

DECEMBER

2023

Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark

Del 1: Identifikation af videnskuller

Videnstaskforcen for PFAS

Anders Baun, Poul L. Bjerg, John Jensen, Tina Kold Jensen, Ann Lyngberg, Bjarne W. Strobel,
Anne Marie Vinggaard, Katrin Vorkamp, Xenia Trier

FORORD

Gennem de seneste år har fund af PFAS i miljøet givet anledning til bekymring hos myndigheder og befolkning, og der er gennemført undersøgelser og arbejdet bredt hos mange myndigheder for at skabe overblik over forureningens omfang. Det gælder både kilderne til PFAS-forurening og påvirkning af miljø, fødevarer og drikkevand samt betydning for menneskers sundhed.

Der er brug for at sikre, at den fortsatte udbygning af vidensgrundlaget om PFAS systematiseres og tilrettelægges, så der opnås en målrettet indsamling af viden. Desuden er der behov for at sikre den mest hensigtsmæssige og fagligt velfunderede prioritering og tilrettelæggelse af håndteringen af PFAS, så mennesker og miljø ikke udsættes for sundhedsskadelige niveauer. PFAS er en global udfordring, og der er derfor også behov for viden fra andre lande, inkl. deres håndtering af PFAS-udfordringen. Der skal derfor indsamles viden både fra Danmark og andre lande og foretages en erfaringsopsamling, hvordan andre lande håndterer udfordringer forbundet med PFAS-forurening. Da PFAS-problematikken er global, er det ligeledes vigtigt at vurdere betydningen af forbud mod anvendelse lokalt.

Det er med Finansloven 2023 besluttet, at der nedsættes en videnstaskforce om PFAS (herefter: videnstaskforcen), der skal foretage en opsamling på den viden, som findes om PFAS både nationalt og internationalt. På baggrund af den tilgængelige viden og ekspertvurderinger skal videnstaskforcen udarbejde forslag til prioritering af fremadrettede tiltag mod PFAS. Videnstaskforcen er udpeget som en uafhængig ekspertgruppe, og Miljøstyrelsen fungerer som sekretariat.

Videnstaskforcens opgave er inddelt i fire overordnede hovedopgaver:

- Videnstaskforcen skal give et overblik over den nuværende tilgængelige viden om PFAS både nationalt og internationalt om forekomst, skæbne og effekt af PFAS i miljøet og relationen til eksponering af mennesker. Herunder skal der udarbejdes en erfaringsopsamling af, hvordan andre lande håndterer udfordringer forbundet med PFAS-forurening.
- Videnstaskforcen skal identificere de væsentligste huller i den nuværende viden inden for de repræsenterede fagområder.
- Videnstaskforcen skal bidrage med forslag til metoder eller projekter til at tilvejebringe den manglende viden.
- Videnstaskforcen skal afslutningsvist udarbejde en rapport, der kan danne grundlag for myndighedernes fremtidige prioritering af fokus og indsats mod PFAS-forurening med henblik på at reducere en uacceptabel eksponering af befolkningen.

Videnstaskforcen skal i opgaveløsningen forholde sig til både håndtering af eksisterende forurening og tiltag, der skal forebygge yderligere forurening.

Videnstaskforcen blev etableret i august 2023 med følgende sammensætning: Professor Anders Baun, DTU; Chef-læge Ann Lyngberg, Arbejds- og Socialmedicinsk Afdeling, Holbæk Sygehus; Professor Anne Marie Vinggaard, DTU; Lektor Bjarne W. Strobel, Københavns Universitet; Viceinstituteder John Jensen, Aarhus Universitet; Professor Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet; Professor Poul L. Bjerg, DTU; Professor Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet; Lektor Xenia Trier, Københavns Universitet. Taskforcen har udpeget professor Anders Baun, DTU, som forperson.

Videnstaskforcens arbejde er fulgt af en følgegruppe med repræsentanter fra styrelser, forskellige fagområder og interesseorganisationer. Følgegruppen består af repræsentanter fra Arbejdstilsynet, ATV – Jord og Grundvand, Danmarks Naturfredningsforening, Dansk Industri, Danske Regioner, Danske Vandværker, DANVA, Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (NFA), Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelsen, Fri-luftsrådet, Fødevarestyrelsen, Kommunernes Landsforening, Landbrug og Fødevarer, Miljøstyrelsen, Miljøministeriet, Naturstyrelsen, Region Hovedstaden, Rådet for Grøn Omstilling, Sundhedsstyrelsen og Styrelsen for Patientsikkerhed.

Miljøstyrelsens PFAS sekretariat har ydet sekretærbistand til PFAS Videnstaskforcen.

Rapporten kan citeres som:

Baun, A., Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. (2023) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del I: Identifikation af videnshuller. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening.

RESUME

Formålet med dette notat, udarbejdet af Videnstaskforce for PFAS, er at identificere konkrete videnshuller vedrørende forekomst, skæbne og effekter af PFAS i miljøet og relationen til human eksponering, som kan lukkes/afklares i løbet af 2024. Formålet er at forbedre vidensgrundlaget for handlinger til at nedbringe eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark.

Rapporten tager derfor udgangspunkt i videnshuller identificeret i de repræsenterede fagområder, som underbygges af et kort, målrettet overblik over den nuværende tilgængelige viden både nationalt og internationalt vedrørende forekomst, skæbne og effekt af PFAS i miljøet, og relationen til eksponering af mennesker og miljø.

Videnshullerne adresseres med henblik på, at videnstaskforcen kan give forslag til prioriterede handlingsanvisninger ved udgangen af 2024. Videnstaskforcen har identificeret en række korterevarende projekter, som vil kunne bidrage til, at de beskrevne videnshuller kan kvalificeres yderligere i videnstaskforcens arbejde i 2024 med prioriterede handlingsanvisninger for vidensopbygning og håndtering.

Den overordnede sigtelinje for identifikation og udvælgelse af videnshuller har været betydningen af områdets bidrag til en reduktion af menneskers og miljøets eksponering for PFAS på kort og langt sigt. Der er inddraget områder, hvor særlige danske forhold kan gøre, at internationale erfaringer/viden måske ikke kan overføres direkte. Desuden blev hensynet til, om lukning af et videnshul kan understøtte konkrete handlingsanvisninger i risikohåndteringen inddraget.

I videnstaskforcens arbejde igennem efteråret 2023 blev identificerede videnshuller opdelt i følgende kategorier: Dataoverblik; Alternativer; Kortlægning af potentielle kilder; Kendte kilder; Forekomst og eksponering; Analysestrategi; Skæbne, fordeling og transport i miljøet; Toksikologiske effekter; Risikohåndtering; Risikokommunikation; og Socio-økonomisk analyse.

Inden for disse kategorier er specifikke potentielle videnshuller blevet diskuteret og sammenholdt med det tilgængelige datagrundlag i en første screeningsrunde. Her var det især videnstaskforcens egen baggrundsviden og input fra netværk samt følgegruppens udtrykte prioriteringer, som vejede tungt i udvælgelsen. Hvis der allerede i videnstaskforcen eller følgegruppen var kendskab til igangværende aktiviteter/projekter, som afsluttes i 2023 eller i løbet af 2024, blev disse inddraget i overvejelserne om, hvilken vægt et givet videnshul skulle have for videnstaskforcens arbejde i 2023. Det skal understreges, at det i projektperioden september-november 2023 ikke har været muligt for videnstaskforcen at få kortlagt samtlige eksisterende og igangsatte initiativer af private og offentlige aktører i Danmark på PFAS-området. Hvor viden om danske projekter, udredninger, analyser og rapporter har været tilgængelig, er den viden inddraget i videnstaskforcens prioriteringer af videnshuller i dette notat.

Af både videnstaskforcen og følgegruppen blev denne mangel på overblik over projekter og især tilgængelige data identificeret som et betydeligt videnshul i forbindelse med en fremtidig handlingsplan rettet mod mindsket PFAS-eksponering af mennesker og miljø i Danmark. Her finder videnstaskforcen det i særlig grad ønskeligt, at der kan tilvejebringes et samlet overblik over de data og databaser, der allerede er etablerede, og som kan udbygges med flere data fra de mange forskellige aktører på området. Derfor opfordrer videnstaskforcen til, at der i 2024 afholdes en workshop til afklaring af, hvordan en vidensdelingsplatform for PFAS-relaterede data for fødevarer-, sundheds- og miljøprøver kan etableres.

Nedenfor er givet en oversigt over de projekter, som videnstaskforcen har prioriteret i 2023. Det er projekter, der kan igangsættes og afsluttes i 2024 med henblik på at kunne adressere de videnshuller, der er beskrevet i rapporten. Ud over et øget vidensniveau forventes resultaterne af projekterne at kunne bidrage til konkrete anvisninger af, hvilke områder offentlige myndigheder kunne lade indgå i prioriteringen af indsatser over for PFAS-forurening.

Projekt 1	Anvendelse af PFAS i teknologier til den grønne omstilling – og egnede alternativer
Projekt 2	PFAS i nye og genanvendte produkter og materialer i en cirkulær økonomi
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 7	Screening for mindre kendte PFAS i udvalgte miljøprøver, fødevarer og humane prøver
Projekt 8	Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevarerprøver 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
Projekt 11	Videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om miljømæssige og humane helbredseffekter af de ultra-kortkædede PFAS, nyere kortkædede PFAS og øvrige PFAS-holdige erstatningsstoffer
Projekt 12	Risikostyring – principper for fastsættelse af grænseværdier og aktionsniveauer

Det er vigtigt at understrege, at de udvalgte projekter ikke dækker hele PFAS-problematikken. Flere områder blev fravalgt, da de faldt uden for formålet med videnstaskforcens arbejde i 2023. De væsentligste af disse fravalgte områder vil blive omfattet af videnstaskforcens arbejde i 2024.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1.	PFAS Videnstaskforcens arbejde i 2023 og 2024	8
1.1	Opgaveformulering for PFAS Videnstaskforcen	8
1.2	Strategi til løsning af opgaven	8
1.3	Formål med Del I: Identifikation af videnshuller	9
2.	PFAS som problemstof i Danmark og internationalt	10
2.1	PFAS – kemiske strukturer og grupper	13
2.1.1	Definition af PFAS	13
2.1.2	Vigtige PFAS-grupper	13
2.2	Miljømæssigt problematiske stoffer	17
2.3	Restriktionsforslag for PFAS	18
2.4	Generel vidensstatus	19
2.5	Danske forhold af betydning for PFAS forekomst	19
3	Metode til identifikation af videnshuller og tilknyttede projektforslag	21
4	Baggrundsviden for identificerede videnshuller og projektforslag	23
4.1	Datagrundlag – Vidensdeling	23
4.2	PFAS eksponering og massebetragtninger	24
4.3	PFAS-frie alternativer – særligt fokus på grøn omstilling	25
4.4	Anvendelser og mulige kilder til miljømæssig og human eksponering	27
4.4.1	Generelle anvendelser i Danmark	27
4.4.2	Humane og veterinære lægemidler, medicinsk udstyr og lægemiddelemballage	28
4.4.3	Pesticider	29
4.4.4	Mulige kilder til forurening af havmiljøet	29
4.4.5	PFAS i byggematerialer	31
4.5	Human eksponering fra fødevarer, drikkevand, forbrugerprodukter og miljøet	32
4.5.1	Forskellige eksponeringsvejes bidrag	32
4.5.2	Eksponering via fødevarer og drikkevand	32
4.5.3	Eksponering fra fødevareemballage	34
4.5.4	Eksponering i indemiljøet	34
4.6	Analysestrategi	35
4.7	Forekomst, transport, fordeling og skæbne i miljøet	39
4.7.1	Forekomst i overfladevand	39
4.7.2	Forekomst i akvatisk biota	39
4.7.3	PFAS-forekomst i vildt og øvrige terrestriske dyr	42
4.7.4	Spildevand og spildevandsslam	42
4.7.5	Forekomst og skæbne i jord	43
4.7.6	Optag i afgrøder	45
4.7.7	Biotilgængelighed af PFAS i jord og overfladevandssedimenter	45
4.7.8	Forurenede grunde – transport og skæbne i jord og grundvand	46

4.8	Toksikologiske effekter og risikovurdering af PFAS i mennesker og miljøets organismer	49
4.8.1	Effekt af PFAS på mennesker	49
4.8.2	Økotoksikologiske effekter	50
4.9	Overvågningsstrategi for PFAS	51
4.9.1	Miljøovervågning	51
4.9.2	Human biomonitoring	53
4.10	Risikostyring, beslutningsstøtte, og kommunikation	54
4.10.1	Beslutningsstøttesystem og prioriteringsværktøj til miljøforurening med PFAS	54
4.10.2	Risikokommunikation ved miljøforurening med PFAS	55
4.10.3	Myndighedernes rolle i risikohåndtering og risikovurdering	56
4.11	Behovet for socioøkonomiske analyser	57
5	Projektkatalog til 2024	58
6	Referencer	75
7	Bilag	84
7.1	Forkortelsesliste for PFAS	84
7.2	Oversigt over Miljøstyrelsens igangværende initiativer og projekter	85
7.3	Yderligere videnshuller til videnstaskforcens arbejde i 2024	89

1. PFAS VIDENSTASKFORCENS ARBEJDE I 2023 OG 2024

1.1 Opgaveformulering for PFAS Videnstaskforcen

PFAS Videnstaskforcen (videnstaskforcen) skal i 2023 udarbejde et kortfattet overblik over national og international viden om forekomst, skæbne og effekt af PFAS i miljøet og relationen til eksponering af mennesker. På baggrund af dette, skal videnstaskforcen foretage en evaluering og analyse af den nuværende viden og generere et overblik over manglende viden, som er nødvendig for at få et tilstrækkeligt solidt grundlag til at prioritere den fremtidige indsats.

Videnstaskforcen skal desuden i 2023 opstille forslag til, hvordan den manglende og nødvendige viden kan tilvejebringes på en videnskabeligt velfunderet måde. Endelig skal videnstaskforcen i 2023 foretage en prioritering af hvilke indsatser, det er mest kritisk at få tilvejebragt viden om, og som der derfor bør være fokus på i 2024 for at sikre beskyttelsen af mennesker og miljø. Arbejdet skal munde ud i en rapport med et resumé og en samlet prioritering af de forskellige områder.

I slutningen af 2024 skal videnstaskforcen på baggrund af eksisterende og ny viden udarbejde en rapport indeholdende konkrete anvisninger af, hvilke særlige områder, handlinger, vidensopbygning og håndtering offentlige myndigheder bør have fokus på og prioritere i håndteringen af risikoen fra forurening med PFAS.

Rapporten vil have særlig fokus på de nye projekter, som bliver igangsat i 2024, som et resultat af dette arbejde, samt det store antal projekter, der allerede er på vej eller bliver igangsat i 2024 af andre aktører.

1.2 Strategi til løsning af opgaven

Ud fra opgavens tidsramme har videnstaskforcen valgt at udmønte opgaven i to dele med titlerne: "Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark"

- Del 1: Identifikation af videnshuller
- Del 2: Forslag til prioriterede handlingsanvisninger for vidensopbygning og håndtering

Videnstaskforcen blev formelt oprettet på et møde i Miljøstyrelsen den 24. august 2023. Efterfølgende blev der afholdt to fysiske møder (13. oktober 2023 og 6. november 2023) til drøftelse af strategi og diskussion af videnshuller og projektforslag. Gruppens øvrige arbejde foregik på individuelt plan, i online-møder og per korrespondance.

Der blev nedsat en følgegruppe med repræsentanter fra styrelser, forskellige fagområder og interesseorganisationer og afholdt to følgegruppemøder d. 22. september og 20. november 2023. Mundtlige og skriftlige input fra følgegruppemedlemmer er medtaget i videnstaskforcens opgaveløsning.

1.3 Formål med Del 1: Identifikation af videnshuller

Formålet med denne rapport er at identificere konkrete videnshuller vedrørende forekomst, skæbne og effekter af PFAS i miljøet og relationen til human eksponering, herunder videnshuller som kan lukkes/afklares i løbet af 2024 og dermed føre til konkret handling for at nedbringe eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark.

Rapporten tager udgangspunkt i videnshuller identificeret inden for de repræsenterede fagområder, som underbygges af et kort, målrettet overblik over den nuværende tilgængelige viden både nationalt og internationalt vedrørende forekomst, skæbne og effekt af PFAS i miljøet, og relationen til eksponering af mennesker og miljø (kapitel 2 og 4). På basis af videnshullerne er der i rapportens kapitel 5 foreslået konkrete projekter, der kan bidrage til at lukke de identificerede videnshuller. Processen med identificeringen af videnshuller og udarbejdelse af projektforslag er nærmere beskrevet i kapitel 3.

Videnshullerne bør adresseres via de foreslåede projekter og/eller opfølgende aktivitet i løbet af 2024 med henblik på, at videnstaskforcen kan give forslag til prioriterede handlingsanvisninger ved udgangen af 2024. De videnshuller og projektforslag, som videnstaskforcen har identificeret, vil kunne bidrage til kvalificering af konkrete forslag til tiltag i Del 2: Forslag til prioriterede handlingsanvisninger for vidensopbygning og håndtering.

2. PFAS SOM PROBLEMSTOF I DANMARK OG INTERNATIONALT

*Per- og poly-*fluorerede alkyl stoffer (PFAS) eller bare 'fluorstoffer' er en stor gruppe af mere end 10.000 syntetiske kemikalier, der bliver anvendt industrielt og i en bred vifte af forbrugerprodukter pga. deres unikke fysisk-kemiske egenskaber, som olie-, vand-, og smudsafvisende egenskaber, og fordi de er modstandsdygtige overfor høje temperaturer og aggressive kemikalier. PFAS er derfor blevet brugt i alt fra brandslukningsskum, slip-let metal belægninger til stegepander, papir- og papemballage, cremer, kosmetik, tekstiler, tæpper, maling, pesticider og lægemidler. Desuden anvendes PFAS i en lang række fluorplast-materialer og i industrielle processer. Den vidtgående anvendelse, ringe nedbrydelighed (persistens), høje mobilitet, store evne til at bioakkumuleres og iboende toksicitet over for mennesker betyder, at deres anvendelse er et samfundsproblem. Derfor er de to hyppigst anvendte PFOS og PFOA også at finde på Stockholm Konventionens liste over persistente organiske stoffer (POP – Persistent Organic Pollutants) og deres brug er generelt udfaset.

I det seneste årti har studier vist, at selvom PFAS er forskellige og adskiller sig både mht. visse fysisk-kemiske egenskaber og toksicitet, så har de alle det til fælles, at de enten selv er eller danner persistente kemikalier. Derudover har alle de PFAS, man har undersøgt mere indgående, vist sig at kunne give skadelige effekter på mennesker (fx svækket immunforsvar hos børn, forhøjet kolesterol, sænket fertilitet) og/eller på klima og miljø (fx drivhuseffekt, nedbrydning af ozonlaget, forurening af vandressourcer). Dertil kommer, at det er yderst besværligt og dyrt at kontrollere udslip af stofferne samt oprensning for dem, når de er nået ud i miljøet (Kwiatkowski et al. 2020).

Der er foretaget substitution af PFAS, men desværre ofte ved at substituere en PFAS med en anden PFAS, for eksempel ved at erstatte langkædede PFAS med kortkædede PFAS (se Tabel 2.3 for definition af lang- og kortkædede). Denne type PFAS-til-PFAS-substitution afhjælper ikke det reelle problem, nemlig at der stadig er tale om persistente, mobile og toksiske stoffer. De kendte skadelige effekter af PFAS er nærmere beskrevet i afsnit 4.8, samt for de fire PFAS (PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS)¹ i EFSA's (European Food Safety Agency – Det Europæiske Fødevareagentur) omfattende gennemgang af forekomst, eksponeringsveje og toksicitet i forbindelse med fastsættelse af et tolerabelt ugentligt indtag fra fødevarer (EFSA, 2020).

I Danmark har forekomsten af PFAS (særligt PFOS og PFOA) været kendt i de seneste to årtier, og indgået i overvågningsprogrammer. I Danmark blev kvalitetskrav for PFOS i drikkevand fastsat i 2015 og for overfladevand i 2018. På fødevareområdet har der siden 2008 været fastsat et tolerabelt indtag for PFOS og PFOA på hhv. 150 ng/kg kropsvægt/dag og 1500 ng/kg kropsvægt/dag baseret på dyreforsøg. I 2020 blev PFOS og PFOA revurderet af EFSA og sundhedsvurderingen blev udvidet til også at omfatte to andre PFAS: PFNA og PFHxS (EFSA, 2020). EFSA fandt, at det tolerable ugentlige indtag af summen af de fire PFAS skulle fastsættes til 4,4 ng/kg kropsvægt/uge (EFSA, 2020). Det var altså en markant reduktion (238 – 2.380 gange) af det tolerable indtag for PFOS og PFOA. Som en konsekvens af denne skærpede risikovurdering, blev kvalitetskriterierne i Danmark for disse fire stoffers forekomst i spildevandsslam, jord, grundvand og drikkevand efterfølgende sænket til de niveauer, som er vist i Tabel 2.1. Der er samtidig fastsat kvalitetskriterier i samme medier for summen af 22 PFAS. For ferskt og marint overfladevand samt biota er der i dag kun kvalitetskrav for PFOS (inkl. PFOS-derivater). Disse miljøkvalitetskrav er fastsat på EU niveau, og værdier er fastholdt på samme niveau som fastsat i 2018.

¹ Alle forkortelser anvendt i dette notat for specifikke PFAS findes forklaret i Bilag 1

Tabel 2.1 Oversigt over gældende (2023) danske drikkevandskvalitetskriterier og miljøkvalitetskrav for PFAS. Forkortelser: Årligt gennemsnit (AA); Maksimal tilladt koncentration (MAC); Tørvægt (dw); Vådvægt (ww). For forklaringer af forkortelser af stofnavne henvises til Bilag 1.

Delmiljø	Enhed	Stoffer		
		PFOS	Sum af 4 PFAS ¹	Sum af PFAS ²
Spildevandsslam	µg/kg (dw)		10	400
Jord	µg/kg (dw)		10	400
Grundvand	ng/L		2	100
Drikkevand	ng/L		2	100
Overfladevand (fersk)	ng/L	0.65 (AA) 36000 (MAC)		
Overfladevand (marin)	ng/L	0.13 (AA) 7200 (MAC)		
Biota	µg/kg (ww)	9.1		

¹PFOA, PFOS, PFNA and PFHxS.

²22 PFAS: PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTrS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDODA and PFTrDA.

I de seneste få år, har undersøgelser vist, at PFAS kan findes i stort set alle dele af miljøet i Danmark. Dette, sammen med de meget lave grundvands- og drikkevandskvalitetskriterier (2 ng/L) og de endnu lavere overfladevandskriterier (hhv. 0,65 og 0,13 ng/L for ferskt og marint vand) har medført et markant skifte i myndighedernes fokus på PFAS forureningsproblematikken. Populært sagt er man i flere tilfælde gået fra en "overvågningssituation" til en "aktions-situation".

I lighed med, at det i flere tilfælde er vanskeligt at overholde de gældende kriterier i det ydre miljø, viser risikovurderinger af PFAS samstemmende, at store dele af den europæiske befolkning har en for høj eksponering til PFAS (EEA, 2019). Derudover har EU Kommissionen fastsat grænseværdier for visse animalske fødevarer. Ved fastsættelsen af disse grænseværdier er taget en lang række hensyn så som analysemetodernes formåen, spild af fødevarer og en sundhedsfaglig vurdering i den udstrækning det har været muligt. Det er forholdsvis begrænset, hvor meget information, der findes om tidligere og nuværende PFAS anvendelse i Danmark med hensyn til hvilke stoffer, der er anvendt, i hvor store mængder og i hvilke produkter og processer. Vidensniveauet med hensyn til anvendelser er dog i Danmark overordnet set bedre end i de fleste andre lande, på grund af det danske produktregister. Der er også foretaget en række undersøgelser af PFAS i forbrugerprodukter siden 2006 for især Miljøstyrelsen og Fødevarestyrelsen, men også af regioner, Forbrugerrådet TÆNK og virksomheder som COOP.

I Tabel 2.2 er vist en oversigt på EU-niveau over anvendelser og årlige anvendelsesmængder af PFAS. Med hensyn til anvendelsesmængder er de største anvendelser i produktionen af fluorpolymerer, fluorgummi (elastomer), og fluorholdige gasser (de såkaldte F-gasser). Fluorpolymerer/elastomerer omfatter fx Teflon (PTFE - polytetrafluorethylen) og PVDF (polyvinylidendifluorid), som bruges i stort omfang til industrielle formål, men også i forbrugerprodukter, som bilbatterier, mobiltelefoner, cykelolier, sko og tøj. F-gasser bruges som drivgasser til køle/varme systemer i både køleskabe og varmepumper - men det skal nævnes, at der også findes ikke-fluorerede alternativer ofte kaldet 'naturlige kølegasser'. Da F-gasserne generelt er ozon-nedbrydende og potente drivhusgasser, er de omfattet af Montreal-protokollen, der er rettet mod udfasning af produktion og anvendelse af ozonnedbrydende stoffer (UNEP, 2020).

Table 2.2 Oversigt over udvalgte anvendelser og deres anvendelsesmængder i EU (ECHA, 2023)

Mængde anvendt i EU (tons/år)		
10-100	1.000-10.000	>10.000
Kosmetik + <u>mange</u> andre	Bygningsmaterialer Elektronik og halvledere Smøremidler Oil-gas-/ mineaktiviteter Energisektoren Metalforarbejdning	Fluorgasser Tekstiler inkl. tøj, sko, tasker, møbler, læder, tæpper Medicinsk udstyr Fødevarekontaktmaterialer

For danske forhold giver Nikolajsen og Tsitonaki (2016) en gennemgang af de væsentligste brancher i Danmark, hvor PFAS anvendes. Dette er også opsummeret i PFAS Håndbogen (VMR, 2022), hvor der yderligere findes dækkende beskrivelse af PFAS- egenskaber, anvendelser, miljøforekomster, sundhedsskadelige effekter og nationale og europæiske reguleringer. For det mere generelle overblik på EU-niveau henvises til Det Europæiske Miljøagentur's briefing 'Emerging chemical risks in Europe – PFAS' (EEA 2019).

Med hensyn til PFAS-forurening fra forurenede grunde viser en opgørelse fra regionerne, at der i Danmark findes 16.700 grunde, med mulig anvendelse af PFAS, vurderet ud fra de brancher og aktiviteter der har været på grundene. Regionerne, som er myndighed for forurenede grunde i Danmark, har i særlig grad haft opmærksomheden rettet mod (VMR, 2022):

- Brandslukningsøvelsespladser og lufthavne
- Forkromningsvirksomheder
- Papir og tekstil coating
- Affaldsdeponier og gamle lossepladser
- Spildevandsrensningsanlæg

I kapitel 4 vil yderligere mulige bidragsydere til forurening af miljøet i Danmark blive gennemgået.

2.1 PFAS – kemiske strukturer og grupper

2.1.1. Definition af PFAS

PFAS er en meget stor gruppe af kemiske stoffer, der kan inddeles i en række undergrupper, som vist i Figur 2.1. Et nyligt studie har fundet over 6 millioner PFAS nævnt i databaser, men det er uvist, hvor mange der i praksis produceres og anvendes i større mængder (Schyanski et al., 2023).

I Danmark bruges OECD 2021 definitionen, hvor en PFAS er defineret som et kemikalie, der har mindst én $-CF_2-$ gruppe i molekylet, hvor kulstoffet dog ikke må have en dobbeltbinding til et andet kulstofatom, eller være bundet til ilt (O), brint (H), klor (Cl), brom (Br) eller iod (I). Sådanne bindinger vil nemlig øge reaktiviteten og dermed 'nedbrydeligheden' af $-CF_2$ gruppen.

Med en så bred definition af PFAS, som angivet oven for, er det klart, at gruppen af PFAS reelt er så stor og divers, at det ud fra et rent videnskabeligt synspunkt ikke giver mening at omtale dem som én gruppe. Her-til er forskelle i anvendelse, fysisk-kemiske og biologiske egenskaber samt stoffernes opførsel og skæbne i miljøet simpelthen for stor. For nogle få PFAS (hovedsageligt PFOS og PFOA) er vidensgrundlaget forholdsvis stort, mens der for de fleste andre er yderst begrænset viden om enkeltstoffernes skæbne og effekter i mennesker og miljøet.

Fra et risikostyringssynspunkt kan det derimod give god mening at omtale PFAS som en gruppe, da det anses for urealistisk at risikovurdere, regulere og håndtere en så stor gruppe af stoffer, ét stof ad gangen. I PFAS-restriktionsforslaget (ECHA 2023) er argumentet for at regulere alle stofferne som én gruppe, at de alle er eller danner meget persistente kemikalier, som typisk har en eller flere problematiske og sundheds- og/eller miljøskadelige virkninger. Som nævnt oven for er hovedbekymringen ved PFAS, at de – eller deres omdannelsesprodukter – er persistente med evnen til at ophobe sig i mennesker og dyr. Disse egenskaber (persistens og bioakkumulerbarhed) kombineret med en stor og bred anvendelse medfører, at den samlede masse af PFAS til stede i miljøet bliver ved med at stige. Dette fører til stigende koncentrationerne i miljøet, og potentielt også i organismer og mennesker. Grænserne for beskyttelse af sundhed, klima og/eller miljø kan dermed blive overskredet på kort eller på langt sigt.

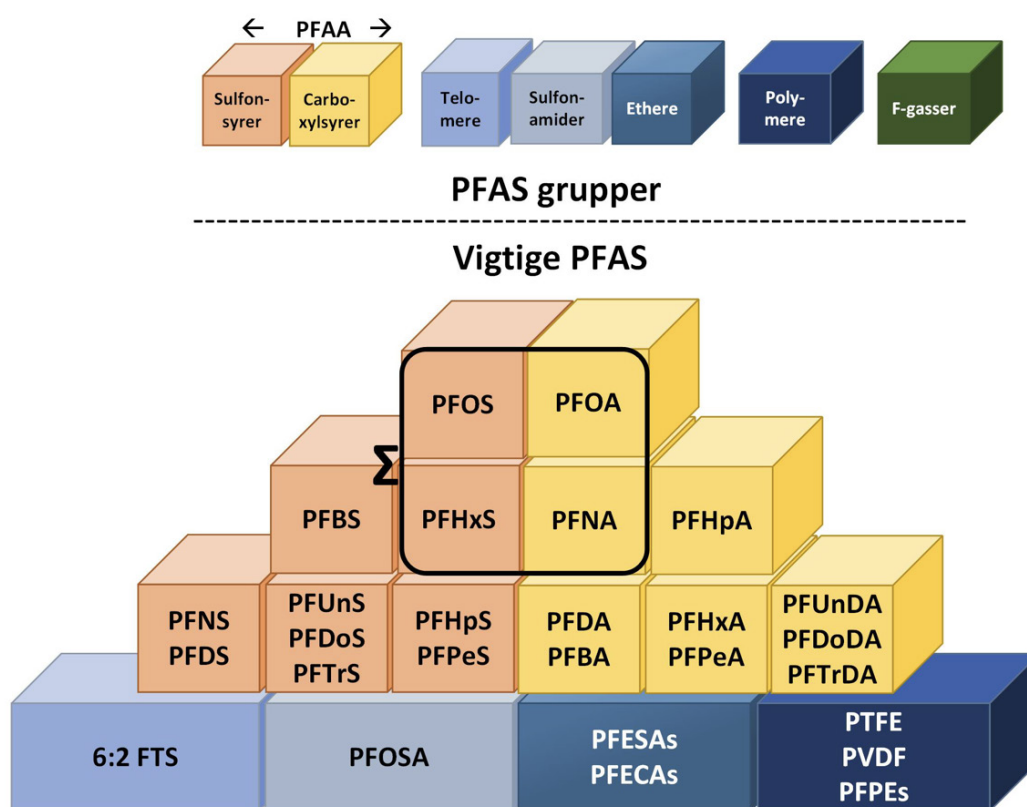
I forbindelse med håndtering af PFAS i en miljø- og sundhedsmæssig sammenhæng, er det et problem, at stofgruppen er så stor, da den traditionelle tilgang ved risikovurdering af industrikemikalier, hvor et stof risikovurderes ad gangen, kommer til kort på grund af det mangelfulde datagrundlag for de mange stoffer. I risikostyringen af PFAS er der derfor behov for værktøjer, der kan adressere, om ikke hele stofgruppen af PFAS, så i hvert fald større undergrupper af kemiske beslægtede PFAS.

2.1.2. Vigtige PFAS-grupper

Det vil altså være meget omfattende, og uden for denne rapports formål, at beskrive hele PFAS-gruppen. Nedenfor er der derfor primært beskrevet de grupper af PFAS som videnstaskforcen har lagt til grund for prioriteringen af videnshuller i 2024.

Der findes allerede en del gode beskrivelser af PFAS stofgruppen, anvendelser, lovgivning, miljøskæbne med mere på både engelsk og dansk, hvor især fire rapporter kan anbefales:

- EFSA's opinion for PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS i fødevarer: sundhedseffekter, kendte eksponeringsveje, fødevarerindtag, stof egenskaber (EFSA, 2020)
- EU's PFAS restriktionsforslag: Hele PFAS stofgruppen, deres anvendelser, tonnager, performance, miljøskæbne, analysemetoder, alternativer (ECHA, 2023)
- PFAS-håndbogen er et anbefalelsesværdigt opslagsværk på dansk: Stofgruppen, anvendelser, fysisk-kemiske egenskaber, miljøskæbne, lovgivningens udvikling i EU og Danmark, sundhedseffekter, forureningsundersøgelsesstrategier (VMR, 2022)
- Miljøstyrelsens rapport om kortlægning af brancher der anvender PFAS (Nikolajsen og Tsitonaki, 2016)



Figur 2.1 Oversigt over PFAS grupper samt eksempler på vigtige PFAS rangordnet efter grupper og ca. årstal, hvor den videnskabelige/regulatoriske bevågenhed blev øget. På den nederste del figuren angiver en sort ramme de fire stoffer, som er inkluderet i sumkriteriet i Tabel 2.1, og de 22 stoffer er vist med sort skrifttype. For en forklaring af forkortelser henvises til Bilag 1.

Figur 2.1 viser en simplificeret oversigt over væsentlige PFAS. Helt overordnet set kan man opdele PFAS i fire undergrupper, nemlig perfluoralkylsyrer (PFAA), fluortelomere (FT), fluorpolymere og fluorholdige gasser (F-gasser). Herudover er grupperne af sulfonamider og ethere vigtige undergrupper.

Den første gruppe **Perfluoralkylsyre (PFAA)** er den mest undersøgte gruppe af PFAS, og består blandt andet af undergrupperne perfluoralkyl sulfonsyre (**PFSA**), hvortil perfluorsulfonsyre (**PFOS**) samt undergruppen perfluorcarboxyl syrer (**PFCA**), hvortil perfluoroktansyre (**PFOA**) hører.

Når noget er per-fluoreret betyder det, at alle brintatomerne på kulstofkæden er erstattet med fluoratomer. PFAS er alle meget persistente, netop fordi alle brintatomerne på kulstofkæden er erstattet med fluor, og fordi fluor-kulstof-bindingen er den stærkeste binding i den organiske kemi. Fluor-karbon kæderne er derfor meget modstandsdygtige overfor varme, kemikalier og fysisk stress, og da fluorkarbon kæderne ikke danner andre bindinger, frastøder de også vand, olie og snavs. *Det betyder, at fluor-kæden er uopløselig i både vand og i fedt.*

Ud over per-fluorerede stoffer, findes der poly-fluorerede stoffer, som har både fluor og brint bundet til kulstofkæden. Hvor brintatomer sidder på kulstofkæden, vil de kunne reagere og nedbrydes, hvorimod fluor-kæden vil forblive stort set intakt. Større PFAS, der kan nedbrydes til fx PFAA kaldes '**precursors**' til PFAA. I nogle tilfælde kaldes de også fx PFOS-derivater, fordi man i syntesen af de større PFAS tager udgangspunkt i PFOS og sætter en ekstra gruppe på molekylet. Det er almindeligt at lave sådanne perfluorsulfonsyre- og perfluorsulfonamid-derivater, som da vil kunne nedbrydes og frigive perfluorsulfonsyrerne og perfluorsulfonamiderne igen.

En anden stor gruppe af precursors til PFAA er de såkaldte **fluor-telomerer (FT)**, som kan være fx fluortelomer alkoholer (**FTOH**) og fluortelomer sulfonater (**FTS**). Fluor-telomerer er polyfluorerede stoffer, der ofte forkortes som **x:2 FTOH**; hvor "x" angiver hvor mange x fluorerede kulstofatomer (fluorkarboner), der er i kulstofkæden, og "2" angiver antallet af kulstofatomer med brint på (hydrokarboner). Under 'telomeriserings-produktionen' vil x næsten altid være et lige antal kulstofatomer, men der kan også forekomme et ulige antal kulstof atomer (fx vil nedbrydningsprodukter ofte have x=1).

I denne rapport vil betegnelserne "langkædet", "kortkædet" og "ultra-kortkædet" blive anvendt og disse betegnelser er forklaret i Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Oversigt over betegnelserne langkædet, kortkædet og ultra-kortkædet, som anvendes i denne rapport til at beskrive forskellige undergrupper af PFAS. Tabellen viser typiske eksempler på PFAS, der tilhører overgruppen af perfluorerede alkylsyre (PFAA). For forklaring af forkortelser henvises til Bilag 1.

PFAA undergrupper	Langkædet ≥ 7 fluorerede kulstof atomer	Kortkædet 4-6 fluorerede kulstof atomer	Ultra-kortkædet 1-3 fluorerede kulstof atomer
Sulfonsyrer (PFSA)	PFOS, PFNS, PFDS, PFOSA, MeFOSE, EtFOSE, MeFOA, MeFOSAA, SAmPAPS	PFBS, PFPrS, MePFBS	TFMS
Carboxylsyre (PFCA)	PFOA, PFNA, PFDA, 6:2/6:2 diPAPs, 8:2/8:2 diPAPs, 8:2 FTOH, 8:2 FTS	PFBA, PFPeA, PFHxA, PFH- pA, 6:2 FTOH, 6:2 FTS	TFAA ² , PFPrA

2 TFAA kaldes også TFA i litteraturen.

Både PFCA, PFSA og FT er eksempler på såkaldte 'overfladeaktive stoffer' (også kaldet surfaktanter eller tensider), da der for enden af fluorkæden sidder en polær (vandopløselig) gruppe som fx en carboxylsyre eller en sulfonsyre. Dette "polære hoved" gør PFAS'en delvist vandopløselig, og jo mindre fluorkæden er ift. det polære hoved, desto mere vandopløselig er PFAS'en. Typisk siges, at både de ultra-kortkædede og de kortkædede PFAS er vandopløselige, og at de ultra-kortkædede PFAS derudover er mobile, da de er meget vandopløselige.

Overfladeaktive stoffer inddeles generelt i fire kategorier, hvoraf de tre er ioniske (anioniske, kationiske eller zwitterioniske) og den sidste gruppe er de non-ioniske (neutrale) overfladeaktive stoffer, som fx FTOH, og flere per/polyfluorerede polyethere (PFPE), som fx de fluorerede alkoxylater. Langt hovedparten af studierne har fokuseret på de anioniske overfladeaktive stoffer, og kun for nylig er man gået i gang med at analysere for kationiske og zwitterioniske stoffer og primært i forbindelse med spild på brandslukningsøvelsespladser. Der mangler målemetoder og viden om forekomsten af kationiske, zwitterioniske og nonioniske overfladeaktive stoffer i alle slags matricer i Danmark.

De langkædede perfluorerede PFAS har hverken præference for vand eller fedt. Til gengæld sætter de sig på overflader af materialer, hvor de retter deres fluorkæder hen, hvor det kræver mindst energi. Det kan være på et tekstil eller en vandoverflade, hvor fluorkæderne vil 'stritte' lige op i luften. Findes stofferne i en væske vil de typisk sætte sig på overflader, som glas, plast, sediment, partikler og lignende, og enten gemme deres fluorkæde ind i et hulrum eller lave en lille perle (micelle eller en større vesikel) eller et dobbeltlag hvor fluorkæderne peger ind mod hinanden. Denne egenskab kaldes at stofferne er 'overflade-aktive'. Se PFAS-håndbogen (2022) for illustrationer og yderligere beskrivelser af dette fænomen.

En stor anvendelse af PFAS er i form af **fluorerede polymerer**, dvs. fluoreret plast og gummi (elastomerer). Her skelner man typisk mellem fluoropolymerer, hvor hele kulstofkæden er fluoreret, og fluorerede sidekædede polymerer (*'fluorinated sidechain polymers'*), som er bygget på almindelige hydrocarbonkæder, hvorpå der er vedhæftet fluorerede sidekæder. Disse fluorerede sidekæder kan 'falde/blive slidt af' og derved kan PFAA blive frigivet. Selv de meget stabile fluoropolymerer (fx teflon/ PTFE) eller PVDF kan frigive små plastpartikler under slid, og ved varmepåvirkning nedbrydes til flygtige forbindelser, ud over at de vil frigive urenheder og restmonomerer/oligomerer fra plasten.

2.2 Miljømæssigt problematiske stoffer

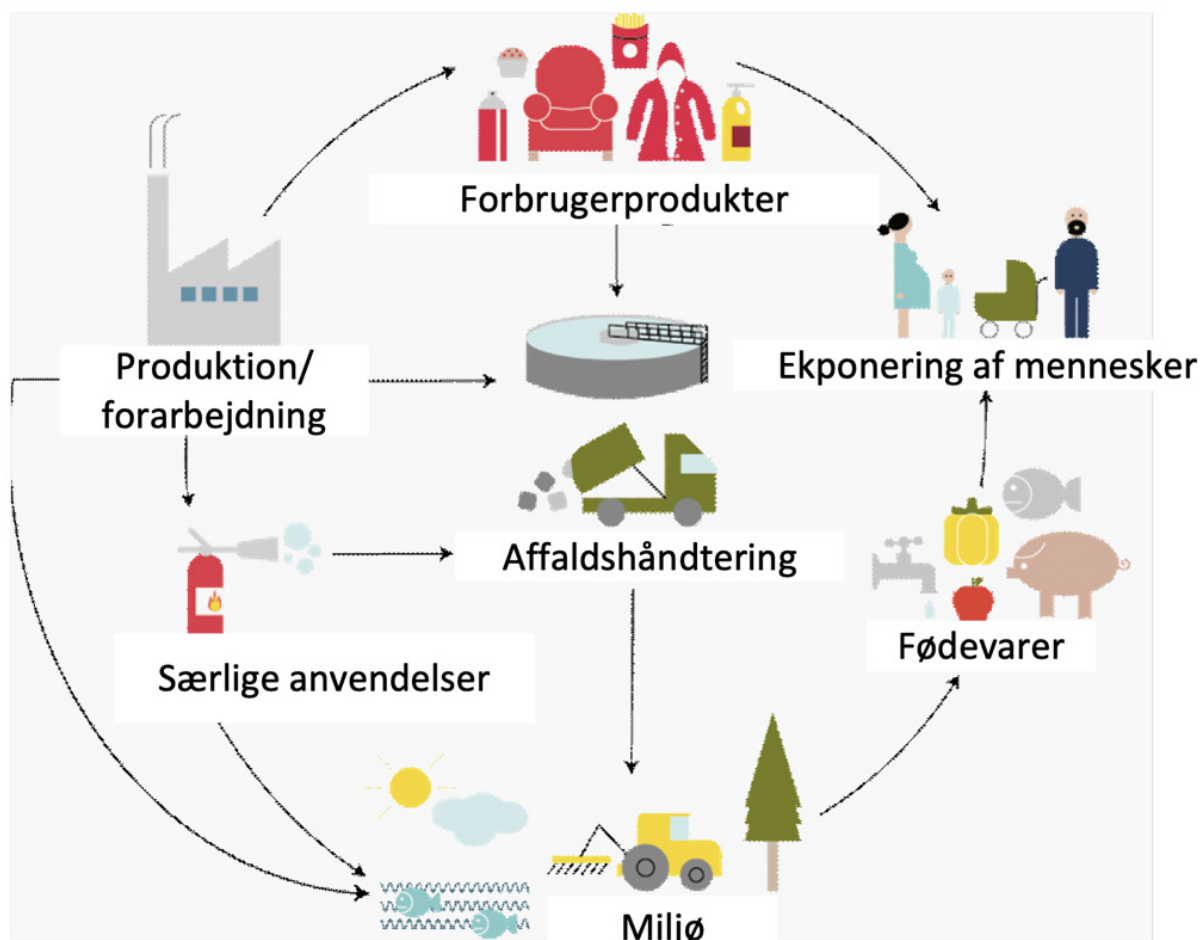
Fluorstoffernes brede anvendelse, persistens og mobilitet har ledt til en global PFAS-forurening af mennesker og miljø. Fællestræk for gruppen er, at en fuldstændig nedbrydning i mennesker eller miljøet ikke foregår på grund af et højt relativt indhold af fluor bundet til carbon. Denne binding er så stærk, at den ikke kan brydes under naturlige forhold.

Indtil for nylig blev PFAAs som fx PFOA og PFOS brugt direkte i produkter og i det åbne landskab. Fx var PFOA den mest almindelige 'emulgator' (også kaldet dispersionsagent) i fluorpolymerer som Teflon, og PFOS almindeligt brugt i metalforkromning og i brandslukningskum til oliebrande. Sådanne 'direkte' anvendelser har ført til en række større forureninger omkring de virksomheder, hvor de har været brugt både i Danmark og i udlandet. PFAA i kan også stamme fra delvis nedbrydning af PFAA-holdige stoffer, hvor selve PFAA-gruppen frigives. Denne type af stoffer omtales ofte som "precursors" til PFAA. Disse precursors, som fx PFOS- og FTOH-derivater brugt i papir-coatings, kan i sig selv være meget stabile, i deres tilsigtede anvendelse (fx papir), men også når de er havnet i jord eller sediment. Her kan der være langsom frigivelse af PFAA i årtier. I studier fra Vancouver Bay sedimenter i Canada, i Tyrifjorden i Norge og fra jord i Rastatt i Tyskland er der fundet høje niveauer af sådanne precursors. Niveauerne er op til 10 gange højere end for de PFAAer, de nedbrydes til.

Figur 2.2 nedenfor viser typiske spredningsveje for PFAS i miljøet, hvad enten de anvendes direkte eller indirekte. Som nævnt oven for er de langkædede PFAS kun i begrænset grad vandopløselige, og sætter sig især på proteiner samt på overfladerne af partikler og organisk materiale i sediment, slam og jord. Herfra kan de optages og ophobes i dyr og mennesker. Ophobningen (bioakkumuleringen) kan være et resultat af dels biokoncentrering (dvs. at en organisme optager PFAS hurtigere end det udskilles – hvis det i det hele taget udskilles) dels ved biomagnificering (ophobning gennem fødekæden).

Kortkædede og ultrakortkædede PFAS ophobes i mindre grad end de langkædede i fødekæden, men er stadig miljømæssigt problematiske, da de som nævnt enten er ret vandopløselige (hvis de har et polært hoved) eller flygtige (hvis de er neutrale/uladede). Trifluoreddikesyre (TFAA) er et eksempel på en meget vandopløselig PFAS og F-gasserne er eksempler på flygtige PFAS. Tilsammen kaldes de kortkædede PFAS for persistente og mobile stoffer (PM stoffer), som er en ny kategori af fareegenskaber under EUs CLP (Classification, Labelling and Packaging) regulering. PM stoffer er kendetegnet ved, at de spreder sig hurtigere end man kan nå at tage forholdsregler imod dem – og når de først er i miljøet, er det noget nært umuligt at fjerne dem igen. For eksempel er perflourbutansyre (PFBS) (en C4) fundet i 88% af alle norske vandprøver (NGI/NIVA 2018), mens trifluoreddikesyre (TFAA) ved Miljøstyrelsens massescreening i 2021 blev fundet i 219 af 247 undersøgte grundvandsboringer (Miljøministeriet, 2021). De kortkædede PFAS kan også ophobes i planter, hvor de via vandet kan optages og opkoncentreres i bladene. Det europæiske forskningsprojekt PerFood³ undersøgte forskellige typer af akkumulering af PFAA i forskellige afgrøder og biota. Her fandt man, at de langkædede PFAS især satte sig på jord/rødder. Studiet så kun i mindre grad på poly-fluorerede PFAS – og her mangler der stadig megen viden.

³ <https://ibed.fnwi.uva.nl/perfood/>



Figur 2.2 PFAS spredningsveje fra produktion/forarbejdning, anvendelse og bortskaffelse til eksponering af miljø og mennesker. Oversat fra EEA (2019).

2.3 Restriktionsforslag for PFAS

I januar 2023 indsendte fem lande (Danmark, Tyskland, Holland, Norge og Sverige) et forslag om at regulere PFAS til det Europæiske Kemikalieagentur (ECHA) i henhold til kemikalielovgivningen REACH. Forslaget går på at regulere PFAS som en gruppe, omfattende mange tusinde PFAS, hvilket er det bredeste begrænsningsforslag i historien. Lovforslaget er fremlagt og har allerede modtaget et rekordstort antal kommentarer og spørgsmål (ECHA, 2023). I 2025 skal EU tage stilling til forslaget.

En godkendelse af restriktionsforslaget er meget vigtig for at begrænse fremtidig udledning af PFAS til miljøet og dermed begrænse menneskers eksponering.

Hvis den foreslåede restriktion mod samtlige PFAS ikke godkendes i EU, bliver udvandet eller det ikke accepteres at behandle PFAS som én samlet kemikalieklasse, vil det generere et behov for meget mere viden om de forskellige undergrupper af PFAS. Fx vil der opstå et stort behov for at forske i og undersøge sundhedsskadelige effekter af alle de mange PFAS. Specielt vil det blive vigtigt at udvikle og anvende nye toksikologiske screeningsmetoder, der har fokus på en hurtigere identifikation af immuntoksiske effekter og effekter på det humane foster.

2.4 Generel vidensstatus

Som beskrevet oven for har problemstillingen om PFAS været kendt i en længere årrække i Danmark og internationalt. Der er fra både regulatorisk og videnskabelig side stor – og stadig stigende – fokus på kortlægning af forekomst, skæbne, fordeling og effekter af PFAS i miljøet og i mennesker. I den videnskabelige litteratur var der for eksempel på miljøsidens kun publiceret 65 artikler i perioden 2001–2005, ti år senere var tallet ca. 150 artikler pr. år, og i 2022 var det oppe på 690 artikler pr. år (Web of Science, 2023 – søgetermer "(PFAS) OR (PFOS)" AND ("Environ*"). Med hensyn til videnskabelige artikler om indvirkning på menneskers sundhed er udviklingen den samme i denne tidsperiode, dog med færre artikler pr. år – i 2022 blev der for eksempel publiceret ca. 260 artikler (Web of Science, 2023 – søgetermer "(PFAS) OR (PFOS)" AND ("Human health)"). Området kan dermed med rette hævdes at være kendetegnet ved et højt antal videnskabelige studier, især når man sammenligner med andre problematiske miljøkemikalier. Hvad den egentlige vidensstatus er med hensyn til forekomst, skæbne, fordeling og effekter af PFAS i miljøet og i mennesker, kan derimod ikke uddrages ved blot at kigge på antallet af studier.

Det er dog tydeligt, at studierne i høj grad har beskæftiget sig med en forholdsvis lille andel af PFAS, og primært de ca. 10–20 PFAA som er lette at analysere for. Der mangler derfor rigtig megen viden om både anvendelser, forekomst, eksponering og toksicitet for langt størstedelen af PFAS. Da det vil være urealistisk for Danmark at producere viden på alle disse områder, har videnstaskforcens strategi i første omgang været at indkredse aktiviteter og redskaber, som kan understøtte en opsporing af, hvor der kan være størst risiko for fortsat PFAS-eksponering, samt de områder hvor Danmark kan gøre en forskel for den fremtidige reduktion af brugen af PFAS. Hertil er det vigtigt at bemærke, at særlige danske forhold kan gøre, at internationale erfaringer og videnskabelige studier ikke nødvendigvis kan overføres direkte til den danske situation (næste afsnit).

Generelt vil vores høje levestandard kombineret med de mangfoldige anvendelser af PFAS gøre, at vi må forvente, at mange af stofferne er i cirkulation i det danske samfund, og potentialet for vidt spredt diffus forurening er dermed højt.

2.5 Danske forhold af betydning for PFAS forekomst

Der har ikke været produktion af PFAS i Danmark. Den kemiske industri i Danmark er domineret af farmaceutiske virksomheder, hvor fluorerede forbindelser, men ikke nødvendigvis PFAS, har flere anvendelser. I Danmark udgør offshore olie- og gasudvinding også en stor industri med et meget betragteligt årligt kemikalieforbrug – 9.700 tons kemikalier i 2021, hvoraf ca. 4.500 tons bliver udledt direkte til havet (Miljøstyrelsen, 2023).

Der har været, og er, forarbejdningsvirksomheder som for eksempel laver overfladebehandling af emner til industriel anvendelse. Anvendelse af PFAS til overfladebehandling og imprægnering, i loddemidler og som additiver i maling og lak udgør de hyppigste industrielle og professionelle anvendelser af PFAS i Danmark (Nicolajsen & Tsitonaki, 2016). Det skal dog understreges, at de nævnte opgørelser er baseret på oplysninger fra Produktregisteret, hvor der kun findes oplysninger for stoffer, hvoraf der anvendes mere end 100 kg/år eller som indeholder mere 1 % af miljøfarlige eller fareklassificerede stoffer. Som i andre lande har specifikke anvendelser ledt til dokumenterede og mistænkte "hot spot" forureninger i Danmark, og her kan erfaringer fra håndteringer givetvis modificeres og overføres til danske forhold.

Geografisk set er Danmark ofte ikke sammenlignelig med andre lande, hvilket kan være væsentligt, når man vurderer PFAS forurening. Vi har for eksempel en meget høj udnyttelsesgrad af vores areal til landbrug, og vi har en meget lang kystlinje (8509 km) set i forhold til Danmarks samlede areal (42931 km²). Med en samlet befolkning på 5,75 millioner (2017) er vores befolkningstæthed den niende højeste i EU (134 indbyggere/km²). Disse forhold kan spille en særlig rolle for den danske befolknings direkte og indirekte eksponering til PFAS, da stoffernes overfladeaktive egenskaber gør, at de opkoncentreres i grænseflader i miljøet – fx i overgangen mellem havvand og luft.

Set fra et geologisk synspunkt er Danmark, med undtagelse af Bornholm, også speciel i en international sammenhæng. Det nuværende landskab er domineret af glaciale aflejringer bestående af smeltevandsaflejringer og bakkøer i Vestjylland og moræneler og smeltevandssand/-grus i resten af Danmark. De dominerende grundvandsmagasiner består af smeltevandsaflejringer, dybe miocæne sandaflejringer og

forskellige kalkbjergarter. Disse særlige geologiske forhold forventes at spille en afgørende rolle for PFAS' binding og mobilitet i jord- og grundvandsmiljøet, og at internationale studier/erfaringer derfor ikke nødvendigvis kan overføres direkte til danske forhold.

Det er naturligvis særligt vigtigt at bemærke, at drikkevandsforsyningen i Danmark er baseret på grundvand, der efter oppumpning fra drikkevandsboringer bliver iltet, ledes gennem sandfilter og distribueres til forbrugerne. Drikkevandet har dermed i de fleste tilfælde ikke undergået rensning for miljøfremmede stoffer. Vi har i Danmark fulgt et princip om at hensynet til beskyttelse af ressourcen (grundvandet) vægtes så højt, at udvidet rensning kan undgås.

I Danmark bliver stort set al husholdningsspildevand rensset i moderne spildevandsrensningsanlæg. Disse er generelt optimerede til fjernelse af organisk stof og næringsalte og i nogle tilfælde yderligere udbyggede til fjernelse af miljøfremmede organiske stoffer. De store mængder spildevandsslam, der produceres som følge af spildevandsrensningen, bliver enten brugt som jordforbedring i landbruget eller afbrændt. Med hensyn til affaldshåndtering udgør Danmark også et særtilfælde i en international sammenhæng med en meget betydelig affaldsforbrænding og deponering som en mindre betydelig affaldshåndteringsteknologi. Desuden har vi i de seneste år set en omlægning af affaldsindsamlingen rettet mod øget genanvendelse og cirkularitet.

Endelig skal det nævnes, at såvel det øgede fokus på cirkularitet og den grønne omstilling stiller krav til nye produkter og teknologier, som vil bevirke ændringer i forbrugsmønstre, affaldshåndtering, byudvikling, infrastruktur og arealanvendelse.

Alle ovennævnte forhold er medtaget som eksempler på særlige forhold, der kan have indflydelse på den danske befolknings historiske, nuværende og fremtidige eksponering for PFAS. Der er ikke tale om en fuldstændig liste og yderligere specifikke forhold vil blive inddraget i beskrivelserne af videnshuller i kapitel 4.

3. METODE TIL IDENTIFIKATION AF VIDENSHULLER OG TILKNYTTED PROJEKTFORSLAG

Den overordnede sigtelinje for identifikation og udvælgelse af videnshuller har været betydningen af områdets bidrag til en reduktion af menneskers og miljøet eksponering for PFAS på kort og langt sigt. Der er inddraget områder, hvor særlige danske forhold kan gøre, at internationale erfaringer og viden måske ikke kan overføres direkte. Desuden blev hensynet til, om lukning af et videnshul kan understøtte konkrete handlingsanvisninger i risikohåndteringen inddraget.

I videnstaskforrens arbejde i efteråret 2023 blev de identificerede videnshuller opdelt i følgende kategorier:

1. Dataoverblik
2. Alternativer
3. Kortlægning af potentielle kilder
4. Kendte kilder
5. Forekomst og eksponering
6. Analysestrategi
7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
8. Toksikologiske effekter
9. Risikohåndtering
10. Risikokommunikation
11. Socio-økonomisk analyse

Inden for disse kategorier er specifikke, potentielle videnshuller blevet diskuteret og sammenholdt med det tilgængelige datagrundlag i en første screeningsrunde. Her var det især videnstaskforrens egen baggrundsviden og input fra netværk samt følgegruppens udtrykte prioriteringer, som vejede tungt i udvælgelsen. Hvis der allerede i videnstaskforren eller følgegruppen var kendskab til igangværende aktiviteter og/eller projekter, som afsluttes i 2023 eller i løbet af 2024, blev disse inddraget i overvejelserne om, hvilken vægt et givet videnshul skulle gives.

Det skal understreges, at det i projektperioden september-november 2023 ikke har været muligt for videnstaskforren at få kortlagt samtlige eksisterende og igangsatte initiativer på PFAS-området af private og offentlige aktører i Danmark. Hvor viden om danske projekter, udredninger, analyser og rapporter har været tilgængelig, er den viden inddraget i prioriteringer af videnshuller i denne rapport.

Herefter blev udvalgte videnshuller foreslået af videnstaskforrens medlemmer på baggrund af dialog med netværk og forslag fra følgegruppen. Disse videnshuller blev prioriteret med henblik på, om der i 2024 kan igangsættes aktiviteter til at lukke/adressere videnshullet, således at videnstaskforren i 2024 kan inddrage den opnåede viden i en egentlig fremadrettet prioritering af handlingsanvisninger, vidensopbygning og håndtering af PFAS-forureningen i Danmark.

Videnstaskforren anvendte et scoringssystem med de kriterier, som er vist i Tabel 3.1. Denne proces ledte frem til prioritering af dele af de beskrevne videnshuller (Kap. 4), som derefter ledte frem til kataloget over projekter, der kan foreslås igangsat i 2024 (se Kap. 5).

Table 3.1 Oversigt over kriterier anvendt af videnstaskforcen for at identificere og prioritere videnshuller (Kap. 4) og relaterede projektforslag (Kap. 5).

Kriterium	Forklaring
Er det betydende for reduktion af mængden/ forekomsten i miljø eller produkter?	Viden om emnet vil kunne føre til en direkte reduktion i danskernes eksponering til PFAS, eller være en forudsætning for at kunne prioritere indsatser, der kan have størst effekt.
Er det betydende for reduktion danskernes eksponering/risiko på kort sigt?	Vigtigt ift. notatets formål (se afsnit 1.1)
Kan handlinger iværksættes, hvis videnshullet lukkes?	Handlinger som kan bidrage til at reducere PFAS belastning af miljø og mennesker i Danmark er vigtige ift. kommissoriet for videnstaskforcen – ikke kun for 2023 opgaven, men også for handlingsanvisninger i 2024.
Kan dele af videnshullet lukkes i 2024?	Vigtigt ift. notatets formål (se afsnit 1.1).
Er det betydende for reduktion af danskernes eksponering/risiko – på lang sigt?	Vigtigt, men i første omgang er handlinger, der hurtigt kan reducere danskernes eksponering til PFAS, prioriteret højere.
Er der undersøgelser/udredninger i gang i DK/Udland?	For at undgå duplikering af arbejdet, er videnshuller hvor der er projekter i gang, automatisk sat til bruttolisten indtil de igangsatte undersøgelser ligger klar. Hvis undersøgelserne kun i begrænset omfang lukker videnshullerne (fx hvis kun få PFAS undersøges for), kan man evt. flytte emner til 2024.
Er området i forvejen dækket af myndighedernes overvågning?	Hvis emnet er direkte omfattet af et myndighedsansvar og derfor omfattet i overvågningsprogrammer kan emnet nedprioriteres i forhold til videnstaskforcens opgave i 2023.
Vil det kunne rykke på dagsordenen i EU/ internationalt, hvis videnshullet adresseres?	Viden om emnet i DK kan på sigt bidrage til at skubbe på i EU/internationalt, og dermed bidrage til at reducere danskernes PFAS belastning fra kilder uden for DK og fra importerede varer.
Er videnshullet prioriteret af følgegruppen?	Udtrykte følgegruppen et ønske om dette på følgegruppemøder/ kontakt med videnstaskforcen mellem møder?

4. BAGGRUNDSVIDEN FOR IDENTIFICEREDE VIDENSHULLER OG PROJEKTFORSLAG

I det følgende kapitel gives et kort oprids af den vidensstatus, der ligger til baggrund for de identificerede videnshuller, som har ledt til de projektforslag, der er inkluderet i kapitel 5. De specifikke videnshuller som er blevet identificeret i kapitel 4 bliver angivet i bokse med titlen "Videnshul". Andre særligt vigtige forhold knyttet til PFAS problematikken, vil blive fremhævet i indrykket tekst skrevet med kursiv.

Det er meget vigtigt at understrege, at der i videnstaskforcens arbejde i efteråret 2023 er identificeret en række områder, for hvilke der er meget store videnshuller, men som ikke eller kun kort bliver yderligere behandlet i det følgende. Disse er derfor heller ikke blevet udmøntet i projektforslag i Kapitel 5. De mest markante af disse er opsummeret i tabelform i Bilag 3.

4.1 Datagrundlag – Vidensdeling

I videnstaskforcens arbejde med at identificere og dokumentere videnshuller på PFAS-området i Danmark stod det hurtigt klart, at det er en betydelig udfordring at skabe overblik over den samlede, eksisterende viden. Som beskrevet i kapitel 2 har der gennem mange år været fokus på området, og det dækker stort set hele samfundet og alle dele af miljøet. Der er i dag igangsat rigtig mange projekter relateret til PFAS-problemstillingen. I Bilag 2 er vist en oversigt over Miljøstyrelsens igangværende projekter (December 2023).

Det er af væsentlig betydning for vidensoverblikket og for at kunne igangsætte og prioritere større indsatser og nye projekter, at der skabes et samlet overblik over porteføljen af igangværende og afsluttede PFAS-relaterede projekter i Danmark.

De mange aktører involveret i kortlægning, dokumentation, risikovurdering og -håndtering af de mange forskellige problemstillinger, der knytter sig til PFAS vanskeliggør et fuldstændigt samlet overblik over data relateret til PFAS.

Af videnstaskforcens følgegruppe blev denne mangel på overblik identificeret som et betydeligt videnshul i forbindelse med en fremtidig handlingsplan rettet mod mindsket PFAS-eksponering af mennesker og miljø i Danmark.

Her er det i særlig grad ønskeligt, at der kan tilvejebringes et samlet overblik over de data og databaser, der allerede er etablerede, og som kan udbygges med flere data fra de mange forskellige aktører på området.

I Tabel 4.1 er vist eksempler på databaser med PFAS relevante data for overfladevand, jord og grundvand i Danmark. Der er dog tale om en ufuldstændig liste og et samlet overblik savnes. Miljøstyrelsen har igangsat et forprojekt til at undersøge muligheder for at skabe fælles et fælles kort over overvågningsresultater/data fra mange forskellige matricer. Dette er et vigtigt første skridt, men det er videnstaskforcens vurdering af yderligere arbejde med at koordinere et dataoverblik vil være gavnligt.

Derfor opfordrer videnstaskforcen til, at der i 2024 afholdes en workshop til afklaring af, hvordan en vidensdelingsplatform for PFAS relaterede data for fødevarer og miljøprøver kan etableres.

En sådan workshop kan fx holdes i regi af videnstaskforcen med Miljøstyrelsen som tovholder.

Figur 4.1 Eksempler på eksisterende databaser med PFAS relevante data for overfladevand, jord og grundvand.

Database navn	Typer af data	Offentlig tilgængelig?
Jupiter	Mange data fra både vandforsyninger, regioner og GRUMO. Databasen indeholder data for grundvand men ikke for drikkevand/afgang vandværk	Ja
VanDa, Danmarks Miljøportal	Mange data om PFAS fra regionernes kortlægning i 2021 og 2022 samt i Danmarks Miljøportal også Miljøstyrelsens overvågningsdata i overfladevand og biota	Ja
JAR/DK Jord	Mange data om PFAS fra forurenede grunde. Indeholder regionernes forureningsdata for jord, luft, vand, grundvand	Nej. Dele af data er udstillet
Geoenviron	PFAS data fra forsvarrets arealer og undersøgelser	Nej

4.2 PFAS eksponering og massebetragtninger

Det er et kendetegn for persistente og bioakkumulerende stoffer, at det ikke kun er deres miljøkoncentration, der er afgørende for stoffernes direkte og indirekte effekter, og dermed for deres risikoprofil. Den samlede *masse* udledt/tilstede af disse stoffer vil i sidste ende komme til at være bestemmende for den risikohåndtering, som skal iværksættes.

I videnstaskforrens arbejde med at identificere videnshuller, har det været centralt at fokusere på myndighedernes muligheder for *at begrænse den samlede masse af PFAS*, der allerede er – eller forventes at komme – i cirkulation i samfundet.

Den vidt spredte anvendelse af PFAS, de mange kilder og de mange enkeltstoffer med forskellige spredningsmønstre gør det meget vanskeligt at skabe og fastholde et overblik over forureningens omfang.

Videnshul	Der mangler i dag et samlet overblik over massestrømmene af PFAS i det danske samfund.
------------------	--

Analyse af massestrømme (masseflowanalyser) på et nationalt niveau vil kunne bidrage med et sådant overblik og kunne målrette indsatser på nuværende og fremtidige forureninger med PFAS. Her vil bidrag fra nuværende og fremtidige PFAS-kilder kunne kvantificeres med henblik på monitorering og afskæring.

Videnstaskforren finder, at et overblik af denne karakter – med de givetvis ret store usikkerheder det indebærer – vil kunne bidrage betydeligt til handlingsanvisninger i 2024. Da Miljøministeriet i efteråret 2023 allerede har igangsat et projekt på området (se Bilag 2), afventer videnstaskforren resultaterne af dette og fremkommer derfor ikke med et projektforslag i Kap. 5.

4.3 PFAS-frie alternativer – særligt fokus på grøn omstilling

I forbindelse med udarbejdelsen af PFAS-restriktionen, har der været et stort arbejde i gang med at kortlægge PFAS-frie alternativer inden for en lang række produkter og processer (ECHA 2023), som derfor ikke vil gennemgås i detaljer her.

Hvad der står klart er, at der findes mange PFAS-frie alternativer, men de bliver ofte ikke brugt. Selvom det er muligt at anvende PFAS-frie alternativer i fødevareremballage (se afsnit 4.4.3), så viser et nyt studie, at PFAS stadig findes i alle testede fastfood emballager i Frankrig. Her fandtes PFHxA, 6:2 FTS og 6:2/6:2 diPAP at være til stede i alle prøver i koncentrationer i µg/kg (Duenas-Mas 2023).

Det samme gør sig gældende indenfor PFAS i industriel fødevarerproduktion hvor især fluorpolymerer og fluorgummi har vundet indpas de seneste årtier på trods af, at alternativer findes. I nogle tilfælde skyldes skiftet, at materialerne kræver mindre vedligeholdelse – men det er ikke altid, at den besparelse bliver opvejet af den højere pris for materialer som fx silikone (ECHA 2023).

Teknologier og materialer til brug for den grønne omstilling er af videnstaskforcen identificeret som et særligt vigtigt område at fokusere på, da PFAS i dag finder bred anvendelse her. Alene inden for energiteknologierne kan PFAS blandt andet bruges i:

- Batterier: Membraner af fluorpolymerer og ioniske væsker (anioner er typisk TFMS).
- Solceller: Bagpaneler af fluorpolymerer, anti-vand/smudscoatings på panelernes overflader og for tredje generations solceller (fx perovskite-, farvestof- eller quantum dot baserede) som ioniske væsker anvendt i panelerne
- Varmepumper: F-gasser bruges stadig i stort omfang, bl.a. de såkaldte hydrofluoroleofiner (HFOs). Disse stoffer er mindre kraftige drivhusgasser, men er i udlandet rapporteret som en stor kilde til bl.a. TFAA⁴ i overflade og grundvand (UBA, 2023).
- Vindmøller: Coating af vingerne for at sænke luftmodstanden, samt i hydrauliske olier og muligvis i smøreolier
- Brintteknologier: Fluorpolymerer, og muligvis pumpeolier
- Elektronik: PFAS bruges til printning af elektroniske kredsløb, også i mikrochips
- A-kraft: Muligvis som ionic liquids (salte der kan tåle høje temperaturer)

Der findes PFAS-frie alternativer for nogle, men endnu ikke alle anvendelser. Det giver nogle dilemmaer i forhold til hurtig udrulning af fossilfri energi, da den er baseret på potentielt skadelige kemiske stoffer. Der mangler et overblik over størrelsesordenen af disse bidrag samt vurderinger mht. funktion og bæredygtighed ved substitution af PFAS-forbindelser i disse anvendelser.

PFAS-emissioner vil kunne forekomme i hele livscyklussen, og opmærksomheden må især rettes mod, at der i affalds- og genanvendelse af materialerne ofte ikke er medtænkt håndteringen af PFAS.

Udfordringen er, at samfundet er midt i en omstilling til CO₂ neutrale energi-teknologier samt ressource-besparende tiltag, som kræver store investeringer med lange tidshorisonter. Hvis disse investeringer bliver gjort i teknologier, der er afhængige af PFAS-delkomponenter, vil der i årtier fremover være et forbrug, og en mulig PFAS frigivelse gennem materialernes/teknologiernes livscyklus. Om belastningen kommer fra den direkte brug, under afskaffelsen eller under produktionen/forarbejdningen er ikke afgørende, for selvom PFAS og produkter indeholdende PFAS fremstilles et andet sted i verden, vil forureningen kunne sprede sig globalt. Samtidig har industri og investorer brug for en klar retning for deres fremtidige design af nye teknologier – og helst uden PFAS og andre skadelige kemikalier.

Der har været rejst bekymring i forhold til danske forhold, hvis solcelleparker opsættes over grundvandsbeskyttelsesområder. Indledende forsøg fra DTU Sustain viser kun en meget lille forekomst af PFAS på overfladen af gængse solceller anvendt i Danmark i dag. Ligeledes viser beregninger foretaget på baggrund

⁴ TFAA kaldes også for TFA i litteraturen.

af disse forsøg, at frigivelse af PFAS fra solcellernes overflade ikke udgør en risiko for jord- eller grundvandskvaliteten. Det skal understreges, at der er tale om de første indledende forsøg, og at studiet ikke er publiceret endnu.

I den fremtidige udrulning af solcelleenergi, er det dog endnu uafklaret, om der skal tages forholdsregler for evt. spild af de persistente og meget mobile ioniske væsker, som forventes anvendt i nyere (3. generations) solceller. I disse væsker er anionen ofte PFAS, fx bistriflimid, men også andre stoffer med fluor bundet til silicium anvendes. Disse er dog dermed ikke omfattet af PFAS definitionen. Stofferne er dog stadig persistente og mobile, og dermed uønskede i grundvandet. Det skal her bemærkes, at frigivelse af ioniske væsker ikke forventes under almindelig brug, men kan forekomme ved uheld eller uhensigtsmæssig genbrug/genanvendelse/bortskaffelse.

I Danmark er vindmølleproduktionen også meget væsentlig. Der er meget forskning i området også fra mindre startup virksomheder, som har brug for støtte til valg af en produktion med mindre farlige kemikalier.

Videnshul

Der er et aktuelt behov for at skabe overblik over præcis, hvilke PFAS der bruges i hvilke energiteknologier, hvilke PFAS-frie alternativer der findes, hvor effektive de er, hvad de koster nu og efter en opskalering, og hvor danske virksomheder kan spille ind.

Et sådan overblik vil kunne understøtte PFAS-restriktionen samt den danske PFAS-handlingsplan, og derfor foreslår videnstaskforcen, at et projekt (Projekt 1 i kapitel 5) igangsættes og afsluttes i 2024 på dette område.

4.4 Anvendelser og mulige kilder til miljømæssig og human eksponering

De specielle fysisk-kemiske egenskaber ved PFAS har resulteret i, at de anvendes i så mange produkter og processer på tværs af sektorer, industri og forbrugerprodukter, at det er meget vanskeligt at tilvejebringe et samlet overblik. På internationalt niveau er mere end 200 typer af anvendelser identificeret for 1400 PFAS, som endda kun omfatter PFAS med tre eller flere CF₂ grupper (Glüge et al. 2020).

4.4.1. Generelle anvendelser i Danmark

De overfladeaktive PFAS bruges især som vand/olie/fedt/smudsafvisende coatinger på tekstiler, papir, læder, sten, glas og træ. De bruges også som 'emulgatorer' i især fluorpolymer produktion, men også i forbrugerprodukter som fx cremer. Fødevareemballage af papir og pap, samt udendørs- og arbejdstøj har tidligere været store anvendelser, men er i Danmark og andre lande, der aktivt har sat ind for at reducere forbruget, og til dels erstattet med ikke-fluorerede alternativer. Desuden bruges de overfladeaktive egenskaber af PFAS til at lægge 'låg' på væskeoverflader i processer, hvor man har brug for bestandige kemikalier, fx til brandslukningsskum og i de syrebade, der bruges til forkromning.

I forbindelse med EU's forslag til en PFAS-restriktion (ECHA, 2022) er der blevet opsummeret en meget lang række anvendelser af PFAS ift. den nuværende definition af PFAS, samt i Glüge et al. (2020), hvor en tidligere definition blev anvendt. Det betyder fx, at F-gasser ikke er med i opgørelserne i Glüge et al. (2020) og Teflon (PTFE) er heller ikke medtaget.

Danske anvendelser af PFAS er blev gennemgået i nogen detalje i en række rapporter fra Miljøstyrelsen, senest i 2016 (Nikolajsen og Tsitonaki 2016) samt i PFAS-håndbogen (VMR, 2022). I lighed med Glüge et al. (2020) relaterer disse sig ikke til den nuværende PFAS definition, men relaterer til definitionen i OECD (2018).

For de danske anvendelser, er det værd at bemærke, at Nikolajsen og Tsitonaki (2016) fandt, at de otte største anvendelser udgør 78% af den samlede PFAS-anvendelse, og at 70% af denne er fluorerede polymerer, nærmere bestemt de såkaldte per- og polyfluorerede polyethere (PFPE). Et eksempel er PFPE forbindelser, der anvendes som såkaldte 'wetting agents' (adjuvanter) i pesticidprodukter og i rengøringsmidler for at lettere at kunne sprede en væske på en overflade (Foy, 1992). PFPE anvendes også som industrielle smøreløser bl.a. i fødevareindustrien, og coating af fx glas og andre overflader (REACH, 2022). Der er stort set ikke analyseret for PFPE i Danmark, med undtagelse af et lille studie på fødevarekontaktmaterialer (Trier et al. 2011). En anden stor anvendelse er gruppen af alkylerede-FOSE'r, som er et polyfluoreret sulfonamid derivat, og dermed en PFOS precursor. Disse stoffer vil kunne nedbrydes til fluorerede sulfonsyrer (PFSA), som er fundet i sediment (Wang et al., 2023), men som typisk ikke medtages i analyse-pakkerne.

I overgangen til cirkulær økonomi er der behov for at genbruge og genanvende materialer. Eftersom de fleste produkter kun er risikovurderede ift. eksponeringsscenerier for deres oprindelige anvendelse, og ift. de grænseværdier for stoffer som på det tidspunkt var gældende, er der stor risiko for, at det fører til utilsigtede PFAS-eksponeringer i de efterfølgende materialestrømme. Det gælder fx for PFAS i byggematerialer, tekstiler og i plastemballage, hvor PFAS bruges som slip-midler til polyethylen (PE)/polypropylen (PP) film og beholdere, i tekstiler, i papir og pap emballage til fødevarer.

Videnshul

For de fleste nye og genanvendte produkter og materialer er indholdet af PFAS ukendt.

4.4.2. Humane og veterinære lægemidler, medicinsk udstyr og lægemiddelemballage

PFAS har bred anvendelse i den medicinske verden, både som medicin, hjælpestoffer samt som fluoropolymer (plast og gummi) komponenter i medicinsk udstyr. De anvendes bl.a. fordi de er stabile, kan bruges til at ændre på optag og udskillelse af medicin, sænker friktion og har gode optiske egenskaber. Fluoropolymererne anvendes fx i slanger, katedre, stenter til hjertebehandling, proteser, i penne, inhalatorer, lægemiddelemballage, i masker, optisk udstyr og øjendråber, som emulgatorer for medicin, 'enhancers' for optag af lægemidler og meget andet. En lang række lægemidler falder også ind under definition af PFAS både som aktivstof eller som hjælpestof i fx i inhalatorer.

Den Europæiske brancheorganisation (European Federation of Pharmaceutical Industries and Associations, EFPIA) har opgjort, at mere end 300 fluorholdige stoffer bruges i dag som aktivstof i lægemidler og mere end 500 andre er i den sene udviklingsfase (EFPIA, 2022). Cirka 100 stoffer, der er godkendt eller på vej igennem godkendelsesproceduren kan karakteriseres som PFAS (-CF₂- eller -CF₃) (EFPIA). Hammel et al. (2022) viste at blandt 360 organofluerede lægemidler kunne 107 (30%) af disse defineres som PFAS i følge OECD-definition (OECD 2021). Der er derfor formodentlig en ikke-uvæsentlig stofmængde, der kan karakteriseres som PFAS. EFPIA (2022) finder, at mere end 70% af såkaldte kritiske medicinale produkter i de nordiske lande vil kunne blive påvirket af et eventuelt forbud mod PFAS. En ukendt mængde af den anvendte medicin forventes at ende i de kommunale renseanlæg eller i de renseanlæg, der er direkte knyttet til vores hospitaler.

Det er ikke kun blandt humane lægemidler, at de aktive stoffer kan karakteriseres som PFAS. Det gør sig også gældende på det veterinære område, hvor en stor og vigtig stofgruppe som fluralaner er hyppigt anvendt. Fluralaner er PFAS med to CF₃ strukturer. Fluralaner indgår fx i en lang række meget populære loppemidler til hunde og katte.

Endelig bør det afklares om farmaceutiske produkter anvendt i akvakultur indeholder PFAS, da internationale undersøgelser har fundet PFAS (fx PFBS, PFHpA, PFOA, PFNA) i vand fra akvakultur (Lai et al., 2018). I denne undersøgelse er der dog flere mulige kilder til PFAS, og dermed gives der ikke bevis for en relation til anvendte farmaceutiske stoffer i akvakultur.

Videnshul

Der foreligger ikke en samlet offentlig tilgængelig dansk opgørelse over de medicinske anvendelsesområder (humane/veterinære), ligesom der ikke er offentliggjort en produktliste over såvel aktivstoffer som hjælpestoffer, der kan defineres som PFAS.

4.4.3. Pesticider

Det vides at der i EU er 37 aktivstoffer godkendt til anvendelse som pesticider, som hører til gruppen af PFAS. Det svarer til 12% af alle godkendte pesticid aktivstoffer. Ved gentagen brug af disse i landbruget vil miljøet altså kunne tilføres PFAS med risiko for spredning i miljøet. En del af de godkendte pesticidaktivstoffer i Danmark indeholder CF_3 -grupper, som danner trifluoreddikesyre (TFAA) og lignende ultrakorte trifluorede omdannelsesprodukter under nedbrydning. Disse forventes at have betydeligt større mobilitet i jorden end det godkendte moderstof. Trifluorede pesticider er tidligere monitoreret i Miljøstyrelsens Varslingssystem for udvaskning af pesticider til grundvand (VAP), og der er et vist – men begrænset – kendskab til mobilitet af enkelte stoffer til drænvandet. Disse feltskala måledata fra drænede marker kan anvendes til validering af modelkalibreringer foreslået i projekt 10 i Kapitel 5. Pesticider med CF_3 -grupper og deres omdannelsesprodukter er meget vanskelige at analysere for i de koncentrationer, der er realistiske for marker. Dette gælder især, når stofferne mobiliseres fra jordoverfladen til jordens porer, og derefter fordeles i jordlagene, hvor spredning og opblanding reducerer koncentrationen til meget lave værdier – Sådanne lave værdier kan bedst undersøges ved modellering med mekanistiske modeller, der kan følge nedsivningen af pesticid og nedbrydningsprodukter i tidsserier over mange år. På grund af igangværende projekter har videnstaskforcen ikke inkluderet projekter rettet mod PFAS-holdige pesticid/-produkter eller nedbrydningsprodukter.

Endelig skal det nævnes, at EU har en ambitiøs plan om at begrænse brugen af PFAS (se afsnit 2.3), men PFAS-holdige pesticidprodukter og -aktivstoffer er undtaget fra det nuværende restriktionsforslag. Hovedargumentet er, at disse allerede er omfattet og tilstrækkeligt reguleret i henhold til pesticidforordningen. Denne undtagelse vil betyde, at PFAS-holdige aktiv- og hjælpestoffer fortsat vil kunne bruges i åbne anvendelser med direkte kontakt til miljøet.

4.4.4. Mulige kilder til forurening af havmiljøet

Den formodede udbredte forekomst af PFAS i det danske havmiljø og i fisk, samt fund af forhøjede koncentrationer i havskum og det kystnære miljø, gør det vigtigt at undersøge hvilke potentielle kilder, der kan være til forurening af havmiljøet. Fokus har været rettet mod landbaserede kilder, mens atmosfærisk deposition og offshore kilder indtil videre kun i mindre grad er blevet belyst. I det følgende beskrives tre større marine aktiviteter, som kan være potentielle kilder til PFAS-forurening af havmiljøet, nemlig olie-gas udvinding, offshore vindmølleparker og klaphav.

Det er vigtigt at understrege, at selvom disse mulige kilder kort gennemgås i det følgende, så er det ikke ensbetydende med, at de reelt bidrager til PFAS forurening af havmiljøet.

Olie-gas udvinding. I Danmark står offshore olie- og gasudvinding som nævnt tidligere for en meget stor udledning af kemikalier, hovedsagelig via produktionsvand, som udledes direkte til havmiljøet (Nielsen et al., 2022). I hele Nordsøen er det anslået, at der årlig udledes 324 million m³ produktionsvand fra olie-gasudvindingsaktiviteter (Karman and Smit, 2019). Fra de danske platforme er den årlige udledning af kemikalier samlet set på 4.500 tons, hvoraf de 30 tons udgøres af meget miljøfarlige stoffer og de 3.700 tons af kemikalier, som er mindre miljøfarlige, men dog stadig miljøfare-klassificerede stoffer (Miljøstyrelsen, 2023). De anvendte produktionskemikalier spiller en stor teknisk rolle på platformene og tjener flere funktioner som for eksempel at adskille vand og olie og at fjerne svovlbrinte fra olie og gas. Danmark følger OSPAR's anbefalinger om, at offshore kemikalier skal registreres og miljørisikovurderes inden anvendelse. Der følges en risikobaseret beregningsmetode, som relaterer sig til risikoen for akutte og kroniske effekter på det akvatiske liv (Nielsen et al., 2022), men ikke omfatter human risikovurdering eller de særlige forhold, der knytter sig til opførsel, skæbne og effekter af PFAS. I overensstemmelse med OSPAR-systemet substituerer olieindustrien gradvist brugen af miljøfarlige kemikalier med mindre skadelige kemikalier, men af hensyn til de tekniske funktioner, som kemikalierne anvendes til, er substitution ikke altid mulig. Flere af de anvendte produkter kan indeholde fluorede stoffer, som den aktive ingrediens eller som hjælpestoffer, men indholdet af produkterne er omfattet af fortrolighedserklæringer og er dermed ikke offentligt tilgængeligt. Det er naturligvis muligt, at der ikke anvendes PFAS-holdige produkter på platformene på Nordsøen, eller at indholdet i produkter anvendt er mindre end deklarationsgrænsen på 1%. Hertil skal bemærkes, at selv et procentvist lille indhold af PFAS i de anvendte produkter kan have betydning for den samlede massebelastning af havmiljøet, når det store anvendelsesvolumen tages i betragtning. Med hensyn til det

faktiske indhold i vand udledt ved olie-/gasudvinding, begrænser udledningskravet for produktionsvand fra platformene sig til et krav relateret til de udledte koncentrationer og mængder af olie opløst i vand. Der er således ikke krav om specifikke kemiske analyser, som derfor ikke foretages rutinemæssigt.

Videnshul

Det er ukendt, om der er PFAS i de meget store mængder produktionsvand, som hvert år udledes urensset til Nordsøen fra danske og internationale olie- og gasaktiviteter.

Videnstaskforcen har ikke kunnet afgøre, om PFAS-holdige produkter anvendes som offshore produktionskemikalier. Vi opfordrer derfor til, at der udtages prøver af produktionsvand til PFAS-analyse. Dette er inkluderet som en mulighed i projekt 8 beskrevet i kapitel 5.

Offshore vindmølleparker. For vindturbiner har anvendelsen af PFAS til overfladebehandling for nyligt påkaldt sig særlig interesse og selvom omfanget og betydningen af dette ikke er kendt, er det ikke af videnstaskforcen blevet set som et videnshul med hensyn til bidrag til marin forurening. Der er allerede fokus på området og aktiviteter er igangsat, (se Bilag 2) så det forfølges det derfor ikke yderligere i dette notat. Normal drift af offshore vindturbiner medfører at betydelige mængder af olier og andre væsker udledes ukontrolleret til havmiljøet. Det drejer sig for eksempel om hydraulikvæsker og smøremidler til mekaniske dele, som kan have et indhold af PFAS. En enkelt af de vindturbiner, der anvendes offshore, kan indeholde flere tusinde liter af sådanne olier/væsker. Væskerne vil typisk bestå af en basisolie med specialiserede additiver afhængig af anvendelsesformålet. Additiver kan for eksempel være anti-friktionsmidler, biocider, korrosionshæmmer, og antioxidanter og flere af disse egenskaber kan opnås ved anvendelse af fluorerede stoffer (Glüge et al., 2020). I hydraulikolier kan PFAS være brug som korrosionshæmmende additiv og i smøremidler vil det være oplagt, at der kan være et indhold af PFTE og PFPE. Et studie af Zhu & Kannan (2020) af 18 smøreolier viste, at også både PFCA (C4-C12) og PFSA (C4-C10) var til stede. Det var især de langkædede (C8-C12) som blev fundet i de undersøgte olier. Efter en oxidation, som skulle simulere brug i biler, fandt Zhu & Kanna (2020), at indholdet af PFAS steg, og at dette skyldes dannelse af kortkædede forbindelser, som var precursors til dannelse af de langkædede PFAS.

Ved miljøgodkendelse af offshore vindmølleparker indgår anvendelsen af kemiske stoffer normalt ikke. I stedet fokuseres på sammenligninger af klimarelaterede virkning og fysiske forhold, som kan påvirke dyrelivet omkring parkerne. Det er således ikke vurderet om ukontrolleret udledning fra offshore vindenergianlæg kan bidrage til forurening af havmiljøet med PFAS.

Videnshul

På den nuværende videnbasis er det ikke muligt at afgøre, om de væsker, der anvendes i havvindmøller, indeholder PFAS. Hvis de gør, vil det være afgørende af kortlægge: 1. hvilke stoffer, der er tale om; 2. hvor store mængder, de er til stede i; 3. hvor stor udledningen kan forventes at være.

Videnstaskforcen har ikke inkluderet et specifikt projektforslag til at adressere dette videnshul, da det vurderes at ligge uden for den økonomiske ramme for 2024 at kunne gennemføre ovenstående kortlægning. Med den planlagte meget store udvidelse af Danmarks offshore vindenergianlæg bør denne situation imidlertid følges tæt af myndighederne.

Klapning – betegner den praksis, hvor overskydende havbundsmateriale fra oprensning og uddybning af havne/sejlrender bortskaffes på havet. På grund af nogle PFAS stoffers binding til partikler er det forventeligt, at de akkumuleres i sedimenter. Forekomst af PFAS i marint sediment er dårligt belyst, og oprindelsen af PFAS i sediment i havne og fjorde er mange forskellige og enkeltbidrag med PFAS er ikke identificeret og kvantificeret. I havet vil opslemning af sedimenter kunne medføre forøget eksponering for vandlevende organismer og dermed "adgang" til fødenettet med risiko for bioakkumulation og/eller forøgede koncentrationer i vandfasen eller overfladelaget. Sandpumpning og klapning af fx havneslam er aktiviteter, som pågår på en daglig basis i Danmark både i forbindelse med store anlægsprojekter, men også for at holde havnebassiner og sejlrender åbne.

Videnshul

Om der frigives PFAS ved klapning er, så vidt vides af videnstaskforcen, ikke undersøgt. Her vil især havneslam potentielt kunne indeholde PFAS pga. de mange forskelligartede aktiviteter i havneområder.

Videnstaskforcen har ikke inkluderet et specifikt projektforslag til at adressere dette videnshul, da det vurderes at ligge uden for den økonomiske ramme for 2024 at kunne gennemføre en sådan undersøgelse.

4.4.5. PFAS i byggematerialer

PFAS er brugt bredt i byggeriet, men der er intet overblik over hvor og hvor meget. Tæppeindustri, malingsindustri, fyldpladser for byggeaffald, træ- og møbelindustri blev udpeget som potentielle kilder til PFAS-forurening (Nikolajsen og Tsitonaki, 2016). PFAS er blevet påvist i prøver af malinger, tapeter, gulvtæpper, linoleum og gipspap (Eriksen, 2023), og ved stikprøveundersøgelsen fandt Teknologisk Institut relativt høje koncentrationer PFAS i maling på vinduer og træværk (Teknologisk Institut, 2023). Ud over brugen af PFAS i produktionen af byggematerialer, er fx beton og asfalt blevet forurenede med PFAS i ved lufthavne mm. (Douglas et al., 2023).

Videnshul

Der mangler fundamental viden omkring indhold, udvaskning og spredning ved berøring af PFAS fra byggematerialer – under anvendelse, genbrug/genanvendelse og ved bortskaffelse.

Nationalt og internationalt peges der på, at den viden er nødvendig i forhold til transformation af byggesektoren til cirkulær økonomi, således at genbrug og genanvendelse af byggematerialer ikke leder til en ukontrolleret spredning af PFAS i miljøet (inde og ude).

I det længere, forskningsmæssige perspektiv skal der tilvejebringes en grundlæggende viden, som kan danne baggrund for anbefalinger og lovgivning i forhold til brugen af PFAS i byggematerialer og genbrug/genanvendelse af materialer indeholdende PFAS. Dette fordrer, at der udvikles metoder til PFAS-screeninger i forbindelse med miljøkortlægning af bygninger for at understøtte, at de PFAS forurenede byggematerialer, som potentielt kan udgøre en miljø- eller sundhedsrisiko, ikke cirkuleres.

4.5 Human eksponering fra fødevarer, drikkevand, forbrugerprodukter og miljøet

4.5.1. Forskellige eksponeringsvejes bidrag

Fødevarer er identificeret som den vigtigste og største PFAS-eksponeringskilde i den generelle befolkning. Der kan dog være variationer mellem populationsgrupper og PFAS (De Silva et al., 2021). I international sammenhæng har man også observeret i særligt forurenede områder (fx. omkring produktionsvirksomheder), at drikkevand kan udgøre den største eksponeringskilde. Derudover kan der ske en eksponering igennem indemiljøet og fra forbrugerprodukter (De Silva et al., 2021). Indemiljøet indeholder typisk høje koncentrationer af de flygtige, neutrale PFAS, der kan omdannes til PFAA'er efter optag i kroppen (Morales-McDevitt et al., 2021). En norsk undersøgelse har kvantificeret forskellige kilders bidrag i forhold til den samlede eksponering og generelt bekræftet fødevarer som den væsentligste PFAS-eksponeringskilde (Poothong et al., 2020). For nogle deltagere, specielt dem med de højeste PFAS-niveauer i blodet, bidrog støv og luft dog mere. Da prøverne i denne undersøgelse var fra 2013/2014, kan eksponeringssituationen have ændret sig. Generelt tyder litteraturen på, at eksponeringen vil variere for forskellige stoffer, befolkningsgrupper og eksponeringsscenerier (Gustafsson et al., 2022).

Videnshul

Der savnes et overblik over andre kilders rolle/bidrag til den samlede humane eksponering for et bredt spektrum af PFAS-forbindelser.

Derfor foreslås et projekt (Projekt 6 i kapitel 5), der belyser bidraget fra forskellige eksponeringsveje for den danske befolkning, på basis af eksisterende data. Ud fra projektets resultater kan der, hvis relevant, igangsættes undersøgelser, der supplerer en PFAS-screening i fødevarer med andre relevante prøver til at belyse eksponeringen.

4.5.2. Eksponering via fødevarer og drikkevand

EFSA konkluderede i deres 2020 vurdering, at kosten er den primære kilde til PFAS-eksponering for flertallet af den europæiske befolkning (EFSA, 2020). Der er stor forskel på, hvor meget de forskellige fødevarer bidrager til danskernes PFAS-eksponering. For at give et overblik over den af EFSA estimerede eksponering for danskere, er der i Tabel 4.2 oplyst data udtrukket fra EFSA (2020). Data er vist for voksne og småbørn. Det skal understreges, at tallene er baseret på den estimerede gennemsnitlige eksponering fra de oplyste fødevarergrupper. Tallene viser derfor ikke den store variation, der vil være mellem forskellige forbrugergrupper, fx de forbrugere der ofte spiser fisk, og de forbrugere der ikke spiser fisk. Det kan også have stor betydning for indtaget, hvis forbrugere indtager drikkevand med forhøjet indhold af PFAS, har en høj mærkeloyalitet overfor en eller flere særligt PFAS kontaminerede fødevarer (som tilfældet i Korsørsagen), eller har et betydeligt indtag af en særligt kontamineret fødevarerstype, der for den brede befolkning er en nichefødevarer (fx visse typer af vildt).

Det skal bemærkes, at de fire PFAS, der indgår i opgørelsen i Tabel 4.2 ikke bidrager ligeligt til eksponeringen. PFOS giver det største bidrag til summen af de fire stoffer (over halvdelen), herefter følger PFOA efterfulgt af PFHxS og PFNA. EFSA's (2020) opgørelse over PFAS-eksponeringen fra fødevarer udgør det for nuværende bedste estimat for danske forbrugeres PFAS-eksponering, men datagrundlaget er ikke lige godt for de forskellige fødevarergrupper.

Visse typer fødevarer er stadig mangelfuldt undersøgt. Det er dog åbenlyst, at den primære kilde til eksponering for de fire PFAS, særligt PFOS, er fisk og andre marine produkter. Det er desværre også en fødevarerkategori, hvor det er svært at gøre tiltag, der kan reducere forbrugernes eksponering, bortset fra at stoppe udledningen af PFAS til havmiljøet. Kontamineringen af fisk kan desuden give en indirekte kontaminering til andre fødevarergrupper, når fiskemel anvendes som foder. Denne indirekte kontaminering kunne forklare en stor del af det forhøjede PFAS indhold, der for nyligt blev observeret i økologiske æg i Danmark (Granby et al. 2024).

EFSA finder, at en betydelig del af PFAS-eksponeringen kan stamme fra frugt og frugtprodukter. Det er dog en vurdering, der bygger på et begrænset antal analyser, når det tages i betragtning, at der er tale om en meget forskelligartet fødevarergruppe. Fx er det ikke klart ud fra datagrundlaget, hvilke frugter, der primært er kontaminerede. For at kunne fremkomme med et pålideligt estimat for eksponeringen er det nødvendigt, at der er gode data for i hvert fald for de primære typer af frugt, der indgår i danskernes kost.

Videnshul	For PFAS-indholdet i frugt er flere og mere udspecificerede data derfor nødvendige for at få et mere pålideligt estimat af bidraget til danskernes eksponering.
------------------	---

Tabel 4.2. Gennemsnitlige procentuelle bidrag fra forskellige fødevarergrupper til human eksponering for fire PFAS baseret på målte PFAS-niveauer i de forskellige fødevarer typer (lower bound data) og et gennemsnitligt kostindtag. Fødevarer, der estimeres at bidrage med mere end 5 %, er fremhævet. Data fra EFSA (2020), Annex A. Forkortelser for PFAS fremgår af Bilag 1.

Fødevarergrupper											
PFAS	Alkoholiske drikkevarer	Drikkevand	Æggeprodukter	Fiskeprodukter	Småbørns-mad	Frugt (produkter)	Kød (produkter)	Mælkeprodukter	Øvrige fødevarer	Stivelse-shold. knolde/rødder	Grønsager (inkl svampe)
Voksne											
PFHxS	17,9%	24,4%	0,0%	0,9%	0,0%	56,2%	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%
PFNA	0,0%	2,7%	0,0%	23,2%	0,0%	67,9%	2,8%	0,5%	0,0%	0,5%	2,5%
PFOA	18,4%	10,2%	13,1%	15,7%	0,0%	12,4%	16,3%	2,0%	1,3%	2,7%	7,9%
PFOS	0,0%	1,6%	6,2%	61,7%	0,0%	12,8%	9,7%	0,7%	0,4%	0,8%	1,3%
Total *	6,0%	6,2%	9,6%	43,0%	0,0%	20,6%	9,6%	0,9%	0,5%	1,1%	2,6%
Småbørn (1-3 år)											
PFHxS	0,0%	21,2%	0,0%	1,6%	0,0%	76,8%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%
PFHxS	0,0%	1,0%	0,0%	6,0%	52,1%	39,3%	0,4%	0,2%	0,0%	0,1%	0,8%
PFOA	0,0%	11,5%	16,2%	23,1%	0,0%	22,1%	12,4%	2,1%	2,0%	2,6%	8,1%
PFOS	0,0%	1,1%	8,5%	65,2%	0,0%	14,3%	7,7%	1,5%	0,4%	0,5%	0,8%
Total*	0,0%	4,6%	7,8%	47,0%	5,2%	24,3%	6,9%	1,3%	0,6%	0,7%	1,7%

* summen af de fire PFAS.

Endelig peger data på, at der også kan være et vist bidrag fra kød og kødprodukter, som må formodes at stamme fra det vand og/eller foder, som dyrene indtager. Særligt indholdet i indmad kan være højt. EFSA fandt, at det samlede indhold af de fire PFAS var 18,5 gange højere i indmaden fra husdyr end i kødet. Særligt leveren opkoncentrerer PFOS (Brambilla et al. 2015).

Videnshul

Der er behov for mere detaljerede data for indholdet af PFAS i indmad, eftersom det må formodes, at PFAS-koncentrationen kan variere meget mellem de forskellige typer indmad. Specifikke data for lever, hjerte og anden indmad er dermed ønskelig.

For størstedelen af befolkningen er eksponeringen fra vildt meget lille grundet et meget lille indtag. Men der er forbrugergrupper (eks. jægere og deres familier), der kan have et betydeligt indtag af vildt, der er særligt kontamineret med PFAS, og dermed kan vildt for denne subpopulation være den primære kilde til deres PFAS-eksponering. Også her er der behov for flere data, eftersom kontamineringen vil variere fra art til art.

4.5.3 Eksponering fra fødevareemballage

En kilde til PFAS-kontaminering af fødevarer kan være fødevarekontaktmaterialer, herunder emballage. Fødevarestyrelsen har med hjælp fra DTU Fødevareinstituttet analyseret diverse fødevarekontaktmaterialer af papir og pap (fx muffinforme, pizzabakker) for PFAS ad flere omgange og fundet PFAS i flere materialer. Arbejdet førte til, at der blev fastsat en indikatorværdi for total organisk fluor (TOF) på 20 µg fluor/gr fødevarekontaktmateriale. Når indikatorværdien overskrides, anses det for et uacceptabelt PFAS-indhold i emballagen. Derudover har Forbrugerrådet Tænk også testet materialer i kontakt med fødevarer og fundet PFAS i mange produkter.

Den samlede viden resulterede i et forbud mod alle PFAS i fødevarekontaktmaterialer i Danmark i juli 2020. Det er således forbudt at markedsføre fødevarekontaktmaterialer af papir og pap, hvori der har været anvendt PFAS, medmindre der i produktet benyttes en funktionel barriere, hvorved migration af stofferne til fødevaren undgås.

Det er den generelle vurdering fra aktører, der har fulgt området tæt (Fødevarestyrelsen, COOP og Forbrugerrådet Tænk), at danske forbrugere i dag ikke mangler de produkter, de havde før forbuddet. Det har altså reelt været muligt at erstatte PFAS i fødevarekontaktmaterialer. Samtidig indikerer en undersøgelse foretaget af otte europæiske NGO'er i 2021, at det danske forbud virker (ARNIKA, 2021) og dermed, at lovgivning kan være et effektivt redskab til at motivere industriens aktører til at finde sikre erstatninger. Der er dog stadig ikke en harmoniseret regulering og dermed forbrugerbeskyttelse i hele EU, når det drejer sig om materialer i kontakt med fødevarer.

4.5.4 Eksponering i indemiljøet

De fleste europæere opholder sig indendørs > 90% af tiden, dvs. i deres hjem, på arbejdspladser, i skoler mv. (Schweizer et al., 2007). Hvis der forekommer sundhedsfarlige stoffer i indemiljøet kan det derfor udgøre en betydelig eksponering af mennesker. Afhængig af stoffernes fysiske-kemiske egenskaber kan eksponeringen ske gennem inhalation (af luft og støv), hudkontakt (til produkter, støv og luft) og støvoptag, fx når børn leger på gulvet (Moya and Philipps, 2014).

Miljøstyrelsen konkluderede i en rapport fra 2015, at PFAS-koncentrationer i indendørs luft typisk er højere end udendørskoncentrationer (MST, 2015). Rapporten fremhævede en sammenhæng med typiske PFAS-kilder i lokalerne, fx imprægnerede tekstiler i butikker for udendørstøj og -udstyr. Nyere undersøgelser har generelt vist høje koncentrationer (på ng/m³-niveau) for de flygtige, neutrale fluortelomeralkoholer (FTOH'er) i indendørs luft (Winkens et al., 2017; Morales-McDevitt et al., 2021). Andre neutrale stoffer, såsom sulfonamider og sulfonamidoethanoler, havde typisk en lavere koncentration (op til ca. 100 pg/m³). PFCA'er er fundet i indendørs luft på samme koncentrationsniveau og kan være knyttet til partikler.

I en undersøgelse foretaget af Zhu et al. (2023) blev PFAS også påvist i husstøv, omend typisk i lavere koncentrationer end velundersøgte støvkontaminanter såsom phthalater og bromerede flammehæmmere. Zhu et al. (2023) gennemgik endvidere den internationale litteratur fra de seneste fem år, og fandt at 6:2 FTOH, 6:2 fluortelomersulfonat (6:2 FTSA) og 6:2 fluortelomerphosphatdiester (6:2 diPAP) var de stoffer med den højeste koncentration i støv (~ 100 ng/g), mens koncentrationerne for PFOS og PFOA typisk var en størrelsesorden lavere. En svensk undersøgelse har desuden vist, at støv-indtag alene kan komme tæt på det tolerable ugentlige PFAS-indtag på 4,4 ng/kg kropsvægt for børn (Gustafsson et al., 2022).

Der konkluderes, at PFAS forekommer i indendørs luft og støv, som dermed bidrager til menneskenes samlede PFAS-eksponering. PFAS-mønstret i indemiljøet er typisk domineret af neutrale precursors, bl.a. FTOH'erne, som kan oxideres til PFCA'er i kroppen.

Videnshul

Den anderledes sammensætning af PFAS i indemiljøet sammenlignet med sammensætninger i fødevarer og vand gør, at der er en risiko for at vigtige indendørsrelaterede og eksponeringsrelevante PFAS overses i PFAA-fokuserede miljøundersøgelser.

Eksponering fra indemiljøet skal derfor inkluderes i projekt 6 i kapitel 5, som foreslår at belyse forskellige kilders bidrag til den samlede eksponering. Som beskrevet senere, vil projektet kunne følges op af analyser, der supplerer de foreslåede analyser i fødevarer.

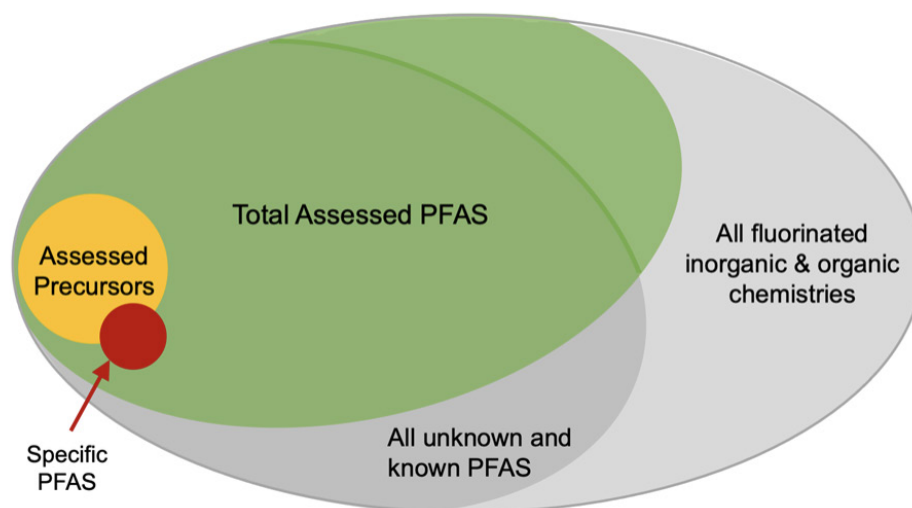
4.6. Analysestrategi

Egnede PFAS-analysemetoder er et essentielt grundlag til mange handlingsorienterede PFAS-initiativer. Således bruges analysedata til at skaffe viden om fx:

- Forekomsten af PFAS i forskellige typer prøver, fx i miljøprøver, fødevarer, foder, i forbruger- og industrielle produkter samt humane prøver
- Skæbnen af PFAS i miljø, dyr og mennesker, dvs. hvordan PFAS transporteres og omdannes fra fx precursors til stabile slutprodukter som PFAA'er
- Den tidsmæssige udvikling af PFAS i miljøet og mennesker for at vurdere, om risikostyringstiltag resulterer i de ønskede ændringer, dvs. faldende koncentrationer i miljøet og mennesker
- Forekomsten af ikke- eller mindre regulerede stoffers og om deres niveauer stiger over tid
- PFAS enten som enkeltstoffer eller i cocktail med andre stoffer overskrider kritiske tærskelværdier, hvor uønskede effekter kan forekomme
- Mekanismerne for hvordan PFAS kan påvirke og være giftige for levende organismer

Afhængigt af formålet vil der være forskellige krav og ønsker til analysemetoderne. PFAS-håndbogen beskriver i flere detaljer både analysemetoderne og deres fordele og ulemper ift. formålet med analysen (VMR, 2022). Fælles for alle metoder er, at såvel prøvetagningsdesignet som prøveforberedelsen har meget stor indflydelse på repræsentativiteten og kvaliteten af de data man får.

Det store antal PFAS taget i betragtning, er det næsten umuligt at én analysekemisk tilgang kan opfylde alle kravene til PFAS-analysemetoder. Derfor kan det være hensigtsmæssigt at kombinere forskellige analysemetoder alt efter formålet med analysen (Androulakakis et al., 2022). Figur 4.1 giver en oversigt over, hvordan forskellige grupper fluorholdige stoffer kan bestemmes med eksisterende analysemetoder.



Figur 4.1 Konceptuelt overblik over hvilke forskellige grupper af fluorholdige stoffer, der kan måles med forskellige metoder. Gengivet med tilladelse fra Kärrman et al. (2023, in prep.).

Sammenfattende kan der skelnes mellem

1. PFAS target analyser: Specifikke stoffer måles med metoder, der er optimeret til de udvalgte stoffer. Metoderne har typisk høj præcision og nøjagtighed samt lave detektionsgrænser. Disse metoder anvendes til alle analyser, der kræver kvantificering af enkeltstoffer.
2. Suspect/non-target analyser: I non-target analyser screenes en prøve for alle tilstedeværende stoffer. I suspect screening træffes der typisk et udvalg, der fx kan omfatte alle PFAS. Metoderne har typisk højere detektionsgrænser end target-analyser og bruges primært til en identificering af stofferne, ikke til en kvantificering. Muligheder for (semi)kvantificering er et aktuelt forskningsområde.
3. Sumparametre / PFAS Total: Metoderne prøver ikke at identificere enkeltstoffer, men giver et bud på et samlet PFAS-indhold i prøverne (se tabel 4.3). De hyppigst anvendte teknikker er EOF-CIC (extractable organic fluorine – combustion ion chromatography) og TOPA (total oxidizable precursor assay). Derudover findes der metoder, som kun er etableret i få laboratorier i dag, såsom PIGE, XRF og ^{19}F NMR.

Figur 4.3 Sammenfatning af PFAS sum parametre/PFAS Total. For detaljer, se Kärroman et al. (2021)

Acronym	Navn	Forklaring
TF	Total fluor	Totalmængde fluorholdige stoffer, som også kan omfatte uorganiske stoffer.
TOF	Total organisk fluor	Totalmængde fluorholdige organiske stoffer. Kan også omfatte ikke-PFAS. Kræver specielt apparatur, fx Combustion Ion Chromatography (CIC).
EOF	Ekstraherbart organisk fluor	Totalmængde ekstraherbare fluorholdige stoffer. Kan analyseres med samme apparatur som TOF.
TOP	Total oxidérbar precursor	Precursors til PFAA'er, kan måles som PFAA'er efter oxidation

Selvom alle tre analysetyper (dvs. target analyser, suspect/non-target screening, PFAS Total) har gennemgået en meget hurtig udvikling i de seneste år, er der fortsat brug for optimering, harmonisering og standardisering. Target analyserne er baseret på væsekromatografi-tandem massespektrometri (LC-MS/MS) for de ioniske PFAS og på gaskromatografi-massespektrometri (GC-MS eller GC-MS/MS) for de neutrale PFAS såsom FTOH'erne. De fleste laboratorier har udvidet deres analysespektrum til typisk 20-40 PFAS med tilhørende QA/QC.

Videnshul	<p>I de fleste tilfælde er der behov for at udvide stoflisten PFAS til analyse af enkeltstoffer tilhørende gruppen af PFAS. Der er ligeledes behov for at identificere, hvilke enkeltstoffer, der bør analyseres for i hvilke typer prøver.</p> <p>Samtidig er der behov for en mere omfattende kvalitetskontrol, dvs. præstationssprøvnings og certificerede referencematerialer, for at sikre analysekvaliteten for både enkeltstoffer og total fluor analyser (PFAS sum parametre).</p>
------------------	--

Suspect/non-target screening er endnu ikke en rutineanalyse, men har et stort potentiale for netop PFAS som en stor, men veldefineret stofgruppe. Der findes fx PFAS-specifikke databaser med massespekttra til identifikation af PFAS. I 2023 gennemføres en international interkalibrering for suspect/non-target screening af PFAS i vandprøver. For miljøprøver er der lige blevet publiceret en guideline til suspect/non-target screening (Hollender et al., 2023), som dog ikke er PFAS-specifik.

Sumparametrene / PFAS Total er heller ikke rutinemæssigt anvendt endnu, selvom de muligvis har det største potentiale til at supplere target-analyserne. Lige nu er der en stor stigning i publikationer der sammenligner PFAS Total analyser med target og suspect screening analyser. Anvendelsen har været begrænset af tilgængelighed af CIC-apparatur, som dog begynder at blive mere udbredt. TOP-analyserne kan udføres på almindeligt LC-MS/MS-apparatur og møder stigende interesse. I EU projektet PARC⁵ forberedes der p.t. en interkalibrering mellem ca. 15 interesserede laboratorier med det formål at udvikle anbefalinger og guidelines til TOP-analyserne. Metoden kan dog ikke anvendes på alle typer PFAS, fx ikke på fluorethere, og der har vist sig nogle udfordringer ift. tab af PFAS i prøveforberedelsen.

En kombination af de forskellige metoder betegnes ofte som "fluorine mass balance". Teoretisk kunne alle tre metoder bruges i kombination, hvor suspect/non-target screening anvendes til at identificere differencen mellem fx EOF og PFAS i target-analyserne. Som beskrevet i Kärroman et al. (2021) har flere myndighedsstrategier og reguleringer foreslået at bruge en "PFAS Total"-metode, bl.a. EU's Drikkevandsdirektiv og PFAS håndteringsplanerne i USA, Australien og New Zealand.

⁵ <https://www.eu-parc.eu>

Videnshul

Der er behov for at undersøge mulighederne for at videreudvikle og kombinere PFAS-analysemetoder, specielt i forhold til systematisk anvendelse af PFAS sum parametre i samspil med PFAS target-analyser, fx. til overvågningsformål.

Der er behov for at udvikle analysekapaciteten på PFAS Total.

Videnstaskforcen foreslår derfor et projekt (projekt nr. 8), der omfatter både miljøprøver, fødevarer og humane prøver. I alle tilfælde vil optimerede analysemetoder være en fordel, dog kan deres kombination og stofspektrum variere for forskellige matricer. Projektet vil have et mere teknisk element i form af en vurdering af muligheder og begrænsninger af de forskellige analysemetoder, specielt i kombination, samt et mere planlægningsorienteret element omkring metodernes implementering i overvågningsprogrammer inkl. relevante tests.

Det foreslås, at projekt nr. 8 koncentrerer sig om en kombination af target analyser og analyser af PFAS Total til anvendelse i overvågningsprogrammer. Disse teknikker finder bred anvendelse og er anbefalet i EU's drikkevandsdirektiv.

Videnstaskforcen foreslår derudover et separat projekt for at screene for mindre kendte PFAS i udvalgte prøver fra biota, fødevarer, og mennesker vha. suspect/non-target screening (projekt nr. 7 i kapitel 5). Desuden kan inddrages andre relevante prøver fx lossepladspokolater, produktionsvand fra olie-gas udvinding, luft/afkast fra PFAS-forarbejdningsindustrier samt screening af udvalgte grønne energiteknologier og byggematerialer, hvis det er relevant. Projektet er ikke en del af projekt nr. 8, da projekt nr. 7 ikke handler om anvendelse af nye analysemetoder i overvågningsprogrammer, men om en identificering af potentielt oversete PFAS-forbindelser vha. suspect/non-target screening. Da dataanalyse i denne form for analyse er meget kompleks og tidskrævende, vil det kun være muligt med et begrænset antal prøver. Til gengæld kan denne screeningsstrategi pege på relevante stoffer der fremover kan indgå i en mere systematisk overvågning for de tre forskellige anvendelsesområder.

Videnshul

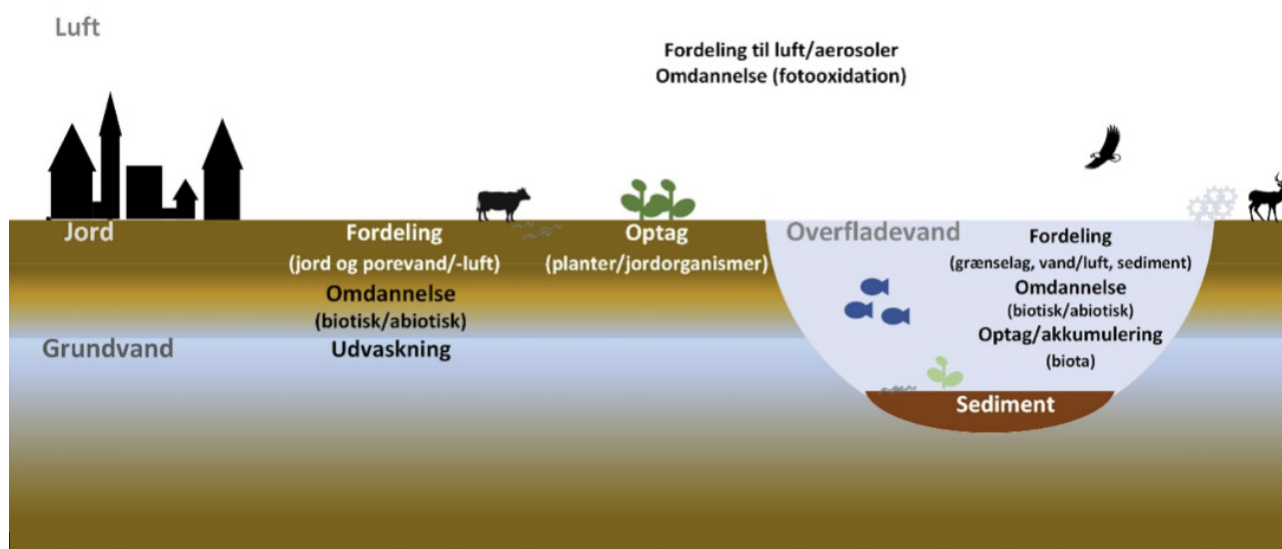
Der er behov for at undersøge forekomsten af ikke-velundersøgte og "ukendte" PFAS i udvalgte prøver (miljøprøver, fødevarer, humane prøver, prøver med en formodning om PFAS-emissioner), for at sikre, at der ikke overses vigtige enkeltstoffer (fx erstatningsstoffer).

³ <https://www.eu-parc.eu>

4.7. Forekomst, transport, fordeling og skæbne i miljøet

I det følgende gives et kort overblik over forekomst, transport, fordeling og skæbne af PFAS i miljøet med særligt fokus på forekomsten i biota, jord og grundvand. Figur 4.2 giver et konceptuelt overblik over de væsentligste delmiljøer samt fordelings- og omdannelsesprocesser relateret til disse. Af de øvrige vigtige delmiljøer/processer vist i Figur 4.2 bliver overfladevand og planteoptag kun kort beskrevet i det følgende. Dette skyldes, at der findes nylige danske udredningsrapporter om disse (Tsitonaki et al. 2023; Fomsgaard, 2023) og de udgør dermed ikke som sådan videnshuller for videnstaskforrens videre arbejde.

Fordeling og transport til luft er ikke medtaget i beskrivelsen nedenfor, og dermed heller ikke potentielt vigtige områder som havskums og aerosolers betydning for PFAS-forekomsten og fordelingen i miljøet. I stedet fremgår det af Bilag 3, som et fokusområde for videnstaskforrens arbejde i 2024.



Figur 4.2 Konceptuelt overblik over delmiljøer samt fordelings- og omdannelsesprocesser, der er vigtige for PFAS forekomst vand, jord, grundvand og sediment samt i akvatisk og terrestrisk biota.

4.7.1 Forekomst i overfladevand

PFOS og PFOA er på vandrammedirektivets prioritetsliste og derved pålagt overvågningskrav. Derudover igangsættes der formodentlig en monitoring af summen af 24 navngivne PFAS ved den kommende ændring af direktiv 2000/60/EF, som foreligger i udkast.

Allerede i 2007 viste en screeningsundersøgelse, at adskillige PFAS var udbredte både i udløb fra rensningsanlæg, i ferskvand og i marine miljøer i Danmark (Strand et al., 2007). Overvågningen i vandløb var en del af den operationelle overvågning, og omfattede dermed stationer, der er vurderet til at være i risiko for manglende målopfyldelse. En sammenfatning af NOVANA data fra de to programperioder dækkende 2008-2019 viste, at PFOS og PFOA er de hyppigst påviste PFAS-forbindelser i vandløb med mediankoncentrationer af PFOS og PFOA målt til henholdsvis 1,2 og 3,6 ng/L (Boutrup et al., 2021). Under det danske NOVANA program monitoreres PFAS udelukkende i fisk og i vandløb/søer, og derved hverken i marint vand eller ferskvands-/marine sedimenter.

Det vil være vigtigt at overveje og komme med anbefalinger til prøvetagningsstrategien, som tager højde for at PFAS ikke er homogent fordelt i vandet (fx. sidder på overflader). Det vil kunne sikre en mere standardiseret prøveudtagning og sammenlignelige data.

4.7.2 Forekomst i akvatisk biota

I NOVANA overvågningsprogrammet har PFAS været målt i fisk i det marine miljø siden 2011 og i vandløb og søer siden henholdsvis 2017 og 2019. I lever fra fisk fra marine områder er PFOS påvist i alle de undersøgte prøver, mens PFDA, PFNA og PFUnA er fundet med næststørst hyppighed. Der er fundet et signifikant fald af

PFOS, PFHxA og PFDA i fiskelever, mens PFOA er fundet i signifikant højere koncentrationer i programperioden 2014–2019 sammenlignet med den foregående periode fra 2008–2013.

I søer måles der primært i aborre og i vandløb primært i bækørred. PFAS-analyser i ferskvandsfisk fanget i vandløb på kontrolovervågningsstationer i perioden 2017–2021 viste dels, at PFOS blev fundet i alle prøver (20), og at koncentrationerne var en størrelsesorden højere end for de øvrige PFAS-forbindelser. Med en medianværdi på 6,3 µg/kg og 90% fraktil på 34,5 µg/kg målt i lever.

I marin fiskelever er de højeste mediankoncentration målt for PFOS og PFNA med henholdsvis 4,2 og 0,65 µg/kg. I Danmark måles der i det marine miljø for PFOS i bundlevende fisk som skrubbe, rødspætte eller ålekvabbe (alternativt sortmundet kutling) som gode områdespecifikke monitoringsorganismer i kystnære områder, fordi de, modsat pelagiske fisk som torsk og sild, er mere stationære og er mere eksponeret for miljøfarlige stoffer, der er ophobet i biota og sediment.

Der er fastsat miljøkvalitetskrav for PFOS i fisk på 9,1 µg/kg. Kvalitetskravet gælder for fiskemuskel, som er den del mennesker forventes at spise. Larsen og Bossi (2021) har konkluderet, at forholdet mellem PFOS i lever og muskel er minimum en faktor 5. Der er derved ikke fundet koncentrationer, hverken i ferskvandsfisk eller marine fisk, der er højere end det nuværende miljøkvalitetskrav for PFOS, når man inddrager omregning mellem fiskelever og muskel. Den samme overordnede konklusion er gældende i det svenske overvågningsprogram for ferske vande (Faxneld og Sørensen 2023).

I det svenske marine miljø foreligger en længerevarende tidsserie for PFAS-overvågning (cirka 1980–2019) (Sørensen og Faxneld 2023). Det svenske marine overvågningsprogram inkluderer i dag 27 stationer, herunder flere i Kattegat og den ydre Østersø, der er direkte relevante for danske forhold. Her monitoreres PFAS i fisk og fugle som bl.a. sild, ålekvabbe, torsk, fjordterne og strandskade. Generelt har man observeret et fald i koncentrationerne siden starten af 00'erne som følge af udfasningspolitik. Undtagelsen er koncentrationen af PFOA og PFNA, der stiger i dele af Østersøen (Sørensen og Faxneld 2023). Derudover har et screeningsprogram vist at en række PFAS, fx cyklisk PFECBS, der ikke er en del af monitoringsprogrammet, findes i biota i koncentrationer, der kan indikere en ophobning i de marine fødekæder (biomagnificering).

Sammenholder man koncentrationerne målt i fisk, viser data, at den samlede koncentration af PFAS i lever fra sild og torsk er lavest i Kattegat og højere i den sydlige del af Østersøen. Derudover er FOSA (PFOSA) relativt mere udbredt i Kattegat sammenholdt med den sydlige Østersø, hvor PFOS er klart den dominerende PFAS.

For fugle på de højere trofiske niveauer har strandskade og edderfugl de laveste koncentrationer, fjordterne lidt højere, mens der i top-predatorer som (æg fra) lomvie og havørn samt ikke mindst sællever måles minimum 10 gange højere PFAS-koncentrationer. Andelen af PFOS stiger også op gennem fødekæderne fra 60–80% til 80–90% af det samlede PFAS-indhold. I den sammenhæng er det vigtigt at bemærke, at FOSA, som er en precursor for PFOS, har det samme eller endnu højere bioakkumuleringspotentiale som PFOS selv.

Derfor kan biotransformation af FOSA eller andre precursors være en kilde til PFOS i målt top-predatorer (Sørensen og Faxneld 2023). Et studie fra den sydlige Østersø viste, at FOSA her udgør mellem 42 og 85% af den samlede mængde PFOS-precursor (Gebbinck et al., 2016).

Videnshul

Viden om og målinger af PFAS-akkumulering i andre akvatiske organismer end fisk er begrænset og sporadisk i Danmark.

Ikke offentliggjorte data fra Fødevarerstyrelsen peger på at, koncentrationerne af PFOS og PFOA i muslinger er relativt lave og ofte under detektionsgrænsen. Et nyligt specialeprojekt undersøgte PFAS-akkumulering i sukkertang og havsalat (Sørensen, 2023) og fandt generelt lave PFAS-koncentrationer (< 2 µg/kg vådvægt). Der var dog relativt store regionale forskelle, og i et enkelt område blev der målt markant højere koncentrationer af PFHxS end alle andre lokaliteter.

Videnshul

I betragtning af, at tang og til en vis grad også søstjerner overvejes som både fødekilde til husdyr og høj kvalitetsprodukter til mennesker, bør forekomsten af PFAS i disse undersøges nærmere

Da mange PFAS er bioakkumulerende og biomagnificerende, er der ofte fundet højere koncentrationer i akvatiske dyr øverst i fødekæden. Her findes der en del erfaring fra de arktiske overvågningsprogrammer, som omfatter havfugle og marine pattedyr, der til dels indgår i den arktiske kost. Der foreligger tidsserier fra bl.a. ringsæler i Grønland, som har vist et fald i koncentrationen for de regulerede PFAS (fx PFOS), men fortsat stigende koncentrationer for ikke-regulerede PFAS (fx langkædede PFCA'er). Den højeste årsmiddelkoncentration, der er målt for PFOS i lever af isbjørne og ringsæler fra Grønland er på ca. 3000 og 300 µg/kg, dvs. betydeligt højere end de ovennævnte niveauer i fisk (Rigét et al., 2013). Studier fra Arktis har også vist forekomsten af flere ikke-regulerede PFAS, muligvis erstatningsstoffer, i havpattedyr (Gebbink et al., 2016). Et litteratursammendrag af Fair & Houde (2018) viste gennemgående høje PFAS-koncentrationer i marine pattedyr fra hele verden, med PFOS som det dominerende enkeltstof.

Danske undersøgelser i Nordsøen viste middelkoncentrationer mellem ca. 300 og 700 µg/kg for PFOS i leverprøver af marsvin (*Phocoena phocoena*), spættet sæl (*Phoca vitulina*) og hvidnæsen (*Lagenorhynchus albirostris*) (Galatius et al., 2013). Prøverne var dog af ældre dato (1999–2002), og PFOS-koncentrationen kan antages at være faldende.

Videnshul

Udover de velkendte PFSA'er og PFCA'er vides kun lidt om andre potentielt bioakkumulerende PFAS i akvatiske dyr. Dette videnshul har også betydning for eksponering gennem fødevarer (fx. fisk).

Der er også behov for at undersøge PFAS total samt polyfluorerede PFAS i fedtvæv.

En nyere undersøgelse af spættet sæl fra Østersøen fandt middelkoncentrationer på 15,8 µg/kg og 0,28 µg/kg for hhv. PFOS og PFOA i kød (Sonne et al., 2019). Ud fra de sammenlignende undersøgelser på PFAS i lever og kød i fisk, kan der formodes, at niveauerne i lever vil være højere. Undersøgelsens fokus var dog på en evt. PFAS-eksponering fra sælkød som fødevarer, som bør holdes op overfor EFSA's anbefalede tolerable ugentlige indtag PFAS på 4,4 ng/kg kropsvægt for summen af fire PFAS (se Tabel 2.1).

Det svenske overvågningsprogram omfatter desuden æg af flere havfuglearter (fjordterne (*Sterna hirundo*), strandkaden (*Haematopus ostralegus*) og lomvie (*Uria aalge*)), hvor der generelt er fundet en faldende tendens for PFAS, med undtagelse af forgrenede PFOS i lomvieæg (Danielsson et al., 2020). Havfugleæg indgår også i det canadiske overvågningsprogram, som ligeledes har dokumenteret faldende koncentrationer for de fleste af de undersøgte PFAS, samt en stabilisering eller et fald i koncentrationen af de langkædede PFCA'er (Kesic et al., 2023). Den højeste årsmiddelkoncentration var 58 µg/kg for PFAS i alk (*Aethia cristatella*).

Videnshul

Der vides meget lidt om PFAS-fordeling i dyrenes organer og væv, hvilket også har betydning for eksponering gennem fødevarer;

Effekter på dyr med høj PFAS-eksponering er også et markant videnshul.

Derfor er i kapitel 5 foreslået et projekt om screening af mindre kendte PFAS-forbindelser i miljøprøver, humane prøver og fødevarer (projekt nr. 7), som adresserer videnshullet omkring forekomsten af andre PFAS end de velundersøgte PFAA'er og enkelte precursors.

4.7.3 PFAS-forekomst i vildt og øvrige terrestriske dyr

Som nævnt i afsnit 4.7.2, kan PFAS ophobes i dyr, med stigende koncentrationer i fødekæden. De ioniske PFAA'er er ofte associeret med proteiner og findes derfor primært i dyrenes blod, lever, nyrer og hjernevæv (De Silva et al., 2021). Generelt findes der meget mindre litteratur om det terrestriske end om det akvatiske miljø, selvom der foreligger nogle undersøgelser af tidstrends, geografiske forskelle og fødekædeakkumulering fra Arktis (fx Roos et al., 2022).

Mens den generelle konklusion i den videnskabelige litteratur er, at PFAS-belastningen er mindre i terrestriske end i akvatiske fødekæder, har PFAS-forureningen i Korsør vist, at lokale forureningstilfælde kan føre til en betydelig PFAS-eksponering af kvæg og akkumulering i deres kød. Opfølgende målinger på kvæg fra diverse egne af Danmark har demonstreret, at dyr visse steder er forholdsvis højt kontaminerede, specielt, men ikke udelukkende, ved Vestkysten. Derudover findes der målinger på harer og råvildt ved flyvestation Værløse, hvor der hos de sidste ikke blev målt PFAS-indhold som overskred grænseværdierne. I den amerikanske delstat Michigan er der derimod fundet forhøjede koncentrationer af PFAS i hjorte i nærheden af en flyveplads, hvor der er gennemført brandøvelser (MDHHS 2021). Undersøgelser i ænder har generelt vist lave koncentrationer, som dog kunne stige betydeligt i nærheden af lokale PFAS-forureninger (Death et al., 2021). PFOS og PFHxS havde de højeste koncentrationer. Vildsvin i Tyskland havde forholdsvis høje leverkoncentrationer af PFOS (op til ca. 430 µg/kg), men prøverne er ca. ti år gamle (Kowalczyk et al., 2018). Generelt er det ukendt, om de høje koncentrationer, der er observeret i nogle vildtlevende dyr, kan have skadelige effekter på dyrene.

Det gælder generelt for dyr, som vi spiser (fx kvæg, får og grise), at der findes meget begrænset viden om opkoncentrering, optag, fordeling, metabolisme og udskillelse af PFAS i dyrene (Death et al., 2021). Spørgsmålet er, hvordan stofferne fordeles i organismen og hvor meget der ender i kødet vi spiser (typisk muskelvæv)? Dette er en udfordring ved human risikovurdering af kød fra dyr, i hvilke der typisk er foretaget PFAS analyse på blod.

I lyset af det stærkt begrænsede datamateriale for danske bestande af jagt-egnede vildt og fugle, er der for nyligt igangsat en undersøgelse af vildt og fugle, der også inddrager geografiske aspekter samt alder- og kønsmæssige forskelle, idet fx fugle kan udskille PFAS gennem æglægning. Det bør i den kontekst overvejes om det vil være relevant ud fra et sundhedsmæssigt og miljømæssigt udgangspunkt at inkludere en bredere analysepakke (evt. sammen med EOF), da det ikke kan udelukkes, at en ikke uvæsentlig andel af nye PFAS som fx PFECBS og simple PFAS brugt som pesticider eller lægemidler kan udgøre en kilde til det samlede PFAS-niveau hos fugle og pattedyr. Der foreslås derfor at inddrage terrestriske dyr i den screeningundersøgelse, der er beskrevet i projektkataloget (projekt nr. 7).

Videnshul

For terrestriske dyr gælder de samme videnshuller som beskrevet for akvatisk biota i ovenstående afsnit, dvs. mangel på viden om andre end de velundersøgte PFAS, om fordeling mellem organer samt om effekter på dyrene.

4.7.4 Spildevand og spildevandsslam

En sammenfatning af NOVANA data fra de to programperioder dækkende 2008-2019 (Boutrup et al., 2021) konkluderede at PFOA, PFOS og PFNA er de hyppigst fundne PFAS i udløb fra rensningsanlæg, og data indikerede, at spildevand fra husholdninger ikke er den væsentligste kilde til PFAS i udløbet. De målte mediankoncentrationer i den seneste programperiode (2014-2019) var for PFOS, PFOA og PFNA på henholdsvis 0,0039, 0,12 og 0,0022 µg/L i rensset spildevand.

Videnshul

Tilstedeværelsen af precursors i indløbet til danske spildevandrensingsanlæg samt biotransformation i rensningsprocessen udgør et markant videnshul.

PFAS-indholdet i spildevandsslam skal som følge af eksisterende nationale afskæringsværdier overvåges af slamproducenterne, fx de danske kommunale spildevandsrensningsanlæg. Data samles og offentliggøres dog ikke, hvorfor der ikke foreligger nogen større analyser af tidsmæssige trend. Jensen et al. (2023) samlede 215 analyser fra 48 danske renselanlæg og fandt en mediankoncentration af fire PFAS (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS) på 7,49 µg/kg tørstofvægt med 10 og 90 fraktiler på henholdsvis 3,4 og 17,8 µg/kg tørstofvægt. Samme forfattere præsenterede også en af de få undersøgelser med langtidsdata fra Avedøre renselanlæg, hvor det fremgik, at koncentrationen i spildevandsslam var faldet markant i perioden 2003–2022.

På en række forsøgsmarker (CRUCIAL projekt) har Københavns Universitet i en årrække tilført kontrollerede, men accelererede mængder af spildevandsslam og anden form for organisk gødning. Her viste målinger koncentrationer af summen af fire PFAS i topjorden (øverste 30 cm) på mere end 5 µg/kg tørstofvægt (Tsitonaki et al. 2023). Der har i CRUCIAL projektet hvert år i gennemsnit været udbragt 1,6 tons spildevandsslam på de arealer med høj udbringning og 4,7 tons slam på områder med accelereret udbringning, hvilket er noget over den gennemsnitlige udbringning af slam i Danmark.

Videnshul

Der foreligger ikke nogen systematisk dansk overvågning eller landsdækkende undersøgelser af PFAS-koncentrationer i landbrugsjorder, som har modtaget normale mængder slam i en årrække.

Dette udgør et væsentligt videnshul i forhold til f.eks. at kortlægge betydningen af den diffuse spredning af PFAS til overfladevand og grundvand fra landbrugsarealer (se også beskrivelser i næste afsnit).

4.7.5 Forekomst og skæbne i jord

Danmarks landareal kan groft inddeles i landbrug (60%), produktionsskov (13%), natur (13%), og 14% byer og infrastruktur (Danmarks Statistik, 2020). Jorden og jordens kemiske, fysiske og biologiske egenskaber bestemmes af det geologiske materiale og vegetationen på overfladen. Derfor er det væsentligt at skelne mellem jordtyper og arealanvendelser når PFAS' skæbne, fordeling og transport skal vurderes (Jia et al., 2010). Langt størstedelen af jordene i Danmark er mineraljorde med en lille mængde organisk stof og en mindre del er lavbundslande og moser med et højt indhold af organisk stof. Mængden af organisk materiale og den kemiske og biologiske kvalitet af det organiske stof varierer meget afhængigt af vegetationen og hydrologien i området. Jordens surhed og vegetationstypen påvirker den kemiske sammensætning af jordens organiske stof og det giver forskellige egenskaber for binding af PFAS, herunder forskellighed afhængigt af typen af PFAS. Landbrugsjord, skovjord og engjord fra sure jordtyper, og tilsvarende på næringsrige jordtyper forventes at have forskellige bindingsegenskaber som skal kvantificeres for de mest udbredte typer af PFAS.

Videnshul

Der mangler viden om i forvejen forekommende koncentrationer for forekomst og fordeling af PFAS i de forskellige jordtyper som moræneler, morænesand, og betydningen af typen af organisk stof for de dominerende vegetationstyper i Danmark

Jordbunden er opbygget af lag med forskellige egenskaber og en forståelse af PFAS's reaktion med lermaterialer og det organiske stof i jordlagene er ikke kendt for danske jorde. Generel forekomst af i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS og fordeling i jordlagene er essentiel at forstå for at kunne modellere og forudsige mobilitet af PFAS, fra jordmatricen til porevandet og herfra videre til planter, dyr, recipienter og grundvand.

Lerjorde er kendetegnet ved at have stabile strukturer som sprækker og makroporer efter gamle rodkanaler og ormegange, der ofte strækker sig dybt ned i moræneler og kan hurtigt føre nedsvivende vand til sprækker i det underliggende kalklag eller grundvandsmagasiner (Jørgensen et al., 2022). Simuleringer af PFAS fluxe via makroporer til stor dybde og til dræn i morænejorde er ikke kendt for danske klimatiske forhold.

Videnshul

Viden om mobilitet af PFAS fra overjord til underjordshorisonterne er ikke kendt for danske jordtyper og under danske vejrforhold, hvor vandindholdet varierer meget og med længere periode med vandindhold over markkapaciteten.

Partikelfaciliteret transport af PFAS vil afhænge af kvaliteten af aggregater og kolloider, der suspenderes i eller på overjorden, og typen af det organiske materiale vil påvirke omfanget af og selektionen for PFAS, der bindes til partiklerne.

Videnshul

Vurdering af partikelfaciliteret transport af PFAS via makroporer er ikke kendt for danske jorde.

Mobiliteten af PFAS ved realistiske markkoncentrationer er meget vanskeligt at måle. Som det gælder for langt de fleste forureningsstoffer i jord, er det nødvendigt med modelberegninger for transport og spredning i sandjorde og strukturerede morænelerjorde for at få et realistisk billede af koncentrationsfordeling over tid ned gennem jordlagene. Modelberegninger kan vise masse og koncentrationsprofil for afstrømning via dræn fra strukturerede lerjorde, og nedsivning mod grundvandsmagasiner. Modelberegninger af mobilitet og spredning af forureningsstoffer i landbrugsjorde, havebrugsjorde og skovjorde kan foretages med mekaniske luft-plantejord-vand modeller som fx Daisy programmet (KU, 2023). Daisy simuleringer medtager alle fordelingsprocesser i jorden (jord, poreluft, porevand) og markens forskellige jordlag med dynamisk udvikling af plantevækst, vandindhold, gaskoncentrationer, m.m. Modellen kan desuden simulere udviklingen over tid for uendeligt mange jordlag under hensyn til temperatureffekt, afgrøde specifikke tilførsler og historik ved fx 30 eller 100 års simuleringsscenarioer med miljørealistiske input.

Driftsformen (landbrug, skovbrug, natur) har stor betydning for jordens egenskaber, og derfor skal PFAS-forekomst og -fordeling i jorden vurderes separat for disse arealanvendelser. Landbrug har næringsrige mikrobiologiske samfund i overjorden sammenlignet med skov og natur, og det former puljerne af organisk stof i forskellige retning. Skovjorde er mere sure med lavere pH, og er mindre næringsrige eller næringsfattige. Svampe spiller en meget stor rolle i den biologiske omsætning i skovjorde, som ændrer processerne for binding af PFAS (Wang et al., 2015; Pereira et al., 2018).

Arealanvendelsen styrer hvilke typer af organiske materiale, der tilføres arealerne, fx husdyrgødning, afgasset gylle fra biogasanlæg og spildevandsslam. Men også betydningen af tilført biochar (biokul) til landbrugsjord som CO₂ lagring er ukendt for påvirkning af mobilitet af PFAS i jordene.

Videnshul

Der mangler viden om PFAS-indhold i jord fra de mest udbredte arealanvendelser i Danmark, og udviklingen af koncentrationer af de mest udbredte PFAS i jorder uden for arealer, der er karakteriseret som forurenede grunde, kendes generelt ikke.

Derfor foreslår videnstaskforcen projekt 10 i kapitel 5 omhandlende diffus forurening og koncentrationsniveauer for i forvejen forekommende PFAS (baggrundsniveauer). Forøget viden om baggrundsniveau for indhold af PFAS i jord for mest udbredte areal typer er vigtig for vurdering af forhøjede værdier og lokale forureninger med PFAS. Baggrundsniveauer bør indeholde de væsentligste enkeltstoffer og grupper af PFAS.

4.7.6. Optag i afgrøder

Optag af PFAS fra jord til planterødder i afgrøder bygger på fordelingskoefficienter mellem vand og jord (K_d værdier) og transporthastigheder? fra jord til planterod i rhizosfæren og rundt om sprækker og ormegange i dybere jordlag. Optag i afgrøder og vegetation er en vigtig brik i vurderingen af betydning af målte koncentrationer i overjord, og den tidlige udvikling i koncentration i jorden hen over sæsoner og år (Fomsgaard, 2023).

En omfattende sammenfatning i et stort litteraturstudie har vist, at der er en tæt sammenhæng mellem antallet af kulstofkæder og PFAS-akkumulering i en bred vifte af afgrøder (Lesmeister m.fl. 2021). For perfluorerede carboxylsyrer (PFCA) var der en korrelation mellem de målte bioakkumuleringsfaktorer (BAF) og antallet af perfluorerede kulstofatomer og for perfluorerede sulfonsyrer (PFSA). Bioakkumuleringsfaktoren (BAF) er defineret som forholdet mellem koncentrationen målt i jord og plante. En $BAF > 1$ indikerer derved at PFAS opkoncentreres i planten i forhold til den jord hvori den vokser.

Hvis man benytter den viste sammenhæng, kan man for PFOS (297 BAF-data) og PFOA (376 BAF-data) beregne gennemsnitlige bioakkumuleringsfaktorer på henholdsvis 1,2 og 1,1, hvilket viser, at disse to PFAS typisk vil måles i afgrøder i koncentrationer, der kun er marginalt højere, end den jord de har vokset i. For kortere PFAS kæder med 3-4 perfluorerede kulstofatomer, fx PFBA og PFBS, er der i Lesmeister m.fl. (2021) rapporteret gennemsnitlige BAF på mere end 11 [5,2-24,4]. Data tyder hermed på, at akkumuleringen i afgrøder er størst for de mindre PFAS, primært fordi de længere PFAS bindes hårdere til jordmatricen, hvilket nedsætter biotilgængeligheden.

4.7.7 Biotilgængelighed af PFAS i jord og overfladevandssedimenter

Jord og sediment fungerer ofte - sammen med dyr øverst i fødekæden - som matricer, hvor der over tid sker en ophobning af PFAS. Dermed kan forekomsten i jord og sediment direkte eller indirekte bidrage til eksponering af mennesker og til andre dele af miljøet.

Videnshul

Der er imidlertid mangel på viden om frigivelse af PFAS fra forurenede jord på landbrugsarealer, byområder og forurenede grunde, samt frigivelse fra sedimenter til det overliggende vand og biota.

Der mangler også undersøgelser af betydningen af adsorptionsprocesser og ældning for optag i planter og dyr (biotilgængelighed) samt udvaskning til overfladevand og grundvand (mobilitet). For andre svært nedbrydelige organiske forureninger ser man ofte, at der over tid dannes såkaldt ikke-ekstraherbart organisk stof (non-extractable residues - NER). Denne andel af stofmængden opfattes ofte som utilgængeligt for optag i organismer og udvaskning til omgivelserne. Viden findes dog mest for lipofile stoffer og tungmetaller, mens viden for de fleste PFAS, der har andre fysisk-kemiske egenskaber end lipofile stoffer, er sporadisk. Få langtidsstudier med PFOA og PFOS har dog antydnet en fraktion af NER på mere end 95% (Gassmann m.fl. 2021), hvilket kan have markant indflydelse på risikohåndtering og behov for afværgeforanstaltninger. Andelen vil dog afhænge af aspekter som længden af PFAS-kæden, jordtype og forureningsalder. Ældningsprocesser i jord og sediment kan ændre biotilgængeligheden fx når det organiske stof nedbrydes og langsom migration af PFAS dybere ind i porøse jordpartikler. Markante ændringer i jordens hydrologi vil ligeledes kunne påvirke NER fraktionen.

Videnshul

Såvel den kvalitative som den kvantitative betydning af reduceret biotilgængelighed og mobilitet gennem såkaldte ældningsprocesser er stort set ukendt for de fleste PFAS og jordtyper, hvilket påvirker mulighederne for at kunne estimere planteoptag og udvaskning af PFAS.

Der er derfor et behov for at udbygge vidensgrundlaget for andre PFAS, samt udvikle undersøgelser, metoder og rammer til at inddrage aspekter af biotilgængelighed og reduceret mobilitet.

4.7.8 Forurenede grunde – transport og skæbne i jord og grundvand

PFAS forekommer på en bred gruppe af forurenede grunde, der skal håndteres for at sikre og begrænse påvirkningen af mennesker og miljø som beskrevet i jordforureningsloven (<https://www.retsinformation.dk/eli/ita/2017/282>). Der har været særlig fokus på brandøvelsespladser, men PFAS har været brugt i en lang række brancher og aktiviteter såsom renserier og forkromningsvirksomheder.

Danske Regioner har opgjort, at der er op til 15.000 potentielt forurenede grunde, som kan indeholde forureninger med PFAS (Danske Regioner, 2023a). Det udgør en meget stor faglig og samfundsmæssig udfordring, da PFAS er en ny stor stofgruppe, der kræver risikohåndtering, og da PFAS samtidig på en række punkter adskiller sig fra andre kendte forureningsstoffer.

Først og fremmest er der meget en lang række af PFAS (se Kapitel 2) og, som beskrevet i afsnit 4.4, stadig stor usikkerhed om, hvor de kommer fra og forekommer. På dette punkt minder situation, om den der tidligere var gældende for klorerede opløsningsmidler. Her er problemstillingen i dag skåret ned til et fokus på fire klorerede ethener (PCE, TCE, DCE og VC), en kloreret ethan (1,1,1-TCA) og enkelte sager med kloroform. Dette betyder, at der er målrettede analysepakker og ingen usikkerhed om valg af analyseparametre ved den praktiske prøvetagning, monitoring og forvaltning. Der er også opnået bred enighed om hvilke brancher og aktiviteter, der er de mest betydende for potentiel forurening med klorerede opløsningsmidler.

Modsat denne situation er der for PFAS-forureninger betydelig usikkerhed, om hvilke stoffer, der er de mest betydende og deres fordeling i de forskellige faser (jord, vand, luft). Hvis der kan komme en bedre forståelse af hvilke PFAS, der er mest betydende, vil det også være nemmere at fokusere på relevante precursors, der potentielt bidrager til forekomsten af disse "betydende PFAS". Der er behov for til stadighed at indsamle og bearbejde data fra alle myndigheder, Forsvarets Ejendomsstyrelse (FES) og private undersøgelser i en fælles platform eller database.

De i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS i miljøet (jord, grundvand, overfladevand, nedbør) er ikke ubetydelige. Dette er meget anderledes end for andre kendte miljøfremmede forureningsstoffer ved forurenede grunde, hvor antagelsen umiddelbart vil være, at der er tale om en forurening fra en forureningskilde, hvis der findes målbare koncentrationer i jord, luft eller grundvand. I en rapport fra WSP udarbejdet for Miljøstyrelsen har man kortlagt de eksisterende data i Danmark (redaktionen sluttet oktober 2022) og rapporten viser, at der er manglende data på en række områder (Tsitonaki et al. 2023). Som beskrevet i afsnit 4.7.5 skaber dette et væsentligt behov for at kende koncentrationsniveauet af forvejen forekommende PFAS i relevante medier og faser (især jord og nedbør) for håndtering og prioritering af punktkilder.

Med henblik på at mindske menneskers og miljøets eksponering for PFAS fra forurenede grunde spiller jordforureningsloven en vigtig rolle. Den omfatter jord, der på grund af menneskelig påvirkning kan have skadelig virkning på natur, miljø og menneskers sundhed. Forureningsundersøgelser ved forurenede grunde har derfor primært fokus på:

- Kontaktrisiko med forurenede jord (fx i daginstitutioner, boliger)
- Påvirkning af mennesker fra indeluft i boliger
- Grundvand
- Overfladevand (og natur)

Der er i Danmark særlig fokus på grundvand både selve grundvandsressourcen og som drikkevandsressource. Der er på alle områder knyttet til grundvand behov for vidensopbygning for at sikre den bedst mulige håndtering af risici som beskrevet ovenover.

Videnshul

Det er vidensstaskforcens vurdering, at det mest påtrængende behov i forbindelse med forurenede grunde, er vidensopbygning i forhold til risikoen for grundvandsforurening, da grundvandet er essentielt for drikkevandsforsyningen i Danmark.

Det er også centralt for risikohåndteringen, da det skaber stor usikkerhed i befolkningen, når grundvandet bliver påvirket og ultimativt rejser tvivl om, vandforsyningerne kan levere sundt drikkevand til forbrugerne. *En målrettet indsats på dette område kan bidrage til prioritering og fokusering af indsatsen for forurenede grunde.*

Der er også et stærkt ønske fra myndighederne om hjælp til at håndtere forureninger med PFAS i jord og indeluft, samt at rådgive og kommunikere borgere i kontakt med forureninger med PFAS bedst muligt. Det vurderes, at disse videnshuller bedst håndteres af regioner og kommuner i dialog med relevante styrelser og myndigheder (se også afsnit 4.9).

Som også beskrevet i afsnit ovenfor er der et påtrængende behov for landsdækkende data for baggrunds niveauer i relevante miljøer for at effektivt kunne skelne mellem hotspot og diffus forurening. Det vurderes, at internationale data ikke umiddelbart kan overføres til danske forhold.

Indeluft er også et område med stor bevågenhed, hvor der er et behov for at afklare, om det skal være et område med fokus ved forureningsundersøgelser. Regionerne har oplyst, at de selv vil igangsætte projekter for at belyse dette.

Der er i forhold til overfladevand allerede en række igangværende aktiviteter, som bl.a. har afdækket PFAS i overfladevand og potentiel kobling til forurenede grunde (Tsitonaki et al. 2023) og Vandda data/Danske regioner (2023, upubliceret rapport).

Ved transport og spredning af PFAS mod grundvand fra forurenede grunde er den vertikale transport helt central. Vertikal transport af forureninger mod grundvandet er styret af forureningskilden (udbredelse, sammensætning, mængde), de specifikke stofegenskaber, samspillet med de forskellige faser (luft, jord, vand), hydrologiske, geologiske og hydrogeologiske forhold (dæklag, infiltration). Samlet er dette i international litteratur betegnet som "source zone architecture". Især jordlagenes indhold af organisk kulstof og andre reaktive bestanddele samt fasefordelingen er afgørende for vertikal transport og forsinkelse/akkumulering af PFAS-forbindelser.

Desuden spiller den umættede zone en særlig rolle og ikke mindst overgangen mellem umættede og mættede forhold. Fordelingen under umættede forhold er meget kompliceret og der kan ikke drages generelle konklusioner på tværs af PFAS-forbindelser med forskellige funktionelle grupper eller længde af F-kæder. En af de styrende parametre er fordelingskoefficienten mellem vand og luft (K_{aw}) i grænselaget mellem mættede og umættede forhold. Denne adsorptionsparameter er ikke almindeligt kendt fra andre stofgrupper. Den er bl.a. afhængig af koncentrationen, og luft-vand interface arealet (interfacial area) (Gnesda et al., 2022).

De overfladeaktive egenskaber hos PFAS betyder også, at de kendte jord-vand fordelingskoefficienter, K_d , der for neutrale stoffer ofte bestemmes ud fra K_{oc} (der beskriver fordelingen mellem vand og organisk kulstof i jorden) under vandmættede forhold, ikke kan stå alene. Graden af sorption vil bl.a. afhænge af funktionelle grupper i de enkelte PFAS. Andre faktorer udover organisk stof som pH, lermineraller og vandets ionsammensætning vil også spille en rolle, men betydningen disse parametre vil afhænge af typen af PFAS (se Kapitel 2). Der eksisterer værdier for K_d i den internationale litteratur, se fx Rovero et al. (2021) og Nguyen et al. (2020). Værdierne udviser betydelig variation afhængig af bl.a. jordens indhold af organisk kulstof og ler/silt/sand. Der er ikke bestemt værdier for danske forhold (fx moræneler) og akvifermaterialer som fx smeltevandssand og kalkbjergarter.

Videnshul

Der er behov for bestemmelse af sorptionsparametre for relevante danske jorde og grundvandssedimenter. Det drejer sig især om moræneler, men også forskellige typer af betydende danske akvifermaterialer.

PFAS-forbindelsernes nedbrydningsveje er komplicerede og ikke altid kendte, og precursors giver en særlig udfordring. Dette står i skærende kontrast til den tidligere nævnte situation for klorerede ethener, hvor den anaerobe nedbrydningsvej med reduktiv deklorering er velbeskrevet. Derfor er metoder til at analysere for nedbrydningsprodukterne, karakterisering af relevante bakterier og gener, der koder for nedbrydning, veldokumenterede. Desuden er fx brug af stabile isotoper er indarbejdet i værktøjskassen ved større forureninger. Herved kan forekomst af specifikke stoffer kan knyttes direkte til nedbrydning af moderstoffer.

Videnshul

I forhold til andre kendte grundvandforurenende kemikalier, som klorerede opløsningsmidler, er der slet ikke en tilsvarende forståelse eller et sæt af værktøjer for PFAS. Derfor er der behov for udvikling af en værktøjskasse for dokumentation af PFAS nedbrydning/dannelse som kan benyttes ved større forureningsundersøgelser

På grund af PFAS-forureningernes samspil med jordmatricen og fasefordelingen og evt. omdannelse vil udvaskningen tage meget lang tid, og der vil ske en kromatografering af stofferne under den vertikale transport (Gnesda et al., 2022). Simple kortkædede og ultrakortkædede forbindelser forventes at transporteres hurtigt, mens langkædede forbindelser vil bindes i øvre jordlag og kun transporteres langsomt mod grundvandet. Målingerne i én fase vil ikke give en fyldestgørende beskrivelse af stoffernes fordeling i jorden, og risikovurderinger baseret på sådanne data vil derfor give et ufuldstændigt billede af PFAS-fordelingen. Det vil dermed ikke kunne afklares, hvorvidt fund i øvre jordlag på langt sigt udgør en grundvandsrisiko.

Forureningsflux (CMD – Contaminant Mass Discharge) har vundet stærkt indpas i Danmark og internationalt (Rosenberg et al., 2023; Frederiksen et al., 2023; Newell et al., 2023). Region Hovedstaden har fx indarbejdet det i deres "Risikoguide" for undersøgelser på forurenede grunde. Fokus har i særlig grad været på den horisontale forureningsflux i grundvandet og dens potentielle påvirkning af grundvandsressourcen eller vandforsyninger (Frederiksen et al., 2023). PFAS har skabt et behov for i højere grad at beregne den vertikale fluks, da mange af stofferne ikke er nået ned i grundvandet (endnu). Dette er ikke trivielt, og der mangler metoder til dette (Newell et al., 2023).

Ovenstående rejser også et behov for at simulere og forudsige den fremtidige risiko ved brug af analytiske eller numeriske modeller. Der er udviklet modeller for PFAS-forbindelsernes fordeling mellem forskellige faser, vertikale transport og forureningsflux (Brusseu et al. 2019; Brusseu et al., 2022; Guo et al., 2022). Modellerne benytter de basale stoftransportligninger og sorptionsligninger med anvendelse af K_{aw} og K_d . Modellerne er i ringe grad afprøvet på konkrete forurenings-sager og slet ikke i Danmark. Det vurderes også, at en opskalering fra laboratorieundersøgelser til heterogene feltforhold vil være en meget stor udfordring.

Videnshul

Der er et stærkt behov for at udvikle metoder, modeller og simulere PFAS-forbindelsernes opførsel og især vertikale transport og forureningsflux med brug af koncentrationer, stofkonstanter og parametre, der er relevante for danske forhold.

Den samlede forståelse af transport og skæbne af PFAS i jord er ikke indarbejdet i undersøgelser af PFAS-forureninger. Det fører til et stærkt behov for at arbejde med en fælles forståelsesramme – en såkaldt konceptuel model. En sådan model kan være på forskellige niveauer. Den generelle konceptuelle site model er mere en ramme for transport og skæbne, og for at den kan bruges på det mere specifikke niveau skal den føres over på et kvantitativt eller semikvantitativt niveau for de specifikke PFAS-forbindelser. Ved at koble den overordnede ramme med den konkrete lokalitet, kan der udarbejdes en site specifik konceptuel model. Det er målet at udvikle sådanne forståelsesmodeller for PFAS' transport og skæbne under danske forhold.

Videnshul

Der er et stærkt behov for at udvikle konceptuelle modeller for PFAS' transport og skæbne under danske forhold. Det kan dreje sig om typiske geologier og typiske PFAS-forbindelser, samt deres samspil.

En sådan tilgang, som foreslået i projekt 9 i Kapitel 5, vil klarlægge behovet for yderligere viden ved brug af en fælles referenceramme. Dermed kan behov for fx viden om PFAS-kilder, PFAS' egenskaber, bedre forståelse af processer, bestemmelse af parametre eller modeludvikling prioriteres på en hensigtsmæssig måde.

Endelig skal det i forbindelse med PFAS forurenede grunde nævnes, at der er behov for at foretage afværge og/eller oprensning, når forureningen udgør en risiko for miljø og mennesker. En del afværgemuligheder vil være identiske med andre stofgrupper fx restriktioner på arealanvendelse, afskæring eller afgravning. Ved det sidste vil den videre håndtering af jorden være en udfordring. Implementering af afværgeteknologier bliver en stor udfordring. Der er en del udenlandske erfaringer med afværgeteknologier (Newell et al. 2021; Newell et al., 2022), og der vil være behov for at hjemtage ny viden og igangsætte pilotprojekter.

Videnshul

Der er behov for en større forsknings- og udviklingsindsats før der er effektive og bæredygtige afværgeteknologier tilgængelige på det danske marked

Regionerne har, som en del af finansloven for 2023, fået 10 mio. kr til at tage hul på denne opgave og er i gang med at definere udbud til igangsættelse i 2024. Derfor foreslår videnstaskforcen ikke konkrete projekter i 2024 på dette område.

4.8 Toksikologiske effekter og risikovurdering af PFAS i mennesker og miljøets organismer

PFAS har en række dokumenterede toksikologiske effekter i særlig grad for PFOS og PFOA, men også nogen viden om ca. 20 andre PFAS. For resten af stofgruppen findes i dag meget begrænset toksikologisk eller økotoxikologisk viden. Der er derfor store videnshuller mht. de toksikologiske effekter for hele gruppen af PFAS, men da formålet med denne rapport er at anviser bud på, hvordan eksponeringen kan reduceres, er toksikologien kun inddraget i mindre grad. I det følgende er de sundhedsskadelige effekter af PFAS gennemgået, for hvilke der findes human evidens, og som indgår i den nuværende humane risikovurdering af PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS.

4.8.1 Effekt af PFAS på mennesker

Som vist i figur 2.3, er der påvist mange forskellige effekter af PFAS på mennesker som fx hormonforstyrrende, kræftfremkaldende, immuntoksiske og metaboliske effekter i forsøgsdyr og mennesker. I modsætning til, hvad der er situationen for mange andre kemikaliegrupper, findes der rigtig meget viden om effekter på mennesker – i særlig grad fra områder med kraftig forurening fx omkring produktionsvirksomheder, hvor beboere har været højt eksponerede og helbredssituation derfor efterfølgende undersøgt nøje. Disse studier samt øvrige epidemiologiske undersøgelser dannede baggrund for den nye risikovurdering af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS, der blev lavet af EFSA i 2020 og som medførte, at det tolerable indtag blev reduceret markant (EFSA, 2020). Som nævnt i Kapitel 2 giver dette store udfordringer for myndighederne, da både mennesker og miljø generelt er for højt eksponeret.

I det følgende er gennemgået de sundhedsskadelige effekter, som anses for kritiske, og som der foreligger en relativ solid evidens for. Sammenhængen mellem PFAS-eksponering og helbred hos mennesker er grundigt gennemgået af både amerikanske, europæiske og danske myndigheder. For at kunne rådgive læger og borgere nedsatte Sundhedsstyrelsen i 2021 en dansk ekspertgruppe mhp. afdækning af helbredseffekter af PFAS.

Sundhedsstyrelsens rapport "Helbredseffekter af PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS (sst.dk)" (SST, 2023) konkluderer, baseret på de foreliggende epidemiologiske undersøgelser, at der er en væsentlig mistanke om, at eksponering for PFAS øger risikoen for:

- Nedsat antistofrespons i forbindelse med vaccination hos børn og voksne (PFOA, PFOS og PFHxS),
- Forhøjet kolesterol hos børn og voksne (PFOA, PFOS og PFNA)
- Små nedsættelser i fødselsvægt (PFOA, PFOS og PFNA)
- Øget risiko for nyrekræft hos voksne (PFOA)

Det nedsatte antistofrespons, det forhøjede kolesterol og reduktion i fødselsvægt er påvist i normalbefolkningen dvs. i forbindelse med baggrundseksponering, mens nyrekræft hyppigst er påvist hos mennesker fra stærkt kontaminerede områder. Sundhedsstyrelsens rapport er baseret på en gennemgang af den toksikologiske profil for PFAS, som det amerikanske Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) publicerede i maj 2021 (ATSDR, 2021), EFSA's risikovurdering af PFAS fra 2020 og National Academy of Sciences, Engineering and Medicine's (NASEM) vejledning om eksponering for PFAS, testning og klinisk follow-up (NASEM, 2022) samt reviews publiceret efter rapporternes udgivelse.

Trods omfattende forskning i helbredseffekter af PFAS er den nuværende viden på flere områder begrænset, og der er begrundet formodning om, at der kan være andre endnu ikke-identificerede helbredseffekter, bl.a. fordi undersøgelser ikke har haft den fornødne styrke eller opfølgningstid til at undersøge sjældne helbredseffekter. Derudover fremgår det af ovenstående liste, at helbredsundersøgelser har fokuseret på få individuelle PFAS. Der er derfor fortsat behov for forskning, som undersøger helbredseffekter af PFAS og fx risiko for forhøjet blodtryk i graviditeten/svangerskabsforgiftning, forøget kolesterol, kræft og hjertekarsygdom.

Der er stadig større mangler i vores viden om helbredseffekter ved eksponering for de kortkædede PFAS og erstatningsstofferne, idet der kun er begrænset viden på området og ingen autoritative reviews. Der mangler således konkret viden om helbredseffekter på mennesker ved eksponering for de nyere kortkædede PFAS og øvrige erstatningsstoffer såsom GenX (HFPO-DA).

Øget viden om effekten på mennesker af de nyere kortkædede PFAS og erstatningsstoffer er essentiel i en sikker og troværdig risikorange af stofferne i indsatserne for at begrænse effekten af eksponeringen, når de gamle langkædede PFAS erstattes af nyere stoffer.

Videnshul

Videnstaskforcen finder, at en videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om humane helbredseffekter af de nyere kortkædede PFAS og øvrige erstatningsstoffer vil kunne bidrage til handlingsanvisninger

Derfor foreslås igangsat et projekt i 2024 på dette område, se projektforslag nr. 11 i kapitel 5.

4.8.2 Økotoksikologiske effekter

Selvom antallet af økotoksikologiske studier af PFAS i *in vivo* og *in vitro* laboratorieforsøg er steget markant det seneste årti, er mulige økotoksikologiske effekter af de fleste PFAS stadig ikke belyst for de fleste organismegrupper.

Videnshul

Specielt mangler der viden om effekter på økosystemniveau og viden om effekter af PFAS-blandinger samt nyere kortkædede PFAS. Der mangler også viden om effekter på højteksponerede dyr.

Hovedparten af studierne dækker effekter af PFOS og PFOA på ferskvandsarter. Dokumenterede effekter dækker mortalitet (ved meget høj eksponering), membranskader, nedsat vækst og udvikling, oxidativt stress, reproduktive skader, hormonforstyrrelser samt effekter på nerve- og immunsystemer (OSTP, 2023).

Grundet det store fokus på de humane sundhedsaspekter, bliver fund af PFAS i miljøet, herunder i biota, ofte relateret til hvorvidt de fundne koncentrationer udgør en risiko for mennesker gennem fødeindtag af fx planter, fisk, skaldyr eller vildt. Mindre fokus rettes som oftest på, hvorvidt de fundne koncentrationer udgør en selvstændig risiko for planter og dyr.

De lave miljøkvalitetskrav for PFOS og dets derivater i jord og overfladevand yder sandsynligvis en høj grad af beskyttelse for biota og for andre PFAS, men dette er ikke belyst tilstrækkeligt.

Videnshul

Særlig opmærksomhed bør rettes mod de PFAS, der måske ikke umiddelbart udgør en humantoksikologisk risiko, men som via deres fysiske- kemiske egenskaber lettere vil kunne optages i biota.

Her vil de kunne gøre skade på andre receptorer og markører end de, der typisk undersøges for hos mennesker. Som et eksempel på ovenstående kan fremhæves, at det fastsatte vandkvalitetskrav for PFOS på 0,65 ng/L i ferskvand og 0,13 ng/L i saltvand er fastsat med henblik på at beskytte mennesker for uacceptabel PFAS-indtag gennem konsumfisk. EU fastsatte i samme data-dossier en økotoksikologisk baseret grænse (Environmental Quality Standard – EQS) for PFOS i ferskvand på 230 ng/L og 23 ng/L i saltvand (EU 2011). Begge de økotoksikologiske kvalitetskriterier (EQS) er fastsat på baggrund af økotoksikologiske data og er målrettet fastsat med henblik på alene at beskytte pelagiske organismer. For disse vil de nuværende miljøkvalitetskrav for PFOS altså klart være beskyttende. Inden for kort tid forventes det, at EU fremkommer med et EQS for summen af 24 PFAS og relateret til PFOA ækvivalenter (se også kapitel 2).

På jordområdet vurderede Jensen et al. (2022), at jordkoncentrationer under henholdsvis 16 µg PFOS/kg og 2 µg PFOA/kg ville sikre jordbundsorganismer imod uacceptable økotoksikologiske effekter. Det indikerer, at det gældende jordkvalitetskriterium på 10 µg/kg for summen af fire PFAS (PFOS, PFOA, PFHxS og PFNA) også yder økotoksikologisk beskyttelse overfor jordbundsorganismer.

4.9 Overvågningsstrategi for PFAS

Nedenfor beskrives henholdsvis miljøovervågning samt human biomonitorering med fokus på, hvor en overvågning vil kunne foretages. Dertil kommer overvågning af, hvilke stoffer der tillades, anvendes og forekommer i både forbrugerprodukter og i industrielle produkter og processer. I det foreslåede projekt 2 i kapitel 5, vil der for udvalgte produkter/materialer kunne tilvejebringes nogle data for danske forhold. Den svenske kemikalieinspektion (KEMI) har desuden igangsat et arbejde for at udrede, hvordan man vil kunne implementere, dvs. kontrollere, den planlagte EU PFAS-restriktion. Overvågningsstrategi for PFAS i produkter og materialer vil dermed ikke blive beskrevet yderligere i det følgende, men er et vigtigt område at få belyst i en kommende PFAS-indsats.

4.9.1 Miljøovervågning

Overvågningen af PFAS i miljøet kan have flere formål:

1. Der er interesse for at følge den tidsmæssige udvikling af PFAS-koncentrationer i miljøet, specielt efter en regulering, for at se om koncentrationen falder som ønsket. Til denne type overvågning vælges der typisk nogle (bio-)indikatorer med forholdsvis høje PFAS-koncentrationer, der kan indsamles regelmæssigt uden at true eksisterende bestande.
2. For nogle PFAS er der defineret grænseværdier, fx for PFOS i grundvand, overfladevand og biota (se kapitel 2). PFAS-indholdet overvåges i relevante medier for at sikre, at gældende grænseværdier er overholdt eller for at igangsætte aktioner, hvis dette ikke er tilfældet.
3. Den økotoksikologiske risikovurdering af PFAS er baseret på at sammenligne eksponeringsniveauer med effektive niveauer. Til dette formål er det relevant at indsamle eksponeringsdata for flere arter og flere steder, snarere end gentagne analyser af den samme art.

4. Miljøovervågningen kan også give vigtig viden om PFAS-udbredelsen og -skæbne i miljøet, fx om bioakkumulering i bestemte arter eller fordelingen mellem vand, luft, jord etc. Ofte er det en sidegevinst, mens hovedformålet med overvågningen er et eller flere af punkterne 1.-3. Overvågningsdata kan også bruges til at modellere PFAS i miljøet.

Som beskrevet i denne rapport, er PFAS meget udbredt i miljøet. Afhængigt af stoffernes kilder og fysisk-kemiske egenskaber kunne det være relevant at måle forskellige PFAS i forskellige typer medier. Samtidig ønskes der en harmonisering i overvågningen, så resultaterne kan sammenlignes mellem forskellige steder, medier og over tid. Da prøvetagningen og den kemiske analyse er dyr, fokuseres indsatsen typisk der, hvor der er lovmæssige krav, fx i forbindelse med EU's Vandrammedirektiv, hvor PFOS er et prioriteret farligt stof, eller EU's Drikkevandsdirektiv. Målinger i marine fisk indgår også i EU's Havstrategidirektiv.

PFAS er inkluderet i to underprogrammer af det danske overvågningsprogram NOVANA, dvs. i delprogrammet for miljøfarlige stoffer (MFS) i overfladevand og for punktkilder og i delprogrammet for grundvand. I MFS-programmet måles PFAS i marine og ferskvandsfisk, renseanlæg og regnbetingede udledninger (med fælleskloak). PFAS-stoflisten for målinger i fisk omfatter kun 7 enkeltstoffer, mens listen til spildevands- og grundvandsundersøgelser omfatter hhv. 12 og 22 stoffer.

Selvom miljøkvalitetskravene gælder for PFOS og PFOS-derivater, analyseres der reelt kun for PFOS. En række precursors (fx sulfonamid derivater, Me/Et-FOSEs/FOSAAs) bliver der dermed ikke analyseret for i danske matricer. Et nyligt studie ser på eksponeringsveje for PFAS for fugle der samler føde fra både det akvatiske og det terrestriske miljø. Heraf ses det at både disse stoffer, samt neutrale PFAS fra luft (FTOHs) udgør en større andel af eksponeringen. Forekomsten af FTCA'erne er et tegn på at der er FT-precursors tilstede (Hopkins et al. 2023).

Videnshul

Det er relevant at udvide listen af stoffer, der måles for i overvågningsprogrammer, specielt for fisk, hvor stoflisten p.t. er begrænset. Derved kan der skabes viden om akkumulering af andre PFAS i biota – en viden der også kunne være relevant fra en fødevarer- og eksponeringsvinkel.

Der er stort behov for at analysere graden af standardisering af PFAS-stoflister i forskellige programmer i forhold til en evt. differentiering i henhold til stoffernes fysisk-kemiske egenskaber. Mens det er ønskeligt at kunne sammenligne på tværs af matricer, indebærer denne tilgang risikoen for at bruge ressourcer på analyser af stoffer, hvis fysisk-kemiske egenskaber ikke gør det sandsynligt, at de forekommer i den pågældende matrice.

Samlet set bør det overvejes, om der er behov for en bedre og tættere overvågning af PFAS i vandmiljøet samt i det terrestriske miljø, gennem fx effekt-baseret overvågning af PFAS-specifikke indikatorer. Disse kan foruden bioakkumulering være (molekylære) markører for eksponering og/eller økotoxikologisk respons. En sådan overvågning vil dog kræve, at der først igangsættes et studie, der er målrettet mod at identificere eventuelle PFAS-specifikke indikatorer. Udvalgt rigtigt kan disse foruden en forbedret miljøbeskyttelse indgå som "early warning systems" eller bioindikatorer for forurening, der parallelt med kemiske analyser, kan give et mere holistisk billede af den samlede PFAS-forurening.

Der arbejdes p.t. på konceptet og udviklingen af et "early warning system" i EU Horizon Europe projektet PARC, dog med bred tilgang og ikke kun for PFAS. Suppleres den nuværende overvågning af fisk med bioindikatorer i arter, der er mere stationære end fisk, vil resultaterne også bedre kunne bruges til lokal kildeopsporing – også i tilfælde hvor koncentrationerne er under de nuværende detektionsgrænser i vandmatricen. Studier med relevante monitoringsmarkører og monitoringsarter bør derfor evalueres for at finde egnede bioindikatorer, der kan indgå som biologiske effekt-baseret overvågningselement(er) i et varselingsystem.

I en sådan evaluering bør en sammenligning med passive samplere også indgå som et element, eftersom disse i visse tilfælde kan vise sig at være en bedre og mere retvisende metode til at belyse den samlede PFAS-eksponering (Barber et al. 2023). I PARC-regi er der igangsat et mindre studie i Nivå Bugt, hvor PFAS (inkl. precursors) følges fra mulige kilder (renseanlæg) til det kystnære vand, med målinger i muslinger

og fisk og tests af passive opsamlere parallelt til vandmålinger. Desuden indsamler PARC eksisterende PFAS-miljødata fra alle de europæiske lande i en "baseline"-undersøgelse. PARC-projektet kan danne en ramme om projekt nr. 10 i kapitel 5, som vil etablere niveauer for i forvejen forekommende PFAS i Danmark.

Den igangværende NOVANA-overvågning af fisk bør fortsætte for at følge den tidsmæssige udvikling af PFAS-koncentrationer og generere data i forhold til Vandrammedirektivet. Det er ligeledes vigtigt at fortsætte de andre overvågningsserier, for at tage højde for tidsmæssige ændringer i PFAS-koncentrationer og -spektret samt risikoen for human eksponering gennem drikkevand. Det bør overvejes, om overvågningen af PFAS i det akvatiske miljø bør suppleres med bioindikatorer fra det terrestriske miljø.

Videnshul	<p>Der er behov for at oprette tidsserier af relevante PFAS, fx gennem fortsættelse af den igangværende NOVANA-overvågning af fisk og overvågning af drikkevand. Hermed skal der sikres, at reguleringen har den ønskede effekt på miljøet, og den humane eksponering skal kontrolleres.</p> <p>Der er behov for at supplere overvågningen af PFAS i det akvatiske miljø med bioindikatorer fra det terrestriske miljø.</p>
------------------	---

Overvågningsstrategierne hænger tæt sammen med egnede analysemetoder til de forskellige overvågningsformål. Analysemetoderne er nærmere beskrevet i afsnit 4.6, hvor der også er identificeret videnshuller omkring en optimering af analysemetoderne for enkeltstoffer (PFAS target analyser) og PFAS Total (sum parametre), på både teknisk og operationelt plan. Denne optimering skulle helst kunne munde ud i en praktisk implementering i overvågningsprogrammerne, såsom NOVANA, hvis dette anses for relevant.

Videnshullerne foreslås lukket gennem projekt nr. 8, som primært handler om et samspil mellem target analyser og sum parametre. Projektet vil også indeholde et element om forskellige PFAS-stoflister og spørgsmålet om standardisering vs. differentiering.

4.9.2 Human biomonitoring

Talrige amerikanske og europæiske biomonitoreringsprogrammer har igennem tiden målt PFAS i forskellige befolkningsgrupper. Mest kendt er nok den amerikanske National Health and Nutrition Survey (NHANES) som gentagne gange har målt PFAS hos et tilfældigt udsnit af amerikanere. Dette er forsøgt gentaget i et stort europæisk biomonitoreringsprogram (HBM4EU)⁶. Cirka 2000 europæiske teenagere fra 9 forskellige lande har fået målt PFAS, der dog ikke inkluderede danske teenagere.

I det efterfølgende EU-program (PARC) planlægges der yderligere PFAS-målinger i den europæiske befolkning. For Danmark overvejes der PFAS-målinger ica. 300 danske teenagere fra Copenhagen Puberty Study. En nyligt publiceret litteraturgennemgang gennemgik 29 rapporter indeholdende 18.231 individer fra 19 danske populationer, der havde fået målt PFAS fra 1988 til 2021 (Hull et al., 2023). PFOS og PFOA-koncentrationerne i blodet på danskere steg fra 1988 til slutningen af 1990'erne efterfulgt af et fald især efter stoffernes regulering omkring 2006. Gennemgangen viste også, at kun få PFAS er målt, og at der mangler viden om eksponering for især de nyere kortkædede PFAS, der i stigende grad erstatter de oprindeligt brugte PFAS, samt specifikke erstatningsstoffer såsom GenX (HFPO-DA). Desuden er det relevant at fortsætte målingen af de langkædede PFAS i blodet hos danskere, da de er særligt bioakkumulerende og p.t. ikke udfaset for fremadrettet løbende at følge udviklingen i eksponeringen hos den danske befolkning.

Videnshul	<p>Der mangler en national strategi for den fremadrettede biomonitorering af danskerne. En national fortløbende biomonitoreringsplan vil bidrage til handlingsanvisninger ved at sikre, at myndigheder kan følge eksponeringen og dermed om indsatserne mod eksponering virker.</p>
------------------	---

Den manglende viden blev evident i forbindelse med forurenings sagen i Korsør, da de eksponerede borgere skulle rådgives om deres PFAS-eksponering. Der fandtes ikke nyere PFAS-blodmålinger på "almindelige" danskere, og ved rådgivningen blev PFAS i blodet hos de berørte sammenlignet med PFAS i blodet hos danskere med covid-19 i 2019 (Grandjean et al., 2020). Disse patienter udgør dog næppe et godt sammen-

⁶ <https://www.hbm4eu.eu/hbm4eu-substances/per-polyfluorinated-compounds/>

ligningsgrundlag for rådgivning. Det er derfor vigtigt, at der gennemføres løbende og gentagen biomonitorering af danskere. Dels for at vurdere eksponering og løbende følge udvikling i eksponering. Det vil i den forbindelse især være vigtigt at måle PFAS hos danske i den fertile alder, da deres PFAS vil påvirke fremtidens generationer.

Videnshul

Der mangler således konkret viden om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning nu og i fremtiden, og særligt mangler viden om eksponering for især de nyere kortkædede PFAS og specifikke erstatningsstoffer

Biomonitorering for PFAS i den danske befolkning vil sikre, at myndigheder har konkret viden om blodniveauerne af PFAS, såvel for de kendte PFAS som for de nyere kortkædede PFAS og de specifikke erstatningsstoffer såsom GenX. Biomonitorering på nationalt niveau vil kunne sikre viden om indsatser mod eksponering virker, ved at følge om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning fortsat falder, ligesom man vil kunne følge om de nyere kortkædede PFAS, der i stigende grad erstatter de oprindeligt brugte PFAS, kan genfindes i danskere.

Videnstaskforcen finder, at udarbejdelse af en national biomonitoreringsplan vil kunne bidrage betydeligt til handlingsanvisninger. Det er ønskeligt med en national handlingsplan for fortløbende biomonitorering af danskere.

For at adressere videnshullerne beskrevet i dette afsnit foreslår videnstaskforcen derfor Projekt 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning PFAS.

4.10. Risikostyring, beslutningsstøtte, og kommunikation

Når en potentiel forurening er verificeret og kortlagt, indtræder en trinvis handlings- og beslutningskæde. Den er baseret på en risikovurdering, dvs. risikoidentificering og kvantificering, efterfulgt af en håndteringsstrategi, dvs. en vurdering og prioritering af konkrete indsatser. Ved jordforurening kan en håndteringsstrategi fx indeholde afværgetiltag, som bortgravning, oprensning eller stabilisering. For berørte borgere kan handlingsstrategier fokusere på fx rådgivning, screening, udredning og behandling baseret på viden om sædvanlige PFAS-niveauer samt risici ved forhøjet PFAS-eksponering.

I hele processen, der leder frem til konkrete beslutninger om håndtering og kommunikation, viser erfaringer fra andre problematiske stoffer og komplekse forureningstilfælde, at transparens i beslutningsprocessen, herunder i usikkerhedsvurderinger, er af afgørende betydning for en omkostningseffektiv og troværdig risikostyring (EEA, 2001; EEA 2012).

4.10.1. Beslutningsstøttesystem og prioriteringsværktøj til miljøforurening med PFAS

Håndtering af PFAS-forurening i miljøet er generelt meget kompleks, dels fordi forureningen er så udbredt, dels fordi PFAS er en stor gruppe af kemikalier med en miljømæssige skæbne, opførsel og effekter, der ikke umiddelbart kan sidestilles med andre mere kendte organiske forureningsstoffer.

For at kunne prioritere indsatsen med henblik på at mindske eksponering til PFAS samt gennemføre risikohåndtering i praksis i de områder, hvor sandsynligheden for uønskede effekter er mest uacceptabel, kræver det, at beslutningstagere kan vurdere den samlede risiko for alle relevante receptorer med beskyttelsesbehov. En given miljøkoncentration eller mængde af PFAS vil ikke udgøre den samme risiko på alle arealer, ligesom fx én type afværge ikke altid kan beskytte alle receptorer. Dels vil der på forskellige lokaliteter være forskel på, hvor mange relevante receptorer, der har beskyttelsesbehov, dels vil de specifikke jordbundsforhold samt forureningens alder og kompleksitet kunne have stor indflydelse på behovet og mulighederne for afværge. Som en konsekvens af dette kan det være svært at drage tværgående konklusioner og prioriteringer på baggrund af fastsatte generiske aktionsværdier.

Flere lande, inkl. Danmark, har udviklet beslutningsstøttesystemer og prioriteringsværktøjer, der belyser enkelte eller flere relevante aspekter ved jordforurening, fx grundvandsbeskyttelse, udvaskning til recipienter, human eksponering og i nogle tilfælde også jordbundsøkosystemer. Der er dog begrænset vejledning til, hvordan resultaterne fra disse forskellige værktøjer kan indgå i en samlet prioriteringsindsats på tværs af forurenede arealer, hvor der fx også inddrages risikoaspekter forbundet til direkte eksponering af mennesker og miljø. Og væsentligt nok er der ingen multikriteriebaseret system(er) til at vægte og sammenholde risici på tværs af matricer og forureninger.

Erfaringer fra lande, der har udviklet beslutningsstøttesystemer og forureningsbaserede klassifikationssystemer, viser, at disse varierer meget og kan dække alt lige fra kvalitative simple metoder til mere avancerede og komplekse kvantitative metoder. Samtidig er interessant-inddragelse en hjørnesteen i nogle typer af beslutningsstøttesystemer. Et svensk/tysk studie (Wanner et al., 2023) sammenlignede de to systemer i de to lande og fandt, at den svenske metode, der primært er et kvalitativt tekstbaseret BSS, kun klassificerede halvdelen af 51 belgiske forurenede grunde, som havende behov for oprensning, mens den tyske metode, der er et kvantitativt model-baseret BBS, fandt at omtrent 85% af alle grunde burde oprenses. Fælles for de fleste redskaber og beslutningsstøttesystemer er, at de som oftest ikke er udviklet med special fokus på PFAS-forurening.

4.10.2 Risikokommunikation ved miljøforurening med PFAS

Risikokommunikation ift. miljøområdet er formidling af viden om risici til befolkningsgrupper, som har haft eller kan få en miljømæssig eksponering, og er rettet mod at sikre transparent og afbalanceret viden om betydningen af eksponeringen samt eventuelle konsekvenser (MST, 2004).

Ideelt varetages risikokommunikation ved en PFAS-forurening på basis af en risikovurdering og -håndteringsstrategi. I praksis er der betydeligt fokus fra berørte borgere og medier øjeblikkeligt efter, at forureningen identificeres. Dette medfører et behov for, at myndighederne og andre involverede fagfolk varetager en borgerrettet risikokommunikation tidligt og samtidigt med, at risikovurderingen igangsættes.

Dette betyder implicit, at det kan være nødvendigt at risikokommunikere på baggrund af begrænset viden og med mange usikkerheder, fx omkring risikokilder og eksponering. Samtidigt er det væsentligt at sikre troværdig, transparent risikokommunikation målrettet såvel berørte grupper som offentligheden. Kommunikation til enkeltindivider skal informere om absolut risiko, da der er stor forskel på populationsrisiko (dvs. risiko på gruppeniveau) og individrisiko (dvs. den enkelte persons reelle risiko for at udvikle sygdom). I forhold til PFAS-eksponering er det fx væsentligt at tydeliggøre, at 20 % øget risiko for nyrekræft på gruppeniveau, svarer til en øget individrisiko på 0,2-0,5 %, da nyrekræft er en relativ sjælden sygdom. Det er dermed i risikokommunikationen vigtigt at oversætte til reelle risici for den enkelte og sikre forståelse for, at eksponering ikke er lig med sygdom, selvom borgere ofte oplever risiko som en diagnose, der definerer dem som syge (Petersen et al., 2020).

Videnskabelig epidemiologisk litteratur har ofte ikke fokus på absolut risiko, hvorfor der kan være betydelige udfordringer i at finde og oversætte relevante data til brugbar risikokommunikation. Derudover er der i risikokommunikationen en betydelig opgave i at oversætte generelle og ofte modstridende oplysninger om effekter på mennesker og miljø til klar kommunikation om den konkrete betydning for individet.

Det virker måske umiddelbart enkelt, at risiko kan defineres som "sandsynligheden for en uønsket hændelse", og kan beskrives som et produkt af sandsynligheden for en hændelse og konsekvensen deraf, men i praksis er der ofte videnskabelige usikkerheder, som skal præsenteres afbalanceret, så grundlaget for risikovurderingen er tydeliggjort. Det er også vigtigt at tydeliggøre, hvorfor der er forskelle i risikovurdering fra myndigheder og læger, der med individfokus, primært beskriver en begrænset individrisiko modsat fra forskere, der beskriver en populationsrisiko.

Den måde hvorpå mennesker forstår deres egen personlige risiko er meget kompleks og tit meget anderledes end den måde, hvorpå eksperter vurderer risiko (Edwards et al., 2013). Dette udgør en stor udfordring for professionel sundhedskommunikation. Ydermere er det vigtigt at forstå, at udefrakommende risici, som fx PFAS-eksponering, som borgeren selv er magtesløs overfor, vil opleves betydeligt voldsommere end selvvalgte risici (fx rygning). Det gælder også selvom de selvvalgte risici medfører en betydeligt større absolut risiko (MST, 2004). Empati, forståelse og plads til svære følelser er væsentligt, da de berørte borgere er i en krisesituation, og deres reaktioner afspejler dette. Endelig vil medieopmærksomhed og eventuel voldsom omtale yderligere belaste de berørte borgere, som skal have mulighed for at kontakte relevante fagfolk med deres spørgsmål.

I videnstaskforcens fortsatte arbejde frem mod handlingsanvisninger i slutningen af 2024 vil hensynet til risikokommunikation komme til at spille en afgørende rolle, men der er ikke inkluderet et projektforslag til dette emne i projektkataloget i kapitel 5.

4.10.3 Myndighedernes rolle i risikohåndtering og risikovurdering

Når en miljøforurening opdages, vil flere forskellige interessenter skulle deltage i håndteringen, og der er overlap mellem de forskellige instansers opgaver. Ansvarsfordelingen kan afhænge af karakteren af forureningen og området. Der er på miljøområdet en kompleks lovgivning med flere aktører, hvorfor mange forskellige myndigheder er involveret i overvågning og håndtering af PFAS-forurening, således har kommuner, regioner samt adskillige statslige styrelser hver en særskilt opgave. Danske Regioner beskriver ansvarsfordelingen således, i overensstemmelse med jordforureningsloven: "Kommunen har de fleste myndighedsopgaver og borgerrettede opgaver indenfor miljølovgivningen, herunder opgaven som tilsynsmyndighed, miljøgodkendelse og naturbeskyttelse. Regionerne skal kortlægge/registrere, prioritere og forvalte den offentlige indsats overfor jordforurening og står for en eventuel oprydning af grunden, men kun ved forurening fra punktkilder, hvor forureneren ikke kan stilles til ansvar samt at forureningen udgør en risiko for grundvand (kommende drikkevand), vandmiljø eller menneskers sundhed i boliger, børneinstitutioner og på offentlige legepladser. Miljøstyrelsen har de overordnede forpligtigelser herunder udarbejdelse af planer, tilsyn med kommunerne og overvågning af miljøfarlige stoffer i miljøet, mens Fødevarestyrelsen overvåger, kontrollerer og håndterer forureninger i fødevarer og foder. Styrelsen for Patientsikkerhed rådgiver statslige, regionale og kommunale myndigheder i sundhedsmæssige forhold, når der er fundet PFAS i miljøet, mens Sundhedsstyrelsen udarbejder vejledninger om de helbredsmæssige effekter af at være eksponeret for miljøfarlige stoffer og eventuelle undersøgelser for borgere, der har været eksponeret derfor." (Danske Regioner, 2023b – understregning indføjet af videnstaskforcen).

Med så mange aktører, der skal bidrage til og samarbejde ved en PFAS-forurening, stilles myndighedernes risikostyring (risikovurdering, -håndtering og -kommunikation) i en vanskelig situation. Den gældende lovgivning ikke nødvendigvis dækkende for alle typer af PFAS-forureninger – fx kan reduktion af PFAS i baggrunds niveau fra diffus forurening kan ikke håndteres under den gældende jordforureningslov. Der opstår derved nemt både administrative og tekniske barrierer ved håndtering af allerede forekommende diffus forurening i miljøet. I forhold til forebyggelse af fremtidige diffuse forureninger og kilder dertil fx emissioner kræver det andre typer af administrative indgreb, lovgivning, udfasning mv.

Erfaringer fra miljøsager som fx Korsør-sagen har vist, at de enkelte miljø- og sundhedsfaglige styrelser varetager deres faglige opgaver, men opgaven med at varetage risikokommunikationen til de berørte borgere og offentligheden blev ikke inkluderet. Sundhedsstyrelsens PFAS-ekspertudvalg, som blev oprettet i efteråret 2021, pegede derfor i en gennemgang af Korsør-sagen på, at borgerne var 'faldet mellem stole', da de nuværende rammer for håndtering af miljømedicinske sager ikke har fokus på en tidlig vurdering af den humane eksponering og eventuelle sundhedsrisici.

Når en myndighed konstaterer en miljøforurening, har miljømyndighederne oplysningspligt overfor borgerne, men formidling af eventuelle sundhedsrisici forbeholdes generelt sundhedsmyndighederne. Episoder med fund af forhøjede niveauer af PFAS i drikkevand har tydeliggjort, at disse oplysninger formidles til befolkning uden formidling af eventuelle sundhedsrisici samt sundhedsfaglig rådgivning. En manglende risikokommunikation fra myndigheder kan i værste fald skabe unødigt frygt og påvirke det mentale helbred og livskvaliteten hos den berørte befolkning. Der er behov for koordinering og styrket tværsektorielt samarbejde ved håndtering af miljømedicinske sager. Det skal tydeliggøres, at myndighedsansvaret inkluderer varetagelse af risikokommunikationen til både berørte borgere og offentligheden ved miljømæssige eksponeringer af offentlig interesse. Derudover er det ønskeligt med samarbejds- eller beredskabsplaner for håndtering af forurening på miljøområdet eller offentlig bekymring derfor. En samarbejdsplan skal sikre at de forskellige aktører straks orienterer øvrige parter, at alle parter er klar over ansvars- og rollefordeling samt at der tidligt igangsættes en velovervejet og transparent kommunikation til offentligheden og til berørte borgere. Myndighederne kan med fordel anvende en fælles beskrivelse af og tilgang til kommunikation af risiko, således at kommunikation er konsistent på tværs af styrelser.

Videnstaskforcen vil derfor i det fortsatte arbejde i 2024 have fokus på, om der er behov for: 1. at myndighederne opdaterer grundlaget for de involverede miljø- og sundhedsfaglige myndigheders opgaver også med hensyn til risikokommunikation; 2. at der ikke er uklarheder og huller i lovgivningen på miljøområdet, så det fremover er muligt for myndighederne at håndtere alle typer af forureninger, herunder diffus forurening.

4.11. Behovet for socioøkonomiske analyser

PFAS-forureningen er nu så omfattende, at der vil blive behov for en prioritering af hvilke tiltag, der på kort og lang sigt mest effektivt kan reducere de uønskede effekter på mennesker, dyr og ressourcer. Samtidig er PFAS forureningen ikke den eneste krise, der kræver økonomi for, at der sker handling.

For at understøtte de politiske beslutninger, er der behov for socioøkonomiske beregninger for hvilke tiltag, der giver mest risikoreduktion for nuværende og kommende generationer. Beregningerne kunne være en opdatering af Nordiske Ministerråd's rapport 'The cost of inaction : A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS' (Nordisk Ministerråd, 2019), som primært analyserede situationen for de fire PFAS: PFOA, PFNA, PFHxS og PFOS.

Opdateringen vil kunne bestå i at tage højde for nye grænseværdier, indbringe data for forekomst, eksponering og toksicitet af både velkendte og nye PFAS samt medtage omkostninger, der ikke var indregnet i 2019 rapporten. Det vil sikre, at regningen for forurening af fx drikkevand og jord ikke overføres til de kommende generationer, hvor omkostningerne samtidig vil blive endnu større, da både forureninger og skader stiger, jo længere tid man lader stå til (EEA, 2013).

En sådan rapport vil også kunne tage højde for særlige danske forhold for PFAS-forureningen (se Kapitel 2), samt fx hvordan mistænkt forurening kan påvirke prisen af ejerboliger. Endvidere er danskerne mere bevidste om uønsket kemi end hovedparten af befolkningen i Europa og er sandsynligvis villige til at betale mere for rent drikkevand og fødevarer end andre europæere.

Disse beregninger vil kunne danne rammen for både investeringer i PFAS-fri teknologi samt understøtte PFAS-restriktionsforslaget. Skulle en PFAS-restriktion blive vedtaget, har Danmark lige nu en mulighed for at gøre sig gældende indenfor PFAS-frie energiteknologier, fødevarerproduktion samt lægemidler og medicinsk udstyr, hvor vi i forvejen har en stærk industri.

Videnstaskforcen vil understrege vigtigheden af socioøkonomiske beregninger, men foreslår at disse først iværksættes efter projekterne i Kapitel 5 er afsluttede for at have et mere komplet vidensgrundlag at basere data på.

5. PROJEKTKATALOG TIL 2024

I Tabel 5.1 er givet en oversigt over de projekter, som videnstaskforcen har prioriteret indenfor formålet med denne rapport (se kapitel 1). Det er således projekter der kan igangsættes og afsluttes i 2024 med henblik på at adressere udvalgte videnshuller beskrevet i kapitel 4. Udover et øget vidensniveau kan resultaterne af projekterne eventuelt bidrage til konkrete anvisninger af, hvilke områder offentlige myndigheder kunne prioritere at fokusere på i håndteringen af risikoen fra PFAS-forurening. Efter Tabel 5.1 følger en projektbeskrivelse af hver af de 12 projekter, som videnstaskforcen har identificeret. Følgegruppens medlemmer blev bedt om at give deres bud på prioriteringer af projektforslagene. Disse prioriteringer blev brugt som indspil til videnstaskforcens egen prioritering af projekterne. Det er videnstaskforcens prioriteringer af projekter, der er vist i Tabel 5.1.

Det er meget vigtigt at understrege, at de udvalgte projekter langt fra dækker hele PFAS-problematikken, og at væsentlige områder bevidst er fravalgte i videnstaskforcens arbejde i 2023. Disse kriterier for fravalg/tilvalg er beskrevet i kapitel 3 (bl.a. krav om det korte tidsperspektiv, fokus på eksponering og hensynet til igangværende initiativer/projekter. Bilag 2 viser en liste over igangværende projekter hos Miljøstyrelsen. Her er også angivet, hvilke afsnit i nærværende rapport disse projekter relaterer sig til).

Som nævnt i introduktionen til kapitel 4, er der i videnstaskforcens arbejde i efteråret 2023 identificeret en række områder med meget store videnshuller, som ikke ville kunne lukkes i løbet af 2024. For disse er der derfor heller ikke opstillet projektforslag i det følgende. De mest markante af disse er opsummeret i tabel-form i Bilag 3.

Figur 5.1 Oversigt over foreslåede projekter med angivelse af videnstaskforcens prioritering, afsnit i kapitel 4, hvor baggrunden for projektet beskrives, samt den foreslåede beløbsramme (inkl. overhead).

Projekt titel	Prioritet	Baggrund beskrives i afsnit	Beløb (t.kr.)
Projekt 1: Anvendelse af PFAS i teknologier til den grønne omstilling – og egnede alternativer	1	4.3	400
Projekt 2: PFAS i nye og genanvendte produkter og materialer i en cirkulær økonomi	2	4.3/4.4	650
Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse	1	4.7	550
Projekt 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS	1	4.5	800
Projekt 5: Plan for bimonitorering for PFAS i den danske befolkning	1	4.5/4.9	100
Projekt 6: Vurdering af forskellige eksponeringsvejenes bidrag til den samlede humane eksponering	1	4.5	250
Projekt 7: Screening for mindre kendte PFAS i udvalgte miljøprøver, fødevarer og humane prøver	2	4.6/4.7	400
Projekt 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevarerprøver og humane prøver)	1	4.6/4.9	950
Projekt 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde	1	4.7	800
Projekt 10: Diffus forurening og baggrundsniveaueri forvejen forekommende koncentrationer af PFAS	1	4.7	800
Projekt 11: Videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om miljømæssige og humane helbredseffekter af de ultra-kortkædede PFAS, nyere kortkædede PFAS og øvrige PFAS-holdige erstatningsstoffer	2	4.8	550
Projekt 12: Risikostyring – principper for fastsættelse af grænseværdier og aktionsniveauer	1	4.9	250
Total: 6,5 Mkr (1. prioritet: 4,9 Mkr; 2. prioritet: 1,6 Mkr)			

Projekt nr. 1: Anvendelse af PFAS i teknologier til den grønne omstilling – og egnede alternativer	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 400.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <i>Der er et aktuelt behov for at skabe overblik over præcis, hvilke PFAS der bruges i hvilke energiteknologier, hvilke PFAS-frie alternativer der findes, hvor effektive de er, hvad de koster nu og efter en opskalering, og hvor danske virksomheder kan spille ind (afsnit 4.3).</i>	
Varighed: Miljø, Sundhed.	
Beskrivelse: Dette studie har til formål at danne et overblik over den nyeste viden om forbrug af PFAS i grønne teknologier, samt hvilke PFAS-frie alternativer der p.t. findes. Denne viden er helt central for, at den grønne omstilling bliver ikke bare CO2 neutral, men også sikker – og at vi derved undgår at skabe nye PFAS-forureningsproblemer. Forskning i energiteknologier medtager typisk kun i mindre grad potentielle forureninger med kemiske stoffer gennem livscyklussen, og især ikke vurderinger af affaldshåndtering. Derfor er der en risiko, at den grønne omstilling skaber et 'lock-in', hvor de nye teknologier er afhængige af anvendelsen af PFAS også i fremtiden. De grønne energi-teknologier vil omfatte fx. <ul style="list-style-type: none"> • Lithium batteriers ioniske væsker og fluorpolymerer anvendt i fx el-biler, • Halvledere anvendt i elektronik i grønne teknologier • Solcellers beklædning, coating og ioniske væsker • Vindmøllers coating samt hydrauliske væsker • Brint brændselscellers fluorpolymerer/elastomerer • Varmepumpers drivgasser (anvendelse af F-gasser) Det vurderes være vanskeligt at få information om det konkrete indhold af PFAS i produkter, da der kan være tale om forretningshemmeligheder og/eller PFAS indhold i blandinger under deklarationsgrænsen på 1%. Derfor skal projektet som udgangspunkt udføres som et litteraturstudie, hvor mulige anvendelser af PFAS kortlægges. Det vil være ønskeligt, at overslag over frigivelsen fra grønne energiteknologier i under installation, drift og bortskaffelse bliver inkluderet i projektet. Projektet skal munde ud i: <ul style="list-style-type: none"> • Et katalog over grønne energiteknologier, der bruger PFAS. Inkl. lister over hvilke PFAS der anvendes til hvilket formål. • Identifikation af PFAS-frie alternativer Projektet bør koordineres med aktiviteter hos Dansk industri, EU-kommissionen og US Department of Energy, samt danske/internationale forskere. Her vil især lignende aktiviteter som en del af restriktionsforslaget være af betydning. Hvis projektet ikke prioriteres, og der ikke i løbet af 2024 bliver tilvejebragt lignende viden, vil det blive vanskeligt for videnstaskforcen at give forslag til konkrete handlingsanvisninger til begrænsning af især miljøeksponering fra grønne teknologier. Projektets aktiviteter: Der forventes et litteraturstudie og mulighed for en workshop med deltagelse af internationale eksperter og virksomheder.	

Projekt nr. 2: PFAS i nye og genanvendte produkter og materialer i en cirkulær økonomi	Prioritet: 2
Beløbsramme (inkl. overhead): 650.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • For de fleste nye og genanvendte produkter og materialer er indholdet af PFAS ukendt (afsnit 4.4.1). • <i>Der mangler fundamental viden omkring indhold, udvaskning og spredning ved berøring af PFAS fra byggematerialer – under anvendelse, genbrug/genanvendelse og ved bortskaffelse (afsnit 4.4.5).</i> 	
Fagområde: Miljø, Sundhed.	
Beskrivelse: <p>I overgangen til cirkulær økonomi er der behov for at genbruge og genanvende materialer. Eftersom de fleste produkter kun er risikovurderede ift. eksponeringsscenerier for deres oprindelige anvendelse, og ift. de grænseværdier for stoffer som på det tidspunkt var gældende, er der er stor risiko for, at det fører til utilsigtede PFAS-eksponeringer i de efterfølgende materialestrømme. Det gælder fx for PFAS i byggematerialer, tekstiler og i plastemballage, hvor PFAS bruges som slip-midler til polyethylen (PE)/polypropylen (PP) film og beholdere, i tekstiler, i papir og pap emballage til fødevarer. Man vil kunne tage udgangspunkt i det nordiske produktregister. Dette studie vil samle overblik over viden om PFAS i nye og genanvendte produkter og i materialer. Konkret vil projektet bestå af:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Review af viden om PFAS i produkter og materialer der genanvendes • Liste over relevante PFAS der anvendes i materialerne • Total PFAS-analyse i udvalgte materialer med fokus på genanvendt plast • Udvikling af analysemetoder til udvalgte specifikke PFAS <p>Metodeudviklingen er rettet mod, at virksomheder kan foretage egenkontrol af deres varer ved bruge af PFAS Total metoder. Projektet vil indhente viden fra artikler, udenlandske forskere og KEMI (Sverige), der arbejder på emnet.</p> <p>Udover at kunne bidrage til den fortsatte udrulning af cirkulær økonomi i Danmark, vil projektet kunne bidrage til det dansk-norsk-svensk-tyske-hollandske EU-forslag til en PFAS-restriktion ift. produkter.</p> <p>Hvis projektet ikke prioriteres, og der ikke i løbet af 2024 bliver tilvejebragt lignende viden, vil det blive vanskeligt for videnstaskforcen at give forslag til konkrete handlingsanvisninger til begrænsning især i forbindelse med genanvendelse af materialer.</p> Projektets aktiviteter: Review og målinger	

Projekt nr. 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 550.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der foreligger ikke nogen systematisk dansk overvågning eller landsdækkende undersøgelser af PFAS-koncentrationer i landbrugsjorder, som har modtaget normale mængder slam i en årrække (afsnit 4.7.4).</i> 	
Fagområde: Miljø	
Beskrivelse: Dette studie vil samle overblik over viden om PFAS i genanvendte restprodukter til anvendelse som organisk gødning i landbruget. I organisk gødning vil PFAS kunne komme forekomme i <ul style="list-style-type: none"> • spildevandsslam • husdyrgødning og gylle herunder veterinære lægemidler/biocider/pesticider – fokus på høns, svin, kvæg • afvaskningsvand fra afsmitning fra coatnings anvendt i stalde • Kompost • Afgasset restprodukter fra biogasproduktion Konkret vil projektet i nævnte rækkefølge bestå af: <ul style="list-style-type: none"> • Review af viden om PFAS i organisk gødning • Liste over relevante PFAS, der kan forekomme i organisk gødning • Udvikling af analysemetoder til udvalgte PFAS i gødningstyper, hvor sandsynligheden for forekomst er størst • Kvantitativ analyse af PFAS-indholdet i udvalgte organiske gødningstyper Såfremt videnshullet ikke belyses vil der fortsat være tvivl om arealbelastningen af store dele af det danske landskab, hvilket bl.a. er en alvorlig mangel i forhold til at identificere relevante kilder til PFAS-forekomsten i ferske recipienter og grundvand. Projektets aktiviteter: Review og målinger	

Projekt nr. 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 800.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>For PFAS-indholdet i frugt er flere og mere udspecificerede data derfor nødvendige for at få et mere pålideligt estimat af bidraget til danskernes eksponering (afsnit 4.5.2).</i> • <i>Der er behov for mere detaljerede data for indholdet af PFAS i indmad, eftersom det må formodes, at PFAS-koncentrationen kan variere meget mellem de forskellige typer indmad. Specifikke data for lever, hjerte og anden indmad er dermed ønskelig (afsnit 4.5.2).</i> 	
Fagområde: Fødevarer, Foder	
Beskrivelse: <p>Fødevarer er udpeget som den største kilde til den generelle befolknings udsættelse for PFAS, og der findes indimellem høje niveauer af PFAS i specifikke fødevarer. Dog mangler der stadig essentiel viden om, hvilke fødevarergrupper, der bidrager mest til PFAS-eksponering.</p> <p>Det er centralt, at der bliver udviklet en strategi og en systematisk tilgang for overvågning af eksponering for PFAS fra fødevarer. En sådan systematisk testning er nødt til at have et bredt sigte, da PFAS både kan optages i planter og dyr og derfor kan findes i mange forskellige typer fødevarer.</p> <p>Der er set flere eksempler på, at fødevarer fra PFAS-hotspots indeholder niveauer, der overstiger det acceptable. Der er derfor behov for at teste mange prøver af den samme slags fødevarer fra forskellige producenter og områder.</p> <p>Konkret mangler der detaljeret viden om fx niveauer af PFAS i frugt samt i forskellige udkæringer og organer fra husdyr og vildt og der er tvivl om fordeling og indhold i fisk. Foderet er vigtigt, fordi PFAS findes i havmiljøet og dermed i fisk og når fiskemel anvendes som foder i landbruget, kan PFAS introduceres i en bred vifte af fødevarer, som set med sagen om de økologiske æg i 2023.</p> <p>En sådan indsats kan føre til enten forbedret fødevarerproduktion eller specifikke kost anbefalinger mhp. at reducere befolkningens PFAS-indtag.</p> <p>Dimensionering af projektet afhænger af tilgængelige analysemetoder og antal prøver set i relation til økonomien. Så vidt muligt inddrages et bredt udsnit af frugt, indmad og foder og et bredt udsnit af PFAS analyser (fx inkluderes fluortelomeralkohol-analyser i analyse af frugt). Det hele kan i princippet igangsættes samtidigt.</p> <p>Hvis projektet ikke prioriteres, vil vi fortsat være uvidende om eventuelle fødevarer der måtte bidrage væsentligt til den samlede eksponering og dermed gå glip af en mulighed for at reducere menneskers eksponering.</p> Projektets aktiviteter: Målinger	

Projekt nr. 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 100.000 kr.	
Varighed: 6 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der mangler en national strategi for den fremadrettede biomonitorering af danskerne. En national fortløbende biomonitoreringsplan vil bidrage til handlingsanvisninger ved at sikre, at myndigheder kan følge eksponeringen og dermed om indsatserne mod eksponering virker (afsnit 4.9.2).</i> 	
Fagområde: Sundhed	
Beskrivelse: <p>Biomonitorering i den danske befolkning vil sikre at myndigheder har konkret viden om blodniveauerne af PFAS, såvel for de kendte PFAS som for de nyere kortkædede PFAS og de specifikke erstatningsstoffer såsom GenX samt sikre viden om hvorvidt indsatserne mod eksponering er effektive. En biomonitoreringsplan bør have særligt fokus på eksponeringen for særligt sårbare befolkningsgrupper fx børn, kvinder i den fødedygtige alder, højeksponerede arbejdere eller andre med forventet høj eksponering. Ligeledes vil udviklingen i eksponeringen for nyere kortkædede PFAS, der i stigende grad erstatter de oprindeligt brugte PFAS, kunne følges hos danskere.</p> <p>Det foreslås derfor, at der udarbejdes et forslag til en national handlingsplan for fortløbende biomonitorering af danskerens blodniveauer af PFAS. Planen bør indeholde både gentagne tværsnitsundersøgelser og longitudinelle undersøgelser af danskernes PFAS-blodkoncentrationer.</p> <p>Projektet vil bestå af en gennemgang af relevant litteratur om PFAS og kortlægning allerede eksisterende biomonitorering som grundlag for forslag om en national handlingsplan, hvor PFAS fremadrettet kan biomonitoreres optimalt hos danskere.</p> <p>Hvis ikke projektet prioriteres vil der mangle grundlag for at vurdere om indsatser mod human eksponering virker eller skal justeres. Derudover er det vigtigt at udforme national handlingsplan, så biomonitorering gennemføres optimalt og målrettet med brug af færrest ressourcer.</p> Projektets aktiviteter: Gennemgang af relevant litteratur om PFAS Kortlægning allerede eksisterende biomonitorering Udkast til Handlingsplan og udarbejdelse af protokol for biomonitorering i Danmark	

Projekt nr. 6: Vurdering af forskellige eksponeringsvejes bidrag til den samlede humane eksponering	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 250.000 kr.	
Varighed: 4 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der savnes et overblik over forskellige kilders rolle/bidrag til den samlede humane eksponering for et bredt spektrum af PFAS-forbindelser (afsnit 4.5.1).</i> • <i>Den anderledes sammensætning af PFAS i indemiljøet sammenlignet med sammensætninger i fødevarer og vand gør, at der er en risiko for at vigtige indendørsrelaterede og eksponeringsrelevante PFAS overses i PFAA-fokuserede miljøundersøgelser (afsnit 4.5.4).</i> 	
Fagområde: Sundhed, miljø og fødevarer	
Beskrivelse: Selvom fødevarer udgør den væsentligste kilde til den humane PFAS-eksponering, tyder den videnskabelige litteratur på, at der er yderligere eksponeringsveje. Det kan fx være i indeklimaet, gennem drikkevand og den direkte kontakt med PFAS-holdige forbrugerprodukter. Deres betydning for den samlede eksponering varierer givetvis for forskellige PFAS i henhold til deres anvendelse og fysisk-kemiske egenskaber. Fx vil man primært finde flygtige, neutrale PFAS i luften, inkl. indendørs luft, som kan omdannes til de sværtnedbrydelige PFAS-forbindelser efter optag i kroppen. I dette projekt gennemgås den eksisterende litteratur med henblik på en vurdering af forskellige kilders bidrag til den samlede humane eksponering i Danmark, hvor der tages højde på forskellige PFAS-profiler i forskellige potentielle eksponeringsmedier. Afhængigt af projektets resultater, kan der foreslås målinger til at opnå et bedre datagrundlag til at vurdere – og reducere – eksponeringen fra de forskellige kilder. Projektets aktiviteter: Review	

Projekt nr. 7: Screening for mindre kendte PFAS i udvalgte miljøprøver, fødevarer og humane prøver	Prioritet: 2
Beløbsramme (inkl. overhead): 400.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der er behov for at undersøge forekomsten af ikke-velundersøgte og "ukendte" PFAS i udvalgte prøver (miljøprøver, fødevarer, humane prøver, prøver med en formodning om PFAS-emissioner), for at sikre, at der ikke overses vigtige enkeltstoffer (fx. erstatningsstoffer)</i> • <i>Ud over de velkendte PFSA'er og PFCA'er vides kun lidt om andre potentielt bioakkumulerende PFAS i akvatiske dyr. Dette videnshul har også betydning for eksponering gennem fødevarer (fx. fisk)</i> • <i>For terrestriske dyr gælder de samme videnshuller som beskrevet for akvatisk biota i ovenstående afsnit, dvs. mangel på viden om andre end de velundersøgte PFAS, om fordeling mellem organer samt om effekter på dyrene. Der mangler konkret viden om blodniveauerne af PFAS i den danske befolkning nu og i fremtiden, og særligt mangler viden om eksponering for især de nyere kortkædede PFAS og specifikke erstatningsstoffer.</i> 	
Fagområde: Sundhed, miljø og fødevarer	
Beskrivelse: Suspect/non-target screening-teknikker gør det muligt at bestemme formodede eller helt ukendte stoffer i en prøve. Pga. det store antal PFAS-forbindelser er det oplagt at anvende denne teknik til at belyse forekomsten af mindre kendte PFAS i udvalgte prøver. Der foreslås et projekt, der tager udgangspunkt i denne analysekemiske teknik og anvender den på forskellige typer prøver. Da der generelt mangler viden om forekomsten af andre end de velundersøgte PFAS, vil det være relevant at undersøge både miljøprøver, humane prøver og fødevarer. Ydermere kan der inddrages prøver, hvor der er en formodning om PFAS-emissioner, fx. fra industriudledninger. Prøverne ekstraheres med en bred anvendelig metode (for at undgå tab af stoffer) og analyseres med væsekromatografi og højtopløsende massespektrometri (HPLC-HRMS). Hvis nødvendigt, kan der også inddrages gaskromatografiske analyser, som dog primært er egnede til neutrale PFAS (som fx. forekommer i luften) og derfor sandsynligvis mindre relevante her. "Ukendte" eller mindre velundersøgte PFAS kan identificeres ud fra deres massespektra, fx. ved at bruge PFAS-specifikke databaser. Da dataanalysen er meget tidskrævende i denne type analyser, vil projektet være begrænset til få udvalgte prøver. Projektet er en særskilt aktivitet, men kan koordineres med fx. projekt nr. 2, 3, 4 eller 8. Projektet vil tilvejebringe ny viden om forekomsten af andre PFAS-forbindelser end de velkendte stoffer. Hermed sikres der, at der ikke overses andre vigtige enkeltstoffer, som fx. kan være kommet på markedet som erstatningsstoffer. Der kan også inkluderes prøver med en evt. mistanke om PFAS-udledninger. Projektet vil være et vigtigt bidrag til en bedre forståelse af "PFAS-universet" i forhold til eksponering af miljø og mennesker. Med analyseteknikken som fællesnævner vil projektet koble miljø og sundhed. Projektets aktiviteter: Målinger	

Projekt nr. 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevarer, humane prøver)	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 950.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der er behov for at undersøge mulighederne for at videreudvikle og kombinere PFAS-analysemetoder, specielt i forhold til en systematisk anvendelse af PFAS sumparametre ("PFAS Total") i samspil med PFAS target-aalyser, fx. til overvågningsformål.</i> • <i>Der er behov for at udvikle analysekapaciteten for PFAS Total (sumparametre).</i> • <i>I de fleste tilfælde er der behov for at udvide stofflisten af PFAS-enkeltstoffer til analyser. Specielt for fisk er det relevant at udvide listen af stoffer, der måles for i overvågningsprogrammer, specielt for fisk, hvor stofflisten p.t. er begrænset. Derved kan der skabes viden om akkumulering af andre PFAS i biota – en viden der også kunne være relevant fra en fødevare- og eksponeringsvinkel. Der er stort behov for at analysere graden af standardisering af PFAS-stofflister i forskellige programmer i forhold til en evt. differentiering i henhold til stoffernes fysisk-kemiske egenskaber. Mens det er ønskeligt at kunne sammenligne på tværs af matricer, indebærer denne tilgang risikoen for at bruge ressourcer på analyser af stoffer, hvis fysisk-kemiske egenskaber ikke gør det sandsynligt, at de forekommer i den pågældende matrice.</i> 	
Fagområde: Sundhed, miljø og fødevarer	

Beskrivelse:

Der måles PFAS i forskellige overvågningsprogrammer i Danmark, med et varierende antal enkeltstoffer. Der er fortsat brug for en videreudvikling af disse højtspecialiserede og følsomme target-analyser. Samtidig er der stigende interesse for anvendelse af sumparametre eller såkaldte PFAS Total metoder, fx Extractable Organic Fluorine-Combustion Ion Chromatography (EOF-CIC), Total Oxidizable Precursor Assays (TOPA), som også er foreslået til EU's Drikkevandsdirektiv.

Dette projekt vil sammendrage erfaringer med analysemetoder for PFAS Total fra andre lande og teste dem i Danmark med henblik på muligheder for en rutinemæssig anvendelse i overvågningsprogrammer for miljøprøver, fødevarer og human biomonitorering. Tekniske detaljer såsom detektionsgrænser og reproducerbarhed adresseres og en valideringsplan skitseres.

Parallelt til de tekniske vurderinger vil der blive udviklet koncepter til et optimeret samspil mellem PFAS target-analyser og målinger af PFAS Total i overvågningssammenhæng, igen med en bred tilgang til miljøprøver, fødevarer og human biomonitorering. Der forventes en teoretisk konceptudvikling ud fra den eksisterende viden i PFAS-forsknings- og overvågningskredsen, samt en afgrænset eksperimentel del til afprøvning af koncepterne, fx. i forbindelse med NOVANA-overvågningen.

Derudover vil projektet belyse de forskellige PFAS-stoflister til overvågningsformål og sammenligne dem med den eksisterende viden om PFAS-forekomst i de pågældende prøvetyper og matricer, evt. suppleret med en modellering af stoffernes forekomst i forskellige matricer. Formålet med denne del af projektet er at diskutere den rette balance mellem en standardisering af PFAS-stoflister (dvs. de samme stoffer måles i alle matricer) vs. en differentiering i henhold til stoffernes fysiske-kemiske egenskaber. Mens det sidste kunne være ressourcebesparende, vil en bred standardisering muliggøre sammenligninger på tværs af matricer. Således er der fordele og ulemper, der vil blive diskuteret ud fra litteraturen og tilgængelige data.

Dette projekt vil lukke flere sammenhængende videnshuller indenfor overvågningsstrategier og analysemetoder. PFAS-overvågningen vil være et centralt element i fremtidige PFAS-relaterede indsatser, med behov for optimering af metoder og koncepter til optimal ressourcebrug. Samtidig lægger det interdisciplinære samarbejde i videnstaskforcen op til en mere holistisk tilgang til overvågningen af forskellige prøvetyper, muligvis med en differentiering på stoffelisterne, som vil øge vores viden om eksponerings-sammenhænge og det komplekse PFAS-univers. Konkret kan projektet føre til forbedrede overvågningsindsatser i forhold til brug af ressourcer og informationsgevinst.

Projektets aktiviteter:

Review og målinger

Projekt nr. 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 800.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
<p>Videnshul:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Det er videnstaskforcens vurdering, at det mest påtrængende behov i forbindelse med forurenede grunde, er vidensopbygning i forhold til risikoen for grundvandsforurening, da grundvandet er essentielt for drikkevandsforsyningen i Danmark (afsnit 4.7.8).</i> • <i>Der er et stærkt behov for at udvikle metoder, modeller og simulere PFAS-forbindelsernes opførsel og især vertikale transport og forureningsflux med brug af koncentrationer, stofkonstanter og parametre, der er relevante for danske forhold (afsnit 4.7.8).</i> • <i>Der er et stærkt behov for at udvikle konceptuelle modeller for PFAS' transport og skæbne under danske forhold. Det kan dreje sig om typiske geologier og typiske PFAS-forbindelser, samt deres samspil (afsnit 4.7.8).</i> 	
<p>Fagområde: Miljø</p>	

Beskrivelse:

Konceptuelle og eller analytisk/numeriske modeller har stor betydning som fællesramme for identifikation og forståelse af vidensbehov om PFAS-kilder, PFAS' egenskaber, processer i miljøet, bestemmelse af parametre eller modeludvikling. Særligt transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde er vigtige videnshuller i en dansk kontekst.

Projektet deles op i fire faser:

Fase 1:

A: Litteraturstudie og sammenfatning af nuværende danske og internationale erfaringer med konkrete undersøgelser af PFAS forurenede grunde. Der er særlig fokus på brandøvelsespladser og aktiviteter/brancher med mulige forureninger knyttet til brug af PFAS (fx forkromningsvirksomheder og forskellige slags coatningsaktiviteter).

B: Overblik over transportmodeller der vil kunne anvendes på forurenede grunde. Overblik over tilgængelige fysisk-kemiske modeller (fx COSMOtherm) der kan estimere parameterværdier, som er nødvendige for input i transport-modeller. Dette kan med fordel koordineres med projekt 10 for at undgå dobbeltarbejde.

Fase 2: Workshop med danske rådgivere og myndigheder om forureningsundersøgelser med PFAS. Der kan i mindre omfang inviteres udenlandske eksperter med erfaringer fra større feltundersøgelser og/eller modelekspertise. Workshoppen har til formål (1) at opbygge en fælles forståelsesramme af PFAS under danske forhold; (2) Forekomst og fordeling af PFAS-forbindelser i undersøgelser af jord, luft og grundvand; (3) Diskutere udvikling af en national model for PFAS' transport og skæbne i jord og grundvand, herunder styrende parametre og behov for konkrete bestemmelser af disse.

Fase 3: Opstilling af en generel konceptuel model for PFAS' transport og skæbne i jord og grundvand som grundlag for udvikling af sted-specifikke konceptuelle modeller for danske geologier, som har fokus på vertikal transport og forureningsfluxen mod grundvandet.

Fase 4: Med afsæt i overblikket over eksisterende modeller, workshoppen og de konceptuelle modeller, foreslås et analytisk/numerisk modelkoncept, som er anvendeligt under danske forhold, for transport og skæbne af PFAS. Muligheder for overførsel af eksisterende modeller til danske forhold skal undersøges, men med vægt på, at modellerne kan beskrive den vertikale flux. Der etableres et overblik over manglende parameterværdier under danske forhold for relevante PFAS, og hvordan de tilvejebringes.

Projektet vil sikre en fælles platform for en fokuseret indsats omkring PFAS transport fra forurende grunde og påvirkning af grundvand. Tanken med den konceptuelle modeludvikling i dette projekt er, at fremtidige projekter kan arbejde ud fra og udvikle disse modeller fx ved at indbygges yderligere processer som dannelse/nedbrydning af PFAS/precursors. Dermed kan fremtidige indsatser prioriteres på en hensigtsmæssig måde og skabe mest mulig værdi for at sikre grundvandet og drikkevandet mod PFAS fra forurenede grunde.

Hvis projektet ikke gennemføres vil der ske en betydelig parallel opbygning af viden hos især rådgivere og myndigheder, som i værste fald kan lede til modstridende opfattelse af betydende processer og konceptuelle forståelsesmodeller.

Projektets aktiviteter:

Review/rapport; Workshop; Konceptuel forståelse; Konceptuel modeludvikling

Projekt nr. 10: Diffus forurening og baggrunds niveauer i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 800.000 kr.	
Varighed: 8 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Der mangler viden om i forvejen forekommende koncentrationer for forekomst og fordeling af PFAS i de forskellige jordtyper som moræneler, morænesand, og betydningen af typen af organisk stof for de dominerende vegetationstyper i Danmark (afsnit 4.7.5).</i> • <i>Der mangler viden om PFAS-indhold i jord fra de mest udbredte arealanvendelser i Danmark, og udviklingen af koncentrationer af de mest udbredte PFAS i jorder uden for arealer, der er karakteriseret som forurenede grunde, kendes generelt ikke (afsnit 4.7.5).</i> 	
Fagområde: Miljø	

Beskrivelse:

Projektet deles op i fire faser:

Fase 1: Samle eksisterende viden om målinger, der belyser den diffuse forurening med PFAS, og derved påvirker det generelle baggrunds niveau i Danmark. Dataindsamling dækker både viden om væsentlige kilder, som kan påvirke baggrunds niveauet i terrestriske og akvatiske miljøer, fx atmosfærisk deposition, tilsigtede (pesticider) og utilsigtede (fx veterinære og humane lægemidler i slam og husdyrgødning) tilførsler på landbrugsarealer samt transport af havskum over landarealer.

Fase 2: På baggrund af data fra Fase 1 vurderes det, hvor det bedst kan betale sig at fokusere indsamling af nye screeningsdata, fx fra marker tilført slam, drænvand, vandløb i naturområder, engarealer der oversvømmes regelmæssigt, m.fl. Ideelt at identificere et landskabsværkstedsområde med alle fra fase 1 relevante arealer der kan undersøges for baggrunds niveauer og skabe sammenhæng mellem landskabselementer og placering af væsentlige kilder til PFAS, fx nedlagte rensningsanlæg, brandstationer, erhvervsområder i oplandet.

Fase 3: På baggrund af data fra 1) og 2) samt udvælges et sæt af typiske danske jordtyper (sand, ler, tørv) hvor adsorption (K_d eller K_{oc}) bestemmes ved en kombination af beregning (COSMOtherm) og eksperimentel bestemmelse, for en række PFAS med henblik på at kunne anvende Daisy modellen til at beregne spredning af PFAS fra landbrugsarealer til vandmiljø og grundvand. Variation i kemisk og biologisk kvalitet af organisk materiale i jord kan have forskellig sorption af de udvalgte PFAS (puljer af mikrobiel og unedbrydeligt organisk materiale i jord og organisk materiale fra forskellige areal typer). Det vurderes om DAISY modellen på tilstrækkelig vis medtager parametre af betydning for PFAS-transporten (fx distribution til luft), og hvordan det evt. kan adresseres.

Fase 4: Daisy-modellen (mekanistisk) benyttes til at beregne PFAS-udvaskning fra landbrugsflader til omgivende vandmiljø fra udvalgte modelområder og valideres gennem målrettet analyser i relevante matricer, fx drænafstrømning i PLAP-marker. En validering af Daisy-modellen vil have nytte ift. fx risikovurderingen af nye PFAS i gylle, slam og restprodukter fra biogasanlæg. Modellerede estimater for dispersion med tid og afstand er nødvendig for vurdering af fundne koncentrationer af enkelt stoffer og grupper af PFAS i jord og vand, og dermed reel eksponering af planter og afgrøder.

Projektets aktiviteter:

Review/ rapport, Målinger, Modelkørsler

Projekt nr. 11: Videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om miljømæssige og humane helbredseffekter af de ultra-kortkædede PFAS, nyere kortkædede PFAS og øvrige PFAS-holdige erstatningsstoffer	Prioritet: 2
Beløbsramme (inkl. overhead): 550.000 kr.	
Varighed: 6 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Videnstaskforcen finder, at en videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om humane helbredseffekter af de nyere kortkædede PFAS og øvrige erstatningsstoffer vil kunne bidrage til handlingsanvisninger (afsnit 4.8.1).</i> • <i>Specielt mangler der viden om effekter på økosystemniveau og viden om effekter af PFAS-blandinger samt nyere kortkædede PFAS (afsnit 4.8.2).</i> • <i>Særlig opmærksomhed bør rettes mod de PFAS, der måske ikke umiddelbart udgør en humantoksikologisk risiko, men som via deres fysiske- kemiske egenskaber lettere vil kunne optages i biota (afsnit 4.8.2).</i> 	
Fagområde: Miljø, Sundhed	
Beskrivelse: <p>Behovet for robuste risikovurderinger fordrer en kortlægning af hvilke PFAS, der er kritiske/dimensionsgivende med hensyn til befolkningens sundhed og miljøpåvirkningen. Her er internationalt arbejde allerede i gang for de kendte stoffer, men et særligt fokus bør rettes mod at afklare hvorvidt de ultrakortkædede PFAS, nyere kortkædede PFAS og øvrige PFAS-holdige erstatningsstoffer skal betragtes som kritiske PFAS. De ultrakortkædede PFAS påkalder sig interesse på grund af deres persistens og høje mobilitet samt mulige rolle som precursors og vil kunne udgøre en meget stor udfordring i risikohåndteringen, hvis de anses som kritiske.</p> <p>Øget viden om effekten på mennesker og miljø af de ultra-kortkædede PFAS, de nyere kortkædede PFAS og PFAS-holdige erstatningsstoffer er således essentiel i en sikker og troværdig risikorangering af stofferne. Denne risikorangering er vigtig ved prioritering af indsatserne for at begrænse effekten af eksponeringen, når de gamle langkædede PFAS erstattes af nyere stoffer.</p> <p>Projektet omfatter en videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om humane helbredseffekter og miljømæssige/økotoksikologiske effekter af de nyere kortkædede PFAS og øvrige erstatningsstoffer. Dermed forventes projektet at kunne bidrage betydeligt til konkrete handlingsanvisninger.</p> <p>Hvis projektet ikke prioriteres kan risikovurderingen og -håndteringen blive ufuldstændig, da fokus så fortsat kan forventes at blive rettet mod de velkendte PFAS.</p> Projektets aktiviteter: Review	

Projekt nr. 12: Risikostyring – principper for fastsættelse af grænseværdier og aktionsniveauer	Prioritet: 1
Beløbsramme (inkl. overhead): 250.000 kr.	
Varighed: 6 mdr.	
Videnshul: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Dette projekt er af videnstaskforcen, med udgangspunkt i afsnit 4.10 Risikostyring, beslutningsstøtte og kommunikation, defineret på tværs af videnshuller i afsnit 4.5 Human eksponering fra fødevarer, drikkevand, forbrugerprodukter og miljøet, 4.7 Forekomst, transport, fordeling og skæbne i miljøet, 4.8 Toksikologiske effekter og risikovurdering af PFAS i mennesker og miljøets organismer.</i> 	
Fagområde: Sundhed, miljø (vand, jord, luft), fødevarer.	
Beskrivelse: Projektet beskæftiger sig med principper for fastsættelse af grænseværdier og muligheder for at definere aktionsniveauer. Dette gøres specifikt rettet mod PFAS problemstillingen, hvor antallet af stoffer, deres særlige fysisk-kemiske egenskaber (især persistens og bioakkumulering via proteiner) og den vidtsprede forurening udfordrer gældende principper. Det samme gør den eksisterende og fremtidige anvendelse af sumkriterier for humaneksponering, da de individuelle PFAS måske har samme toksikologiske virkningsmekanisme, men i reglen vil have meget forskellig opførelse (transport, optag m.m.) i miljømatricer. Grænseværdier skal i denne sammenhæng forstås som en bred samlet terminologi for værdier fastsat med henblik på beskyttelse af miljø og mennesker. Det inkluderer derfor jord-, grundvands- og drikkevandskvalitetskriterier samt øvrige værdier fastsat for overfladevand, fødevarer mv. Projektet kredser som spørgsmålet: "Hvordan sikrer vi, at grænseværdierne er dækkende, relevante, beskyttende, troværdige, robuste og implementerbare?". Dette er afgørende betydning for beslutningstagere og især også, om der er ændringer i grænseværdierne på vej, der påvirker/ beslutningsgrundlaget. Der laves i dag prioriteringer, træffes beslutninger og foretages investeringer, der rækker langt ud i fremtiden. Alt sammen baseret på, at de nuværende grænseværdier "holder" og udviser en vis grad af sammenhæng mellem de forskellige områder. Hvis projektet ikke gennemføres bliver det ikke kortlagt om de eksisterende aktionsværdier dækker de relevante behov hos interessenter og en oplagt mulighed for afklaring af om nødvendighed af harmonisering af anvendte aktions- og grænseværdier forpasses. Projektets aktiviteter: Projektet skal udføres som et kort review over området suppleret med 1-2 workshops med relevante danske og internationale aktører.	

6. REFERENCER

Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) (2021), Toxicological profile for Perfluoroalkyls, Atlanta, GA, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.

<https://wwwn.cdc.gov/TSP/ToxProfiles/ToxProfiles.aspx?id=1117&tid=237>

Androulakakis, A. Alygizakis, N., Bizani, E., Thomaidis, N. S. (2022), Current progress in the environmental analysis of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS), *Environmental Science: Advances*, Volume 1, Issue 5, 705–724,

<https://doi.org/10.1039/D2VA00147K>

Barber, L.B., Pickard, H.M., Alvarez, D.A., Becanova, J., Keefe, S.H., LeBlanc, D.R., Lohmann, R., Steevens, J.A., Vajda, A.M. (2023) Uptake of Per- and Polyfluoroalkyl Substances by Fish, Mussel, and Passive Samplers in Mobile-Laboratory Exposures Using Groundwater from a Contamination Plume at a Historical Fire Training Area, Cape Cod, Massachusetts. *Environ. Sci. Technol.* 2023, 57, 14, 5544–5557.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c06500>

Boutrup, S., Kjær, C., Johansson, L.S., Larsen, M.M., Poulsen, M.B., Bossi, R., Christensen, M.R., Frank-Gopolos, T 2021. Miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2008–2019. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 288 s. – Videnskabelig rapport nr. 466.

<https://dce2.au.dk/pub/SR466.pdf>

Brambilla G., D'Hollander, W., Oliaei, F., Stahl, T., Weber, R. (2015), Pathways and factors for food safety and food security at PFOS contaminated sites within a problem based learning approach, *Chemosphere*, Volume 129, 192–202.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.09.050>

Brusseau, M. L. (2018), Assessing the potential contributions of additional retention processes to PFAS retardation in the subsurface, *Science of The Total Environment*, Volumes 613–614, 176–185.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.065>

Brusseau, M. L., Anderson, R. H., Guo, B. (2020), PFAS concentrations in soils: Background levels versus contaminated sites, *Science of the Total Environment*, Volume 740, 140017,

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140017>

Brusseau, M. L., Guo, B. (2022), PFAS concentrations in soil versus soil porewater: Mass distributions and the impact of adsorption at air–water interfaces, *Chemosphere*, Volume 302, 134938.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134938>

Brusseau, M. L., Guo, B., Huang, D., Yan, N., Lyu, Y. (2021), Ideal versus Nonideal Transport of PFAS in Unsaturated Porous Media, *Water Research*, Volume 202, 117405.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117405>

Brusseau, M.L., Yan, N., Van Glubt, S., Wang, Y., Chen, W., Lyu, Y., Dungan, B., Carroll, K.C., Holguin, F.O. (2019) Comprehensive retention model for PFAS transport in subsurface systems, *Water Research*, 48, 41–50.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.10.035>

Cousins, I.T., Ng, C.A., Wang, Z., Scheringer, M. (2019) Why is high persistence alone a major cause of concern? *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 2019,21, 781–792.

<https://doi.org/10.1039/C8EM00515J>

Danielsson, S., Faxneld, S., Sørensen, A.L. (2020), The Swedish National Monitoring Programme for Contaminants in Marine Biota (until 2018 year's data) – Temporal trends and spatial variations, 1, Swedish Museum of Natural History.

<https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1510993/FULLTEXT01.pdf>

Danmarks Statistik (2020), Danmarks landbrugsareal er stort internationalt set, Nyt fra Danmarks Statistik, Nr. 279.

<https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=30807>

Danmarks Statistik (2022), Mere areal med bebyggelse og infrastruktur, Nyt fra Danmarks Statistik, Nr. 423.

<https://www.dst.dk/da/Statistik/nyheder-analyser-publ/nyt/NytHtml?cid=49422>

Danske Regioner (2023a) Indsatsen mod PFAS.

<https://www.jordforureninger.dk/fokusomrader/pfas/>

Danske Regioner (2023b) Hvem gør hvad?

<https://www.regioner.dk/regional-udvikling/regionernes-arbejde-med-pfas/hvem-goer-hvad/Hjemmeside>

Death, C., Bell, C., Champness, D., Milne, C., Reichman, S., Hagen, T. (2021), Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in livestock and game species: A review. *Science of the Total Environment* 774, 144795

De Silva, A.O., Armitage, J. M., Bruton, T. A., Dassuncao, C., Heiger-Bernays, W., Hu, X. C., Kärrman, A., Kelly, B., Ng, C., Robuck, A., Sun, M., Webster, T. F., Sunderland, E. M. (2021), PFAS Exposure Pathways for Humans and Wildlife: A Synthesis of Current Knowledge and Key Gaps in Understanding, *Environmental Toxicology and Chemistry*, Volume 40, Issue 3, 631-657.

<https://doi.org/10.1002/etc.4935>

Douglas, G. B., Vanderzalm, J. L., Williams, M., Kirby, J. K., Kookana, R. S., Bastow, T. P., Bauer, M., Bowles, K. C., Skuse, D., Davis, G. B. (2023), PFAS contaminated asphalt and concrete – Knowledge gaps for future research and management, *Science of The Total Environment*, Volume 887, 164025.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164025>

Dueñas-Mas, M. J., Ballesteros-Gómez, A., de Boer, J. (2023), Determination of several PFAS groups in food packaging material from fast-food restaurants in France, *Chemosphere*, Volume 339, 139734.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139734>

Edwards, A. G. K., Naik, G., Ahmed, H., Elwyn, G. J., Pickles, T., Hood, K., Playle, R. (2013), Personalised risk communication for informed decision making about taking screening test, *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 2, CD001865.

<https://doi.org/10.1002/14651858.CD001865.pub3>

EEA (2001). Late Lesson from Early Warnings: The precautionary principle 1896–2000. Environmental Issue Report no. 22. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_22

EEA (2013). – Late Lesson from Early Warnings: Science, Precaution, Innovation. EEA Report 1/2013. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.

<https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2>

EFPIA (2022).

https://www.efpia.eu/media/636866/pfas-position_-_efpia-and-animalhealtheurope-january-2022.pdf

EFSA (2020). Scientific Opinion: Risk to human health related to the presence of perfluoroalkyl substances in food. *EFSA Journal* 2020;18(9):6223.

<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223>

Eriksen, J. V. (2023), PFAS i byggeriet – en mulig kilde til miljøforurening, *Dansk Kemi* nr. 4.

<https://www.kemifokus.dk/pfas-i-byggeriet/>

Europa Kommissionen (2022), Questions and Answers: revision of the Regulation on classification, labelling and packaging of chemicals.

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_22_7776

ECHA (2023), ECHA publishes PFAS restriction proposal, ECHA/NR/23/04. European Chemicals Agency, Helsinki, Finland.

<https://echa.europa.eu/da/-/echa-publishes-pfas-restriction-proposal>

European Environment Agency (EEA) (2019), Emerging chemical risks in Europe - 'PFAS'. European Chemicals Agency, Helsinki, Finland.

<https://www.eea.europa.eu/publications/emerging-chemical-risks-in-europe>

European Federation of Pharmaceutical Industries Associations (EFPIA) (2022), EFPIA (Representing European Pharmaceutical industry) and AnimalhealthEurope (representing Animal Health Industry) position on use and risk of "per- and polyfluorinated alkyl substances" (PFAS) in Europe, in the light of an emerging Restriction under REACH.

https://www.efpia.eu/media/636866/pfas-position_-_efpia-and-animalhealtheurope-january-2022.pdf

Fair, P.A., Houde, M. (2018), Kapitel 5 Poly- and Perfluoroalkyl Substances, Marine Mammal Ecotoxicology - Impacts of Multiple Stressors on Population Health, Elsevier Inc., Academic Press.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812144-3.00005-X>

Faxneld, S., og Sørensen, A.L. 2023. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) within the Swedish National Monitoring Programme for Contaminants in Freshwater. Biota. Report 8:2023. Swedish Museum of Natural History.

Fomsgaard, I.S. 2023. Optag af PFAS i planter fra dykningsjorden – Del 2. 24 sider. Rådgivningsrapport fra DCA – Nationalt Center for Fødevarer og Jordbrug, Aarhus Universitet.

Foy, C. L. (1992), Adjuvants for Agrichemicals, Taylor & Francis Group, s. 374.

Frederiksen, M., Mosthaf, K., Bøllingtoft, A. B., Albers, C. N., Christensen, B. S. B., Christophersen, M., Tuxen, N., Tüchsen, P., Clausen, L., Janniche, G. A. S., Bjerg, P. L. (2023), Predicting the impact and duration of persistent and mobile organic compounds in groundwater systems using a contaminant mass discharge approach, Journal of Environmental Management, Volume 348, 119199.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119199>

Galatius, A., Bossi, R., Sonne, C., Rigét, F. F., Kinze, C. C., Lockyer, C., Teilmann, J., Dietz, R. (2013), PFAS profiles in three North Sea top predators: metabolic differences among species?, Environmental Science and Pollution Research, Volume 20, 8013-8020.

<https://doi.org/10.1007/s11356-013-1633-x>

Gebbink, W. A., Bossi, R., Rigét, F. F., Rosing-Asvid, A., Sonne, C., Dietz, R. (2016), Observation of emerging per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in Greenland marine mammals, Chemosphere, Volume 144, 2384-2391.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.116>

Glüge J , Scheringer M , Cousins IT , DeWitt JC , Goldenman G , Herzke D , Lohmann R , Ng CA , Trier X, Wang Z . (2020) An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Environ Sci Process Impacts. 22(12):2345-2373.

<https://doi: 10.1039/d0em00291g>

Gnesda, W. R., Elliot F. D., Tinjum, J., Zahasky C. (2022), Adsorption of PFAAs in the Vadose Zone and Implications for Long-Term Groundwater Contamination, Environmental Science & Technology, Volume 56, 23, 16748-16758,

<https://doi.org/10.1021/acs.est.2c03962>

Goldenman, G., Fernandes, M., Holland, M., Tugran, T., (2019), The cost of inaction: A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS, Nordisk Ministerråd.

<https://doi.org/10.6027/TN2019-516>

- Granby, K., Ersbøll, B. K., Olesen, P. T., Christensen, T., Sørensen, S. (2024), Per- and poly-fluoroalkyl substances in commercial organic eggs via fishmeal in feed, *Chemosphere*, Volume 346, 140553.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140553>
- Grandjean, P., Timmermann, C. A. G., Kruse, M., Nielsen, F., Just Vinholt, P., Boding, L., Heilmann, C., Mølbak, K. (2020) Severity of COVID-19 at elevated exposure to perfluorinated alkylates. *PLoS ONE*. 15, 12, e024481.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0244815>
- Guo, B., Zeng, J., Brusseau, M. L., Zhang, Y. (2022) A screening model for quantifying PFAS leaching in the vadose zone and mass discharge to groundwater. *Advances in Water Resources*, Volume 160, 104102.
<https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.104102>
- Gustafsson, Å., Bergman, Å., Weiss, J. M. (2022), Estimated daily intake of per- and polyfluoroalkyl substances related to different particle size fractions of house dust, *Chemosphere*, Volume 303, Part 2, 135061
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135061>
- Hale, S. E., Neumann, M., Schliebner, I., Schulze, J., Frauke, A. S., Castell-Exner, C., Collard, M., Drmac, D., Hartmann, J., Hofman-Caris, R., Hollender, J., de Jonge, M., Kullick, T., Lennquist, A., Letzel, T., Nödler, K., Pawlowski, S., Reineke, N., Rorije, E., Scheurer, M., Sigmund, G., Timmer, H., Trier, X., Verbruggen, E., Arp, H. P. H. (2022), Getting in control of persistent, mobile and toxic (PMT) and very persistent and very mobile (vPvM) substances to protect water resources: strategies from diverse perspectives, *Environmental Sciences Europe*, Volume 34, 22.
<https://doi.org/10.1186/s12302-022-00604-4>
- Hammel, E., Webster, T. F., Gurney, R., Heiger-Bernays, W. (2022), Implications of PFAS definitions using fluorinated pharmaceuticals, *iScience*, Volume 25, 104020.
<https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104020>
- Hollender, J., Schymanski, E.L., Ahrens, L., Alygizakis, N., Béen, F., Bijlsma, L., Brunner, A.M., Celma, A., Fildier, A., Fu, Q., Gago-Ferrero, P., Gil-Solsona, R., Haglund, P., Hansen, M., Kaserzon, S., Krueve, A., Lamoree, M., Margoum, C., Meijer, J., Merel, S., Rauert, C., Rostkowski, P., Samanipour, S., Schulze, B., Schulze, T., Sigh, R.S., Slobodnik, J., Steininger-Mairinger, T., Thomaidis, N.S., Togola, A., Vorkamp, K., Vuilliet, E., Zhu, L., Krauss, M. (2023), NORMAN guidance on suspect and non-target screening in environmental monitoring, *Environmental Sciences Europe*, Volume 35, 75.
<https://doi.org/10.1186/s12302-023-00779-4>
- Hopkins, K. E., McKinney, M. A., Saini, A., Letcher, R. J., Karouna-Reiner, N. K., Fernie, K. J. (2023), Characterizing the Movement of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in an Avian Aquatic-Terrestrial Food Web, *Environmental Science & Technology*, Volume 57, 48, 20249–20260.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c06944>
- Hull SD, Deen L, Petersen KU, Jensen TK, Hammer P, Wils RS, Frankel HN, Ostrowski SR, Tøttenborg SS. 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 Nov 15;237(Pt 2):117036.
[doi: 10.1016/j.envres.2023.117036](https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117036). Epub 2023 Aug 31. PMID: 37659637.
- Falkenberg, J. A. (2022), Notat om anvendelse af JAGG ved vurdering af PFAS-forbindelser - Instruks, Miljøprojekt nr. 2215, Miljøstyrelsen, ISBN: 978-87-7038-456-8.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2022/11/978-87-7038-456-8.pdf>
- Husmer, L., Vogt-Nielsen, K. (2004), Risikohåndtering og risikokommunikation, Miljøprojekt nr. 893, Miljøstyrelsen.
<https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2004/87-7614-132-2/pdf/87-7614-133-0.pdf>
- Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC) (2022), Per- and Polyfluoroalkyl Substances Technical and Regulatory Guidance, Washington, D.C., Interstate Technology & Regulatory Council, PFAS Team.
<https://pfas-1.itrcweb.org/wp-content/uploads/2022/09/PFAS-Guidance-Document-9-2022.pdf>
- Jensen, J., Fauser, P., Sanderson, H., Vorkamp, K., Andersen, R., Rasmussen, D. 2023. Derivation of cut-off values for PFAS in sewage sludge Revised edition. Environmental Project no. 2232.

- Jia, C., You, C., Pan, G. (2010), Effect of temperature on the sorption and desorption of perfluorooctane sulfonate on humic acid, *Journal of Environmental Sciences*, Volume 22, Issue 3, S. 355–361.
[https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(09\)60115-7](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(09)60115-7)
- Jørgensen, P. R., Krogh, P. H., Qin, J., Modesti, L., Nielsen, I. B., Seersholm, F., Wagner, N., Hansen, A. J., Olsen, J., Strobel, B. W., Hansen, S., Gudbjerg, J., Petersen, C. T., Lacoste, M., Cousin, I., Keaveney, E., Barrett, G. (2022), Ancient Root Macropores and Fractures in Glacial till and Their Contribution to Pesticide Vulnerability of Groundwater in Low and High-ground Agricultural Landscape (PESTPORE2), *Pesticide Research* no. 207, Miljøstyrelsen.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2022/01/978-87-7038-376-9.pdf>
- Karman, C. C., Smit, M. G. D. (2019). Whole Effluent Toxicity Data and Discharge Volumes to Assess the Likelihood that Environmental Risks of Offshore Produced Water Discharges Are Adequately Controlled. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 15(4), 584–595.
<https://doi.org/10.1002/ieam.4139>
- Kesic, R., Elliott, J. E., Elliott, K. H., Lee, S. L., Maisonneuve, F. (2023), Perfluoroalkyl Substances in Seabird Eggs from Canada's Pacific Coast: Temporal Trends (1973–2019) and Interspecific Patterns, *Environ. Sci. Technol.*, Volume 57, 29, s. 10792–10803.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02965>
- Kjølholt, J., Jensen, A. A., Warming, M. (2015), Short-chain polyfluoroalkyl substances (PFAS), Environmental Project No. 1707, Miljøstyrelsen, ISBN 978-87-93352-15-5.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publications/2015/05/978-87-93352-15-5.pdf>
- Kowalczyk, J., Numata, J., Zimmermann, B., Klinger, R., Habedank, F., Just, P., Schafft, H., Lahrssen-Wiederholt, M. (2018), Suitability of Wild Boar (*Sus scrofa*) as a Bioindicator for Environmental Pollution with Perfluorooctanoic Acid (PFOA) and Perfluorooctanesulfonic Acid (PFOS), *Arch Environ Contam Toxicol*, 75, s. 594–606.
<https://doi.org/10.1007/s00244-018-0552-8>
- Kwiatkowski, C.F., Andrews, D.Q., Birnbaum, L.S., Bruton, T.A., DeWitt, J.C., Knappe, D.R.U., Maffini, M.V., Miller, M.F., Pelch, K.E., Reade, A., Soehl, A., Trier, X., Venier, M., Wagner, C.C., Wang, Z., Blum, A. Scientific Basis for Managing PFAS as a Chemical Class. *Environ Sci Technol Lett*. 2020 Aug 11;7(8):532–543.
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00255>
- Kärrman et al. (in press) Analytical approaches to support timely and effective management of chemicals of concern: The case of PFAS. (In prep)
- Kärrman, A., Yeung, L. W. Y., Spaan, K. M., Lange, F. T., Nguyen, M. A., Plassmann, M., de Wit, C. A., Scheurer, M., Awad, R., Benskin, J. A. (2021), Can determination of extractable organofluorine (EOF) be standardized? First interlaboratory comparisons of EOF and fluorine mass balance in sludge and water matrices, *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 23, 1458–1465.
<https://doi.org/10.1039/D1EM00224D>
- Københavns Universitet (2023), Daisy – Mechanistic simulation of agricultural fields,
<https://daisy.ku.dk/about-daisy/>
- Lai, W. WP., Lin, YC., Wang, YH., Guo, Y. L., Lin, A. YC (2018), Occurrence of Emerging Contaminants in Aquaculture Waters: Cross-Contamination between Aquaculture Systems and Surrounding Waters, *Water Air Soil Pollut* 229, 249.
<https://doi.org/10.1007/s11270-018-3901-3>
- Larsen, M.M., Bossi, R. (2021). Omregning af indhold af PFAS mellem muskel og lever i fisk. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 44 s. – Teknisk rapport nr. 199. <http://dce2.au.dk/pub/TR199.pdf>
- Lesmeister, L., Lange, F.T., Breuer, J., Biegel-Engler, A., Giese, E., Scheurer, M. (2021). Extending the knowledge about PFAS bioaccumulation factors for agricultural plants – A review. *Science of The Total Environment* 766.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142640>.

Miljøstyrelsen (2023), Olie- og gasproduktion i Nordsøen - oversigt over miljøindsatsen, <https://mst.dk/erhverv/groen-produktion-og-affald/industri/olie-og-gasproduktion-i-nordsoeen-oversigt-over-miljoeindsatsen>

MDHHS 2021. PFAS levels in Michigan Deer from the Oscoda Area, Iosco County. Michigan Department of Health and Human Services. Division of Environmental Health, Michigan Fish Consumption Advisory Program.

Morales-McDevitt, M. E., Becanova, J., Blum, A., Bruton, T. A., Vojta, S., Woodward, M., Lohmann, R. (2021), The air that we breathe: Neutral and volatile PFAS in indoor air, *Environ. Sci. Technol. Lett.*, 8, 10, 897–902. <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.1c0048>

Moya, J., Phillips, L. (2014), A review of soil and dust ingestion studies for children, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 24, 545–554. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.17>

Miljøministeriet (2021). Orientering om fund af TFA i grundvandet. Departmentet, Miljøministeriet, København. <https://www.ft.dk/samling/20201/almdei/MOF/bilag/298/2324830/index.htm>

MST (2015) Short-chain Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) A literature review of information on human health effects and environmental fate and effect aspects of short-chain PFAS. Environmental project No. 1707. Miljøstyrelsen, København.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (2022) Guidance on PFAS Exposure, Testing, and Clinical Follow-Up. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/26156>.

Newell, C. J., Adamson, D. T., Kulkarni, P. R., Nzeribe, B. N., Connor, J. A., Popovic, J., Stroo H. F. (2021) Monitored Natural Attenuation to Manage PFAS Impacts to Groundwater: Potential Guidelines, *Remediation*, 31, 4, 7-17. <https://doi.org/10.1002/rem.21697>

Newell, C. J., Adamson, D. T., Kulkarni, P. R., Nzeribe, B. N., Connor, J. A., Popovic, J., Stroo H. F. (2021) Monitored Natural Attenuation to Manage PFAS Impacts to Groundwater: Scientific Basis, *Groundwater Monitoring & Remediation*, 41, 4, 76-89. <https://doi.org/10.1111/gwmmr.12486>

Newell, C. J., Hassan, J., Li, Y., Johnson, N. W., Richardson, S. D., Connor, J. A., Adamson, D. T. (2022), Enhanced attenuation (EA) to manage PFAS plumes in groundwater, *Remediation*, 32, 4. <https://doi.org/10.1002/rem.21731>

Newell, C. J., Stockwell, E. B., Alanis, J., Adamson, D. T., Walker, K. L., Anderson, R. H. (2023), Determining groundwater recharge for quantifying PFAS mass discharge from unsaturated source zones, *Vadose Zone Journal*, 22, 4. <https://doi.org/10.1002/vzj2.20262>

NGI/NIVA (2018) PFBS in the Environment: Monitoring and Physical-Chemical Data Related to the Environmental Distribution of Perfluorobutanesulfonic Acid. <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M1122/M1122.pdf>

Nguyen, T. M. H., Bräunig, J., Thompson, K., Thompson, J., Kabiri, S., Navarro, D. A., Kookana, R. S., Grimison, C., Barnes, C. M., Higgins, C. P., McLaughlin, M. J., Mueller, J. F. (2020), Influences of Chemical Properties, Soil Properties, and Solution pH on Soil-Water Partitioning Coefficients of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFASs), *Environ. Sci. Technol.*, 54, 24, 15883–15892. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c05705>

National Health and Nutrition Survey (NHANES). Biomonitoring Data Tables for Environmental Chemicals. Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/exposurereport/data_tables.html

Nicolajsen, E. S., Tsitonaki, K. (2016), Kortlægning af brancher der anvender PFAS, Miljøprojekt nr. 1905, Miljøstyrelsen, ISBN: 978-87-93529-43-4.

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf>

Nielsen, A. F., Baun A., Andersen S. I., Skjolding L. M. (2022), Critical review of the OSPAR riskbased approach for offshore-produced water discharges, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 19, 5, 1172-1187.

<https://doi.org/10.1002/ieam.4715>

Nordisk Ministerråd (2019). 'The cost of inaction : A socioeconomic analysis of environmental and health impacts linked to exposure to PFAS'. Nordisk arbejdsgruppe for Kemikalier, Miljø og Sundhed (NKE), Nordisk Ministerråd, København.

DOI: 10.6027/TN2019-516

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2021), Reconciling Terminology of the Universe of Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Recommendations and Practical Guidance, OECD Series on Risk Management, No. 61, OECD Publishing, Paris.

<https://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/terminology-per-and-poly-fluoroalkyl-substances.pdf>

OSTP (2023). Per- and polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Report. White House Office of Science and Technology Policy, Washington D.C., USA.

https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2023/03/14/nstc_pfas_report/

Pereira, H. C., Ullberg, M., Kleja, D. B., Gustafsson, J. P., Ahrens, L. (2018), Sorption of perfluoroalkyl substances (PFASs) to an organic soil horizon – Effect of cation composition and pH, *Chemosphere*, 207, 183-191.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.05.012>

Petersen, G. B., Damhus, C. S., Jønsson, A. B. R., Brodersen, J. (2020), The perception gap: how the benefits and harms of cervical cancer screening are understood in information material focusing on informed choice, *Health, Risk & Society*, 22, 177-196.

<https://doi.org/10.1080/13698575.2020.177864>

Poothong, S., Papadopoulou, E., Padilla-Sánchez, J. A., Thomsen, C., Haug, L. S. (2020), Multiple pathways of human exposure to poly- and perfluoroalkyl substances (PFASs): From external exposure to human blood, *Environment International*, 134, 105244.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105244>

Rigét, F., Bossi, R., Sonne, C., Vorkamp, K., Dietz, R. (2013) Trends of perfluorochemicals in Greenland ringed seals and polar bears: Indications of shifts to decreasing trends. *Chemosphere*, 93, 1607-1614.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.08.015>

Roos, A.M., Gamberg, M., Muir, D., Kärrman, A., Carlsson, P., Cuyler, C., Lind, Y., Bossi, R., Rigét, F. (2022) Perfluoroalkyl substances in circum-Arctic Rangifer: caribou and reindeer. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29, 23721-23735.

<https://doi.org/10.1007/s11356-021-16729-7>

Rosenberg, L., Mosthaf, K., Broholm, M.M., Fjordbøge, A.S., Tuxen, N., Kern-Jespersen, I.H., Rønne, V., Bjerg, P.L. (2023). A novel concept for estimating the contaminant mass discharge of chlorinated ethenes emanating from clay till sites, *Journal of Contaminant Hydrology*, 252, 104121.

<https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2022.104121>

Rovero, M., Cutt, D., Griffiths, R., Filipowicz, U., Mishkin, K., White, B., Goodrow, S., Wilkin, R.T. (2021). Limitations of Current Approaches for Predicting Groundwater Vulnerability from PFAS Contamination in the Vadose Zone, *Groundwater Monitoring & Remediation*, 41, 62-75.

<https://doi.org/10.1111/gwmr.12485>

Schweizer, C., Edwards, R.D., Bayer-Oglesby, L., Gauderman, W.J., Ilacqua, V., Jantunen, M.J., Lai, H.K., Nieuwenhuijsen, M., Kunzli, N. (2007) Indoor time-microenvironment-activity patterns in seven regions of Europe. *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* 17, 170-181

<https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500490>

Schymanski EL, Zhang J, Thiessen PA, Chirsir P, Kondic T, Bolton EE. (2023) Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) in PubChem: 7 Million and Growing. *Environ Sci Technol.* 57(44):16918-16928.

<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c04855>

Sonne, C., Vorkamp, K., Galatius, A., Kyhn, L., Teilmann, J., Bossi, R., Søndergaard, J., Eulaers, I., Desforjes, J.-P., Siebert, U., Dietz, R. (2019) Human exposure to PFOS and mercury through meat from Baltic harbour seals (*Phoca vitulina*). *Environ. Res.* 175, 376-383.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.026>

Straková, J., Schneider, J., Cingotti, N. et al., (2021), Throwaway Packaging, Forever Chemicals: European wide survey of PFAS in disposable food packaging and tableware. 54 p.

<https://arnika.org/EN/publications/throwaway-packaging-forever-chemicals-european-wide-survey-of-pfas-in-disposable-food-packaging-and-tableware>

Strand, J., Bossi, R., Sortkjær, O., Landkildehus, F., Larsen, M.M. 2007: PFAS og organotinforbindelser i punktkilder og det akvatiske miljø. NOVANA screeningsundersøgelse. Danmarks Miljøundersøgelser. 49 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 608.

<https://www.dmu.dk/Pub/FR608.pdf>

Sundhedsstyrelsen (2023), Helbredseffekter af PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS, Elektronisk ISBN: 978-87-7014-417-9.

https://www.sst.dk/-/media/Udgivelser/2023/PFAS/Helbredseffekter-af-PFOA_-PFNA_-PFOS-og-PFHxS.ashx?sc_lang=da&hash=B0555DC0CB635E0A5FF226A8C717C7E7

Sørensen A.S. (2023). Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Macroalgae from Danish Coastal Waters. Biological Project Work. Department of Biology, Aarhus University.

Sørensen, A.L., Faxneld, S. (2023). Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) within the Swedish Monitoring Programme for Contaminants in Marine Biota. Report 6:2023. The Swedish Museum of Natural History.

Teknologisk Institut (2023). Akut brug for viden om PFAS i byggematerialer. Pressemeddelelse publiceret den 23. august 2023. (besøgt november 2023).

<https://www.teknologisk.dk/ydelser/akut-brug-for-viden-om-pfas-i-byggematerialer/45230>

Trier, X., Granby, K., Christensen, J. H. (2011) Tools to discover anionic and nonionic polyfluorinated alkyl surfactants by liquid chromatography electrospray ionisation mass spectrometry. *Journal of Chromatography A.* 1218, 40, 7094-7104.

<https://doi.org/10.1016/j.chroma.2011.07.057>

Tsitonaki, K., Priess, S., Roost, S., (2023), Overblik over viden om PFAS til vurdering af grundvandets mulige påvirkning af overfladevand, Miljøstyrelsen.

UBA (2023). Reducing the input of chemicals into waters: trifluoroacetate (TFA) as a persistent and mobile substance with many sources. Sources, input pathways, environmental contamination of TFA and regulatory approaches. Eds. Adlunger, K., Banning, H., Jentzsch, F. Umweltsundesamt, Dessau-Rosslau, Tyskland. ISSN 2363-829X.

UNEP (2020). Montreal Protocol. United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat, Nairobi, Kenya.

<https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol>

VMR (2022), Håndbog om undersøgelse og afværge af forurening med PFAS-forbindelser, Teknik og Administration, Nr 1. Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer.

https://backend.miljoeogressourcer.dk/media/lx/5319/PFAS-h_-_ndbogen_29092022b.pdf

Wang, Y., Munir, U., Huang, Q. (2023) Occurrence of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in soil: Sources, fate, and remediation. *Soil & Environmental Health*, 1 (1), 100004.

<https://doi.org/10.1016/j.seh.2023.100004>

Wang, F., Shih, K., Leckie, J.O. (2015) Effect of humic acid on the sorption of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and perfluorobutane sulfonate (PFBS) on boehmite. *Chemosphere*. 118, 213–218.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.08.080>

Wanner, P., Freis, M., Peterzell, M., Kelm, V., (2023) Risk classification of contaminated sites - Comparison of the Swedish and the German method. *Journal of Environmental Management*. 327, 116825.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116825>

Winkens, K., Koponen, J., Schuster, J., Shoeib, M., Vestergren, R., Berger, U., Karvonen, A.M., Pekkanen, J., Kiviranta, H., Cousins, I.T. (2017) Perfluoroalkyl acids and their precursors in indoor air sampled in children's bedrooms. *Environ. Pollut.* 222, 423–432.

<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.010>

Zhu, H., Kannan, K. (2020), A pilot study of per- and polyfluoroalkyl substances in automotive lubricant oils from the United States, *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100943.

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100943>

Zhu, L., Hajeb, P., Fauser, P., Vorkamp, K. (2023), Endocrine disrupting chemicals in indoor dust: A review of temporal and spatial trends, and human exposure, *Science of the Total Environment*, 874, 162374.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162374>

7. BILAG

7.1 Bilag 1. Forkortelsesliste for PFAS

Sulfonsyrer	Carboxylsyrer	Sulfonamider
PFBS (perfluorbutansulfonsyre)	PFBA (perfluorbutansyre)	PFOSA (perfluoroctansulfonamid)
PFPeS (perfluorpentansulfonsyre)	PFPeA (perfluorpentansyre)	
PFHxS (perfluorhexansulfonsyre)	PFHxA (perfluorhexansyre)	Telomer
PFHpS (perfluorheptansulfonsyre)	PFHpA (perfluorheptansyre)	6:2 FTS (6:2 fluortelomersulfonsyre)
PFOS (perfluoroctansulfonsyre)	PFOA (perfluoroctansyre)	Ethere
PFNS (perfluornonansulfonsyre)	PFNA (perfluornonansyre)	PFESAs (polyfluoroalkylether sulfonsyrer)
PFDS (perfluordecansulfonsyre)	PFDA (perfluordecansyre)	PFECAs (polyfluoroalkylether carboxylsyrer)
PFUnDS (perfluorundecansulfonsyre)	PFUnDA (perfluorundecansyre)	
PFDoDS (perfluordodecansulfonsyre)	PFDoDA (perfluordodecansyre)	
PFTTrDS (perfluortridecansulfonsyre)	PFTTrDA (perfluortridecansyre)	
Polymere		
PTFE (polytetrafluorethylen)		
PVDF (polyvinylidendifluorid)		
PFPEs (per- og polyfluorerede polyethere)		

7.2 Bilag 2. Oversigt over Miljøstyrelsens igangværende initiativer og projekter

Tablet A2.1. Miljøstyrelsens igangværende (december 2023) initiativer og projekter på PFAS området (Kilde: Miljøstyrelsen).

Navn på initiativ	Vedrører VTF kategori
Administrationsgrundlag for sager om bortskaffelse	9. Risikohåndtering
Analyse af PFAS i spildevand og slam - del 2	3. Kortlægning af potentielle kilde 4. Kendte kilder 5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Analyse af PFAS-sammensætning i grundvand, baseret på analyse af 33 PFAS og <i>suspect screening</i>	5. Forekomst og eksponering 6. Analysestrategi 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Destruktion af PFAS på konventionelle forbrændingsanlæg - analyse af restprodukterne	3. Kortlægning af potentielle kilder
Ekstraordinær tilsynsindsats med fokus på PFAS - offshore	9. Risikohåndtering
Etablering af PFOS-koordinationsforum	9. Risikohåndtering 10. Risikokommunikation
Forekomst af PFAS i jagtbart vildt	3. Kortlægning af potentielle kilder 5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Forslag om EU-begrænsning af PFAS	9. Risikohåndtering
Fælles GIS-kort med PFAS-analyser på tværs af myndigheder	1. Dataoverblik
Grænseværdi for spildevandsslam	11. Socio-økonomisk analyse
Indledende projekt om, hvordan der kan laves aktionsnivauer for PFAS i jord i Danmark, særligt inspireret af den hollandske model	9. Risikohåndtering
Informationsindsats til borgerne om PFAS i forbrugerprodukter	10. Risikokommunikation
Informationsindsats til virksomheder om PFAS produkter og kommende EU lovgivning	10. Risikokommunikation
Innovationspartnerskab for udvikling af miljøteknologi med henblik på mindre udledning af miljøfarlige forurenende stoffer	-

Litteraturstudie af PFAS fra affaldsforbrænding	3. Kortlægning af potentielle kilder 4. Kendte kilder 5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Massestrømsanalyse for PFAS	3. Kortlægning af potentielle kilder 4. Kendte kilder 5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Miljøstyrelsen vil for udvalgte brancher gennemføre tilsynskampagner med fokus på PFAS.	9. Risikohåndtering
Nationalt forbud (bekendtgørelse) imod anvendelse af PFAS-holdigt brandskum på øvelsespladser	9. Risikohåndtering
Nationalt overblik over brandøvelsespladser og status for håndtering hos kommuner m.fl.	9. Risikohåndtering
Nedsættelse af miljø- og sundhedsfaglig ekspertgruppe (PFAS-videnstaskforce)	-
Ny praksis for overvågning af PFAS fra affaldsdepoter	9. Risikohåndtering
Ny teknologi – passive samplers	6. Analysestrategi
Opfølgning på resultater af brev til alle deponier og kommunerne med opfordring til at analysere for PFOS/PFAS i perkolat fra deponier blev sendt i dec 2021.	9. Risikohåndtering
PFAS emissioner fra forbrænding af affald og slam	3. Kortlægning af potentielle kilder 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
PFAS i bygge-anlægsaffald	3. Kortlægning af potentielle kilder
PFAS i luft og nedbør – Pilotprojekt for måling	5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
PFAS i perkolat fra deponier	4. Kendte kilder
PFAS i shredderaffald	3. Kortlægning af potentielle kilder
Status på viden om PFAS (omfang og kilder ift. grundvand og overfladevand samt datagrundlag) – Delleverance til større projekt om "Grundvands kemiske påvirkning af overfladevand med MFS"	4. Kendte kilder 5. Forekomst og eksponering
Udarbejde skriftligt grundlag for det risikobaserede tilsyn.	9. Risikohåndtering
Udarbejde administrationsgrund for opfølgning på konstatering af høje koncentrationer af MFS, herunder PFAS i NOVANA-overvågningen	9. Risikohåndtering

Udvidelse af PFAS overvågningsparametre i landbrugsfisk og punktkilde	5. Forekomst og eksponering 6. Analysestrategi 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Udvikling af metode til tilstandsvurdering af grundvandsforekomster på baggrund af grundvandets påvirkning af overfladevand med PFAS	7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Undersøge muligheden for at stramme kravene til de mest problematiske stoffer	9. Risikohåndtering
Undersøge udveksling mellem sediment og vand	7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Undersøgelse af flourstoffer i pesticidemballage	3. Kortlægning af potentielle kilder
Undersøgelse af PFAS i affaldshåndtering, der kan udlede PFAS til overfladevand	3. Kortlægning af potentielle kilder
Vejledende grænseværdier for PFOS og PFAS 24 i tilslutningstilladelser.	9. Risikohåndtering
Vejledning om kildeopsporing for PFAS til kommunerne	9. Risikohåndtering

Tabel A2.2. Liste over Miljøstyrelsens igangværende (november 2023) Teknologiudviklingsprojekter på PFAS-området (Kilde: Miljøstyrelsen)

2023	Vedrører VTF kategori
PFAS i jord – international screening af håndteringsmuligheder.	5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet 9. Risikohåndtering
Dynamisk værktøj til vurdering af grundvandets PFAS-sårbarhed – 'proof of concept'	9. Risikohåndtering
PFAS – teknologier til oprensning af jord – SAFF og aerosoler	9. Risikohåndtering
RENSNING AF PFASFORURENET JORD VED "SMOULDERING"	9. Risikohåndtering
2022	
Porevandsmålinger til kost-effektiv undersøgelse af hotspotområder forud for afværge.	6. Analysestrategi
PFOAM – PFAS forurening i havet	5. Forekomst og eksponering 7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
PFAS – Prøvetagesprocedure til jord, grundvand, luft og overfladevand	6. Analysestrategi

PFAS - test af udstyr der er problematiske ved prøvetagning	6. Analysestrategi
PFAS - teknologier til oprensning af jord	9. Risikohåndtering
Diffus PFAS-forurening i jord	7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Påvirkning af grundvandet fra spildevandsslam	7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet
Udvikling af miljø- og klimavenlig PFAS-rensningsteknologi med on-site ionbytning/adsorption, regenerering og destruktions	9. Risikohåndtering
Behandling af PFAS forurenet jord til recirkulering af råstoffer	9. Risikohåndtering
renseteknologi til fjernelse af miljøfarlige forurenende stoffer til grundvandssænkning	9. Risikohåndtering
Oprensning af PFAS forureninger i jord, slam og vand	9. Risikohåndtering
2021	
Udredningsprojekt vedr. analysemetoder til undersøgelse for PFAS-forbindelser i jord og grundvand	6. Analysestrategi
Diffus PFAS-forurening i jord, grundvand og overfladevand	7. Skæbne, fordeling og transport i miljøet

7.3 Bilag 3. Yderligere videnshuller til videnstaskforcens arbejde i 2024

Tablet A3 Identificerede videnshuller, som ikke eller kun i mindre grad adresseres i videnstaskforcens notat, fordi disse emner vil blive behandlet i videnstaskforcens videre arbejde i 2024.

Område	Beskrivelse
Affald	Forekomst i de forskellige affaldsfraktioner. Skæbne (destruktion) ved affaldsforbrænding. Forekomst i perkolater fra affaldsdeponier og betydningen heraf ved nedsivning/rensning.
Forbrugerprodukter samt industrielle processer	Overblik over (potentiel) anvendelse, forekomst og mulighed for kontrol af den EU-restriktionsforslaget. Især for tekstiler vedr. eksponering ved brug, genbrug, genanvendelse.
Byggematerialer og bygningsaffald	Overblik over brugen af PFAS i byggematerialer i Danmark, forekomst og frigivelse til indeluft og støv, samt til alle dele af miljøet, og betydningen for genanvendelse og behandling af affald.
Rensnings- og destruktionsteknologier	Rensningsmetoder til spildevand, drikkevand og jord, samt destruktionsteknologier for affald der indeholder PFAS.
Spildevand	Precursors' forekomst og rolle i dannelsen af PFAAs samt flygtige PFAS og deres spredning til nærmiljøet.
Regnbetingede udledninger	Anvendelse af PFAS-holdige byggematerialer og i transportsektoren
Luft	Atmosfærisk forekomst, transport og deposition (tør/våd) – herunder især aerosolers rolle
Arbejds miljø	Overblik over hvilke processer og virksomheder i Danmark som anvender PFAS i forarbejdning og processer (fx coatning, forkroming mm), ved direkte anvendelse af slutprodukter (fx coatning af overflader, rengøring, medicin, brandslukningsskum), eller på anden måde via arbejdet er højt eksponeret (fx i sportsbutikker). Udarbejde plan for hvordan eksponering kan måles, fx i Human Biomonitoring (HBM) programmet.
Sundhedsskadelige effekter af PFAS	Som nævnt mangler vi viden om de sundhedsskadelige effekter for hovedparten af PFAS. Sådanne studier er ikke prioriterede i dette katalog, da de kræver mere langvarig og omkostningstung forskning.
Socioøkonomiske analyser	Opdateringen af Nordisk Minister rapport 'Cost of inaction – PFAS' fx ift. at tage højde for nye grænseværdier, indbringe data for forekomst, eksponering og toksicitet af både velkendte og nye PFAS samt medtage omkostninger, der ikke var indregnet i 2019 rapporten, fx hvordan mistænkt forurening kan påvirke prisen af ejerboliger. Hertil analyse af om discountraten kan harmoniseres med miljøtiltag med langsigtede effekter, og om danskerne har en større villighed end andre europæere til at betale mere PFAS frit drikkevand, fødevarer og produkter (se afsnit 4.11).

**Begrænsning
af menneskers
og miljøets
eksponering for
PFAS i Danmark**

Videnstaskforcen for PFAS