 Danske og europæiske studier: PFAS i den generelle befolkning

Befolkning, Danmark																								
Kohorte (studiepopulation, første forfatter, publikationsår, reference)	PFBA	PFBS	PFPeA	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	PFOS	FOSA/ PFOSA	MeFOSAA	EtFOSAA	PFNA	PFDA	PFDS	PFUdA/ PFUnDA	PFUnA	PFDoA/ PFDoDA	PFTra	PFTeA	Materiale	Population (alder (median)*)	Population (N=)	Indsamlingsperiode
ENFORCE - Timmermann et al. 2024 (8)					0.7		0.2	1.1	5.3				0.5	0.2		0.1					Serum	Mænd og kvinder 50-69 år*	371	2021
Danske COVID-19-patienter, national biobank, SST, OUH - Grandjean et al. 2020 (9)	<L OD				0.5			0.8	4.9				0.4								Plasma	Mænd og kvinder 30-70 år*	323	2020
DNBC, FEPOS - Petersen et al. 2022 (10)					0.3			1.2	3.9				0.5	0.2		0.1					Plasma	Mænd 19.2 år	1041	2017-2019
Rigshospitalet, personale - Kielsen et al. 2016 (11)					0.4	0.1		1.7	9.5				0.7	0.3		0.2		0.0			Serum	Mænd og kvinder (50/50) 37.9 år	12	2012
DEMOCOPHES - Mørck et al. 2015 (12)					0.3			1.6	7.6				0.6	0.3							Plasma	Kvinder 31-52 år*	143	2011
Conscription register, Copenhagen Area - Joensen et al. 2013 (13)					0.7		0.3	3.0	7.8				1.1	0.4							Serum	Mænd 19.2 år	247	2008-2009
Conscription register, Copenhagen Area - Joensen et al. 2009 (14)					6.6	0.2		4.9	24.5	0.1			0.8	0.9			0.1	0.1	0.0		Serum	Mænd 19 år*	105	2003
European Youth Heart Study - Domazet et al. 2016 (15)								3.1	11.9												Plasma	Mænd, 2009 21.8 år	92	1997-2009
								2.7	9.1												Plasma	Kvinder, 2009 21.8 år	110	1997-2009

Befolkning, Danmark														
Danish Diet, Cancer, and Health Cohort - Eriksen et al. 2009 (16)		6.8	35.1								Plasma	Mænd, kræftcases 50-65 år*	1111	1993-1997
		6.9	35.0								Plasma	Mænd, kontrolgruppe 50-65 år*	680	1993-1997
		6.0	32.1								Plasma	Kvinder, kræftcases 50-65 år*	129	1993-1997
		5.4	29.3								Plasma	Kvinder, kontrolgruppe 50-65 år*	92	1993-1997
First time pregnancy planners - Vestergaard et al. 2012 (17)	1.1	5.6	35.8	0.1	0.5	2.1	0.5	0.1			Serum	Kvinder, graviditetsønske, ikke-gravide 20-35 år*	93	1992-1995
Befolkning, Europa														
EpiHealth Study (Sverige) - Dunder L. et al. 2023 (18)	5.5	2.2	8.2								Plasma	Mænd og kvinder 45-75*	2373	2011-2016
CPUP, Swedish Medical Birth Register, SSMB (Sverige) - Vilhelmsson et al. 2023 (19)	0.7	2.3	9.7				0.5				Plasma	Mødre til pigebørn, cerebral parese (cases) 30.1 år *	148	1995-2014
	0.7	2.2	9.2				0.5				Plasma	Mødre til drengebørn, cerebral parese (cases) 30.1 år *	174	1995-2014
	0.7	2.5	13.0				0.5				Plasma	Mødre til pigebørn (kontroller) 32.2 år *	178	1995-2014
	0.7	2.3	12.3				0.5				Plasma	Mødre til drengebørn (kontroller) 32.2 år *	165	1995-2014

TABEL 1.2 Danske og europæiske studier: PFAS blandt gravide kvinder

Gravide kvinder, Danmark																								
Kohorte (studiepopu- lation, før- steforfatter, publika- tionsår, refe- rence)	PFBA	PFBS	PFPeA	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	PFOS	FOSA/ PFOSA	MeFOSAA	EtFOSAA	PFNA	PFDA	PFDS	PFUdA/ PFUnDA	PFUnA	PFDoA/ PFDoDA	PFTTrA	PFTeA	Materiale	Population (al- der (median)*)	Popula- tion (N=)	Indsamlings- periode
Skejby og Randers Hospital - Mamsen et al. 2019 (20)								1.5	6.8				1.0	0.3			0.4				Serum	Gravide kvin- der, 1. trimester 26 år*	23	2014-2015
					0.3			1.6	3.4				0.5	0.2			0.3				Serum	Gravide kvin- der, 2. trimester 26 år*	18	2014-2015
					0.3			1.4	3.3				0.5	0.2			0.2				Serum	Gravide kvin- der, 3. trimester 26 år*	22	2014-2015
					<LOQ			0.3	1.2				0.2	0.2			0.3				Placenta	2. eller 3. trim- ester, intraute- rin død -	71	2014-2015
					0.8			0.5	0.8												Føtal væv	1., 2., eller 3. trimester, termi- nation, intraute- rin død -	57	2014-2015
Odense Bør- nekoherter - Dalsager et al. 2021 (21) COPSAC- 2010 - Sevelsted et al. 2022 (22)					0.4			1.7	7.5				0.6	0.3							Serum	Gravide kvinder 31 år*	1503	2010-2012
								1.2	7.4												Plasma	Gravide kvin- der, graviditets- uge 24 32.28 år*	727	2009-2011
								1.0	5.0												Plasma	Kvinder, 1 uge postpartum 32.28 år *	684	2009-2011
Aarhus Birth Cohort Bio- bank - Bjerre- gaard-Olesen et al. 2016 (23)					0.5	0.2		2.0	8.3				0.8	0.3			0.3				Serum	Gravide kvinder 29 år*	1533	2008-2013

Århus Univer- sitetshospital - Bach et al. 2015 (24)				0.6	0.1	0.3	2.5	20.0			0.8	0.5		1.1		Plasma	Gravide kvin- der, vinter ?	36	2005		
				0.6	0.1	0.2	2.5	14.7			0.7	0.3		0.3		Plasma	Gravide kvin- der, sommer ?	52	2005		
DNBC, LDPS - Liew et al. 2018 (25)	<LLOQ	<LLOQ	<LLOQ	1.1	0.1	0.4	4.3	28.1	2.3		0.5	0.2	<LLOQ	<LLOQ	<LLOQ	<LLOQ	<LLOQ	Plasma	Gravide kvinder 30.8 år *	1592	1996-2002
First time pregnancy planners - Vestergaard et al. 2012 (17)				1.2			5.6	36.3	0.1	0.4	1.8	0.5	0.1				Serum	Kvinder, gravi- ditetsønske, gravide 20-35 år*	129	1992-1995	
DaFO88 - Halldorsson et al. 2012 (26)							3.7	21.5	1.1		0.3						Serum	Gravide kvin- der, gestations- uge 30 29.2 år	665	1988-1989	
Skejby og Randers Hospital - Mamsen et al. 2017 (27)							2.1 **	8.2 **			1.1 **	0.3 **		0.5 **			Plasma	Gravide kvinder 26.4 år *	24	?	
							0.2 **	1.3 **			0.1 **	0.1 **		0.1 **			Placenta	Terminationer -	34	?	
							0.2 **	0.6 **			0.1 **	0.1 **		0.1 **			Føtale or- ganer	Terminationer -	36	?	
Gravide kvinder, Europa																					
SELMA study (Sverige) - Shu et al 2018 (33)				1.2	0.0		1.6	5.3			0.5	0.3		0.2		0.0		Serum	Gravide kvinder 31 år**	2355	2007-2010

TABEL 1.2. Danske og europæiske studier: PFAS blandt børn og teenagere

Børn, Danmark																								
Kohorte (studiepopulation, første-forfatter, publikationsår, reference)	PFBA	PFBS	PFPeA	PFHxA	PFHxS	PFHpA	PFHpS	PFOA	PFOS	FOSA/ PFOSA	MeFOSAA	EtFOSAA	PFNA	PFDA	PFDS	PFUdA/ PFUnDA	PFUnA	PFDoA/ PFDoDA	PFTTrA	PFTTeA	Materiale	Population (alder (median)*)	Population (N=)	Indsamlings-periode
Odense Børnekoorte - Jensen et al. - (34)					0.3	0.8	0.1	1.6	4.0				0.6	0.2		0.1					Serum	Småbørn 5 år*	913	2016-2019
Copenhagen mother-child cohort - Thomsen et al. 2021 (28)					0.5			2.8	6.8				0.9	0.3							Serum	Børn 12.6 år	109	2012
DEMOCOPHES - Mørck et al. 2015 (12)					0.3			3.0	8.6				0.8	0.3							Plasma	Børn 6-11 år*	116	2011
Odense Børnekoorte - Beck et al. 2023 (29)					0.3			2.5	4.8				0.6	0.2							Serum	Spædbørn 18 måneder*	900	2010-2012
COPSAC-2010 - Sevelsted et al. 2022 (22)								2.1	5.3												Plasma	Spædbørn 18 måneder*	606	2008-2010
								2.4	5.0												Plasma	Spædbørn 6 måneder*	602	2008-2010
European Youth Heart Study - Domazet et al. 2016 (15)								9.7	44.5												Plasma	Børn, drenge, 1997 (a) 9.7 år	236	1997-2009
								9.0	39.9												Plasma	Børn, piger, 1997 9.6 år	265	1997-2009
								3.7	22.3												Plasma	Teenagere, drenge, 2003 15.8 år	91	1997-2009
								3.4	20.8												Plasma	Teenagere, piger, 2003 15.7 år	110	1997-2009
European Youth Heart Study - Domazet et al. 2020 (30)					0.8			9.0	40.8				0.4	0.1							Plasma	Børn (b) 9.7 år	257	1997
Børn, Europa																								
HBM4EU (Europa) - Schillemans et al. 2023 (31)					0.5	0.1	59% <LOQ	1.3	2.8				0.4	0.1		0.1					Serum	Teenagere, NEBII (Norway) 12-18 år *	177	2016-2017
				≥70% <LOQ	0.4	≥70% <LOQ		1.2	2.7				0.4	41% <LOQ		53% <LOQ					Serum	Teenagere, Riksmaten (Sverige) 12-18 år *	300	2016-2017
		47% <LOQ	0.1	0.3	0.0	0.0	0.7	1.4					0.2	32% <LOQ		58% <LOQ					Serum	Teenagere, PCB (Slovakia) 12-18 år *	292	2019-2020

HBM4EU (Europa) - Rodríguez-Carrillo et al. 2023 (32)	0.1	≥70% <LOQ	0.2	48% <LOQ	0.0	0.9	1.7	0.3	0.1	0.1	Serum	Teenagere, SLO CRP (Slovenia) 12-18 år *	94	2018
	≥70% <LOQ	0.1	0.3	>70% <LOQ	0.0	0.9	2.1	0.4	0.2	0.0	Serum	Teenagere, CROME (Greece) 12-18 år *	52	2020-2021
	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	0.7	1.3	0.3	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	Serum	Teenagere, BEA (Spain) 12-18 år *	299	2017-2018
	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	0.7	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	1.5	2.0	0.5	39% <LOQ	0.1	Serum	Teenagere, ESTE- BAN (France) 12-18 år *	143	2014-2016
	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	0.5	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	1.1	2.2	0.3	52% <LOQ	≥70% <LOQ	Serum	Teenagere, FLEHS IV (Belgium) 12-18 år *	300	2017-2018
	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	0.4	≥70% <LOQ		1.3	2.6	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	≥70% <LOQ	Serum	Teenagere, GerES V-sub (Germany) 12-18 år *	300	2014-2017
			0.5			1.1	2.3	0.3			Serum	Teenagedrenge, FLEHS IV (Belgien) 14.49*	103	2017-2018
			0.5			1.0	2.2	0.3			Serum	Teenagepiger, FLEHS IV (Belgien) 14.45*	134	2017-2018
	0.1	0.3	0.0	0.0	0.8	1.6		0.2			Serum	Teenagedrenge, PCB cohort follow- up (Slovakiet) 15.65*	98	2019-2020
	0.1	0.3	0.0	0.0	0.7	1.2		0.2			Serum	Teenagepiger, PCB cohort follow-up (Slovakiet) 15.71*	131	2019-2020
					0.7	1.4		0.3			Serum	Teenagedrenge, BEA (Spanien) 14.73*	126	2017-2018
					0.6	1.2		0.3			Serum	Teenagepiger, BEA (Spanien) 14.78*	141	2017-2018
					0.9	1.8		0.3			Serum	Teenagedrenge, alle studier 14.92*	327	2017-2020
					0.8	1.4		0.2			Serum	Teenagepiger, alle studier 14.99*	406	2017-2020

Tabelnoter:
angivet i ng/mL
sorteret efter indsamlingsperiode, nyeste øverst
Sorteret efter størrelse på PFAS-type (C-antal)
* alder ikke angivet som median
** angivet som mean
LLOQ: Lower Limit of Quantification
LOD: Limit of Detection
(a) Samme studiepopulation som Domazet et al., 2020, + Timmermann et al. 2014
(b) Samme studiepopulation som Domazet et al., 2016 + Timmermann et al. 2014
BEA: Biomonitorizacion en Adolescentes
COPSAC-2010: Copenhagen Prospective Studies of Asthma in Childhood 2010
CPUP: Cerebral Palsy Follow-up Program
CROME: cross-Mediterranean Environment and Health Network
DaFO88: Prebirth Danish Fetal Origins 1988 Cohort in Aarhus
DEMOCOPHES: Demonstration of a study to Coordinate and Perform Human Biomonitoring on a European Scale
DNBC: Danish National Birth Cohort
ENFORCE: The National Cohort Study of Effectiveness and Safety of SARS-CoV-2 vaccines
ESTEBAN: Etude de sante sur l'environnement, la biosurveillance, l'activité physique et la nutrition
FEPOS: Fetal Programming of Semen Quality
FLEHS IV: Flemish Environment and Health Study IV
GerES V-sub: German Environmental Survey, 2014-2017 unweighted subsample
HBM4EU: Human Biomonitoring for Europe
LDPS: Lifestyle During Pregnancy Study
NEBI: Norwegian Environmental Biobank II, sub study of MoBa
MoBa: The Norwegian Mother, Father and Child Cohort Study
OUH: Odense Universitetshospital
PCB cohort follow-up: Endocrine disruptors and health in children and teenagers in Slovakia
SELMA study: Swedish Environmental Longitudinal, Mother and child, Asthma and allergy
SLO CRP: Exposure of children and adolescents to selected chemicals through their habitat environment
SSMB: Southern Sweden Microbiology Biobank
SST: Statens Serum Institut

4.5 Igangværende biomonitorering for PFAS i europæisk sammenhæng

Der er gennem de senere år gennemført en række regulativer i internationalt regi for at reducere eksponeringen for PFAS i den brede befolkning. Flere studier har således også vist et fald i eksponeringen for de regulerede PFAS fra 2000 og til i dag (2, 5, 81).

I regi af EU er der etableret et fælles europæisk program til koordination og fremme af human biomonitorering først i form af The European Biomonitoring Initiative HBM4EU (2017-2022) og siden under Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals (PARC) med det formål at forbedre mulighederne for risikovurdering og minimere helbredseffekterne af skadelige kemikalier i Europa. HBM4EU omfattede PFAS-målinger i teenagere fra Frankrig, Spanien, Tyskland, Grækenland, Slovenien, Slovakiet, Norge og Belgien.

I PARC er der planlagt målinger af forskellige kemikalier, herunder også PFAS i teenagere (12-17 år) og unge voksne (18-39 år) i Europa. Et studie om PFAS i børn (6-11 år) er foreslået at starte i 2025 og evalueres aktuelt. I Danmark skal PFAS måles hos ca. 150 danske teenagere fra Copenhagen Puberty Study. Formålet i PARC er bl.a. at indsamle EU reference værdier, få indblik i eksponeringskilder, sammenligne trends over tid og sted ved sammenligning med HBM4EU værdier og undersøge associationer mellem PFAS og helbred (82).

Studier, der ønsker at indgå i PARC, skal som minimum måle PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFHpS, PFOA og PFOS. PARC opfordrer endvidere til, at der måles yderligere 15 PFAS, herunder GenX, der betragtes som værende biomarkør for de kortkædede PFAS og PFAS-erstatningsstoffer og dermed også nye helbredsmæssige hypoteser (83). Derudover er der igangsat et metodeudviklingsprojekt i PARC til de meget kortkædede PFAS i humane prøver, hvor der vil indgå serum- og urinprøver. Et andet udviklingsprojekt om PFAS i modermælk er foreslået til 2024.

5. Forslag til national handlingsplan for systematisk biomonitorering af PFAS

5.1 Formål med biomonitorering i Danmark

Formålet med en national handlingsplan for fortløbende biomonitorering af danskernes blodniveauer af PFAS er:

1. At skaffe konkret viden om blodniveauerne af de tidligere anvendte PFAS og de nyere erstatningsstoffer
2. At fremskaffe referenceværdier til anvendelse i den kliniske risikovurdering
3. At undersøge helbredseffekter samt
4. At følge trends over tid og efter reguleringstiltag.

5.2 Forslag om biomonitorering i Danmark

For at kunne opfylde formålet for fortløbende biomonitorering bør en overordnet plan dels bestå af tværsnitstudier og dels longitudinelle undersøgelser. Der bør derudover sikres repræsentativitet i både den generelle befolkning og være fokus på særligt sårbare grupper.

Tværsnitstudier kan anvendes til at give et øjebliksbillede af PFAS-eksponeringen i befolkningen (populationsniveau), der kan anvendes som referenceværdier for fremtidige målinger og som hjælp i den kliniske risikovurdering. Tværsnitstudierne er relativt omkostningseffektive, men bidrager ikke med oplysninger om årsagssammenhænge og udvikling over tid hos det enkelte individ. Et tværsnitstudie kan med fordel suppleres med en gentagelse af studiet ved måling af PFAS hos nye deltagere og kombineres med longitudinelle undersøgelser bl.a. ved opfølgning af deltagerne fra en tidligere tværsnitundersøgelse. De longitudinelle undersøgelser kan anvendes til undersøgelse af årsagssammenhænge mellem PFAS-eksponering og helbredseffekter samt at følge trends over tid og efter reguleringstiltag. De longitudinelle undersøgelser er ofte mere omkostningstunge, da de kræver opfølgning af tidligere deltagere, der skal kontaktes og ønske deltagelse igen.

PFAS-eksponering er særligt problematisk for fostre og små børn, da PFAS overføres til fostret bl.a. via moderkagen og udskilles via ammemælk (5, 56, 60, 84-86). Den tidlige eksponering af fremtidens generationer vil derfor i høj grad afhænge af PFAS-eksponeringen hos unge i den fertile alder, hvorfor det ud fra et folkesundhedsmæssigt perspektiv er relevant at fokusere biomonitorering for PFAS på befolkningen i den fertile alder. Fordelen ved at fokusere på unge er desuden, at den erhvervsmæssige og øvrige kumulerede eksponering for PFAS betragtes som beskeden. Det er derudover relevant at følge ændringerne i denne gruppe over tid, da de får børn og har et langt liv foran sig.

Både tværsnitstudier og longitudinelle undersøgelser af den almene befolkning kan suppleres med målinger af PFAS i særlige grupper, herunder gravide og børn samt eventuelt specifikke erhverv med PFAS-eksponering. I sådanne studier kan man overveje behovet for andre matrixer til undersøgelse for PFAS. I enkelte tidligere studier har der f.eks. været anvendt blod fra navlesnor eller modermælk. Denne metode er ikke invasiv, hvilket i nogle grupper kan være at foretrække, men den kan selvsagt også kun anvendes i grupper af gravide og ammende. Analyseresultater fra navlesnorblod og ammemælk kan anvendes som estimat for, hvilke niveauer af PFAS fostret og det lille barn eksponeres for. Sundhedsstyrelsen har aktuelt en pulje

i opslag til et monitoreringsprojekt om niveauer af PFAS i den generelle danske befolkning med henblik på at måle PFAS i blodet hos gravide og/eller i navlestrengsblod og/eller i modermælk (87).

Monitoreringen bør omfatte både de langkædede PFAS og nyere kortkædede PFAS samt PFAS erstatningsstoffer. Sundhedsstyrelsens opslag peger også på et vidensbehov for både kortkædede og langkædede PFAS. I forhold til de kortkædede PFAS, som forventes at være mindre bioakkumulerende, vil det være relevant at inddrage resultaterne fra PARC-metodeudviklingen i vurderingen af den mest egnede matrice (serum og/eller urin).

Selvom der er sket en regulering af nogle af de langkædede PFAS, er det relevant at fortsætte målingen heraf i blodet hos danskere, da de er særligt bioakkumulerende og ikke er helt udfaset. Derudover kan en række ikke-udfasede precursers omdannes til de mere bioakkumulerende og stabile stoffer, f.eks. kan fluortelomeralkoholer oxideres til perfluorcarboxylsyre således, at der fortsat kan ske en eksponering til trods for regulering. Generelt er det relevant at undersøge, om eksisterende og eventuelt nye reguleringstiltag har den ønskede effekt i forhold til at mindske eksponeringen i den generelle befolkning. Listen af PFAS der måles bør opdateres løbende og der bør screenes for nye PFAS i takt med, at der kommer nye stoffer på markedet og med inspiration fra internationale studier.

For udvalgte prøver kan det være relevant at supplere målinger af enkeltstoffer med sumparametre, der indikerer det totale indhold af PFAS i en prøve. Parametrene kan f.eks. være Extractable Organic Fluorine (EOF) og Total Oxidisable Precursors (TOP). Disse metoder anvendes ikke rutinemæssigt endnu i human biomonitorering, men kan forventes at finde større anvendelse i de kommende år (88-90)

Biomonitoreringsplanen bør revideres løbende og følge internationale guidelines for målinger og frekvenser herimellem, dels for at være ajour med tidens trends og dels for at have et sammenligningsgrundlag.

5.3 Eksempel på tværsnitsstudie

En gruppe bestående af repræsentanter fra Region Hovedstaden, Region Sjælland, Region Nordjylland og Syddansk Universitet har modtaget tilsagn fra Sundhedsstyrelsen om 3,8 mio. kr. til gennemførelse af projektet Monitorering af PFAS hos unge danskere i den reproduktive alder (MOPUS), der er et tværsnitsstudie til belysning af PFAS-eksponering i den almene befolkning med brug af færrest mulige ressourcer. Projektet er netop anmeldt til Videnskabsetisk Komite.

I MOPUS planlægges at måle blodniveauerne af PFAS hos 1500 unge danskere i alderen 18-28 år på tværs af landets 5 regioner. For at sikre bedst mulig repræsentativitet tilstræbes en ligelig fordeling mellem to aldersgrupper (18-23 og 24-28 år), to biologiske køn og fra land- og byområde. Antal af deltagere i undersøgelsen bygger på styrkeberegninger udregnet fra data (endnu ikke publicerede) og forventes at kunne tilvejebringe en given middelværdi med konfidensinterval på 1 (halvbredde 0.5) med 95% sandsynlighed. Der udarbejdes et spørgeskema med oplysninger om bopæl, uddannelse, arbejde, helbred samt kost og livsstil.

I MOPUS fremskaffes blodprøver til analyse dels ved rekruttering af forsøgspersoner fra uddannelsesinstitutioner, der får udtaget en blodprøve og dels ved indhentelse af blodprøver fra eksisterende biobanker. Blodprøvetagningen foretages i perioden 2023-2026.

Der måles 17 forskellige lang- og kortkædede PFAS og PFAS erstatningsstoffer i undersøgelsen, disse stemmer overens med PARCs anbefalinger.

Undersøgelsens analyseresultater forventes at kunne tilvejebringe et estimat for PFAS-niveauerne i den almene befolkning, der kan anvendes som referenceværdier i den kliniske risikovurdering hos personer med mulig høj eksponering og som udgangspunkt for fremtidige biomonitoreringsstudier.

En fordel ved tværsnitstudier som MOPUS er, at man med relativt få ressourcer kan indhente viden om eksponeringen i befolkningen, se på geografiske forskelle og følge udviklingen i trends over tid på populationsniveau. Procedurer med indhentelse af prøver fra biobank gør studiet mere omkostningseffektivt.

MOPUS forventes således at kunne udfylde videnshuller om de nuværende PFAS-niveauer i den danske befolkning og eksponeringen for de nyere kortkædede PFAS og specifikke erstatningsstoffer som f.eks. GenX (HFPO-DA).

MOPUS kan derudover danne udgangspunkt for en fortløbende monitorering af PFAS-niveauerne i den danske befolkning.

6. Diskussion, konklusion og anbefalinger

Ved gennemgang af den eksisterende forskning om biomonitorering af PFAS i Danmark og EU-regi fandt vi, at der mangler viden om den nuværende eksponering for PFAS i den generelle danske befolkning. De seneste danske PFAS-målinger er fra 2020 og 2021 fra hhv. Covid-19 patienter (9) og SARS-covid-2 vaccinerede voksne (8) og antages ikke at repræsentere den generelle befolkning. Viden om eksponering i den generelle befolkning er nødvendig ved klinisk rådgivning af særligt eksponerede eller sårbare grupper, men især relevant for at kunne følge om reguleringstiltag har den ønskede effekt dvs. mindske eksponeringen for den generelle befolkning.

Ved litteraturgennemgangen fandt vi, at kun få PFAS er målt, og at der mangler viden om eksponering for især de nyere kortkædede PFAS samt specifikke erstatningsstoffer såsom GenX. Trendstudier fra Sverige har vist, at koncentrationen for specifikke PFAS falder i befolkningen, imens koncentrationerne af organisk fluor er uden signifikant ændring (88). Den fraktion af det organiske fluor, der kan forklares ved analyse af specifikke PFAS er dermed faldende. Vi registrerer således ikke al den PFAS, vi udsættes for i de nuværende analyser (88, 91).

Det anbefales på nuværende tidspunkt at gennemføre et tværsnitsstudie til måling af PFAS hos unge danskere i den fertile alder, da eksponering i denne aldersgruppe vil være prædiktør for den tidlige eksponering i fremtidige generationer og da de forventes at få børn i fremtiden og dermed kan forudsige den tidlige eksponering af næste generation. Sundhedsstyrelsen har givet tilsagn til et sådant studie. Resultater fra dette tværsnitsstudie vil, ud over at bringe viden om nuværende PFAS-eksponering, kunne anvendes som referenceværdier for fremtidige målinger og til anvendelse i den kliniske risikovurdering.

I takt med der både udvikles nye PFAS og erstatningsstoffer og eventuelt yderligere reguleringstiltag træder i kraft, forventes det, at den humane eksponering ændres og at der opstår behov for kontinuerte målinger af PFAS i befolkningen samt nye toksikologiske vurderinger. Undersøgelsen kan derfor med fordel gentages om nogle år, hvor en ny tværsnitsundersøgelse af unge danskere kan iværksættes og samtidig kan nogle af de 1500 unge, der undersøges nu, genundersøges. På denne måde opnår myndighederne mulighed for at følge trends i PFAS-eksponering over tid.

Opfølgende undersøgelser kan suppleres med f.eks. målinger af sumparametre i udvalgte prøver for at undersøge indholdet af EOF og/eller TOP i forhold til specifikke PFAS og ændringer over tid. Desuden bør det vurderes, på basis af ny international viden, om det er relevant at supplere med andre matricer (f.eks. målinger af kortkædede PFAS i urin) og nye stoffer.

Der kan ligeledes suppleres med at følge op på undersøgelser i særlige grupper herunder f.eks. gravide, børn og specifikke erhverv samt effektstudier til undersøgelse af sammenhæng mellem PFAS-eksponering og helbredseffekter. Sundhedsstyrelsen har aktuelt en pulje i opslag til et monitoreringsprojekt om niveauer af PFAS i den generelle danske befolkning med henblik på at måle PFAS i blodet hos gravide og/eller i navlestrengsblod og/eller i modermælk (87).

Bilag 1. Referencer

1. Baun A, Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening 2023. Available from [this website](#)
2. Hull SD, Deen L, Petersen KU, Jensen TK, Hammer P, Wils RS, et al. Time trends in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentrations in the Danish population: A review based on published and newly analyzed data. *Environ Res.* 2023;237(Pt 2):117036. 10.1016/j.envres.2023.117036
3. Sundhedsstyrelsen. Helbredseffekter af PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS. 2023. Available from [this website](#).
4. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Toxicological Profile for Perfluoroalkyls. 2021. Available from [this website](#).
5. Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, Del Mazo J, Grasl-Kraupp B, et al. Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *Efsa j.* 2020;18(9):e06223. 10.2903/j.efsa.2020.6223
6. National Academies of Sciences E, and Medicine. Guidance on PFAS Exposure, Testing, and Clinical Follow-Up. Washington, DC: The National Academies Press; 2022. 10.17226/26156
7. Zahm S, Bonde JP, Chiu WA, Hoppin J, Kanno J, Abdallah M, et al. Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. *Lancet Oncol.* 2024;25(1):16-7. 10.1016/S1470-2045(23)00622-8
8. Timmermann A, Johansen IS, Tolstrup M, Heilmann C, Budtz-Jorgensen E, Tolstrup JS, et al. Antibody response to SARS-CoV-2 mRNA vaccination in Danish adults exposed to perfluoroalkyl substances (PFASs): The ENFORCE study. *Environ Res.* 2024;263(Pt 1):120039. 10.1016/j.envres.2024.120039
9. Grandjean P, Timmermann CAG, Kruse M, Nielsen F, Vinholt PJ, Boding L, et al. Severity of COVID-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates. *PLoS One.* 2020;15(12):e0244815. 10.1371/journal.pone.0244815
10. Petersen KU, Hærvig KK, Flachs EM, Bonde JP, Lindh C, Hougaard KS, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and male reproductive function in young adulthood; a cross-sectional study. *Environ Res.* 2022;212(Pt A):113157. 10.1016/j.envres.2022.113157
11. Kielsen K, Shamim Z, Ryder LP, Nielsen F, Grandjean P, Budtz-Jørgensen E, et al. Antibody response to booster vaccination with tetanus and diphtheria in adults exposed to perfluorinated alkylates. *J Immunotoxicol.* 2016;13(2):270-3. 10.3109/1547691x.2015.1067259
12. Mørck TA, Nielsen F, Nielsen JK, Siersma VD, Grandjean P, Knudsen LE. PFAS concentrations in plasma samples from Danish school children and their mothers. *Chemosphere.* 2015;129:203-9. 10.1016/j.chemosphere.2014.07.018
13. Joensen UN, Veyrand B, Antignac JP, Blomberg Jensen M, Petersen JH, Marchand P, et al. PFOS (perfluorooctanesulfonate) in serum is negatively associated with testosterone levels, but not with semen quality, in healthy men. *Hum Reprod.* 2013;28(3):599-608. 10.1093/humrep/des425
14. Joensen UN, Bossi R, Leffers H, Jensen AA, Skakkebaek NE, Jørgensen N. Do perfluoroalkyl compounds impair human semen quality? *Environ Health Perspect.* 2009;117(6):923-7. 10.1289/ehp.0800517
15. Domazet SL, Grøntved A, Timmermann AG, Nielsen F, Jensen TK. Longitudinal Associations of Exposure to Perfluoroalkylated Substances in Childhood and Adolescence and Indicators of Adiposity and Glucose Metabolism 6 and 12 Years Later: The European Youth Heart Study. *Diabetes Care.* 2016;39(10):1745-51. 10.2337/dc16-0269

16. Eriksen KT, Sørensen M, McLaughlin JK, Lipworth L, Tjønneland A, Overvad K, et al. Perfluorooctanoate and perfluorooctanesulfonate plasma levels and risk of cancer in the general Danish population. *J Natl Cancer Inst.* 2009;101(8):605-9. 10.1093/jnci/djp041
17. Vestergaard S, Nielsen F, Andersson AM, Hjellund NH, Grandjean P, Andersen HR, et al. Association between perfluorinated compounds and time to pregnancy in a prospective cohort of Danish couples attempting to conceive. *Hum Reprod.* 2012;27(3):873-80. 10.1093/humrep/der450
18. Dunder L, Salihovic S, Elmståhl S, Lind PM, Lind L. Associations between per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and diabetes in two population-based cohort studies from Sweden. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* 2023;33(5):748-56. 10.1038/s41370-023-00529-x
19. Vilhelmsson A, Rylander L, Jöud A, Lindh CH, Mattsson K, Liew Z, et al. Exposure to per- and polyfluoroalkyl substances in early pregnancy and risk of cerebral palsy in children. *Sci Total Environ.* 2023;899:165622. 10.1016/j.scitotenv.2023.165622
20. Mamsen LS, Björvang RD, Mucs D, Vinnars MT, Papadogiannakis N, Lindh CH, et al. Concentrations of perfluoroalkyl substances (PFASs) in human embryonic and fetal organs from first, second, and third trimester pregnancies. *Environ Int.* 2019;124:482-92. 10.1016/j.envint.2019.01.010
21. Dalsager L, Christensen N, Halekoh U, Timmermann CAG, Nielsen F, Kyhl HB, et al. Exposure to perfluoroalkyl substances during fetal life and hospitalization for infectious disease in childhood: A study among 1,503 children from the Odense Child Cohort. *Environ Int.* 2021;149:106395. 10.1016/j.envint.2021.106395
22. Sevelsted A, Gürdeniz G, Rago D, Pedersen CT, Lasky-Su JA, Checa A, et al. Effect of perfluoroalkyl exposure in pregnancy and infancy on intrauterine and childhood growth and anthropometry. Sub study from COPSAC2010 birth cohort. *EBioMedicine.* 2022;83:104236. 10.1016/j.ebiom.2022.104236
23. Bjerregaard-Olesen C, Bach CC, Long M, Ghisari M, Bossi R, Bech BH, et al. Time trends of perfluorinated alkyl acids in serum from Danish pregnant women 2008-2013. *Environ Int.* 2016;91:14-21. 10.1016/j.envint.2016.02.010
24. Bach CC, Henriksen TB, Bossi R, Bech BH, Fuglsang J, Olsen J, et al. Perfluoroalkyl Acid Concentrations in Blood Samples Subjected to Transportation and Processing Delay. *PLoS One.* 2015;10(9):e0137768. 10.1371/journal.pone.0137768
25. Liew Z, Ritz B, Bach CC, Asarnow RF, Bech BH, Nohr EA, et al. Prenatal Exposure to Perfluoroalkyl Substances and IQ Scores at Age 5; a Study in the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2018;126(6):067004. 10.1289/ehp2754
26. Halldorsson TI, Rytter D, Haug LS, Bech BH, Danielsen I, Becher G, et al. Prenatal exposure to perfluorooctanoate and risk of overweight at 20 years of age: a prospective cohort study. *Environ Health Perspect.* 2012;120(5):668-73. 10.1289/ehp.1104034
27. Mamsen LS, Jönsson BAG, Lindh CH, Olesen RH, Larsen A, Ernst E, et al. Concentration of perfluorinated compounds and cotinine in human foetal organs, placenta, and maternal plasma. *Sci Total Environ.* 2017;596-597:97-105. 10.1016/j.scitotenv.2017.04.058
28. Thomsen ML, Henriksen LS, Tinggaard J, Nielsen F, Jensen TK, Main KM. Associations between exposure to perfluoroalkyl substances and body fat evaluated by DXA and MRI in 109 adolescent boys. *Environ Health.* 2021;20(1):73. 10.1186/s12940-021-00758-3
29. Beck IH, Bilenberg N, Andersen HR, Trecca F, Bleses D, Jensen TK. Association between prenatal or early postnatal exposure to perfluoroalkyl substances and language development in 18 to 36-month-old children from the Odense Child Cohort. *Environ Health.* 2023;22(1):46. 10.1186/s12940-023-00993-w
30. Domazet SL, Jensen TK, Wedderkopp N, Nielsen F, Andersen LB, Grøntved A. Exposure to perfluoroalkylated substances (PFAS) in relation to fitness, physical activity, and adipokine levels in childhood: The European Youth Heart Study. *Environ Res.* 2020;191:110110. 10.1016/j.envres.2020.110110
31. Schilleman T, Iszatt N, Remy S, Schoeters G, Fernández MF, D'Cruz SC, et al. Cross-sectional associations between exposure to per- and polyfluoroalkyl substances and body mass index among European teenagers in the HBM4EU

- aligned studies. *Environ Pollut.* 2023;316(Pt 1):120566. 10.1016/j.envpol.2022.120566
32. Rodríguez-Carrillo A, Remy S, Koppen G, Wauters N, Freire C, Olivas-Martínez A, et al. PFAS association with kisspeptin and sex hormones in teenagers of the HBM4EU aligned studies. *Environ Pollut.* 2023;335:122214. 10.1016/j.envpol.2023.122214
 33. Shu H, Lindh CH, Wikstrom S, Bornehag CG. Temporal trends and predictors of perfluoroalkyl substances serum levels in Swedish pregnant women in the SELMA study. *PLoS One.* 2018;13(12):e0209255. 10.1371/journal.pone.0209255
 34. Resutalter ikke publiceret. jf., Hull SD, Deen L, Petersen KU, Jensen TK, Hammer P, et al. Time trends in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentrations in the Danish population: A review based on published and newly analyzed data. *Environ Res.* 2023;237(Pt 2):117036. 10.1016/j.envres.2023.117036
 35. Vorkamp K, Nielsen F, Kyhl HB, Husby S, Nielsen LB, Barington T, et al. Polybrominated diphenyl ethers and perfluoroalkyl substances in serum of pregnant women: levels, correlations, and potential health implications. *Arch Environ Contam Toxicol.* 2014;67(1):9-20. 10.1007/s00244-013-9988-z
 36. Sigvaldsen A, Højsager FD, Paarup HM, Beck IH, Timmermann CAG, Boye H, et al. Early-life exposure to perfluoroalkyl substances and serum antibody concentrations towards common childhood vaccines in 18-month-old children in the Odense Child Cohort. *Environ Res.* 2024;242:117814. 10.1016/j.envres.2023.117814
 37. Beck IH, Bilenberg N, Møller S, Nielsen F, Grandjean P, Højsager FD, et al. Association Between Prenatal and Early Postnatal Exposure to Perfluoroalkyl Substances and IQ Score in 7-Year-Old Children From the Odense Child Cohort. *Am J Epidemiol.* 2023;192(9):1522-35. 10.1093/aje/kwad110
 38. Beck IH, Timmermann CAG, Nielsen F, Schoeters G, Johnk C, Kyhl HB, et al. Association between prenatal exposure to perfluoroalkyl substances and asthma in 5-year-old children in the Odense Child Cohort. *Environ Health.* 2019;18(1):97. 10.1186/s12940-019-0541-z
 39. Timmermann CAG, Andersen MS, Budtz-Jørgensen E, Boye H, Nielsen F, Jensen RC, et al. Pregnancy Exposure to Perfluoroalkyl Substances and Associations With Prolactin Concentrations and Breastfeeding in the Odense Child Cohort. *J Clin Endocrinol Metab.* 2022;107(2):e631-e42. 10.1210/clinem/dgab638
 40. Jensen RC, Glinborg D, Timmermann CAG, Nielsen F, Boye H, Madsen JB, et al. Higher free thyroxine associated with PFAS exposure in first trimester. The Odense Child Cohort. *Environ Res.* 2022;212(Pt D):113492. 10.1016/j.envres.2022.113492
 41. Jensen RC, Andersen MS, Larsen PV, Glinborg D, Dalgard C, Timmermann CAG, et al. Prenatal Exposures to Perfluoroalkyl Acids and Associations with Markers of Adiposity and Plasma Lipids in Infancy: An Odense Child Cohort Study. *Environ Health Perspect.* 2020;128(7):77001. 10.1289/EHP5184
 42. Jensen TK, Andersen LB, Kyhl HB, Nielsen F, Christesen HT, Grandjean P. Association between perfluorinated compound exposure and miscarriage in Danish pregnant women. *PLoS One.* 2015;10(4):e0123496. 10.1371/journal.pone.0123496
 43. Jensen RC, Glinborg D, Timmermann CAG, Nielsen F, Kyhl HB, Andersen HR, et al. Perfluoroalkyl substances and glycemic status in pregnant Danish women: The Odense Child Cohort. *Environ Int.* 2018;116:101-7. 10.1016/j.envint.2018.04.010
 44. Højsager FD, Sigvaldsen A, Andersen MS, Juul A, Nielsen F, Møller S, et al. Prenatal and early postnatal exposure to perfluoroalkyl substances and bone mineral content and density in the Odense Child Cohort. *Environ Int.* 2023;181:108264. 10.1016/j.envint.2023.108264
 45. Birukov A, Andersen LB, Andersen MS, Nielsen JH, Nielsen F, Kyhl HB, et al. Exposure to perfluoroalkyl substances and blood pressure in pregnancy among 1436 women from the Odense Child Cohort. *Environ Int.* 2021;151:106442. 10.1016/j.envint.2021.106442
 46. Dreyer AF, Jensen RC, Glinborg D, Schmedes AV, Brandslund I, Nielsen F, et al. Perfluoroalkyl Substance Exposure Early In Pregnancy Was Negatively Associated With Late Pregnancy Cortisone Levels. *J Clin Endocrinol Metab.* 2020;105(8). 10.1210/clinem/dgaa292
 47. Dalsager L, Christensen N, Husby S, Kyhl H, Nielsen F, Host A, et al. Association between prenatal exposure to perfluorinated compounds and symptoms of infections

- at age 1-4 years among 359 children in the Odense Child Cohort. *Environ Int.* 2016;96:58-64. 10.1016/j.envint.2016.08.026
48. Dalsager L, Jensen TK, Nielsen F, Grandjean P, Bilenberg N, Andersen HR. No association between maternal and child PFAS concentrations and repeated measures of ADHD symptoms at age 2(1/2) and 5 years in children from the Odense Child Cohort. *Neurotoxicol Teratol.* 2021;88:107031. 10.1016/j.ntt.2021.107031
 49. Liew Z, Luo J, Nohr EA, Bech BH, Bossi R, Arah OA, et al. Maternal Plasma Perfluoroalkyl Substances and Miscarriage: A Nested Case-Control Study in the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2020;128(4):47007. 10.1289/EHP6202
 50. Liew Z, Ritz B, Bonefeld-Jorgensen EC, Henriksen TB, Nohr EA, Bech BH, et al. Prenatal exposure to perfluoroalkyl substances and the risk of congenital cerebral palsy in children. *Am J Epidemiol.* 2014;180(6):574-81. 10.1093/aje/kwu179
 51. Liew Z, Ritz B, von Ehrenstein OS, Bech BH, Nohr EA, Fei C, et al. Attention deficit/hyperactivity disorder and childhood autism in association with prenatal exposure to perfluoroalkyl substances: a nested case-control study in the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2015;123(4):367-73. 10.1289/ehp.1408412
 52. Halldorsson TI, Fei C, Olsen J, Lipworth L, McLaughlin JK, Olsen SF. Dietary predictors of perfluorinated chemicals: a study from the Danish National Birth Cohort. *Environ Sci Technol.* 2008;42(23):8971-7. 10.1021/es801907r
 53. Fei C, McLaughlin JK, Lipworth L, Olsen J. Prenatal exposure to perfluorooctanoate (PFOA) and perfluorooctanesulfonate (PFOS) and maternally reported developmental milestones in infancy. *Environ Health Perspect.* 2008;116(10):1391-5. 10.1289/ehp.11277
 54. Fei C, McLaughlin JK, Lipworth L, Olsen J. Prenatal exposure to PFOA and PFOS and risk of hospitalization for infectious diseases in early childhood. *Environ Res.* 2010;110(8):773-7. 10.1016/j.envres.2010.08.004
 55. Fei C, Olsen J. Prenatal exposure to perfluorinated chemicals and behavioral or coordination problems at age 7 years. *Environ Health Perspect.* 2011;119(4):573-8. 10.1289/ehp.1002026
 56. Fei C, McLaughlin JK, Tarone RE, Olsen J. Fetal growth indicators and perfluorinated chemicals: a study in the Danish National Birth Cohort. *Am J Epidemiol.* 2008;168(1):66-72. 10.1093/aje/kwn095
 57. Fei C, McLaughlin JK, Lipworth L, Olsen J. Maternal levels of perfluorinated chemicals and subfecundity. *Hum Reprod.* 2009;24(5):1200-5. 10.1093/humrep/den490
 58. Fei C, McLaughlin JK, Tarone RE, Olsen J. Perfluorinated chemicals and fetal growth: a study within the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2007;115(11):1677-82. 10.1289/ehp.10506
 59. Bach CC, Liew Z, Matthiesen NB, Henriksen TB, Bech BH, Nohr EA, et al. In utero exposure to perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances and attention and executive function in the offspring: A study in the Danish National Birth Cohort. *Environ Res.* 2022;212(Pt B):113262. 10.1016/j.envres.2022.113262
 60. Haervig KK, Petersen KU, Hougaard KS, Lindh C, Ramlau-Hansen CH, Toft G, et al. Maternal Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) and Male Reproductive Function in Young Adulthood: Combined Exposure to Seven PFAS. *Environ Health Perspect.* 2022;130(10):107001. 10.1289/EHP10285
 61. Keglborg Haervig K, Bonde JP, Ramlau-Hansen CH, Toft G, Hougaard KS, Specht IO, et al. Fetal Programming of Semen Quality (FEPOS) Cohort - A DNBC Male-Offspring Cohort. *Clin Epidemiol.* 2020;12:757-70. 10.2147/CLEP.S242631
 62. Ernst A, Brix N, Lauridsen LLB, Olsen J, Parner ET, Liew Z, et al. Exposure to Perfluoroalkyl Substances during Fetal Life and Pubertal Development in Boys and Girls from the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2019;127(1):17004. 10.1289/EHP3567
 63. Inoue K, Ritz B, Andersen SL, Ramlau-Hansen CH, Hoyer BB, Bech BH, et al. Perfluoroalkyl Substances and Maternal Thyroid Hormones in Early Pregnancy; Findings in the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2019;127(11):117002. 10.1289/EHP5482

64. Andersen CS, Fei C, Gamborg M, Nohr EA, Sorensen TI, Olsen J. Prenatal exposures to perfluorinated chemicals and anthropometric measures in infancy. *Am J Epidemiol.* 2010;172(11):1230-7. 10.1093/aje/kwq289
65. Andersen CS, Fei C, Gamborg M, Nohr EA, Sorensen TI, Olsen J. Prenatal exposures to perfluorinated chemicals and anthropometry at 7 years of age. *Am J Epidemiol.* 2013;178(6):921-7. 10.1093/aje/kwt057
66. Luo J, Ramlau-Hansen CH, Kesmodel US, Xiao J, Vasiliou V, Deziel NC, et al. Prenatal Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Facial Features at 5 Years of Age: A Study from the Danish National Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2022;130(1):17006. 10.1289/EHP9478
67. Eriksen KT, Sorensen M, McLaughlin JK, Tjonneland A, Overvad K, Raaschou-Nielsen O. Determinants of plasma PFOA and PFOS levels among 652 Danish men. *Environ Sci Technol.* 2011;45(19):8137-43. 10.1021/es100626h
68. Eriksen KT, Raaschou-Nielsen O, McLaughlin JK, Lipworth L, Tjonneland A, Overvad K, et al. Association between plasma PFOA and PFOS levels and total cholesterol in a middle-aged Danish population. *PLoS One.* 2013;8(2):e56969. 10.1371/journal.pone.0056969
69. Bach CC, Bech BH, Nohr EA, Olsen J, Matthiesen NB, Bonefeld-Jorgensen EC, et al. Perfluoroalkyl Acids in Maternal Serum and Indices of Fetal Growth: The Aarhus Birth Cohort. *Environ Health Perspect.* 2016;124(6):848-54. 10.1289/ehp.1510046
70. Bach CC, Bech BH, Nohr EA, Olsen J, Matthiesen NB, Bossi R, et al. Serum perfluoroalkyl acids and time to pregnancy in nulliparous women. *Environ Res.* 2015;142:535-41. 10.1016/j.envres.2015.08.007
71. Bonefeld-Jorgensen EC, Boesen SAH, Wielsoe M, Henriksen TB, Bech BH, Halldorsson Thorn I, et al. Exposure to persistent organic pollutants in Danish pregnant women: Hormone levels and fetal growth indices. *Environ Toxicol Pharmacol.* 2023;99:104108. 10.1016/j.etap.2023.104108
72. Bjerregaard-Olesen C, Bach CC, Long M, Ghisari M, Bech BH, Nohr EA, et al. Determinants of serum levels of perfluorinated alkyl acids in Danish pregnant women. *Int J Hyg Environ Health.* 2016;219(8):867-75. 10.1016/j.ijheh.2016.07.008
73. Strøm M, Hansen S, Olsen SF, Haug LS, Rantakokko P, Kiviranta H, et al. Persistent organic pollutants measured in maternal serum and offspring neurodevelopmental outcomes--a prospective study with long-term follow-up. *Environ Int.* 2014;68:41-8. 10.1016/j.envint.2014.03.002
74. Kristensen SL, Ramlau-Hansen CH, Ernst E, Olsen SF, Bonde JP, Vested A, et al. Long-term effects of prenatal exposure to perfluoroalkyl substances on female reproduction. *Hum Reprod.* 2013;28(12):3337-48. 10.1093/humrep/det382
75. Vested A, Ramlau-Hansen CH, Olsen SF, Bonde JP, Kristensen SL, Halldorsson TI, et al. Associations of in utero exposure to perfluorinated alkyl acids with human semen quality and reproductive hormones in adult men. *Environ Health Perspect.* 2013;121(4):453-8. 10.1289/ehp.1205118
76. Skuladottir M, Ramel A, Rytter D, Haug LS, Sabaredzovic A, Bech BH, et al. Examining confounding by diet in the association between perfluoroalkyl acids and serum cholesterol in pregnancy. *Environ Res.* 2015;143(Pt A):33-8. 10.1016/j.envres.2015.09.001
77. Timmermann CA, Rossing LI, Grøntved A, Ried-Larsen M, Dalgard C, Andersen LB, et al. Adiposity and glycemic control in children exposed to perfluorinated compounds. *J Clin Endocrinol Metab.* 2014;99(4):E608-14. 10.1210/jc.2013-3460
78. Cox B, Wauters N, Rodriguez-Carrillo A, Portengen L, Gerofke A, Kolossa-Gehring M, et al. PFAS and Phthalate/DINCH Exposure in Association with Age at Menarche in Teenagers of the HBM4EU Aligned Studies. *Toxics.* 2023;11(8). 10.3390/toxics11080711
79. Uhl M, Schoeters G, Govarts E, Bil W, Fletcher T, Haug LS, et al. PFASs: What can we learn from the European Human Biomonitoring Initiative HBM4EU. *Int J Hyg Environ Health.* 2023;250:114168. 10.1016/j.ijheh.2023.114168
80. Richterova D, Govarts E, Fabelova L, Rausova K, Rodriguez Martin L, Gilles L, et al. PFAS levels and determinants of variability in exposure in European teenagers - Results from the HBM4EU aligned studies (2014-2021). *Int J Hyg Environ Health.* 2023;247:114057. 10.1016/j.ijheh.2022.114057

81. Schoeters G, Govarts E, Bruckers L, Den Hond E, Nelen V, De Henauw S, et al. Three cycles of human biomonitoring in Flanders - Time trends observed in the Flemish Environment and Health Study. *Int J Hyg Environ Health*. 2017;220(2 Pt A):36-45. 10.1016/j.ijheh.2016.11.006
82. Monitoring human exposure to chemicals: PARC Aligned Studies [cited 2024 27.09]. Available from [this website](#).
83. PARC. PARC T4.1.2.: Selected biomarkers of exposure for PARC Aligned Studies. Available from: [this website](#).
84. Cariou R, Veyrand B, Yamada A, Berrebi A, Zalko D, Durand S, et al. Perfluoroalkyl acid (PFAA) levels and profiles in breast milk, maternal and cord serum of French women and their newborns. *Environ Int*. 2015;84:71-81. 10.1016/j.envint.2015.07.014
85. Yang L, Wang Z, Shi Y, Li J, Wang Y, Zhao Y, et al. Human placental transfer of perfluoroalkyl acid precursors: Levels and profiles in paired maternal and cord serum. *Chemosphere*. 2016;144:1631-8. 10.1016/j.chemosphere.2015.10.063
86. Mogensen UB, Grandjean P, Nielsen F, Weihe P, Budtz-Jørgensen E. Breastfeeding as an Exposure Pathway for Perfluorinated Alkylates. *Environ Sci Technol*. 2015;49(17):10466-73. 10.1021/acs.est.5b02237
87. Sundhedsstyrelsen. Monitoreringsprojekt om niveauer af PFAS i den generelle danske befolkning [Available from [this website](#)].
88. Miaz LT, Plassmann MM, Gyllenhammar I, Bignert A, Sandblom O, Lignell S, et al. Temporal trends of suspect- and target-per/polyfluoroalkyl substances (PFAS), extractable organic fluorine (EOF) and total fluorine (TF) in pooled serum from first-time mothers in Uppsala, Sweden, 1996-2017. *Environ Sci Process Impacts*. 2020;22(4):1071-83. 10.1039/c9em00502a
89. Cioni L, Nikiforov V, Benskin JP, Coelho A, Dudasova S, Lauria MZ, et al. Combining Advanced Analytical Methodologies to Uncover Suspect PFAS and Fluorinated Pharmaceutical Contributions to Extractable Organic Fluorine in Human Serum (Tromsø Study). *Environ Sci Technol*. 2024;58(29):12943-53. 10.1021/acs.est.4c03758
90. Cioni L, Nikiforov V, Coelho A, Sandanger TM, Herzke D. Total oxidizable precursors assay for PFAS in human serum. *Environ Int*. 2022;170:107656. 10.1016/j.envint.2022.107656
91. De Silva AO, Armitage JM, Bruton TA, Dassuncao C, Heiger-Bernays W, Hu XC, et al. PFAS Exposure Pathways for Humans and Wildlife: A Synthesis of Current Knowledge and Key Gaps in Understanding. *Environ Toxicol Chem*. 2021;40(3):631-57. 10.1002/etc.4935

Forslag til plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) har været i fokus i flere miljøforureningssager i Danmark. Dette har skabt bekymring for folkesundheden, da udsættelse for PFAS er forbundet med flere helbredseffekter.

Videnstaskforcen for PFAS vurderede, at en national biomonitoreringsplan kan hjælpe med at forstå blodniveauerne af PFAS i befolkningen samt effekten af reguleringstiltag. Projektet formål var at gennemgå eksisterende forskning om PFAS i humane prøver i Danmark og EU, samt at foreslå en national handlingsplan for fortløbende, systematisk biomonitorering af PFAS blodniveauer

I gennemgangen fandt man 16 eksisterende undersøgelser, hvor PFAS hos danske voksne, gravide og/eller børn i perioden 1992-2021 blev målt. Størstedelen målte blodniveauer af PFOS, PFOA, PFNA, PFHxS og PFDA, mens nyere kortkædede PFAS og PFAS-erstatningsstoffer ikke blev målt. De nyeste studier af gravide og børn var fra hhv. 2015 og 2019, men hvor det nyeste studie blandt voksne, fra 2021, ikke er repræsentativt for befolkningen. Mangel på viden om de nuværende niveauer, herunder niveauer af nyere kortkædede PFAS og PFAS-erstatningsstoffer, vanskeliggør rådgivning af særligt eksponerede og sårbare grupper, samt vurdering af effekten af reguleringstiltag.

Ekspertgruppen anbefaler biomonitorering begyndende med et tværsnitsstudie, der måler PFAS i blodet hos 1500 unge danskere i alderen 18-28 år, fordelt over landets fem regioner. Fokus på unge skyldes bl.a. at fremtidens generationer i høj grad afhænger af eksponeringen hos unge i den reproduktive alder. Resultaterne vil give vigtig viden om den nuværende eksponering, som kan anvendes i risikovurderinger og som referenceværdier for fremtidige målinger. Ved fortløbende målinger, kan det vurderes om niveauerne ændres over tid og om reguleringstiltag har den ønskede effekt.



Miljøstyrelsen
Tolderundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk