Downloaded from orbit.dtu.dk on: Sept 08, 2026

DTU Library

Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark

Del 2: Forslag til handlemuligheder for vidensopbygning og håndtering

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

Publication date:
2025

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Link back to DTU Orbit

Citation (APA):
Baun, A., Bjerg, P. L., Jensen, J., Kold Jensen, T., Lyngberg, A., Strobel, B. W., Vinggaard, A. M., Vorkamp, K., & Trier, X. (2025). *Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark: Del 2: Forslag til handlemuligheder for vidensopbygning og håndtering*. Videnstaskforce for PFAS-forurening.

General rights
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

MARTS

2025

Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark

Del 2: Forslag til handlemuligheder for vidensopbygning og håndtering

Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening

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, som kan indgå i vidensgrundlaget til at vurdere og håndtere de danske PFAS-udfordringer.

Det blev i Finansloven 2023 besluttet, at der skulle nedsættes en Videnstaskforce for PFAS-forurening (herefter: Videnstaskforcen) med henblik på at foretage en opsamling på den viden, som findes om PFAS både nationalt og internationalt. På baggrund af den tilgængelige viden og ekspertvurderinger skulle Videnstaskforcen udarbejde forslag til prioritering af fremadrettede tiltag mod PFAS. Videnstaskforcen blev udpeget som en uafhængig ekspertgruppe med Miljøstyrelsen 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, Danmarks Tekniske Universitet (forperson); Professor Poul L. Bjerg, Danmarks Tekniske Universitet; Viceinstitutleder John Jensen, Aarhus Universitet; Professor Tina Kold Jensen, Syddansk Universitet Cheflæge Ann Lyngberg, Arbejds- og Socialmedicinsk Afdeling, Holbæk Sygehus; Lektor Bjarne W. Strobel, Københavns Universitet; Professor Anne Marie Vinggaard, Danmarks Tekniske Universitet; Professor Katrin Vorkamp, Aarhus Universitet; Lektor Xenia Trier, Københavns Universitet.

Videnstaskforcens arbejde er i 2024 fulgt af en følgegruppe med repræsentanter fra styrelser, forskellige fagområder og interesseorganisationer: Arbejdstilsynet: Flemming Ingerslev ; ATV Jord og Grundvand: Katerina Tsitonaki; Brancheforeningen Cirkulær: Hanne Ørbæk Johnsen, Niels Remtoft; Danmarks Naturfredningsforening: Henning Mørk Jørgensen, Walter Brüsch; Danske Regioner: Bente Villumsen, Julie Kofoed; Danske Vandværker: Tue Kofoed; Dansk Industri: Helle Westphal; DANVA: Anders Hansen, Dorte Skræm; Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø: Anne Toustrup Saber, Jorid Birkelund Sørli; Forsvarsministeriets Ejendomsstyrelse: Anne Mette Lindof og Mette Marie Mygind; Friluftsrådet: Bjarke L. Frandsen; Fødevarestyrelsen: Charlotte Legind, Dorthe Licht Cederberg; GEUS: Christian Nyrop Albers; Landbrug og Fødevarer: Henrik Bang Jensen; Miljøministeriet: Lisa Bizarro; Miljøstyrelsen: Charlotte Moosdorf, Maiken Lundstad Nielsen, Jane Hansen; Region Hovedstaden: Nina Tuxen; Rådet for Grøn Omstilling: Lone Mikkelsen; Styrelsen for Patientsikkerhed: Susanne Bennekou; Naturstyrelsen: Rune Elnegaard Sørensen.

I 2024 er afholdt tre følgegruppemøder hhv. den 11. april, 2. oktober og 5. december 2024 og såvel mundtlige som skriftlige input fra følgegruppemedlemmer er medtaget i Videnstaskforcens opgaveløsning. Derudover afholdt Videnstaskforcen i løbet af 2024 følgende tre workshops med inviterede deltagere:
Workshop om vidensdeling (13. september 2024, DGI Byen, 42 deltagere)
Workshop om risikokommunikation (27. september 2024, online, 10 deltagere)
Workshop om grænseværdier (9. oktober 2024, DGI Byen, 39 deltagere)

Beskrivelse af Videnstaskforcen samt dets relaterede publikationer kan findes på Miljøstyrelsens hjemmeside:

https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/kemikalier/fokus-paa-saerlige-stoffer/pfas/videnstaskforce-for-pfas

Miljøstyrelsens PFAS-sekretariat, og især Ida Rasmussen, Pernille Stentebjerg Sigsgaard, Eline Begtrup Weeth og Amanda Smidstrup Sejersen takkes for kompetent sekretærbistand til Videnstaskforcen i 2023 og 2024. Seniorforsker Rune Hjorth fra Danmarks Tekniske Universitet for bistand med indhentning af baggrundsinformation samt redaktionel assistance. Derudover takkes en meget lang række af danske og internationale aktører på PFAS området (herunder forskere, rådgivere, industri, NGO'er, brancheorganisationer mv.), som velvilligt har stillet deres ekspertise til rådighed for Videnstaskforcen i 2023 og 2024.

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. (2025) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 2: Forslag til handlemuligheder for vidensopbygning og håndtering. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening.

RESUMÉ

Videnstaksforcen for PFAS-forurening har i 2024 primært arbejdet med udviklingen af forslag til handlemuligheder for at nedbringe PFAS-eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark, som er sammenfattet i denne 2. del af Videnstaskforcens rapport.

Forslagene baserer sig på den internationale viden om PFAS inkl. ny viden, som er genereret i 2024 til at lukke de videnshuller, der blev identificeret i rapportens 1. del (Baun et al., 2023), hvor den overordnede sigtelinje for identifikation af videnshuller og forslag til projekter indenfor disse videnshuller var 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 måske ikke kan overføres direkte.

Det er Videnstaskforcens overordnede konklusion på videnskortlægningen i 2023 og 2024, at vidensniveauet vedrørende PFAS forurening i Danmark generelt set er højt. Vi har også, på grund af dette høje vidensniveau, erkendt problemstillinger, som kræver nye undersøgelser og ny forskning rettet mod konkrete løsninger, for at vi kan sikre befolkningen og miljøet mod skadevirkningerne af stofferne. Her udstikker den nationale PFAS handlingsplan meget væsentlige sigtelinjer, men også helt konkrete områder, hvor handling enten allerede er i gang eller skal igangsættes. Videnstaskforcens første rapport og projekter har bidraget til handlingsplanen, og etableringen af Dansk PFAS Forsknings- og Leverancecenter (PFAS-centret), som beskrevet i handlingsplanen, vil bidrage til kompetence- og vidensopbygning i Danmark på både kort og langt sigt.

Videnstaskforcens arbejde i 2024 og forslag til handlemuligheder i denne rapport, har derfor været rettet mod implementering i linje med handlingsplanens områder inkl. de muligheder som samarbejdet i PFAS-centret åbner mulighed for. Videnstaskforcen har foreslået handlemuligheder på følgende områder: Dataoverblik, alternativer, kortlægning af potentielle kilder, kendte kilder, forekomst og eksponering, analysestrategi, skæbne,fordeling og transport i miljøet, toksikologiske effekter og risikokommunikation. I tabel 1 er vist de 18 forslag, som Videnstaskforcen fremsætter i et katalog over forslag til handlemuligheder i rapporten.

I udvælgelsen af forslag til handlemuligheder til dette katalog, har hensynet til reduktion af massen af PFAS i cirkulation i Danmark samt massens relation til eksponering været af afgørende betydning. Forslagene spænder bredt og adresserer alle trin fra emissioner til menneskenes eksponering. De omfatter forskellige typer handlemuligheder, inklusive opbygning af mere viden, hvor Videnstaskforcen fortsat konstaterer kritiske videnshuller.

For det præsenterede katalog over handlemuligheder skal det understreges, at disse er tiltænkt som grundlagsskabende for myndighedernes fremtidige prioritering af indsatsen mod PFAS-forureningen. For alle handlemuligheder gælder derfor, at de er rettede mod, at myndighederne kan igangsætte handlingerne, men ikke nødvendigvis vil være de udførende. Det skal understreges, at kataloget *ikke* er tænkt som en checkliste over handlinger, der skal igangsættes for, at vi får styr på PFAS–forureningen og -eksponeringen i Danmark. Det har været Videnstaskforcens ambition at prioritere handlemuligheder, der dækker flest muligt af de mange dimensioner, som PFAS-problemstillingen berører, men at holde fokus på de handlemuligheder, der kan nedbringe miljøets og befolkningens eksponering.

Tabel 1. Oversigt over Videnstaskforcens katalog over forslag til myndighedernes handlemuligheder til at nedbringe PFAS eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark.

Kategori	Handlemulighed
Dataoverblik	#1 Vidensdeling
Alternativer	#2 PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling
Kortlægning af potentielle kilder	#3 Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet
	#4 PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder
	#5 Emissioner til udeluft
Kendte kilder	#6 PFAS forurening på forurenede grunde
	#7 Spildevand og spildevandsslam
Forekomst og eksponering	#8 Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter
	#9 Forbrugerprodukter og eksponering
	#10 En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS
	#11 Overvågningsstrategi
Analysestrategi	#12 Analysemetoder
	#13 Kontrolmetoder og -strategi
Skæbne, fordeling og transport i miljøet	#14 Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land
	#15 Grundvand og drikkevand
Toksikologiske effekter	#16 Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS
	#17 Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier
Risikokommunikation	#18 Myndighedernes risikokommunikation

Videnstaskforcen understreger, at en reduktion i PFAS-eksponeringen i Danmark først og fremmest afhænger af en udfasning, og helst en absolut afvikling af brugen af PFAS. Her spiller det restriktionsforslag, som Danmark sammen med fire andre europæiske lande fremsatte i 2023, en helt afgørende rolle. I Videnstaskforcens arbejde har det været antaget som en forudsætning, at restriktionsforslaget vedtages i sin nuværende form. Derfor har Videnstaskforcens arbejde i høj grad været rettet mod den allerede eksisterende forureningssituation i Danmark, og hvordan befolkningens og miljøets eksponering til PFAS kan reduceres.

I Danmark er fokus på PFAS hos myndighederne steget markant i de senere år, og alene i Miljøstyrelsens regi er der siden 2018 iværksat mere end 70 forsknings-, udviklings- og udredningsprojekter på PFAS-området. Hertil kommer projekter hos især Fødevarestyrelsen og Sundhedsstyrelsen, men også mange projekter hos regioner, kommuner og private aktører. At bringe al denne viden i spil er afgørende for nedbringelse af miljøets og befolkningens eksponering. Som beskrevet i rapporten, og særligt i handlemulighed *#1 Vidensdeling*, er vidensdeling særdeles vigtigt og prioriteres højt af Videnstaskforcen.

En af handlemulighederne er direkte rettet mod udfasning af brugen af PFAS, nemlig *#2 PFAS–frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling*. Dette emne er udvalgt, da afhængigheden af anvendelse af PFAS i flere grønne teknologier (fx varmepumper og batterier) i dag stadig er stor, og en udfasning af brugen afhænger af, at der findes realistiske alternativer.

Der er behov for en øget forståelse af stoffernes skæbne, fordeling og transport i miljøet og udover, at flere af de foreslåede handlemuligheder vil bidrage hertil (fx *#6 PFAS forurening på forurenede grunde*; *#7 Spildevand og spildevandsslam*; *#8 Kortlægning og forekomst i fisk og marine produkter*), ligger dette også centralt i forskningsemnerne i PFAS-centret.

I forhold til at begrænse massen af PFAS i cirkulation i Danmark er det afgørende, at kilderne til PFAS er kortlagte. Her ligger der et stort datamateriale tilgængeligt i baggrundsdokumenterne til restriktionsforslaget samt i en nylig massestrømsanalyse for Danmark. Der er dog betydelige usikkerheder knyttet til estimater af massen af PFAS i cirkulation og derfor vil kortlægning af potentielle kilder stadig være vigtigt. Her har Videnstaskforcen valgt af foreslå følgende tre handlemuligheder: *#3 Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet, #4 PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder* og *#5 Emissioner til udeluft*. Yderligere, vil Videnstaskforcen fremhæve, at der mangler viden om indhold, udvaskning og spredning af PFAS fra byggematerialer under anvendelse, ved genbrug/genanvendelse og ved bortskaffelse.

For de kendte kilder til PFAS forurening har Videnstaskforcen foreslået handlemuligheder inden for to store områder, nemlig *#6 Forurenede grunde* og *#7 Spildevand og spildevandsslam*. For begge disse områder er behovet for kortlægning samt implementering af den opbyggede viden i fagområdet stadigt stort. På jord- og grundvandsområdet, vil forskning i PFAS' transport være vigtigt i forhold til at beskytte mod forureningen – et emne som også indgår PFAS-centrets forskningsprogram for 2025-2028. På spildevandsområdet vil et øget fokus på prøvetagnings- og analysemetoder samt opskalering og afprøvning af renseteknologier have stor betydning for at kunne vurdere teknologiernes bidrag til at nedbringe miljøets belastning med PFAS. Videnstaskforcen har ikke givet forslag til egentlige handlingsmuligheder med hensyn til jordhåndtering, da et udredningsprojekt specifikt rettet mod dette område er i gang i Miljøstyrelsen. På affaldsområdet er der ligeledes et udredningsprojekt på vej rettet mod håndteringen af perkolater fra affaldsdeponier, som er et område, der giver særlige udfordringer på grund af påvisningen af relativt høje koncentrationer af PFAS. Rensning er implementeret på nogle deponier, men rensning for PFAS på alle affaldsdeponier i Danmark vil være meget ressourcekrævende. Udover udfordringer med PFAS i perkolater, tyder nye udenlandske undersøgelser på, at emissioner fra affaldshåndteringsanlæg til luft vil kunne bidrage betragteligt til den samlede masse af PFAS i miljøet. Dette er et emne, hvor PFAS-centret i foråret 2025 igangsætter et forskningsprojekt fokuseret på luftemissioner fra spildevandsrensningsanlæg og affaldsdeponier.

På basis af internationale studier er det forventeligt, at fisk og skaldyr vil være væsentlige bidragsydere, men dette er ikke undersøgt systematisk under danske forhold. Videnstaskforcen har derfor foreslået handlemulighed *#8 Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter*, som vil være oplagt for PFAS-centret at følge op på. Med hensyn til eksponering fra forbrugerprodukter er PFAS handlingsplanens forbud mod PFAS i beklædning og imprægneringsmidler til forbrugere et vigtigt skridt, da netop brugen af PFAS i tekstiler udgør en stor del af den samlede anvendelse af PFAS. I Videnstaskforcens handlemulighed *#9 Forbrugerprodukter og eksponering* foreslås et yderligere fokus på forbrugerprodukters betydning for eksponeringen samt en række tiltag, der vil kunne bidrage til at reducere denne.

Fortsat udvikling og afprøvning af analysemetoder samt kombination af analytisk-kemiske tilgange er nødvendig inden for stort set alle områder knyttet til PFAS problematikken, hvilket er baggrunden for at Videnstaskforcen har foreslået handlemulighederne *#11 Overvågningsstrategi*, *#12 Analysemetoder* og *#13 Kontrolmetoder og -strategi*.

For at kortlægge danskernes tidligere, nuværende og fremtidige eksponering for såvel tidligere anvendte PFAS som nyere erstatningsstoffer foreslår Videnstaskforcen, at der etableres en biomonitoreringsplan for befolkningens blodniveauerne af PFAS *(#10 En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS*). Dette forslag ligger i direkte forlængelse af det projekt, som Videnstaskforcen gennemførte i 2024. Udover at skaffe konkret viden om blodniveauerne, vil man kunne etablere referenceværdier til risikovurdering samt kunne følge trends over tid og belyse effekten af reguleringstiltag på den reelle PFAS eksponering.

For håndteringen af PFAS bør et særligt fokus rettes mod indsatser, der belyser betydningen af den diffuse forurening for arealanvendelser (se *#14 Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land*) men også i relation til forurening af grundvand og drikkevand (se *#15 Grundvand og drikkevand*).

Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder *#16 Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS* og *#17 Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelsen af grænseværdier* er rettet mod, at myndighederne holdes opdaterede på nye undersøgelser af PFAS (øko)toksikologiske virkninger med et særligt fokus på de kortkædede PFAS, hvor vidensniveauet i dag generelt er lavt. En mindre del af disse handlemuligheder er dækket af sundhedsdelen af PFAS-centrets forskning, og et øget fokus på de (øko)toksikologiske virkninger og metoder til at bestemme disse vil kunne bidrage til såvel kostråd samt grænseværdibestemmelser.

I forlængelse af dette, vil Videnstaskforcen understrege, at miljøkvalitetskrav og grænseværdier spiller en afgørende rolle for håndteringen af PFAS i Danmark, hvor vi – set i et internationalt perspektiv – har implementeret de laveste værdier. Fælles for grænseværdierne i fx drikkevand, grundvand, overfladevand, og jord er en beskyttelse af mennesker, herunder specielt børn. Mulige risici knyttet til effekter på økosystemer, dyr og planter forventes at opstå ved langt højere koncentrationer.

De fastsatte grænseværdier vil ofte vil være dimensionerende for de beslutninger og investeringer, der foretages i dag. Investeringer foretaget i dag kan derfor, hvis grænseværdierne ændres, vise sig utilstrækkelige i fremtiden. Særligt på jordområdet, står vi som samfund over for store udfordringer i håndteringsmæssig sammenhæng. Videnstaskforcen vurderer, at der kan være et behov for at udvikle differentierede vejledende jordkvalitetskriterier, som er målrettet forskellige anvendelsesmuligheder og reflekterer mulige eksponeringsveje og beskyttelsesmål. I samme kontekst bør det fx overvejes, om andre supplerende metoder som fx udvaskningstest, kan tages i brug for at belyse risiko forbundet med beskyttelse af grundvand og overfladevand. Videnstaskforcen opfordrer til, at de faglige grunde til at opretholde det nuværende overfladevandskvalitetskriterium for PFAS24 revurderes. Der knytter sig dels metodemæssige usikkerheder til fremgangsmåden for fastsættelsen, og den endelige udvælgelse af overfladvandskvalitetskriteriet for PFAS24 er baseret på, at overfladevand anvendes som drikkevand. En praksis, der ikke foregår i Danmark, hvor vi allerede har implementeret grundvands- og drikkevandskvalitetskrav, der er baseret på PFAS4 og PFAS22.

Endelig konkluderer Videnstaskforcen, at behovet for en balanceret risikokommunikation er stort, og det vægtes derfor højt af Videnstaskforcen, at myndighedernes risikokommunikation prioriteres, som beskrevet i den foreslåede handlemulighed *#18 Myndighedernes risikokommunikation*. Risikokommunikation vil i sig selv naturligvis ikke nedbringe eksponeringen, men er af stor betydning for såvel den enkelte borgers forståelse af situationen, og dermed borgernes tryghed, som myndigheders og beslutningstagers muligheder for at iværksætte handlinger.

Videnstaskforcen vil afslutningsvist understrege, at vi som samfund må finde måder, hvorpå vi kan leve med, at PFAS findes i miljøet i dag og mange år ud i fremtiden. For at dette er muligt, er det afgørende at vi finder måder, hvorpå vi kan leve *så sikkert som muligt* med forureningen og at vi samtidigt gør, hvad der er muligt for *at begrænse skaderne*. PFAS problemstillingen er mere kompleks end, hvad vi hidtil har oplevet for andre miljøfarlige stoffer, og der forestår et langt sejt træk, hvor praktiske erfaringer og opbygning af ny viden må følges ad for at finde de målrettede tiltag, der giver størst beskyttelse mod tilstedeværelse af PFAS i Danmark.

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	**Formål**	10
1.1	Opgaveformulering for Videnstaskforcen for PFAS-forurening	10
1.2	Formål og afgrænsning	11
2	**Handlingsplaner for PFAS**	13
2.1	Den nationale handlingsplan for PFAS	13
2.2	Internationale handlingsplaner	14
3	**Videnstaskforcens projekter til afdækning af videnshuller**	15
3.1	Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse	16
3.2	Projekt 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS	17
3.3	Projekt 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning	17
3.4	Projekt 6: Vurdering af forskellige eksponeringsvejes bidrag til den samlede humane eksponering	17
3.5	Projekt 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevareprøver og humane prøver)	18
3.6	Projekt 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde	18
3.7	Projekt 10: Diffus forurening og i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS	19
4	**Ny viden og tværgående emner relevante for handlinger til nedbringelse af PFAS-eksponering**	21
4.1	PFAS som en eller flere stofgrupper	21
4.2	Grænseværdier som dimensionerende for håndtering	23
4.3	PFAS-eksponering og massebetragtninger	26
4.4	Kortkædede PFAS herunder trifluoreddikesyre (TFA)	27
4.5	Affaldshåndtering og -behandling	28
4.6	Byggematerialer og bygningsaffald	30
4.7	Jordforurening og -håndtering	30
4.8	Behovet for socioøkonomiske analyser	32
4.9	Myndighedernes risikokommunikation	32

5	**Katalog over Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder**	34
5.1	HANDLEMULIGHED #1 - Videndeling	36
5.2	HANDLEMULIGHED #2 – PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling	37
5.3	HANDLEMULIGHED #3 - Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet	39
5.4	HANDLEMULIGHED #4 - PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder	40
5.5	HANDLEMULIGHED #5 – Emissioner til udeluft	43
5.6	HANDLEMULIGHED #6 - PFAS forurening på forurenede grunde	46
5.7	HANDLEMULIGHED #7 - Spildevand og spildevandsslam	49
5.8	HANDLEMULIGHED #8 - Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter	51
5.9	HANDLEMULIGHED #9 – Forbrugerprodukter og eksponering	53
5.10	HANDLEMULIGHED #10 - En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS	56
5.11	HANDLEMULIGHED #11 - Overvågningsstrategi	58
5.12	HANDLEMULIGHED #12 - Analysemetoder	61
5.13	HANDLEMULIGHED #13 – Kontrolmetoder og -strategi	64
5.14	HANDLEMULIGHED #14 - Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land	66
5.15	HANDLEMULIGHED #15 - Grundvand og drikkevand	69
5.16	HANDLEMULIGHED #16 - Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS	72
5.17	HANDLEMULIGHED #17 – Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier	74
5.18	HANDLEMULIGHED #18 - Myndighedernes risikokommunikation	76
6	**Opsummering og konklusion**	78
7	**Referencer**	83
8	**Bilag**	87
8.1	Bilag 1. Metode til identifikation af handlemuligheder	87
8.2	Bilag 2. Forkortelsesliste for PFAS	89

1. FORMÅL

1.1 Opgaveformulering for Videnstaskforcen for PFAS-forurening

Videnstaskforcen for PFAS (herefter: Videnstaskforcen) har arbejdet ud fra et kommissorium, der fastlægger, at Videnstaskforcen i 2023 skulle 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, skulle 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 skulle desuden i 2023 opstille forslag til, hvordan den manglende og nødvendige viden kan tilvejebringes på en videnskabeligt velfunderet måde. Endelig skulle 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. Dette arbejde er dokumenteret i del 1 af denne rapport (Baun et al., 2023).

Kommissoriet for Videnstaskforcen fastlægger desuden, at Videnstaskforcen i slutningen af 2024 på baggrund af eksisterende og ny viden skal udarbejde en rapport indeholdende konkrete anvisninger af, hvilke særlige områder, handlinger, vidensopbygning og håndtering offentlige myndigheder kunne fokusere på og prioritere i håndteringen af risikoen fra forurening med PFAS. Del 2 af Videnstaskforcens rapport dækker denne del af kommissoriet.

Rapporten skal ses i direkte forlængelse af del 1, og der henvises derfor til denne for den overordnede gennemgang af PFAS som problemstoffer for mennesker og miljø.

1.2 Formål og afgrænsning

Formålet **med denne rapport er at opdatere den eksisterende viden, der kan danne grundlag for myndighedernes fremtidige prioritering af fokus og indsats mod PFAS-forurening rettet mod at reducere en uacceptabel eksponering af befolkningen.**

Den opsummerede viden anvendes i rapporten til at give forslag til konkrete, prioriterede handlemuligheder for at nedbringe PFAS-eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark.

Forslag til handlemuligheder er rettet både mod håndtering af eksisterende forurening og tiltag, der skal forebygge yderligere forurening. De konkrete forslag til handlemuligheder er opsummeret i rapportens kapitel 5 i form af et katalog over prioriterede emner med korte forklarende beskrivelser.

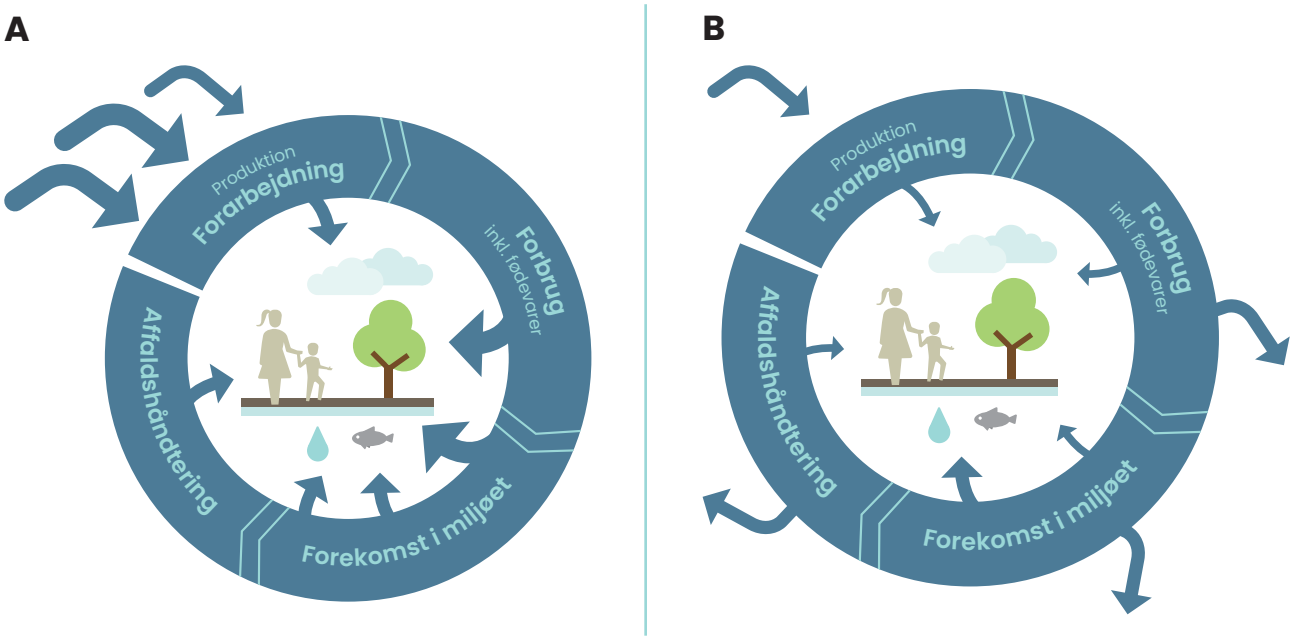
I udvælgelsen af forslag til handlemuligheder har hensynet til reduktion af massen af PFAS været af afgørende betydning. Det drejer sig dels om massen af de enkelte PFAS med kendt toksicitet og dels massen af den samlede gruppe af PFAS i cirkulation i Danmark samt massens relation til eksponering. Herudover er forslagene sat i sammenhæng med den nationale handlingsplan for PFAS 2024-2027. Denne gennemgås kort i kapitel 2, hvor også handlingsplaner fra andre lande kort opridses.

I bilag 1 beskrives den metode, som Videnstaskforcen har anvendt til identifikation af emner, for hvilke forslag til konkrete handlemuligheder bør opstilles. Der er ved denne udvælgelse taget udgangspunkt i den internationale viden om PFAS samt Videnstaskforcens delrapport 1 og den nye viden, der er blevet genereret via Videnstaskforcens forsknings- og vidensopbygningsprojekter og/eller opfølgende aktiviteter i løbet af 2024 (se kapitel 3). På basis af den samlede viden er der udarbejdet 18 forslag til handlemuligheder som er samlet i rapportens kapitel 5. Derudover er de større tværgående emner, som ikke blev behandlet i del 1 (se bilag 2 i denne), samt viden fra den omfattende mængde af øvrige projekter og publikationer, der er udkommet i 2024, behandlet kort i kapitel 4 i rapporten.

Det er væsentligt at understrege, at Videnstaskforcen finder, at en reduktion i PFAS-eksponeringen i Danmark først og fremmest er afhængig af en udfasning, og helst en absolut afvikling af brugen af PFAS. For denne rapport er det derfor en bagvedliggende forudsætning, at nye PFAS-emissioner begrænses og på sigt stoppes. Rapporten og Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder er derfor i lang overvejende grad rettet mod den allerede eksisterende forureningssituation i Danmark, og hvordan vi mest effektivt mindsker befolkningens og miljøets eksponering til PFAS herfra.

I figur 1.1 er givet en grafisk forklaring af formålet med Videnstaskforcens arbejde og især nærværende del 2. I figuren angiver den blå farve massen af PFAS i cirkulation i Danmark, og pilene ind mod centrum af cirklerne beskriver eksponeringen af mennesker og miljø. Pilene ind i den blå cirkel skal vise fornyet PFAS-tilførsel til samfundet. I figur 1.1A vises situationen i dag med flere pile ind i samfundet og en større eksponering, end der er vist i figur 1.1B. Her vises situationen efter, at der er foretaget indgreb for at formindske eksponeringen, fx. gennem de handlinger, der er beskrevet i denne rapport. Cirklens volumen skal helst blive mindre, samtidig med at pilene bliver mindre, både absolut og relativt. Dermed menes, at der skal frigives en mindre procentdel af PFAS til miljøet (som kan føre til eksponering) end før handlingerne. Pilene ud af cirklen indikerer rensningstiltag med total destruktion af PFAS. Mens destruktionen er et vigtigt element i reduktionen af den eksisterende PFAS-mængde i miljøet, er det Videnstaskforcens vurdering, at omfanget af PFAS-forureningen ikke vil tillade en fuldstændig oprensning af al PFAS i miljøet.

Det er i denne forbindelse vigtigt at understrege, at de emner, hvor Videnstaskforcen har prioriteret at fremsætte forslag til handlemuligheder, reflekterer de områder, hvor Videnstaskforcens medlemmer har ekspertviden. Videnstaskforcen har derfor fx ikke adresseret mulige problemstillinger relateret til PFAS i arbejdsmiljøet. Der er i dag allerede et fokus på muligt højt eksponerede erhverv som fx i beredskabet. Fokus på ansattes eksponering bør fortsat være højt i de virksomheder i Danmark, som anvender PFAS i forarbejdning og processer (fx coatning, forkromning mm) eller direkte ved anvendelse af slutprodukter (fx coating af overflader, rengøring, medicin, brandslukningsskum). Her kan være et samspil med flere af de handlemuligheder, der præsenteres i kapitel 5.



Figur 1.1. Illustration af PFAS forureningssituationen og den tilsigtede virkning af handlinger til nedbringelse af eksponering af mennesker og miljø.

A. Et nutidsbillede af PFAS-situationen: Den blå farve angiver massen af PFAS i cirkulation i samfundet og centrum af cirklerne viser modtagerne ("receptorerne") af forureningen. Pilene ind i centrum af cirklen er således eksponeringen til mennesker og miljøet. Pilene ind i den blå cirkel viser fornyet input af PFAS til samfundet.

B. Situationen efter iværksættelse af handlinger. Denne rapport sigter mod at gøre pilene ind i centrum mindre/færre, mens en generel PFAS-udfasning skal gøre pilene ind i den blå cirkel mindre/færre og sammen med rensning gøre den blå cirkel mindre (dvs. totalt set mindre PFAS i cirkulation). Pile ud ad cirklen er kun effektive, hvis de medfører en total destruktion af PFAS.

2. HANDLINGSPLANER FOR PFAS

2.1 Den nationale handlingsplan for PFAS

Regeringen og en række partier offentliggjorde "Aftale om en national handlingsplan for PFAS" (herefter benævnt "PFAS handlingsplanen") i maj 2024, hvor der samlet set er afsat 404 mio. kr. til håndtering af PFAS i Danmark med det overordnede formål at beskytte mennesker og miljø.

Handlingsplanen bygger på fire centrale indsatsområder, som tilsammen har til formål at styrke overvågning, regulering og oprensning samt skabe bedre forudsætninger for at beskytte befolkning og miljø mod PFAS-forurening.

Skærpede restriktioner og regulering af PFAS. Regeringen forpligter sig til at arbejde for strengere nationale og internationale regler for brugen af PFAS. På EU-niveau vil Danmark fortsat være en drivende kraft i arbejdet for en generel forbudspakke, der skal begrænse anvendelsen af alle unødvendige PFAS-stoffer i produkter og processer. Samtidig indføres der nationale tiltag for yderligere at reducere brugen af PFAS i specifikke brancher, herunder i brandslukningsskum, tekstiler og emballage.

Oprensning og forebyggelse af forurening. En betydelig del af handlingsplanen fokuserer på oprydning og forebyggelse af PFAS-forurening. Der afsættes ressourcer til at lokalisere og håndtere kendte forureningskilder, fx tidligere brandøvelsespladser og industrielle områder, hvor PFAS er blevet anvendt. Samtidig styrkes overvågningen af grundvand, drikkevand og jord for at sikre en tidlig indsats mod ny forurening.

Beskyttelse af sundheden. Beskyttelse af befolkningens sundhed er en central prioritet. For at sikre viden om PFAS-eksponering i befolkningen indgår et monitoreringsprojekt om PFAS baggrundsværdier i den danske befolkning. Ligeledes styrkes informationen til borgerne om PFAS. Derudover vil regeringen arbejde for at reducere PFAS i fødevarekæden, blandt andet gennem at fremme flere og mere kvalificerede EU-grænseværdier samt mere overvågning af PFAS i foder og fødevarer.

Styrket forskning og vidensdeling. For at sikre en effektiv indsats mod PFAS styrkes forskningen, bl.a. i udvikling af alternative løsninger. Regeringen har efterfølgende besluttet, at der skal etableres et dansk PFAS forsknings- og leverancecenter. Centret skal samle og dele viden om PFAS, understøtte forskning og udvikling samt tilbyde konkrete løsninger til overvågning, oprensning og reduktion af PFAS. Dette inkluderer samarbejde med universiteter, virksomheder og internationale partnere for at sikre en helhedsorienteret tilgang. Dansk PFAS Forsknings- og Leverancecenter (PFAS-centret) er en realitet pr. 1. januar 2025 i et samarbejde mellem Danmarks Tekniske Universitet, Aarhus Universitet, Københavns Universitet og Syddansk Universitet. PFAS-centret vil med et budget på 44,3 mio. kr. igangsætte forsknings- og vidensdelingsprojekter samt yde rådgivning til myndigheder inden for miljø-, fødevare- og sundhedsområdet.

Finansiering og implementering. Handlingsplanen understøttes af betydelige økonomiske ressourcer til at understøtte implementeringen af tiltagene. En årlig statusrapport vil blive udarbejdet for at monitorere fremskridt og justere indsatsen, hvor det er nødvendigt.

PFAS handlingsplanen er gældende fra 2024-2027, og bygger på tre principper, nemlig at *oprense, afværge og inddæmme* PFAS forurening i Danmark. I videnskabelig/faglig sammenhæng vil disse begreber kunne have forskellig betydning afhængig af faggrupper og -discipliner, og derfor skal det her specificeres, at PFAS handlingsplanen er rettet mod:

1. at *oprense* – og helst destruere - den forurening, som er mulig at oprense.
2. at *afværge* (eller forhindre), at der sker fortsat forurening med PFAS.
3. at i*nddæmme* den forurening, som allerede findes i miljøet eller fødevarer - og som ikke kan oprenses - så forureningen ikke spredes yderligere.

Området "oprense" fokuserer på oprensning af den forurening, som allerede findes i miljøet. Her afsætter PFAS handlingsplanen bl.a. midler til oprensning af punktkilder (forurenede grunde) samt drikkevand.

På området "afværge" er PFAS handlingsplanen rettet mod at begrænse ny tilførsel af PFAS i Danmark (svarende til pilene ind til cirklen i fig. 1.1), så befolkningen og miljøet ikke udsættes for yderligere forurening og eksponering. Her specificeres fx implementering af forbud mod PFAS i tøj og brandslukningsskum, samt kampagner i forhold til at vejlede offentlige indkøbere og private virksomheder, så de kan stille relevante krav gennem indkøb.

På området "inddæmme" er sigtet at forebygge spredning til miljøet. Her vil vidensopbygning samt skærpet overvågning danne grundlag for handlinger til at reducere uacceptabel eksponering for PFAS. Her nævnes bl.a. vidensopbygning gennem Videnstaskforcen samt etableringen af det beskrevne PFAS forsknings- og leverancecenter.

2.2 Internationale handlingsplaner

Kun få lande har egentlige nationale PFAS-handlingsplaner, men det betyder ikke, at fokus på PFAS-problematikken er mindre end i Danmark. Den danske situation er kendetegnet ved, at vi ikke har eller har haft nævneværdig produktion af PFAS og dermed ingen emissioner i forbindelse med PFAS-produktionen. Vores problemstillinger er dermed kun i få tilfælde (som ved brandøvelsespladser) rettet mod forekomsten af PFAS i høje koncentrationer. I USA samt EU-lande som Østrig, Belgien, Frankrig og Tyskland er der, udover den vidt spredte forekomst af PFAS i miljøet og fødevarer, et stort fokus på netop forekomsten af PFAS ved nuværende og tidligere produktionsvirksomheder. Der kan dog fortsat være industrielle emissioner af PFAS i Danmark fra den forarbejdende industri, hvor der indgår PFAS i fremstilling af produkter.

I september 2024 offentliggjorde de østrigske miljømyndigheder en handlingsplan til nedbringelse af miljøforurening med PFAS og menneskenes eksponering med seks fokusområder: kommunikation, emissioner, grundvand, drikkevand, fødevarer og helbred. Planen anbefaler bl.a. at få et samlet overblik over PFAS-emissioner og materialestrømme, styrke monitering af PFAS (herunder kort-kædede PFAS), investere i udvikling af renseteknologi, samt at udvikle en guide til myndighederne om, hvad man skal gøre, hvis grænseværdierne er overskredet (Bundesministerium, 2024).

I Belgien udpegede de flamske myndigheder en særlig PFAS-kommissær, der fra 2021 til slutningen af 2022 udgav fire rapporter om håndtering af PFAS-forurening. Mest opsigtsvækkende var kommissærens forslag om ikke at spise hjemmeproducerede æg i hele Flandern grundet forureningen fra en 3M fabrik i Antwerpen (The Brussels Times, 2022). Flandern havde allerede en PFAS handlingsplan i 2019 (Flanders, 2022), og i 2023 opdaterede man den med 52 tiltag baseret på kommissærens rapporter (Belgian News Agency, 2023). Den endelige rapport fremhævede nødvendigheden af en cirkulær tilgang til PFAS med tiltag i alle livscyklusfaser, herunder udfasning af produktion, begrænsning af emissioner, identifikation og minimering af eksponering samt oprensning af forurenede grunde og behandling af affald (Vrancken, 2022).

I begyndelsen af 2023 udgav den franske regering en kort handlingsplan for PFAS, der blandt andet er fokuseret mod behovet for grænseværdier, øget viden om emissioner og minimering af eksponering (Ministry of Ecology, 2023).

Den tyske Miljøstyrelse publicerede i 2020 en rapport kaldet 'PFAS, Came to stay', der indeholder en række kortfattede tiltag til at beskytte mennesker og miljøet mod PFAS. Der anbefales bl.a. øget monitorering, juridisk bindende grænseværdier og håndhævning, samt mere forskning i oprensning og renseteknikker (UBA, 2020).

I USA har man siden 2021 haft et strategisk 'Roadmap' for den amerikanske Miljøstyrelses PFAS indsats. Indsatsen er styret af tre retningslinjer: 1) Investering i forskning for at opnå en bedre forståelse for PFAS eksponering og toksicitet. 2) Begrænsning af PFAS-emissioner til miljøet og 3) Oprydning og oprensning af PFAS-forurening (USEPA, 2021).

3. VIDENSTASKFORCENS PROJEKTER TIL AFDÆKNING AF VIDENSHULLER

I del 1 af denne rapport foreslog Videnstaskforcen i alt tolv projekter indenfor væsentlige videnshuller (Baun et al., 2023). Af disse tolv blev nedenstående syv projekter, der er vist i tabel 3.1, gennemført i 2024 med bevilling fra Miljøstyrelsen.

Tabel 3.1 Oversigt over de syv forsknings- og vidensopbygningsprojekter, som blev gennemført i 2024, som opfølgning på del 1 af Videnstaskforcens afrapportering (Baun et al., 2023).

Projekt titel	Reference
Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse	Jensen, J.; Strobel, B,; Trier, X. (2024): *PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse.* Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 4: Screening af forskellige typer af fødevarer og foder for indhold af PFAS	Niklas, A. A.; Geertsen, G.; Mueller, V.; Feldmann, J.; Olesen, P. T.; Vinggaard, A. M.; Sloth, J. J. (2024): *PFAS i frugt.* Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 5: Plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning	Raun-Petersen, C.; Rausgaard, N. L. K.; Vorkamp, K.; Lyngberg, A. C; Jensen, T. K. (2024): *Forslag til plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning.* Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 6: Vurdering af forskellige eksponeringsvejes bidrag til den samlede humane eksponering	Fauser, P.; Zhu, L.; Bossi, R.; Vorkamp, K. (2024): *Contribution of different exposure pathways to the total human exposure to PFAS*. Projektrapporten for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 8: Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål (miljøprøver, fødevareprøver og humane prøver)	Vorkamp, K.; Guedes, P.; Trier, X.; Bossi, R. (2024): *Further development of analytical methods for PFAS monitoring of environmental, food and human samples*. Projektrapporten for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 9: Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde	Morsing, L.; Tsitonaki, K.; Dyreborg, S.; Mosthaf, K.; Fjordbøge, A. S.; Hjorth, R.; Jensen, B.; Baun, A.; Bjerg, P. L. (2024): *Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde*. Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.
Projekt 10: Diffus forurening og i forvejen forekommende koncentrationer af PFAS	Strobel, B. W.; Jakobsen, C.; Trier, X.; Abrahamsen, P.; Holbak, Maja; Jensen, J. (2024): *Diffus forurening og i forvejen forekommende niveauer af PFAS i danske jorde.* Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen.

Herudover blev det foreslåede "Projekt 12: Risikostyring - principper for fastsættelse af grænseværdier og aktionsniveauer" gennemført som en integreret del af Videnstaskforcens arbejde i 2024. Hovedaktiviteten i dette projekt var en workshop, som blev afholdt i oktober 2024. De overordnede konklusioner fra denne workshop er inddraget i afsnit 4.2 "Grænseværdier som dimensionerende for håndtering".

De øvrige projekter er afrapporterede individuelt, som angivet i tabellen overfor. I det følgende gives et kort resumé af projekternes væsentligste resultater og konklusioner, som også indgår i vidensgrundlaget til flere af forslagene til prioriterede handlemuligheder, som er beskrevet i kapitel 5. I gennemgangen nedenfor anvendes en del forkortelser for individuelle PFAS. Disse forkortelser er forklaret i bilag 2.

3.1 Projekt 3: PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse

Dette projekt opsummerer ny og eksisterende viden om PFAS i gødningsprodukter anvendt på landbrugsarealer. Nye undersøgelser inkluderer målinger af PFAS22 i forskellige gylleprøver fra grise, prøver af flere typer af restprodukter fra biogasanlæg samt en række forskellige mineralske handelsgødninger. Nye data for PFAS i spildevandsslam er ikke inkluderet i projektet, da der løbende analyseres for PFAS i dansk spildevandsslam.

Aarhus Universitet har indsamlet mere end 300 prøver af kommercielle mineralske og organiske gødningsprodukter fra Landbrugsstyrelsen i Augustenborg. Prøverne stammede fra 2022 og dækker en lang række typer af gødning, f.eks. NK, NPK, kalciumklorid, ammonium nitrat og svovlsur ammoniak. Der blev udvalgt 30 prøver af mineralske gødningstyper på baggrund af type og solgte mængder. Disse blev analyseret for de 22 PFAS, der indgår i bl.a. jord- og drikkevandsmålinger ("PFAS22", tabel 4.2). Der blev ikke i nogen af de mineralske prøver fundet PFAS over de anvendte kvantifikationsgrænser, der afhængigt af stoffet lå på mellem 0,030 og 1,0 µg/kg tørstof (TS).

Nye internationale undersøgelser har vist, at PFAS kan måles i forskellige typer af husdyrgødning og restprodukter, hvor husdyrgødning indgår, om end det er i relative lave koncentrationer. I grisegylle er de få fund og lave koncentrationer fra udenlandske undersøgelser bekræftet i dette studie, hvor der med få undtagelser ikke kunne detekteres PFAS (Jensen et al., 2024). I enkelte prøver blev dog målt koncentrationer af PFBA over det niveau, der almindeligvis findes i spildevandsslam.

For bioforgassede restprodukter er der fundet meget få internationale studier af PFAS-indholdet i disse. Det udførte studie viser meget få fund og - hvis fundet - meget lave koncentrationer af PFAS i en række restprodukter fra otte forskellige biogasanlæg (Jensen et al., 2024).

Den gennemførte screening har generelt vist, at PFAS ikke kunne kvantificeres i de fleste prøver, og når de kunne måles, var det typisk i koncentrationer under 1 µg/kg TS, der ikke med den nuværende viden og regelsæt udgør en særskilt problemstilling sammenlignet med fx spildevandsslam.

Selv om koncentrationerne er lavere end i spildevandsslam, er den samlede størrelse af de arealer, som modtager husdyrgødning og handelsgødning markant større. Den samlede masse af PFAS, som tilføres landbrugsarealer med disse gødninger, kan derfor godt være sammenlignelig med eller større end for spildevandsslam.

Der er i de få undersøgte prøver fundet ét eksempel på, at target-bestemmelser af kendte PFAS udgør en lille del af det totale ekstraherbare organiske fluor (EOF). Af de fem mineralske gødningsprodukter, der blev analyseret for EOF, var indholdet i fire prøver under detektionsgrænsen (<37,98 µg F/kg), mens den femte prøve viste 766 µg F/kg (Vorkamp et al., 2024). Der kunne ikke detekteres individuelle PFAS i denne prøve ved de udførte target-analyser (Jensen et al., 2024). Sammen med eksempler på forekomsten af fx PFBA samt det store anvendelsesareal tyder resultaterne på, at der fortsat kan være et behov for at undersøge denne type af restprodukter nærmere. Det drejer sig bl.a. om undersøgelser, der kan give et bedre og bredere billede af PFAS-indholdet, herunder precursors, i gødningsprodukter. Sådanne undersøgelser kan være med til at overvåge og imødegå udviklingen imod at "gamle" PFAS erstattes med "nye", og desuden medvirke til tilvejebringelse af toksikologiske viden for disse nye PFAS, hvis de påvises. Ligeledes vil en øget viden om PFAS i gødningsprodukter være et væsentligt redskab til en eventuel kildeopsporing, hvis PFAS påvises i fx afgrøder eller foder.

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

Dette projekt blev iværksat, da der var indikationer på, at frugt kan være en væsentlig kilde til menneskers PFAS-eksponering via fødevarer (Schrenk et al., 2020). Denne vurdering var dog baseret på et begrænset antal analyser især fra det tyske marked, og de tilgængelige datasæt specificerede ikke, hvilke frugttyper der var mest forurenede. Derfor var en undersøgelse af forekomsten af PFAS i frugt nødvendig for at give et pålideligt skøn over danskernes PFAS-eksponering via frugt-indtag. Resultaterne fra denne undersøgelse af de primære typer frugt, som danskerne spiser, viser, at niveauerne af 37 specifikke PFAS i frugt fra det danske marked er enten ikke-detektérbare eller meget lave (Niklas et al., 2024). Kun de kortkædede PFAS detekteres i få frugttyper i lave koncentrationer. Derudover indikerer analyser af total PFAS generelt meget lave niveauer i frugt. Denne undersøgelse leverer værdifulde data, der er nødvendige for mere præcise estimater af PFAS-eksponering gennem kosten i den danske befolkning og dermed for risikovurdering af PFAS.

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

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

Baggrunden herfor er, at der mangler konkret viden om de nuværende PFAS-koncentrationer i blodet i den danske befolkning, herunder især forekomsten af (nyere) kortkædede PFAS og specifikke PFAS-erstatningsstoffer. Denne manglende viden gør det vanskeligt at yde klinisk rådgivning til særligt eksponerede og sårbare grupper samt at vurdere effekten af indsatser og regulering målrettet mod reducering af PFAS i miljøet og dermed i den generelle befolkning.

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

Projektet udmundede i anbefalinger vedrørende fortløbende biomonitorering af danskere (Raun-Petersen et al., 2024). Resultaterne af sådanne kan fremadrettet anvendes til at vurdere om indsatser og reguleringstiltag har den ønskede effekt.

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

Fødevarer er en væsentlig eksponeringskilde til PFAS (EFSA, 2020), da PFAS kan ophobes i fødekæden. Før det nationale forbud mod PFAS i fødevarekontaktmaterialer blev indført, kunne der desuden være et bidrag fra emballagen. Imidlertid er der målt høje koncentrationer af bl.a. fluortelomer-alkoholer (FTOH'er) i indendørs luft, og mange forbrugerprodukter indeholder PFAS (Fauser et al., 2024). Dette projekt blev derfor igangsat for at undersøge, om forskellige andre eksponeringskilder bidrager til den samlede humane PFAS-eksponering.

En gennemgang af den internationale litteratur vedrørende fund af PFAS resulterede i en liste af 189 forskellige PFAS i forbrugerprodukter, mod 57 i fødevarer, 55 i drikkevand, 77 i fødevarekontaktmaterialer og 60 i indendørs luft og støv (Fauser et al., 2024). Det er vigtigt at understrege, at denne liste indeholder en forskningsbias, da resultaterne afhænger af, hvilke PFAS der er inkluderet i analyserne. De fem hyppigst rapporterede PFAS indenfor hvert eksponeringsmedium indgik i et estimat af det daglige optag (Estimated Daily Intake, EDI) for et høj- og et laveksponeringsscenario. Udover den direkte eksponering blev der også taget højde for en indirekte eksponering gennem precursors. Fx kan PFOA-eksponering ske gennem direkte optagelse via fødevarer, men også gennem en eksponering for FTOH'er, som omdannes til PFOA i kroppen.

I højeksponeringsscenariet stammede næsten al PFAS-eksponering fra fødevarer med PFOS og de langkædede PFCA'er som vigtigste enkeltstoffer. I laveksponeringsscenariet udgjorde hudoptag fra forbru-

gerprodukter et vigtigt relativt bidrag. I dette scenarie var bidraget fra fødevarer forholdsvis lille, hvilket øgede det relative bidrag fra andre eksponeringskilder. De hyppigst rapporterede PFAS i forbrugerprodukter omfattede PFCA'er af forskellig kædelængde, FTOH'er, men også mindre velundersøgte PFAS, såsom polyfluoralkyl fosforsyrediestere (diPAPs). Eksponeringen fra indendørs luft og støv udgjorde < 10% i begge scenarier. Projektet viser, at andre eksponeringsveje end kosten kan være af relativ betydning, men kun i scenarier, hvor PFAS-indholdet i fødevarer er lavt. Projektet understreger PFAS-kompleksiteten med langt flere enkeltstoffer end de typisk analyserede samt risikoen for bias, da der oftest analyseres de samme PFAS uafhængigt af problemstillingen.

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

PFAS analyseres typisk som en gruppe af 20-30 enkeltstoffer vha. væskekromatografi-massespektrometri (LC-MS/MS). Disse analyser indgår i overvågningsprogrammer for at undersøge koncentrationsudvikling over tid og sammenligne målte koncentrationer med grænseværdier og toksikologiske tærskelværdier i risikovurderingen. Ud fra de PFAS-lister, der indgår i forskellige overvågningsprogrammer, samt eksempler fra den videnskabelige litteratur, giver projektet forslag til, hvilke PFAS der med fordel kunne indgå i moniteringsinitiativer. Der foreslås en kerne med de samme PFAS, der muliggør sammenligning på tværs af matricer, suppleret med PFAS, hvis forekomst er mere matrice-specifik, fx kortkædede PFAS i vand og flere langkædede PFCA'er i biologiske prøver.

Det europæiske drikkevandsdirektiv indeholder "PFAS Total", et sumparameter, der kvantificerer fx EOF. Dette projekt omfatter EOF-analyser af forskellige miljøprøver herunder lever af ferskvandsfisk, skaldyr (muslinger og krabber), fuglevildt (muskel af gæs og ænder), marint sediment, mineralske gødningsprodukter , jord, fødevarer og humant serum. Det bør bemærkes, at skaldyr og fuglevildt også kan anses for at være fødevareprøver. Sammenlignet med enkeltstofanalyser har EOF forholdsvis høje detektionsgrænser, således at enkelte prøver var under detektionsgrænsen for EOF (fx de fleste fugle), selvom der kunne detekteres specifikke PFAS i dem. Ellers var EOF > ΣPFAS (sum af de enkelte PFAS-forbindelser), hvilket indikerer en ikke-forklaret PFAS-forekomst i prøverne.

Ud fra disse resultater og en workshop med europæiske PFAS-eksperter er der skitseret forslag til, hvordan EOF og enkeltstofanalyser kan indgå i overvågningsinitiativer. EOF kan fx bruges i et første screeningstrin, som kan følges op af mere detaljerede analyser, hvor det vurderes relevant. I tilfælde af store forskelle mellem EOF og enkeltkoncentrationer af PFAS kunne der anvendes non-target screening-analyser til at forklare den ukendte PFAS-del af EOF.

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

I dette projekt er der fokuseret på punktkilder (forurenede grunde) til PFAS i Danmark, såsom brandøvelsespladser, industrigrunde og gamle lossepladser, hvor der har været anvendt, spildt eller deponeret PFAS.

For at kunne foretage en risikovurdering af forurenede grunde, er det nødvendigt at forstå transporten og spredningen af PFAS i jord og grundvand. En god procesforståelse indebærer også, at de parametre og faktorer, som kontrollerer transporten, kan beskrives og bestemmes. Formålet med rapporten er netop at udvikle en fælles procesforståelse og indsigt baseret på den viden og de erfaringer, som allerede er opnået i en dansk og international sammenhæng. Specifikt er formålet at udvikle og forbedre konceptuelle modeller for PFAS' transport og skæbne under danske forhold.

Rapporten har gennemgået danske og udvalgte udenlandske PFAS-undersøgelser ved forurenede grunde. Der er et omfattende datagrundlag for forekomsten af PFAS ved forurenede grunde i Danmark, der kan fungere som et fælles grundlag for branchen (rådgivere, myndigheder og forskningsinstitutioner) i forhold til fokusering, prioritering og risikovurdering af forurenede grunde.

Den umættede zone, dvs. den del af jorden som befinder sig over grundvandsspejlet, er traditionelt set ikke så velundersøgt i forbindelse med forureningsundersøgelser. Den umættede zone er mere eller mindre luftfyldt og pga. PFAS særlige fysisk-kemiske egenskaber er netop denne zone essentiel for at vurdere stoffernes transport og spredning. Dette giver udfordringer i forbindelse med risikovurderinger, og på nuværende tidspunkt har vi ikke redskaberne til at løse disse udfordringer. Tilbageholdelsen af PFAS i den

umættede zone styres af to processer: sorption til jord og til luft-vand grænsefladen. De betydende parametre for PFAS transport er derfor sorptionskoefficienten til jord, adsorptionskoefficienten til luft-vand grænsefladen, luft-vand grænsefladearealet og vandindholdet/vandmætningen. Rapporten belyser disse parametres størrelse, variation og bestemmelse ud fra litteraturen. Modelsimuleringer anvendes dernæst til at beskrive følsomheden af de betydende parametre for udvalgte PFAS og repræsentative danske hydrologiske og geologiske forhold.

Det blev fundet, at tilbageholdelsen i grundvandet (den mættede zone) udelukkende styres af sorption til jord, og transporten af stofferne, der generelt er hurtig sammenlignet med den umættede zone. Kortkædede PFAS er mobile både i den umættede zone og i grundvandet, mens de langkædede PFAS tilbageholdes betydeligt, særligt i den umættede zone. Der er begrænset viden om mobiliteten af precursors og ikke-anioniske PFAS samt deres tilstedeværelse ved danske PFAS forurenede grunde.

Der er i rapporten opstillet en konceptuel model for PFAS' transport ved forurenede grunde, som primært er tænkt anvendt ved gamle forureninger. Fordelingen af PFAS er i høj grad styret af ovennævnte processer i den umættede zone, der fører til en udbredt tidsmæssig adskillelse (kromatografering) af stofferne. Dette er ligeledes erfaret ved de danske forureningsundersøgelser. Eksisterende risikovurderingsmodeller indeholder typisk ikke de nødvendige processer til at kunne vurdere PFAS' transport og tilbageholdelse. I litteraturen er der udviklet en række PFAS vand- og stoftransportmodeller, men de anvendes fortrinsvis i forskningsmiljøer, og der er et behov for at denne viden omsættes til praksis.

Bæredygtig håndtering af PFAS i forurenede grunde kræver i fremtiden en fælles indsats fra myndigheder, rådgivende firmaer og forskningsinstitutioner med særlig opmærksomhed på vidensdeling i branchen. Der er et stort behov for at få den allerede eksisterende procesbeskrivelse, samt nye erfaringer og erkendelser, fra den meget hurtigt voksende litteratur indarbejdet i undersøgelsesprogrammer, risikovurdering samt prioritering af PFAS ved forurenede grunde. Det anbefales, at fokus i forsknings- og udviklingsprojekter bl.a. rettes mod de videnshuller, der er identificeret i rapporten for projektet.

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

Diffus forurening af jord med PFAS er ukendt for langt de fleste landbrugsarealer og naturarealer. Når arealer, som ikke er forurenede grunde, skal vurderes, er det vanskeligt at vurdere om det målte PFAS kun skyldes diffus forurening, eller om der er en konkret forureningskilde, som ikke er kendt endnu.

Projektets formål er at sammenfatte og udbygge viden om diffus forurening med PFAS i danske jorde og spredning herfra gennem vidensindsamling, feltbaserede screeningsundersøgelser, kontrollerede laboratoriestudier og modeludvikling til simulering af transport til vandmiljøet.

En kort gennemgang af ny viden om diffus forurening med PFAS i jord er kombineret med nye feltprøver, som er analyseret for de samme 22 PFAS som i Jensen et al. (2024), se afsnit 3.1, for at få viden om forekomsten af disse 22 PFAS i det øverste jordlag på landbrugs- og naturarealer. De undersøgte arealer dækker landbrug, en planteskole, skovbrug, enge, drænede lavbundsjorde, heder, strandenge og overdrev, og dækker jordtyperne sandjord, lerjord og lavbundsjorde med over 6% kulstof. Fem jordprøver blev desuden analyseret for EOF, hvoraf én prøve havde et EOF-indhold på 142 µg F/kg jord, mens de øvrige prøver var under detektionsgrænsen for EOF.

Samlet har projektet givet ny viden om PFAS22 stoffer i diffust forurenede jorde fra mange forskellige arealanvendelser i det åbne land. Det overordnede billede af forekomsten PFAS22 på landbrugs- og naturarealer i det åbne land viser under 5 µg/kg TS som sum PFAS22 fordelt på 10-12 enkelt stoffer. Screeningen har identificeret tre typer af diffust forurenede områder, hhv. nær kyst, i skovbryn og lavbundsjorde, hvor der påvises højere indhold af PFAS22 end resten af de undersøgte arealer. Disse områder bør derfor have øget opmærksomhed. Kystnær vegetation og skovbryn filtrerer større luftmasser, og PFAS deposition afsættes i vegetation, som senere vaskes ned i jorden. Drænede lavbundsjorde skrumper ved, at det organiske materiale nedbrydes, og efterlader det ikke-nedbrydelige PFAS i jorden.

Mobiliteten af de individuelle stoffer i PFAS22 bestemmes af binding til jordpartikler, og projektets eksperimentelt bestemte sorptionskonstanter for en række danske jorde bidrager til mere korrekt simulering af tilbageholdelse af PFAS22 stoffer ved lave koncentrationer i diffust forurenede jorde fra forskellige danske jorde.

Den mekanistiske jord-vand-luft-plante model Daisy er afprøvet til beregning af mobilitet af udvalgte polære PFAS fra diffust forurenede arealer og dermed risikoen for udvaskning fra landbrugsarealer til det omgivende vandmiljø. Simuleringsmodellen er testet uden luft-vand grænsefladen, som er væsentlig for de langkædede PFAS. Derfor forventes mobiliteten af de langkædede PFAS at blive lavere for kort-tidssimuleringerne, når grænsefladelaget bliver indbygget i modellen. Simulering af den vertikale fordeling af syv udvalgte stoffer fra PFAS22 gruppen viser markant forskellig mobilitet ned igennem jordbundsprofilet. Den tidsmæssige udvikling simuleret efter 5, 10, 20 og 30 års forløb viser, at de langkædede PFAS tilbageholdes væsentlig mere end de meget mobile kortkædede PFAS. En betragtelig andel af de kortkædede stoffer er allerede efter 5 år nedsivet til overfladevand via drænafstrømning, når der ved simuleringerne benyttes en drændybde i 120 cm i sandjord og ved vestdansk nedbørsrigt vejr. Både kort- og langkædede stoffer ses først efter 20-30 år ved simuleringer med lerjord og med østdansk vejr med mindre nedbør.

Daisy-modellen kan udbygges med luft-vand grænseflade, som en ny dynamisk fase der ændrer sig hele tiden med vandindholdet i den de umættede zone. Udfordringen er at skaffe retvisende data for bindingskonstanter, vandindhold og luft-vand grænsefladeareal. For at kunne vurdere risikoen for PFAS-optag i planter og afgrøder er det væsentligt at kunne forudsige hvordan PFAS akkumuleres i overjord og underjord i rodzonen. Planteoptag i en voksende vegetation simuleres i Daisy-modellen som simpelt optag af PFAS opløst i jordvæske sammen med vandoptaget. Daisy-modellen er en mekanistisk model som parameteriseres med en mekanistisk PFAS planteoptag-model, når der kommer flere mekanistiske data for planteoptag, translokering mellem plantevæv og udskillelse af PFAS til jorden igen enten via rod-exudater eller bladtab. En udvidelse af modellen med disse to elementer vil gøre det muligt at forudsige fordeling og mobilitet af PFAS i jord og porevand i den umættede zone.

4. NY VIDEN OG TVÆRGÅENDE EMNER RELEVANTE FOR HANDLINGER TIL NEDBRINGELSE AF PFAS-EKSPONERING

I dette kapitel gives en kort gennemgang af emner, hvor der ikke er opstillet specifikke handlemuligheder, men som dels har været gennemgående i Videnstaskforcens udredende arbejde i 2023-24, og dels danner grundlag for flere af de handlemuligheder, der fremgår af kataloget i kapitel 5. De fleste af emnerne i dette kapitel er behandlet i større detalje i rapportens del 1, og gennemgangen er dermed hovedsageligt rettet mod korte overblik, hvor ny viden er kommet til siden november 2023, eller hvor et betydeligt videnshul stadig findes.

4.1 PFAS som en eller flere stofgrupper

En stor del af kompleksiteten i håndteringen af PFAS skyldes det meget store antal af stoffer, der falder ind under betegnelsen "PFAS". I Danmark følger vi, som resten af EU, OECD's definition af PFAS fra 2021 (for en uddybning af denne henvises til Baun et al. (2023). I andre dele af verden, fx USA, og indenfor forskellige videnskabelige domæner kan PFAS være defineret på andre måder. Ligeledes er det vigtigt at påpege, at OECD før 2021 anvendte en anden PFAS-definition (som specificerede, at der minimum skulle være tre $-CF_2-$ grupper i et molekyle for, at det var polyfluoreret og dermed et PFAS). I den nuværende definition er enten en enkelt $-CF_2-$ gruppe eller en $-CF_3$ gruppe tilstrækkeligt til at et stof betragtes som et PFAS (dog med nogle undtagelser, som er nævnt i del 1 af denne rapport, Baun et al. (2023).

Denne forskel i definitioner har stor betydning for hvilke fluorholdige stoffer, der tidligere blev anset for PFAS i forhold til den nugældende opfattelse. Publikationer med oversigter over PFAS-anvendelser og -volumener i publikationer fra før 2022 kan altså relatere sig til en anden PFAS-definition. Det gælder fx for den meget anvendte artikel af Glüge et al. (2020), der giver et overblik over anvendelser af PFAS.

Som følge af den ret brede OECD definition af PFAS dækker gruppen meget forskellige kemiske strukturer og egenskaber. Man kan dermed ikke generalisere for alle PFAS, hvordan de spredes eller opfører sig i miljøet og ej heller vedrørende deres bioakkumulering eller giftighed. Begrundelsen for at følge OECD's definition er, at alle PFAS er eller danner persistente stoffer, der vil kunne findes i miljøet i lang tid med risiko for ophobning i mennesker og miljøets organismer. Da risikoen ved et stof ikke kun afhænger af dets giftighed, men også hvor meget man bliver udsat/eksponereret for det, vil en stigende eksponering føre til en stigende risiko. Samlet set vil risikoen for uønskede effekter derfor stige, hvis vi fortsat anvender og dermed udleder PFAS til miljøet, men præcist hvor meget risikoen vil stige, ved vi ikke. Kort sagt, er dette kendetegn ved PFAS baggrunden for forslaget til at regulere alle PFAS som en klasse (Kwiatkowski et al., 2020).

Ekspertgruppen under OECD påpeger dog også, at der tages højde for stofgruppens diversitet, fx i forhold til toksicitet, og at det kan være relevant med undergrupper for regulatorisk eller frivillig aktion (OECD, 2021). I håndteringen af den eksisterende PFAS-forurening er det vigtigt at tage højde for, at forskellige PFAS har forskellige fysisk-kemiske egenskaber, som er afgørende for deres transport, skæbne, fordeling og toksicitet. Videnstaskforcen har opereret med fire undergrupperinger (se tabel 4.1) til at understøtte prioriteringen af, hvilke PFAS der er mest relevante i forhold til fx eksponering, målemetoder, forekomst i forskellige matricer, transport i miljøet, oprensning og risikovurdering. Grupperingerne "PFAS4", "PFAS22" og "PFAS24" er medtaget, da disse anvendes i reguleringen (tabel 4.1). Således ligger EFSA's vurdering af PFAS4 til grund for danske grænseværdier for drikkevand, PFAS22 er de stoffer, der er omfattet af den danske drikkevandsbekendtgørelse, og miljøkvalitetskriterier for overfladevand for PFAS24 stammer fra den foreslåede liste for EU's Vandrammedirektiv, som er indført som gældende i november 2024 (MST, 2024). PFAS22, PFAS24 og tilsvarende lovgivningsbaserede PFAS-pakker vil være de PFAS, som analyselaboratorier oftest analyserer for. På såvel jord som vandområdet pågår en diskussion om hvilke PFAS, der er relevante at måle for i hvilke matricer. Diskussionen går dels på deres relevans i de enkelte medier (jord/vand/biota/luft) ud fra deres fysisk-kemiske egenskaber, og dels på om man kan nøjes med nogle PFAS forbindelser som markører for forurening. Denne diskussion er også taget op i et af Videnstaskforcens forskningsprojekter, se afsnit 3.5 (Vorkamp et al., 2024).

Som beskrevet indgående i del 1 af denne rapport (Baun et al., 2023), har overvågning og udvikling af målemetoder primært fokuseret på en mindre gruppe af de perfluorerede alkylsyrer (PFAA), såsom de fire

PFAA'er som indgår i PFAS4 (tabel 4.1). I videnskabelige studier og faglige rapporter bliver denne problemstilling i stigende grad diskuteret, og i undersøgelser, hvor antallet af inkluderede stoffer udvides, er det en generel erfaring, at antallet af fundne PFAS også stiger. Dette fremgår også af Videnstaskforcens forsknings- og vidensopbygningsprojekter i kapitel 3 (Fauser et al., 2024; Vorkamp et al., 2024), og til en vis grad af projektet om fødevarer, hvor der var fund af de kortkædede PFAS i frugt (Niklas et al., 2024).

Tabel 4.1 Oversigt over en opdeling af PFAS i fire undergrupper, inkl. eksempler på stofferne anvendelsesområder samt typiske forekomst og opførsel i miljøet. PFAS4, PFAS22 og PFAS24 refererer til de prioriterede PFAS i overvågningsprogrammer (se også tabel 4.2). Forkortelser af stofnavne fremgår af bilag 2.

Undergrupper	Eksempler på stoffer, klasser og anvendelsesområder	Miljømæssig skæbne og effekt	PFAS4	PFAS22	PFAS24
Kort- og ultra-kortkædede PFAS	TFA, PFPrA, PFECAs, ioniske og hydrauliske væsker, m.fl., samt F-gasser og andre meget flygtige PFAS fx fluorerede oligomerer	Persistente og mobile stoffer, som primært findes i vandet og luften og i vandholdige planter og grøntsager, og i mindre grad på overflader. Stofferne er svære at indfange/oprense og bioakkumulerer typisk mindre end de langkædede ioniske PFAS		**PFSA:** PFBS PFPeS	**PFSA:** PFBS PFPeS
				PFCA: PFBA PFPeA PFHxA PFHpA	**PFCA:** PFBA PFPeA PFHxA PFHpA
Ioniske langkædede PFAS	PFCA, PFSA, FASA, FTABs, perfluorerede phosphiner m.fl.	De typiske vandopløselige og overfladeaktive, ioniske perfluorerede alkyl forbindelser (anioniske syrer (PFAA)/ baser, zwitterioner), ioniske ethere mm, og som ofte forekommer som slut-nedbrydningsprodukter der bio-koncentrerer/akkumulerer i fødekæderne. Stofferne vil ofte være dels i vand, på jord/slam/sediment/ organiske materialer og overflader generelt, samt i fødevarer og biota herunder mennesker samt i produkter. De perfluorerede PFAS vil være at finde især i proteiner (fx blod, lever), i sukkerholdige/ethere, men skyer fedt; dog kan de findes i membraner.	**PFSA:** PFHxS PFOS	**PFSA:** PFHxS PFOS PFHpS PFDS PFNS PFUnDS PFDoDS PFTrDS	**PFSA:** PFHxS PFOS PFHpS PFDS
			PFCA: PFOA PFNA	**PFCA:** PFOA PFNA PFDA PFUnDA PFDoDA PFTrDA	**PFCA:** PFOA PFNA PFDA PFUnDA PFDoDA PFTrDA ADONA PFHxDA PFTeDA HFPO-DA(GenX) C6O4 PFODA
				FASA: PFOSA	
Poly- og perfluorerede precursors	FTSA, FTCA, FTOH, FTSH, FTOH derivater (fx PAPs, FTMAPs, acrylater), FASA derivater (fx Me-FOSE og FOSAA, SAMPAPs), PFPEs, FT-polymerer, mindre flygtige/vandopløselige oligomerer, fluorerede pesticider og lægemidler	De stoffer der typisk anvendes i produkter og processer, og som nedbrydes til de ioniske langkædede PFAS samt ultimativt til de kortkædede PFAS. Stofferne vil typisk være at finde i jord, sediment, biota og forbruger-produkter og på overflader. De polyfluorerede og generelt neutrale PFAS vil kunne fordele sig til fedt, og de mindre neutrale PFAS (fx FTOH, FTSH) er flygtige og damper af til luft.		6:2FTS	6:2 FTOH 8:2 FTOH
Fluorerede polymerer	PTFE, PVDF, ECF, m.fl. Polymerer (plast) og elastomerer (gummier) der har et fluorerede 'backbone' som kan være perfluorerede (fx PTFE, PVDF samt poly- og halogen fluorerede (co)-polymerer. En polymer er defineret ud fra sine materiale egenskaber (jf FKM, 'self-sustaining polymer), som typisk kræver en polymer med 100 monomerer (repeat units).	Polymerer vil ofte findes i materialer, jord, slam, sediment og til dels som mikroplast i biota.			

De enkelte PFAS molekyler kan også forekomme som forskellige isomerer, hvilket kan have betydning for stoffernes nedbrydelighed. Der findes isomerer med lineære og forgrenede fluoralkylkæder af sulfonsyrerne og deres derivater. Isomererne er et resultat af den kemiske fremstillingsproces af PFAS og kan også være en indikation af, hvor gammel en forurening er, da forgrenede isomerer nedbrydes lidt lettere end lineære PFAS. Hvis ikke andet er kendt, regner man med, at isomerer har samme giftighed, og man summerer koncentrationerne af isomererne, når man sammenligner med en grænseværdi. For mange PFAS, som ikke er omfattet af overvågningsforpligtelser, findes der ikke kommercielt tilgængelige rene (autentiske) kemiske PFAS standarder, som er en forudsætning for nøjagtigt at kunne identificere, kvantificere og toksicitetsvurdere stofferne (Trier et al., 2025).

4.2 Grænseværdier som dimensionerende for håndtering

Som beskrevet i Videnstaskforcen rapport del 1 (Baun et al., 2023), spiller miljøkvalitetskrav og grænseværdier en afgørende rolle for håndteringen af PFAS i Danmark. De fastsatte grænseværdier vil ofte være dimensionerende for de beslutninger og investeringer, der foretages i dag, men som kan vise sig utilstrækkelige i fremtiden, hvis grænseværdierne ændres.

I det følgende anvendes begrebet grænseværdier som en bred samlet terminologi for værdier fastsat med henblik på beskyttelse af miljø og mennesker. Det inkluderer derfor jord- og grundvands-, drikkevandskvalitetskrav og -kriterier samt øvrige værdier fastsat for spildevandsslam, overfladevand, fødevarer mv. For PFAS har det tolerable ugentlige indtag (TWI – Tolerable Weekly Intake) for mennesker vist sig at være styrende for mange fastsatte grænseværdier - som fx i drikkevand, grundvand, overfladevand og jord.

Reinikainen et al. (2024) har opsummeret ændringerne i de tolerable indtag af PFAS og de afledte konsekvenser heraf. I 2020 revurderede EFSA's Panel for Forurenende Stoffer i Fødevarekæden (CONTAM) sine tidligere videnskabelige udtalelser og fremsatte en ny TWI på 4,4 ng/kg kropsvægt/uge for summen af PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS. Det var en markant skærpelse ift. tidligere foreløbige TWI fra 2018 på 13 ng PFOS/kg kropsvægt/uge og 6 ng PFOA/kg kropsvægt/uge. I perioden 2008-2020 blev det tolerable PFAS-indtag sænket med mere end en faktor 200 af EFSA, og gik fra at være forsøgsdyrsbaseret til at være baseret på humane epidemiologiske data.

I november 2024 blev nye miljøkvalitetskriterier offentliggjort af Miljøstyrelsen. Kriterierne er fastsat som summen af 24 PFAS og udarbejdet af det Fælles Europæiske Forskningscenter JRC i 2022. Som et nyt element er de nye miljøkvalitetskriterier, der kan relateres til human sundhed, fastsat som sumværdier for et bredere spektrum af 24 PFAS ved at anvende en sum parameter kaldet PFOA-ækvivalenter (kaldet $PFOA_{Eq-PFAS24}$). Ved udledning af denne sumparameter har JRC anvendt en sammenlignelig levereffekt hos rotter forårsaget af en række relevante PFAS-stoffer. Dette er gjort dels for at undgå, at kriteriefastsættelse skal afvente undersøgelser for alle PFAS-stoffer, og dels for at sikre at ensartede effekter inddrages i en samlet vurdering af human eksponering. I beregningerne tildeles hver enkelt af disse stoffer en relativ potensfaktor (RPF) baseret på et effektniveau ved en såkaldt Benchmark Dosis (BMD), hvor det forudsættes, at der er en stor sammenlignelighed stofferne imellem. De oprindelige data for RPF-vurderingen kan findes hos Bil et al. (2021).

TWI-værdier fra EFSA er ikke i sig selv juridisk bindende tærskelværdier, men de anvendes til at understøtte risikostyringsbeslutninger om beskyttelse af forbrugerne mod eksponering for forurenende stoffer i EU's regulativer. Den nye skærpede TWI på 4,4 ng/kg kropsvægt/uge fik således straks en betydning for en række andre grænseværdier fx for PFAS4 i drikkevand og derved også grundvand i Danmark. Vandkvalitetskravet for PFOS på 0,65 ng PFOS/L i ferskvand og 0,13 ng PFOS/L i saltvand blev dog fastholdt trods den skærpede TWI. For grænseværdierne i biota (typisk fisk) fastholdes et biota-kvalitetskrav for PFOS på 9,1 µg PFOS/kg vådvægt. På baggrund af PFOA ækvivalensmetoden er et vandkvalitetskriterium for PFAS24 på 4,4 ng $PFOA_{Eq-PFAS24}$/L for overfladevand fastsat. Biota-kvalitetskriterier fastsat for PFAS24 ved PFOA ækvivalensmetoden er mellem 2 og 22,3 µg $PFOA_{Eq-PFAS24}$/kg for fisk og muslinger. Vurderingen af kvalitetskriteriet for fisk til human indtagelse for PFAS24 resulterede i en værdi på 0,077 µg $PFOA_{Eq-PFAS24}$/kg. Hvis denne værdi sammenlignes med biota-kvalitetskravet for PFOS, er der altså tale om en markant skærpelse.

Det skal endelig bemærkes, at der ikke er fuldt overlap mellem de 24 PFAS, der indgår i de nye PFOA-ækvivalentkriterier, og de 22 PFAS, der indgår i fx grænseværdierne for grundvand og spildevandsslam (se tabel 4.2). Således er 6:2 FTS, PFOSA og PFNS, som er blandt PFAS22 ikke blandt PFAS24, som så til gengæld omfatter seks PFAS, herunder ADONA, 8:2 og 6:2 FTOH, som ikke er med i PFAS22. Problematikken med forskellige PFAS-lister for hver matrice er diskuteret i et af Videnstaskforcens forsknings- og vidensopbygningsprojekter med den konklusion, at listerne bør være optimeret til hver matrice, men ideelt set bør indeholde en kerne af de samme PFAS, der tillader sammenligning på tværs af matricer (Vorkamp et al., 2024).
Det skal i øvrigt understreges, at vandkvalitetskriteriet på 4,4 ng/L for overfladevand i Danmark, som er gældende fra 2024, er fastsat af JRC på baggrund af hensynet til anvendelse af overfladevand som drikkevand. Det er med andre ord et drikkevandskvalitetskriterie, snarere end det er et vandkvalitetskriterie for overfladevand. Da overfladevand ikke anvendes som drikkevand i Danmark, bør det overvejes, om de 4,4 ng/L for overfladevand skal fastholdes som et gældende vandkvalitetskriterie. Det skal i samme forbindelse nævnes, at det samme kriterium på 4,4 ng $PFOA_{Eq-PFAS24}$/L er gældende for det marine miljø, hvor anvendelse til drikkevand naturligvis er udelukket uden en avanceret rensning. Det bør ligeså overvejes, om der er faglige grunde til at have et nyt overfladevandskriterium, der er drikkevandsbaseret, som bygger på PFOA-ækvivalenter for PFAS24, samtidig med at Danmark fortsat har grundvands- og drikkevandskvalitetskrav, der er baseret på PFAS4 og PFAS22 (tabel 4.2).

Tabel 4.2. Oversigt over udvalgte gældende danske miljøkvalitetskrav og -kriterier for PFAS – november 2024 (Miljøstyrelsen, 2024). Forkortelser: Årligt gennemsnit (AA); Maksimal tilladt koncentration (MAC); Tørvægt (dw); Vådvægt (ww). For forklaringer af forkortelser af stofnavne henvises til bilag 2.

Delmiljø	Enhed	Stoffer		
		PFOS	Sum af PFAS4[a]	Sum af PFAS22[b] eller PFAS24[c]
Spildevandsslam	µg/kg (dw)		10	50 [b] *
Jord	µg/kg (dw)		10	400[b]
Grundvand	ng/L		2	100[b]
Drikkevand	ng/L		2	100[b]
Overfladevand (fersk)	ng/L	0,65 (AA) 36000 (MAC)		4,4[c]
Overfladevand (marin)	ng/L	0,13 (AA) 7200 (MAC)		4,4[c]
Biota	µg/kg (ww)	9,1		0,077[c]

[a]PFAS4: PFOA, PFOS, PFNA, PFHxS.

[b]PFAS22: PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFNS, PFDS, PFUnS, PFDoS, PFTrS, PFOSA, 6:2 FTS, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTrDA.

[c]PFAS24: PFOA-ækvivalenter af: PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnA (eller PFUnDA), PFDoA (eller PFDoDA), PFTrDA, PFTeDA, PFHxDA, PFODA, PFBS, PFPeS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS, 6:2 FTOH, 8:2 FTOH, HFPO-DA (Gen X), ADONA og C6O4.

*Nævnt specifikt i PFAS handlingsplanen, men ikke på MST opdaterede liste (november 2024)

Det er Videnstaskforcens vurdering, at værdierne angivet i tabel 4.2 lever op til det overordnede formål med grænseværdier: at angive et beskyttelsesniveau. Med andre ord er det ud fra den aktuelle viden ikke sandsynligt, at en eksponering til PFAS under de angivne niveauer vil medføre en risiko for mennesker eller miljø hverken i forhold til kort- eller langvarige skadelige effekter. På den anden side vil en eksponering for PFAS over disse grænseværdier ikke være ensbetydende med, at skadelige effekter opstår, men der er en højere sandsynlighed for, at de kan indtræde.

Handlemuligheder ift. grænseværdier
Ved introduktionen af det nye sum parameter for PFOA-ækvivalenter og brug af relativ potensfaktor for PFAS24 er der introduceret en diskrepans mellem de forskellige grænseværdier i Danmark. Man bør fagligt set formode, at den samme målgruppe (typisk gravide kvinder og deres børn) reagerer ens på PFAS eksponering uanset om kilden er drikkevand, fisk eller jord. Udgangspunktet bør derfor være den samme TWI, og den samme beregningsmetode for sum effekter fra gruppen af PFAS. Det eksisterende biota-kvalitetskrav for ferskvands- og saltvandsbiota på 9,1 µg PFOS/kg vådvægt og de tilhørende vandkvalitetskrav på 0,65 ng PFOS/L (ferskvand) og 0,13 ng PFOS/L (saltvand) er fx baseret på en TDI fra 2008 på 0,15 µg PFOS/kg kropsvægt/dag, mens det nye biota-kvalitetskriterium og vandkvalitetskriterium på henholdsvis 0,077 µg $PFOA_{Eq-PFAS24}$/kg vådvægt og 4,4 ng $PFOA_{Eq-PFAS24}$/L er baseret på EFSA's TWI på 4,4 PFAS4/kg kropsvægt/uge fra 2020. Det samme gælder for eksisterende grænseværdier, som er angivet for henholdsvis PFAS22 (sum) og PFAS24 ($PFOA_{Eq-PFAS24}$) om end det må formodes, at det endelige beskyttelsesmål (mennesker, specielt børn) er det samme.

I Danmark forventes særligt det lave drikkevandskvalitetskrav på 2 ng/L for PFAS4 at give udfordringer for vandværkerne i fremtiden, og vælger Danmark at følge drikkevandsdirektivets værdi for "PFAS Total" på 0,50 µg /L, er det Videnstaskforcens vurdering, at vi vil bevæge os hen mod en situation med overskridelser. Denne vurdering er under forudsætning af, at trifluoreddikesyre (TFA) betragtes som en del af PFAS Total, for så er niveauerne i grundvand i dag tæt på eller over 0,50 µg/L (Albers, 2024). Det vurderes endvidere, at handlemulighederne er begrænsede (se mere om dette i afsnit 4.4 Kortkædede PFAS herunder trifluoreddikesyre samt de foreslåede handlemuligheder i #15 Grundvand og drikkevand i kapitel 5).

For overfladevand udfordrer de lave grænseværdier for PFOS og dets derivater allerede håndteringen af fx industri- og husholdningsspildevand samt perkolater fra affaldsdeponier. Denne udfordring er blevet større efter, at de vejledende miljøkvalitetskriterier for PFAS24 fra november 2024 er omsat til gældende miljøkvalitetskriterier. Videnstaskforcen vurderer, at der kan være behov for, at Miljøstyrelsen bredt informerer om, hvor og hvornår man bør bruge de nye grænseværdier for PFOA-ækvivalenter, fx ved at gøre opmærksom på, at overfladevand ikke bruges som drikkevand i Danmark, og at fokus i stedet bør være på at overholde biota-kvalitetskriterierne. I tråd med dette har JRC anbefalet, at PFAS måles i biota samtidigt med, at PFAS også måles i vand. JRC bemærker dog samtidigt, at tilbageberegning af biota-kvalitetskriterier til et vandkvalitetskriterie resulterer i så lave niveauer, at det analyseteknisk kan være vanskeligt at eftervise, om der er overskridelse ved rutinemæssige målinger.

For opgravet jord og jordflytning forventes det, at forekomsten af PFAS vil diktere anvendelsesmulighederne fremover, specielt hvis PFOA-ækvivalens tilgangen også bliver introduceret for jord. Dette kan fra et fagligt synspunkt give god mening, eftersom det er beskyttelsen af jordspisende børn, der har drevet fastsættelsen af de eksisterende jordkvalitetskrav. Netop børn er vurderet som den mest følsomme gruppe for PFAS-eksponering. Da dette forventeligt vil resultere i lave grænseværdier, vil implementeringen af disse i håndteringsmæssig sammenhæng blive udfordrende. Videnstaskforcen vurderer derfor, at der kan være et behov for at udvikle differentierede vejledende jordkvalitetskriterier, som er målrettet forskellige anvendelsesmuligheder og reflekterer mulige eksponeringsveje og beskyttelsesmål. I samme kontekst bør det fx overvejes, om andre supplerende metoder, fx udvaskningstest, kan tages i brug for at belyse risiko forbundet med grundvandsbeskyttelse. For yderligere uddybning af problemstillinger på jordforureningsområdet henvises til afsnit 4.7.

4.3 PFAS-eksponering og massebetragtninger

For PFAS gælder det som for andre persistente og bioakkumulerende stoffer, at *massen* i cirkulation i samfundet og miljøet er afgørende for prioritering af handlemuligheder til nedbringelse af eksponeringen for mennesker og miljø. I Videnstaskforcens arbejde med at identificere videnshuller i 2023 blev det fremhævet, at en massestrømsanalyse på nationalt niveau ville kunne bidrage til at målrette indsatser i forhold til nuværende og fremtidige forureninger med PFAS. Miljøministeriet igangsatte i efteråret 2023 et projekt til opstilling af sådan en massestrømsanalyse for PFAS i Danmark, og projektrapporten blev offentliggjort i april 2024 (Lassen et al., 2024).

I rapporten redegøres for massestrømmen af PFAS i det danske samfund med estimater af udledninger til luft, jord og overfladevand. Derudover estimeres mængderne af PFAS, der eksporteres med affald eller destrueres ved affaldsbehandling.

Massestrømsanalysen er rettet mod de eksisterende anvendelser af PFAS i Danmark, og stoffernes skæbne og fordeling i miljøet er ikke inkluderet i analysen. Dette indebærer fx, at påvirkning af grundvand fra jordmiljøet og forurenede grunde eller overfladevands-/grundvandsinteraktioner ikke er medtaget (Lassen et al., 2024). Til brug for massestrømsanalysen blev anvendt en opdeling af PFAS i tre grupper: perfluoralkylsyrer (PFAA) og deres forstadier (precursors), TFA-relaterede PFAS, og PFAS-polymere, men det understreges i undersøgelsen, at der ikke er en helt skarp grænselinje i gruppeopdelingen.

Lassen et al. (2024) påpeger, at der er en betydelig, men ikke kvantificerbar, usikkerhed på alle de fremkomne estimater. Alligevel mener Videnstaskforcen, at massestrømsanalysen giver et væsentligt overblik over størrelsesordenerne af input og ophobning af PFAS i Danmark, der dermed kan danne grundlag for de handlemuligheder, som er beskrevet i kapitel 5.

Ifølge rapporten står polymerer for det klart største massebidrag i Danmark med et input og ophobning af PFAS med hhv. 1690 og 364 t/år. Der er usikkerheder om udledningen af polymerer til miljøet, men det anslås, at størstedelen sker i form af mikroplast, eksempeltvist dannet ved slitage af overflader med fluorpolymerer (plast- og gummimaterialer).

Den samlede anvendelse af PFAA og forstadier er opgjort til ca. 300 t/år i Danmark, hvoraf 23 t/år ophobes i samfundet. Stofferne bliver typisk importeret i tekstiler, tøj og tæpper, og bortskaffes primært gennem affaldsforbrændingen. Til brug for massestrømsanalysen er anvendt en estimeret destruktionseffektivitet på 99,9989% ved forbrænding baseret på litteraturgennemgangen af Geeringer & Jensen (2023), hvor en destruktionseffektiviteteter på >99,9% ved affaldsforbrænding er fundet i flere studier. Et nyligt US EPA studie finder dog, at kun 80% af PFAS (målt som fluorid) kan genfindes, dvs. at ca. 20% tabes i deres massebalance herunder til luft (Gehrmann et al., 2024). Der er også en stor eksport (46 t/år) af PFAA til udlandet. Derudover ender 6 ton PFAA årligt på affaldsdeponier i Danmark, og med et estimat på 1,8 ton udledt årligt til overfladevand er PFAA den største direkte bidragsyder til PFAS i vandmiljøet. Det atmosfæriske nedfald er estimeret til at være i samme størrelsesorden, nemlig 2,2 ton pr. år.

Procentmæssigt står TFA-relaterede PFAS for den største ophobning i samfundet (36%) og er samtidig den væsentligste bidragsyder til udledninger til luften og vandet sammenlignet med PFAA'er (inkl. precursors) og PFAS-polymerer. Inputtet i TFA-kategorien kommer primært fra F-gasser (hydrofluorcarboner, HFC'er herunder hydrooleofiner, HFO'er) der udgør 73% og fra pesticider, der bidrager med 26%. F-gasserne står næsten udelukkende for de store emissioner til luft (200 t/år), hvorimod pesticider vurderes at bidrage mest til udledningen i jord (172 t/år). Det atmosfæriske nedfald over landjorden er opgjort til 10,3 t/år (næsten udelukkende TFA).

4.4 Kortkædede PFAS herunder trifluoreddikesyre (TFA)

I de senere år er der kommet mere opmærksomhed på de kortkædede PFAS. Kortkædede PFAS omfatter ud over TFA flere andre PFAS med 2-3 C-atomer som angivet i tabel 4.1. De kortkædede PFAS er typisk mobile, hvilket betyder at de spreder sig hurtigt i jord og kan dermed nå til grundvand. Som andre PFAS er de kortkædede PFAS svært nedbrydelige (Brendel et al., 2018), mens viden om deres toksicitet er begrænset. I reguleringsmæssig sammenhæng skal det nævnes, at egenskaben mobilitet (som benævnes med bogstavet M) ikke alene er nok til, at et kemisk stof betragtes som problematisk. Mobile PFAS, som PFBS, der samtidigt er persistent (P) og toksisk (T) eller er meget persistent (very persistent, vP) og meget mobilt (vM), er under REACH blevet behandlet på lige fod med stoffer, der er PBT (persistente, bioakkumlerende og toksiske) eller vPvB (meget persistent og meget bioakkumulerende), hormonforstyrrende eller CMR (kræftfremkaldende, mutagene eller reproduktionsskadende). For disse stoffer vil anvendelsesbegrænsninger og evt. forbud kunne komme på tale. Brendel et al. (2018) argumenterer for, at der bør gælde samme bekymring for de kortkædede PFAS som for anerkendte PBT/vPvB-stoffer.

Flygtige kortkædede PFAS kan også transporteres med luften. Det gælder for nogle af de fluor-holdige gasser (F-gasser) som er omfattet af reguleringen for Convention on Long Range Transboundary Air Pollution (LRTAP) af FN's Økonomiske Kommission for Europa (UNECE). Andre PFAS, som de korte neutrale FTOH'er, er ikke omfattet af LRTAP, men er blevet påvist i arktisk luft (Bossi et al., 2016) og anses for at være precursors til PFAA'er i det arktiske miljø (D'eon og Mabury, 2011; Lohmann et al., 2024). I de seneste år er der kommet mere fokus på, at flygtige PFAS kan udledes med røggasser fra produktion, forarbejdning og affaldsforbrænding, inkl. F-gasser og nedbrydningsprodukter, syntese biprodukter, monomerer og små oligomerer fra fluorpolymerer (EEA/ETC/WMGE, 2021). Studier fra US EPA har vist, at en fuld nedbrydning/mineralisering af PFAS til flussyre (HF) kræver temperaturer mellem 1100-1400°C medmindre katalysatorer anvendes til dannelse af fluorit (CaF_2 mineralet) (US EPA, 2024)), hvilket normalt ikke opnås, selv i avancerede forbrændingsanlæg.

De kortkædede PFAS er i stigende grad blevet påvist i vand (Neuwald, 2022). Da mange af stofferne inkl. TFA er persistente og mobile, udgør de en risiko for grund- og drikkevand samt for øgede koncentrationer i overfladevand og der er påvist ophobning i planter (Brendel et al., 2018). De seneste år er flere kortkædede ioniske PFAS kommet i søgelyset, da de kan anses for persistente og mobile, fx bistriflimid (Neuwald et al., 2021), der anvendes i ioniske væsker i bl.a. batterier, elektroniske skærme, som ioniske 'opløsningsmidler' i kemiproduktion og til oplagring af varme (Rensmo et al., 2023). Andre eksempler er kortkædede fluortelomer sulfonamidoalkyl betainer (FTAB'er) og fluortelomersulfonater anvendt i blandt andet brandslukningsskum. Især på brandslukningspladser og steder med nedbrudt PFAS forurening (lossepladser, rensningsanlæg, sediment, biota) kan sådanne forbindelser udgøre en større andel af den samlede PFAS-mængde. I Danmark er der fortsat et større videnshul på dette område, og det er Videnstaskforcens erfaring, at analysemetoderne fortsat kræver udvikling for at kunne kvantificere de kortkædede PFAS mere præcist og nøjagtigt, da der ofte er udfordringer med baggrundsniveauer.

Blandt de kortkædede PFAS har den største fokus været på TFA, som er en persistent og særdeles vandopløselig syre. I 2024 er antallet af undersøgelser af forekomsten af TFA øget, og såvel koncentrationsniveauerne som den observerede stigning i TFA-forekomsten, giver anledning til bekymring. Studier har fx påvist TFA, som et nedbrydningsprodukt af PFAS-holdige pesticider (Johnsen et al., 2024) samt vist forhøjede indhold af TFA under marker sprøjtet med PFAS–baserede pesticider (Joerss et al., 2024). Det er ikke klarlagt i hvor høj grad TFA kommer fra nedbrydning i miljøet, eller fra urenheder (residualer) af TFA anvendt i syntesen.

I 2023 registrerede Tyskland en intention om at indsende et klassificeringsforslag til ECHA, hvor TFA bl.a. foreslås klassificeret som reprotoksisk (kategori 1B) samt som PMT og vPvM stof. Hvis TFA klassificeres som persistent, mobilt og reprotoksisk i kategori 1 eller 2 vil det betyde, at TFA samlet set vil være et PMT stof og samtidig være et 'CMR' (carcinogen, mutagent og reprotoksisk) stof. En sådan klassificering kan have konsekvenser for de grænseværdier, som TFA vil skulle overholde i fx drikkevand.

TFA-forekomsten vil derfor kunne blive dimensionerende for, hvilke renseteknologier, der sættes i værk både for vandforsyningerne, men i princippet også for alle andre spild- og emissionsrensende faciliteter. En renseteknologi, som omvendt osmose har vist sig effektiv til at fjerne TFA fra vand. Denne teknologi er dog ressourcekrævende ift. energi og tab af vand og resulterer i et opkoncentreret restprodukt, som skal bortskaffes på forsvarlig vis. Der er derfor et øget fokus på at identificere, hvad kilderne til TFA er (se også Joerss et al., 2024). En forholdsvis velbeskreven kilde er F-gasser af typen HFO'er, som har et mindre drivhusgaspotentiale, men til gengæld nedbrydes i atmosfæren til TFA. Trods Montreal protokollens mål om at

udfase F-gasser med PFAS-frie alternativer anvendes HFO'er stadig i kølevæsker i biler og i varmepumper. TFA kan også frigives, når materialer indeholdende PFAS afbrændes ved temperaturer under ca. 1100°C (US EPA, 2024). TFA emissioner kan også forekomme ved den direkte anvendelse af TFA i fremstilling af andre PFAS. Fx er der målt høje koncentrationer af TFA (op til 340 mg/L) i industrispildevand i Frankrig, hvor TFA blev anvendt i syntesen af andre PFAS (Salindres, 2012).

Endelig er fokus på PFAS-holdige pesticider og lægemidler steget markant, både som direkte PFAS-kilde og som kilde til TFA i miljøet. I 2021 anvendtes der på verdensplan 252 pesticid-aktivstoffer og 85 lægemiddel-aktivstoffer, der kan nedbrydes til TFA (Trier et al., 2025). På pesticidområdet meldte EU Kommissionen i slutningen af 2024 ud, at de har startet en proces for at forbyde PFAS-baserede pesticider i Europa allerede fra juni 2025 (EC, 2024). I Danmark har der været anvendt minimum 22 PFAS-baserede pesticider, hvor TFA kan være et nedbrydningsprodukt (Albers og Sültenfuss, 2024).

I december 2024 publicerede Miljøstyrelsen en rapport udarbejdet af GEUS, hvis formål var at belyse om C-CF3 pesticider anvendt i Danmark nedbrydes til TFA i landbrugsjord og i så fald, om mængderne er store nok til at påvirke grundvandskvaliteten (Johnsen et al., 2024). Alle syv udvalgte pesticider frigav TFA over forsøgets 52 uger. Forfatterne konkluderer, at selvom estimaterne for TFA udvaskningen er behæftet med stor usikkerhed, vil den i flere scenarier sandsynligvis overskride grænseværdien for pesticider i grundvand på 0,1 µg/L. Koncentrationerne vil dog i alle tilfælde ligge klart under den nuværende grænseværdi for TFA på 9 µg/L i drikkevand. Estimaterne understøttes af udenlandske studier, der viser højere mængder TFA under marker sprøjtet med PFAS pesticider, end under ubehandlet skov – og at begge områder har en 'baggrundsbelastning' sandsynligvis fra atmosfærisk deposition af TFA stammende fra F-gasser (Joerss et al., 2024).

Mængderne af PFAS-baserede lægemidler, der er anvendt i Danmark til veterinært eller humant brug, er ikke rapporteret, men opgørelser findes sandsynligvis eller kan estimeres på baggrund af salgstal. Lægemidlerne kan hovedsageligt forekomme i miljøet fra spredning af organisk gødning (gylle, spildevandsslam mm) på markerne eller fra spildevandsrensningsanlæg. Den samlede mængde af lægemidler, der spredes i miljøet, vurderes at være i samme størrelsesorden som mængden af pesticider – men andelen af TFA precursors er muligvis lavere). For en yderligere oversigt over videnshuller vedrørende PFAS og lægemidler henvises til del 1 af denne rapport (Baun et al., 2023).

4.5 Affaldshåndtering og -behandling

For en kortlægning af PFAS-forureningssituationen i Danmark spiller affaldshåndtering og -behandling en afgørende rolle, men som beskrevet i PFAS-restriktionsforslaget, er det et område domineret af meget store usikkerheder, hvad angår emissioner. I massestrømsanalysen for Danmark (Lassen et al., 2024) er der givet en indgående beskrivelse af den nuværende danske og internationale viden om mulige emissioner fra affaldsforbrænding, deponi og spildevandsrensningsanlæg. Baseret på den eksisterende litteratur, konkluderer Lassen et al. (2024), at PFAS effektivt kan destrueres ved affaldsforbrænding samt at udslip fra affalds- og slamforbrænding er ubetydelige i forhold til andre kilder. I undersøgelsen tages der dog forbehold for, at udslip af fluorgasser ved afbrænding af fluorpolymerer er et område, hvor der mangler viden. Generelt blev det estimeret, at sidekæde-fluorerede polymerer udgør det største bidrag til udslip inden for gruppen af PFAA og deres forstadier (precursors), men det understreges, at vidensniveauet om forekomst i affaldsstrømme og i miljøet er lille (Lassen et al., 2024). For PFAS-polymere nævnes det, at spredning i form af mikroplast fra affaldsstrømme er en mulighed, der endnu ikke er understøttet af egentlige undersøgelser.

Generelt for affaldsbehandlingssektoren viser estimeringer i Lassen et al. (2024), at deponier og spildevandsrensningsanlæg tegner sig for en væsentligt højere emission til luft, end affaldsforbrænding. Denne konklusion beror i høj grad på, at destruktionseffektiviteten for PFAA'er og deres forstadier ved kontrolleret affaldsforbrænding under danske forhold er beregnet til 99,9989%. Der er tale om et bedste estimat baseret på den eksisterende viden, som dog er ret begrænset, især hvad angår hvilke procesbetingelser ved affaldsforbrænding, der fremmer fjernelse af PFAS. Miljøstyrelsen har i 2024 igangsat et forprojekt til design af et fuldskalaprojekt rettet mod afbrænding af affald og spildevandsslam, og det vil være af stor betydning for vurderingen af destruktion af PFAS ved forbrænding, at et egentligt fuldskalaprojekt iværksættes.

For PFAS-emissioner fra affaldsbehandlingsanlæg til vandmiljøet spiller spildevand en stor rolle, men der knytter sig store usikkerheder til estimering af tilførsel af PFAS til spildevand og de resulterede emissioner

via udløb fra renseanlæg af renset spildevand og spildevandsslam. Lassen et al. (2024) opsummerer, at usikkerhederne især er knyttet til manglede undersøgelser af forekomsten af sidekæde-fluorerede polymerer. Da sammenligninger baseret på danske og udenlandske målinger i spildevand og spildevandsslam giver betydeligt lavere mængder, er det muligt, at estimaterne i Lassen et al. (2024) beskriver et "worst case". Der er i dag et ganske stort fokus på forekomst og rensemuligheder for PFAS i spildevand, og Videnstaskforcen opfordrer til, at dette fokus bibeholdes, samt at der fortsat igangsættes projekter til afprøvning og opskalering af rensemetoder.

Ved deponering af affald i Danmark anvender vi i dag deponier, som har bund-og sidemembraner samt drænsystemer til opsamling af det perkolat, der dannes ved infiltration af nedbør gennem deponiernes overflade. Perkolat fra affaldsdeponier i Danmark er traditionelt blevet opsamlet og ledt til kommunale spildevandsrensningsanlæg uden forudgående rensning for miljøfarlige stoffer. Da der i perkolaterne findes betydelige koncentrationer af PFAS (Albertsen et al., 2025 – rapportudkast), forventes spildvandsrensningsanlæggene på sigt at ville afvise at modtage perkolatet eller at stille et tilledningskrav for modtagelse af perkolatet. Dette stiller deponierne i en vanskelig håndteringsmæssig situation, og i et udkast til en udredningsrapport har Albertsen et al. (2025) givet en grundig redegørelse for problemstillingen og mulige tekniske løsninger herpå, som fx topafdækning, recirkulation af perkolat og forbrænding af PFAS-holdig affald i affaldsforbrændingsanlæg. Disse løsninger er rettet mod at reducere udvaskning af PFAS fra affaldet, men det er uvist, hvordan en ændret praksis vil påvirke emissioner af PFAS fra deponier til luft. Netop emissioner fra affaldsdeponier til luft er et underbelyst område, hvor nyere undersøgelser viser, at PFAS-emissionen kan være ganske betragtelig (Lin et al., 2024). Tiltag vedrørende luftemissioner er derfor også inkluderet i Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder (se Handlemulighed #5, kap. 5).

I praksis vil der gå flere år inden nye håndteringsmuligheder bliver gennemført og får effekt på deponierne, og derfor vil rensning af perkolat være nødvendig i mange tilfælde. Der findes i dag rensemuligheder for PFAS, og disse er også opsummeret og vurderet i rapportudkastet af Albertsen et al. (2025). Rensemetoderne gengives derfor ikke her, men det bemærkes, at udfordringen for både deponier og myndigheder består i, at tilledningskrav for PFAS-forurenet perkolat til renseanlæg i dag ofte sættes meget lavt, nemlig helt ned til miljøkvalitetskravene for overfladevand (fx 4,4 ng/L for PFAS24 eller 0,13 ng/L for PFOS og dets derivater). Så lave koncentrationer er i praksis dels svære at opnå og dels svære at dokumentere, da analyse for PFAS i et så komplekst medie som perkolat stiller store analysekemiske krav. Rent teknisk er det muligt at fjerne PFAS til så lave niveauer, men der kræves ofte avancerede metoder og/eller anvendelse af flere metoder samtidigt, for at nå de meget høje rensningsgrader, der kræves for at gå fra µg/L-området til ng/L-området. Der vil derfor være relativt store omkostninger til etablering af perkolatrensning på deponierne, men også driftsomkostningerne vil være ganske betragtelige – herunder ofte bortskaffelse af de opkoncentrerede fraktioner, der er et resultat af rensningen. Her er det væsentligt at understrege, at deponierne har en efterbehandlingsperiode, der i dag er på 30 år, og rensningen dermed skal fortsætte i denne periode med fortsatte driftsomkostninger til følge. For at oprense PFAS kan længere efterbehandling være nødvendig afhængigt af kildestyrken. Som beskrevet i rapportudkastet af Albertsen et al. (2025) vil det fra et samfundsøkonomisk perspektiv være relevant at se på, om opgaven med at rense ned til de lave udledningskrav til overfladevand, samt udgifter til efterrensning placeres hos de offentlige renseanlæg. I dette overordnede perspektiv er det desuden Videnstaskforcens vurdering, at et "massefjernelsesprincip" sideløbende med et koncentrationsfokus kan være formålstjenstlig – dvs. at størrelsen af den fjernede masse indgår i overvejelserne, hvor stor en indsats (både teknisk og økonomisk), det kræver at fjerne massen.

4.6 Byggematerialer og bygningsaffald

Der mangler i dag et overblik over brug og forekomst af PFAS i byggematerialer i Danmark, samt frigivelse til såvel indeluft og støv som til alle dele af miljøet. Herudover er betydningen af en eventuel forekomst af PFAS for genanvendelse og behandling af affald underbelyst. Flere initiativer er i gang, og et Miljøstyrelsesprojekt vedrørende PFAS i bygningsaffald i Danmark blev afsluttet i 2024 (Thomsen et al., 2024). Denne undersøgelse var rettet imod omfanget af PFAS i byggeaffald fra nedrivninger og renoveringer, da bygninger, hvor nedrivning eller renovering frembringer mere end 1 ton affald, skal kortlægges for problematiske stoffer, og den efterfølgende affaldshåndtering kan dermed blive påvirket. Kort opsummeret omfattede undersøgelsen 350 prøver fra 31 bygninger undersøgt med fokus på maling, gulvbelægninger, gulv- og vægfliser, fuger, udvendigt ubehandlet beton og tegl. Der blev analyseret for 32 PFAS, som omfattede PFAS22 og 10 yderligere PFAS udvalgt efter en vurdering af mulig anvendelse i de forskellige materialetyper. Denne udvidelse af analysepakken bidrog til flere fund af PFAS, end hvis der kun var analyseret for PFAS22. De højeste værdier for fund af summen af PFAS32 blev fundet i malingsprøver (koncentrationer mellem 0,052 mg/kg TS og 2,799 mg/kg TS og med en maksimumsværdi på 21 mg/kg TS). I prøver fra gulvbelægning blev der også fundet PFAS (0,017-0,350 mg/kg TS), mens niveauerne i fliser, tegl, beton og fuger viste lavere koncentrationer (0,0001-0,007 mg/kg TS). I de fleste prøver af beton og tegl blev der ikke detekteret PFAS. I enkelte prøver blev der fundet PFOS, PFOA og PFHxS. Den højeste målte koncentration af de tre forbindelser var 0,680 mg PFOA /kg TS, som blev målt i maling på træ.

Som påpeget i del 1 af denne rapport (Baun et al., 2023) mangler der fundamental viden om indhold, udvaskning og spredning af PFAS fra byggematerialer hhv. under anvendelse, ved genbrug/genanvendelse og ved bortskaffelse. En sådan viden er nødvendig i forhold til transformation af byggesektoren til cirkulær økonomi, for at sikre at genbrug og genanvendelse af byggematerialer ikke leder til en ukontrolleret spredning af PFAS i miljøet både inde og ude.

Der er behov for 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 kontrolmetoder til PFAS-screeninger for at sikre, at de PFAS forurenede byggematerialer, som potentielt kan udgøre en miljø- eller sundhedsrisiko, ikke recirkuleres (se Handlemulighed #13, kap. 5).

4.7 Jordforurening og -håndtering

I Danmark er der identificeret op til 15.000 lokaliteter, hvor aktiviteter kan have ført til PFAS- forurening af jorden. Dertil bør der lægges større områder, hvor diffus forurening fra fx havskum er påvist eller har været mistænkt for at have ført til en betydeligt øget PFAS-forekomst. Denne type af forurening findes ofte i den terrænnære jord, og det vil være vigtigt at undersøge om disse områder skal oprenses, om forureningen kan immobiliseres eller om områderne skal overvåges nøjere for at forhindre eller kortlægge yderligere spredning til grundvandet eller overfladevand.

Håndteringen og flytning af PFAS forurenet jord på en forsvarlig måde, der ikke kommer i konflikt med den gældende regulering, udgør en særlig udfordring. For jordforureninger og opgravet PFAS-forurenet jord vil hovedproblemstillingerne oftest være knyttet til sundhedsrelaterede aspekter så som drikkevandsbeskyttelse, jordspisende børn, eksponering af kødkvæg og jagtbart vildt gennem vand og evt. akkumulering i græs og anden planteføde. Det kan også være forurenede grunde, hvor der sker udsivning til overfladevand, som fører til overskridelse af ferskvandsgrænseværdier relateret til fisk. Jordforurening med PFAS er med andre ord sjældent en væsentlig direkte risikofaktor for dyr, planter og biodiversiteten. Det skal i den sammenhæng nævnes, at selvom der i Danmark ikke foreligger et økotoksikologisk funderet jordkvalitetskriterium eller –krav, så viser beregninger af Jensen og Fauser (2024), at et økotoksikologisk funderet beskyttelsesniveau vil ligge over det gældende jordkvalitetskrav.

Håndtering af PFAS-forurenet jord er udfordrende, bl.a. fordi der ikke findes etablerede behandlingsmuligheder, og fordi der ofte er tale om meget store jordmængder, der skal behandles/deponeres. Der er behov for løsninger, så PFAS-forurening ikke overses og spredes utilsigtet, men som samtidig sikre smidige og praktiske håndteringsmuligheder indtil varige løsninger er etableret.

På EU-niveau er en kommende jordlov (Soil Monitoring and Resilience Directive) under forhandling (triologi proces). I den sammenhæng har Europa-Parlamentet fremsat et krav om en fastsættelse af grænseværdier for PFAS og PFAS Total. Præmisserne og principperne for loven er under diskussion indtil juni 2025. Denne periode skal bl.a. bruges til at vurdere og beslutte hvorvidt:

- Der, som i vandrammedirektivet, skal laves en observationsliste (Watch List) for miljøfarlige forurenende stoffer i jord.
- Der skal være differentierede grænseværdier for forskellige jordanvendelser.
- I hvilken grad og på hvilken måde biotilgængelighed og mobilitet skal inkluderes.
- Hvilke beskyttelsesmål der skal indgå i direktivet.
- Hvordan ansvarsfordelingen skal være mellem EU og medlemslandene.

Herefter følger en proces til 2027, hvor de konkrete detaljer skal beskrives og besluttes.

Et udredningsprojekt har i 2024 haft til formål at lave en screening af andre landes håndtering af PFAS i jord, undersøge deres kvalitetskriterier og strategier, samt håndtering af påbud i Sverige og Norge (Smith og Tsitonaki, 2024). Der blev fundet oplysninger om PFAS-initiativer i 12 lande. Projektet har sammenfattet forslag til håndtering af PFAS i jord i en dansk kontekst. Strategierne balancerer mellem at undgå/eliminere PFAS og skabe praktiske håndteringsmuligheder.

Projektet fremkom med 13 ideer til håndtering af PFAS i jord (Smith og Tsitonaki, 2024):

- Handleplan for PFAS i jord
- Inddragelse af flere beskyttelseshensyn i jordkvalitetskriteriet
- Inddragelse af jordens eget beskyttelsesniveau i jordkvalitetskriterierne
- Fastsættelse af en normværdi for indhold af PFAS i jorden, hvor der ikke er risiko
- Fastsættelse af et niveau for den diffuse forurening af PFAS i jord administrativt
- Differentierede jordkvalitetskriterier efter arealanvendelse
- Inddragelse af vægtet toksikologi i jordkvalitetskriterier
- Udarbejdelse af et jordkvalitetskriterie for summen af PFAS (uspecifikke)
- Udvaskningstests i forbindelse med prøvetagning af jord
- Områdekort for PFAS
- Retningslinjer for midlertidig opbevaring
- Retningslinjer for genanvendelse
- Indretning af specielle enheder på deponier til PFAS-forurenet jord

Videnstaskforcen støtter de overordnet konklusioner fremsat af Smith og Tsitonaki (2024) og vil bl.a. fremhæve nedenstående handlingsorienteret tiltag, der kan afhjælpe den nuværende situation på jordområdet.

Der foreligger ofte udfordringer ved bygge- og anlægsarbejde med at håndtere PFAS-forurenet jord, da der ikke er etablerede storskala-muligheder for at bortskaffe den forurenede jord. Rensning af jord, enten *in situ* eller på anlæg, bør undersøges og have første prioritet ved håndtering af PFAS-forurening i det omfang, at metoderne er rentable i en miljø- og sundhedsmæssig, klimamæssig og økonomisk kontekst. Indtil de rette løsninger er etableret anbefaler Smith og Tsitonaki (2024), at der oprettes specialindrettede enheder for PFAS-forurenet jord på deponier med særskilt opsamling og håndtering af perkolat (se afsnit 4.5 vedrørende udfordringer forbundet med PFAS-holdigt affald).

På grund af de lave grænseværdier og en omfattende diffus forurening af visse fx kystnære eller bynære områder bør det overvejes at udvikle retningslinjer for genanvendelse af jord med et lavere indhold af PFAS. Her kan eksempelvis inddrages viden om niveauet for den diffuse forurening i det åbne land og på større naturområder med henblik på at udarbejde en form for antropogent baggrundsniveau eller normværdi for jorden (Strobel et al. 2024).

Endelig skal det nævnes, at rapporten fra Smith og Tsitonaki (2024) er blevet fulgt op af et projekt for Miljøstyrelsen, som har til formål at udvikle forslag til en handlestrategi for PFAS på jordområdet. Denne forventes at udkomme i løbet af 2025.

4.8 Behovet for socioøkonomiske analyser

På tværs af alle emner relateret til håndtering af PFAS-problemstillingen kommer behovet for socioøkonomiske analyser til stadighed højt på dagsordenen med spørgsmål som fx "hvad koster det samfundet at rense ned til drikkevandskvalitetskravene?" og "har vi som samfund råd til at opretholde så lave grænseværdier for PFAS i jord?". Selvom der ikke vil være et entydigt svar på disse tilsyneladende rent økonomiske spørgsmål, så rummer socioøkonomiske analyser muligheden for at bidrage til disse afvejninger i forbindelse med identifikation af handlemuligheder.

PFAS-forureningen af miljøet er så omfattende, at det er nødvendigt at prioritere hvilke tiltag, der på kort og lang sigt mest effektivt kan reducere den uønskede eksponering af mennesker og miljø. For den diffuse miljøforurening er rensning ikke mulig, mens rensning for punktkildeforureninger teknisk er mulig. Med de meget lave miljøkvalitetskriterier og grænseværdier vil oprensning ofte resultere i betydelige etablerings- og driftsudgifter samt eventuel bortskaffelse af en opkoncentreret fraktion med højt PFAS-indhold. Som et led i prioriteringen skal beslutninger understøttes af analyser af hvilke tiltag, der giver den største risikoreduktion sat i forhold til både et bæredygtigheds- og socioøkonomisk perspektiv.

På det overordnede samfundsniveau er en opdatering af Nordisk Ministerråds rapport 'Cost of inaction – PFAS' fra 2019 (Goldenman et al., 2019) en oplagt handlemulighed. Denne mulighed blev også foreslået i del 1 af denne rapport (Baun et al., 2023), hvor det foreslås, at 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 rapporten fra 2019. 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 i del 1) samt inkludere et bredere udsnit af PFAS end PFAS4, som rapporten af Goldenman et al. (2019) fokuserede på. Opdateringen vil kunne danne rammen for både investeringer i PFAS-fri teknologier samt understøtte PFAS-restriktionsforslaget. Hvis PFAS-restriktionen bliver vedtaget, har Danmark en mulighed for at gøre sig gældende indenfor PFAS-frie energiteknologier, samt lægemidler og medicinsk udstyr, hvor vi i forvejen har en stærk industri.

4.9 Myndighedernes risikokommunikation

I den første del af Videnstaskforce rapporten (Baun et al., 2023) er det beskrevet, at selvom alle myndigheder på miljøområdet varetager deres opgaver, er den samlede risikokommunikation til berørte borgere og offentligheden ved miljømæssige eksponeringer i nogle tilfælde mangelfuld, ukoordineret eller forsinket.

På baggrund af dette afholdte Videnstaskforcen i september 2024 et møde om risikokommunikation. Ved mødet deltog ud over medlemmer af Videnstaskforcen også Sundhedsstyrelsen, Styrelsen for Patientsikkerhed, Miljøstyrelsen, Fødevarestyrelsen, Kommunernes Landsforening, Regionernes Videncenter for Miljø og Ressoucer samt medarbejdere fra miljøområdet fra tre kommuner (Randers, Roskilde og Odense).

Formålet med mødet var at drøfte myndighedsansvaret ved risikokommunikation i spændet mellem miljø og sundhed, samt om der ses huller mellem myndighedernes ansvarsområder ift. behov for kommunikation særligt til borgerne. På mødet drøftedes en række cases, hvor Videnstaskforcen havde oplevet, at opgaven med risikokommunikation var faldet mellem flere stole, og den borgerrettede kommunikation som en konsekvens heraf havde vist sig mangelfuld. De drøftede cases omhandlede risikokommunikation om PFAS, men konklusionen var, at problemstillingerne er relevante for risikokommunikation vedr. miljøfarlige stoffer generelt.

De udvalgte cases viste eksempler, hvor behovet for borgerrettet kommunikation om sundhedsfaglige risici ved nye fund af miljøfarlige stoffer var uden for rammen for de kommunale eller regionale myndighedsområder, som alene ligger på det miljøfaglige og ikke på det sundhedsmæssige miljømedicinske område. Selvom myndighederne håndterede situationerne professionelt, fandt de, at de ikke var tilstrækkeligt fagligt klædt på til at varetage risikokommunikation om sundhed ved miljømæssige eksponeringer til borgerne.

Cases viste, at der er behov for at understøtte (især mindre) kommuner, når de skal risikokommunikere om sundhed ift. miljø til borgerne. En case tydeliggjorde, at det er vigtigt, at myndighederne tør informere og kommunikere tidligt i processen trods ofte sparsomme data, samt et behov for at kommunen ikke blot vi-

dereformidler viden, men også trækker på miljømedicinske eksperter, der kan stille op fx ved borgermøder og besvare borgernes spørgsmål. Det blev fastslået, at kommunerne har de borgerrettede myndighedsopgaver indenfor miljøområdet herunder opgaven med borgerrettet risikokommunikation også ift. de sundhedsmæssige aspekter. Det er kommunerne der, som miljømyndighed, har oplysningspligt overfor borgerne, og de er også de nærmeste til at gøre det. Kommunerne søger rådgivning hos relevante myndigheder fx Fødevarestyrelsen og Styrelsen for Patientsikkerhed, der rådgiver kommunerne ift. de sundhedsmæssige forhold og eventuelle sundhedsrisici. Selvom de gennemgåede cases beskæftigede sig med kommuneres rolle, stod det klart, at situationen er nogenlunde den samme for regionerne inden for deres miljømæssige ansvarsområder.

Kommuner og regioner oplever generelt et godt samarbejde med de øvrige myndigheder på miljøområdet, og er glade for samarbejdet i myndighedernes PFAS koordinationsforum under Miljøstyrelsen. De deltagende myndigheder foreslog dog at styrke samarbejdet yderligere ved, at der hurtigt indkaldes bredt på tværs af myndigheder, når en miljøsag kommer op. Dette kunne fx være i form af en stående gruppe, der kan aktiveres ved behov. Dette kan også sikre, at der ikke er uklarheder ift. roller fx mellem region og kommune samt sikre en tidlig stillingtagen og initiativ til en ensartet kommunikationsplan.

Kommunerne og regionerne beskrev, at deres miljøfunktion varetages af miljøfaglige medarbejdere fx miljøingeniører og geologer, og ikke af medarbejdere med miljømedicinsk sundhedsfaglig baggrund og dermed ikke med specifik viden om det sundhedsmæssige ift. miljøfarlige stoffer. Kommunerne kan derfor komme til kort ved behov for nuanceret kommunikation om den sundhedsmæssige risiko samt ved spørgsmål fra borgerne ift. de sundhedsmæssige aspekter. Det er de miljøfaglige medarbejdere i kommunerne, der indhenter rådgivning fx fra Styrelsen for Patientsikkerhed om de sundhedsmæssige aspekter, men de miljøfaglige medarbejdere har ikke baggrund til at varetage risikovurderingen eller risikokommunikationen.

Der blev drøftet, om det kunne være en mulighed, at styrelserne udarbejdede skriftligt borgerrettet kommunikationsmateriale, som kommunerne kan tage udgangspunkt i fx en pjece med beskrivelse om specifikke stoffer og deres helbredsrisici med henblik på at nuancere risici ved eksponeringen for den enkelte borger. De skriftlige materialer kunne fx perspektivere til kendte risici og dermed nuancere faremomentet og -perceptionen. Ved konkret henvendelse vil Styrelsen for Patientsikkerhed gerne bidrage til en sådan kommunikation.

Det blev beskrevet, at miljømedicinsk rådgivning også varetages af speciallæger fra de arbejds- og miljømedicinske afdelinger. Disse har i nogle sager bidraget som miljømedicinske eksperter ved borgermøder, hvilket har været værdifuldt. De arbejds- og miljømedicinske afdelinger er dog ikke en myndighed, og har hverken lovhjemmel eller ressourcer til at varetage de sundhedsfaglige afgørelser.

Kommunerne beskrev, at de har behov for, at Styrelsen for Patientsikkerhed understøtter risikokommunikationen fx med støtte til den skriftlige kommunikation om de sundhedsmæssige aspekter til borgerne eller ved at deltage på borgermøder.

Styrelserne beskrev, at de er bundne af deres lovgrundlag og ressortområde, fx at Styrelsen for Patientsikkerhed kun varetager rådgivning af andre myndigheder og kommunerne efter konkret anmodning, men ikke har til opgave at bidrage direkte ift. risikokommunikation til borgerne. Styrelsen for Patientsikkerhed har ikke ifølge deres opdrag til opgave (og dermed ikke ressourcer til) at varetage borgerrettet kommunikation og deltage som miljømedicinske eksperter ved borgermøder.

Opgaver, der ikke hører til i en styrelses ressortområde, har styrelserne ikke mulighed for at varetage, ej heller selvom opgaven mangler at blive løst. Dette gælder fx vurdering af målemetodik eller at iværksætte udredningsforløb mhp. vurdering af den humane eksponering, som er en forudsætning for en konkret risikovurdering og -rådgivning.

Samlet kan konkluderes, at den beskrevne svaghed, som blev identificeret af Videnstaskforcen i 2023 ift. risikokommunikation til borgerne, kunne genfindes på mødet. Dette gælder ikke kun PFAS, men i forhold til kommunikation ved eksponering for miljøfarlige stoffer generelt. Myndighederne kunne derudover konkretisere nogle udfordringer ift. kommunikation til borgerne om helbredsrisici ved eksponering for miljøfarlige stoffer. På den baggrund finder Videnstaskforcen, at der er behov for at styrke risikokommunikationen til borgerne og har derfor givet, i overensstemmelse med metoden beskrevet i bilag 1, et forslag til en handlemulighed på dette område, som Handlemulighed #18 i kapitel 5.

5. KATALOG OVER VIDENSTASKFORCENS FORSLAG TIL HANDLEMULIGHEDER

I det følgende præsenteres de forslag til handlemuligheder, som Videnstaskforcen har prioriteret i form af korte oversigtsark for hver handlemulighed (se tabel 5.1 for et overblik). Metoden til udvælgelse af disse handlemuligheder er beskrevet i bilag 1.

I henhold til denne rapports formål skal det understreges, at handlemulighederne er rettet mod at danne grundlag for *myndighedernes* fremtidige prioritering af indsatsen mod PFAS-forureningen. For alle handlemuligheder gælder derfor, at de er rettede mod, at myndighederne kan igangsætte handlingerne, men ikke nødvendigvis vil være de udførende.

Selvom de foreslåede handlemuligheder er fokuseret på de områder, hvor Videnstaskforcen har ekspertise, udspænder det samlede katalog et bredt felt rettet mod handlinger til nedbringelse af PFAS eksponeringen ved både direkte og indirekte aktioner på vidt forskellige niveauer.

Videnstaskforcens prioritering har ligget i udvælgelsen af emner til udarbejdelse af handlemuligheder, og de forslag til handlemuligheder, der er inkluderet i nærværende katalog, er derfor sideordnede med hensyn til prioritering. For et samlet overblik over alle handlemuligheder samt Videnstaskforcens vurdering af deres betydning i relation til nedbringelse af miljøets og mennesker eksponering henvises til kapitel 6 "Opsummering og konklusion".

I udvælgelsen af forslag til handlemuligheder til dette katalog, har hensynet til reduktion af massen af PFAS i cirkulation i Danmark samt massens relation til eksponering været af afgørende betydning. Forslagene spænder bredt og adresserer alle trin fra emissioner til menneskenes eksponering. De omfatter forskellige typer handlemuligheder, inklusive opbygning af mere viden, hvor Videnstaskforcen fortsat konstaterer kritiske videnshuller.

For det præsenterede katalog over handlemuligheder skal det understreges, at disse er tiltænkt som grundlagsskabende for myndighedernes fremtidige prioritering af indsatsen mod PFAS-forureningen. For alle handlemuligheder gælder derfor, at de er rettede mod, at myndighederne kan igangsætte handlingerne, men ikke nødvendigvis vil være de udførende. Det skal understreges, at kataloget *ikke* er tiltænkt som en checkliste af handlinger, der *skal* igangsættes for at nedbringe PFAS –forureningen og -eksponeringen i Danmark. Det har været Videnstaskforcens ambition at prioritere handlemuligheder, der dækker flest muligt af de mange dimensioner, som PFAS-problemstillingen berører, men at holde fokus på de handlemuligheder, der kan nedbringe miljøets og befolkningens eksponering.

For flere af emnerne nedenfor er der allerede igangværende aktiviteter direkte relateret til PFAS handlingsplanen, PFAS restriktionsforslaget samt hos kommuner og regioner. Det gælder også, at flere aktiviteter er planlagte (bl.a. i PFAS-centret), og kataloget vil forhåbentlig kunne bidrage til myndighedernes planlægning og igangsættelse af flere nye tiltag.

Tabel 5.1 Oversigt over Videnstaskforcens forslag til myndighedernes handlemuligheder til at nedbringe PFAS eksponeringen af mennesker og miljø i Danmark.

Kategori	Handlemulighed
Dataoverblik	#1 Vidensdeling
Alternativer	#2 PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling
Kortlægning af potentielle kilder	#3 Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet
	#4 PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder
	#5 Emissioner til udeluft
Kendte kilder	#6 PFAS forurening på forurenede grunde
	#7 Spildevand og spildevandsslam
Forekomst og eksponering	#8 Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter
	#9 Forbrugerprodukter og eksponering
	#10 En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS
	#11 Overvågningsstrategi
Analysestrategi	#12 Analysemetoder
	#13 Kontrolmetoder og -strategi
Skæbne, fordeling og transport i miljøet	#14 Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land
	#15 Grundvand og drikkevand
Toksikologiske effekter	#16 Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS
	#17 Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier
Risikokommunikation	#18 Myndighedernes risikokommunikation

5.1 HANDLEMULIGHED #1 - Videndeling

Vidensdeling

Baggrund
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.

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 de eksisterende data samt porteføljen af igangværende og afsluttede PFAS-relaterede projekter i Danmark.

Videnshul
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 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.

Derfor afholdt Videnstaskforcen i september 2024 en workshop til afdækning af behovet for vidensdeling blandtblandt relevante aktører samt til afklaring af, hvordan en vidensdelingsplatform for PFAS relaterede data for fødevarer og miljøprøver kan etableres. Nedenstående handlemuligheder er fremsat som Videnstaskforcens konklusion på udkommet af workshoppen.

Handling
- Én samlet indgang hvor analyseresultater fra alle myndigheder kan tilgås – herunder fx prøver af vand og jord samt prøver af græs, bær, vildt, husdyr, regnvand, havskum.
- Identificér succesfulde udenlandske løsninger, som kan overføres til danske forhold.
- Etablering af et interaktivt kort med kvalitetsvurderede data over forureningssituationen i Danmark.
- Indberetningspligt ved offentligt finansierede projekter med PFAS målinger med mulighed for indberetning af private aktører.
- Udvikle incitamentsprogrammer, der motiverer private aktører til at indberette PFAS-relaterede data (fx skattefradrag eller et certifikat el.lign.)
- Én samlet indgang hvor igangværende og afsluttede PFAS projekter registreres og kan fremsøges. Herunder anvendelse af fælles skabeloner ved registrering af alle PFAS-relaterede projekter.

Potentiel effekt/Implementerbarhed
For at maksimere effekten af nye større indsatser og projekter er det nødvendigt, at de baseres på den eksisterende viden på PFAS-området. Her vil en nemmere indgang til et samlet overblik over målinger og PFAS-relaterede projekter i Danmark bidrage betydeligt. For en effektiv risikokommunikation er en transparent vidensdeling ligeledes essentiel. Derfor vil de foreslåede handlinger kunne have en stor effekt for myndighedernes håndtering af PFAS forurening. Det vurderes, at implementerbarheden er høj, såfremt der afsættes dedikerede midler til oprettelse og vedligeholdelse af disse vidensdelingsaktiviteter. Her kan PFAS handlingsplanens "Partnerskaber med erhvervslivet" spille en rolle. Med hensyn til udførsel af opgaven kan Miljøstyrelsens PFAS sekretariat være en mulighed eller man kunne udvide den økonomiske og indholdsmæssige ramme for Dansk PFAS Forsknings- og Leverancecenter til også at omfatte funktionen som et egentligt videnscenter.

5.2 HANDLEMULIGHED #2 – PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling

PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling

Baggrund
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. 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 flere "grønne teknologier" (bl.a. batterier, varmepumper, vindturbiner, brintteknologier) i dag benytter PFAS.

Videnshul
Videnstaskforcen identificerede følgende videnshul i 2023 – et videnshul, der ikke i løbet af 2024 er blevet lukket: "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.

Udfordring
Der mangler et overblik over størrelsesordenen af disse bidrag samt vurderinger mht. funktion og bæredygtighed ved substitution af PFAS-forbindelser i disse anvendelser. PFAS restriktionsforslaget antager en vækst på 10% for både elektronik og energisektoren, men for Danmark vurderes væksten inden for det grønne teknologiområde at være større i de kommende år.

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 CO_2 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. Selvom vidensgrundlaget stadig er sparsomt, viser en oomfattende screening af gængse typer af solcellepaneler anvendt i solcelleparker i Danmark i dag kun en meget lille forekomst og udvaskning af PFAS fra overfladen af disse (Skjolding og Baun, 2025). Ligeledes viser beregninger foretaget på baggrund af disse forsøg og sat i relation til en faktisk etablering af en solcellepark, at frigivelse af PFAS fra solcellernes overflade ikke vil udgøre en risiko for jord- eller grundvandskvaliteten. 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 bis-triflimid, men også andre stoffer med fluor bundet til silicium anvendes.

I Danmark er særligt vindmølleproduktionen en meget væsentlig sektor inden for teknologier til den grønne omstilling. Her vil støtte til udvælgelse af PFAS-frie alternative baseret på SSbD være af stor betydning for mindset PFAS-anvendelse i design-, produktions-, anvendelses- og recirkulations-/bortskaffelsesfaserne.

Handling

- Et udredningsprojekt med formål at danne et overblik over forbruget af PFAS i grønne teknologier med dansk relevans, samt hvilke PFAS-frie alternativer der p.t. findes.
- En evaluering af værktøjer til vurdering af alternativer i "safe and sustainable by design (SSbD)" sammenhæng herunder muligheden for at bruge disse værktøjer til at vurdere bæredygtigheden af alternativerne til PFAS i de udvalgte cases.
- Affalds- og genanvendelse af materialerne skal medtænkes ved etablering af grønne teknologier med mulig PFAS anvendelse. Her vil et udredningsprojekt med fokus på sikre og bæredygtige løsninger skulle igangsættes.
- Fastsætte krav til målinger af mulig frigivelse af PFAS fra solcelleoverflader.
- Fremadrettet: Det er nødvendigt at afklare, om der skal tages forholdsregler for evt. spild af de persistente og meget mobile ioniske væsker, som forventes anvendt i nyere (3. generations) solceller.

Potentiel effekt/Implementerbarhed

Handlemulighederne er rettet mod vurdering af PFAS alternativer i én af de største vækstsektorer i Danmark med betydning for arealanvendelse og risiko for PFAS spredning. Viden om forekomst og vurdering af alternativer til PFAS i grønne teknologier er afgørende for deres implementering i stor skala, samt for at undgå 'regrettable substitution'. Under PFAS Forsknings- og Leverancecenteret er der igangsat et projekt der vil evaluere værktøjer udviklet til at vurdere alternativer, samt muligheden for at bruge disse værktøjer til at vurdere bæredygtigheden af alternativerne til PFAS i de udvalgte cases. Særligt EU-kommissions 'safe and sustainable by design' (SSb) framework, er udset en stor rolle til at drive udviklingen mod (mere) bæredygtige alternativer, og vil i projektet blive holdt op imod lignede værktøjer som 'Alternatives Assessment' og livscyklusanalyse.

Handlemulighederne er rettet mod rettidig omhu med hensyn til at undgå spredning af uønskede kemiske stoffer, og vil derfor også direkte bidrage til risikokommunikation i forbindelse med etablering af fx solcelleparker.

Handlemulighederne adresserer afværge-delen af den nationale handlingsplan for PFAS, da kortlægning af forekomst er afgørende for at begrænse og forhindre brugen af PFAS. Det bemærkes endvidere, at der i PFAS handlingsplanen er afsat midler i 2024 til 2027 til at arbejde med hurtigere udfasning af PFAS i "Partnerskaber med erhvervslivet".

5.3 HANDLEMULIGHED #3 - Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet

Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet

Baggrund
Den udbredte forekomst af PFAS i det danske havmiljø, fund af PFAS i fisk og marine pattedyr samt forhøjede koncentrationer i havskum og det kystnære terrestriske miljø gør det vigtigt at undersøge hvilke potentielle kilder, der kan være til forurening af havmiljøet. Fokus har hidtil været rettet mod landbaserede kilder, mens atmosfærisk deposition og offshore kilder indtil videre kun i mindre grad er blevet belyst. I del 1 blev der nævnt tre større marine aktiviteter, som kan være potentielle kilder til PFAS-forurening af havmiljøet, nemlig olie-gas udvinding, offshore vindmølleparker og klapning. Det er fortsat uvist om disse mulige kilder reelt bidrager til PFAS-forurening af havmiljøet.

Videnshul
Det er ukendt, om der er PFAS i de meget store mængder produktionsvand, som hvert år udledes urenset til Nordsøen fra danske offshore olie- og gasaktiviteter.
På det nuværende vidensniveau er det ikke muligt at afgøre, om der er PFAS i væsker, der anvendes i havvindmøller fx til coating og som hydrauliske væsker.
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.

Udfordring
I Danmark står offshore olie- og gasudvinding som beskrevet i Baun et al. (2023) for en meget stor udledning af kemikalier hovedsagelig via produktionsvand, som udledes direkte til havmiljøet (Nielsen et al., 2022). 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). Flere af de anvendte produkter kan indeholde fluorerede 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. 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.

Normal drift af offshore vindturbiner medfører, at betydelige mængder af olier og andre væsker anvendes og potentielt udledes 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 brugt som korrosionshæmmende additiv, og i smøremidler vil det være oplagt, at der kan være et indhold af PFTE og PFPE. Det er således ikke vurderet, om udledning fra offshore vindenergianlæg kan bidrage til forurening af havmiljøet med PFAS. Med den planlagte meget store udvidelse af Danmarks offshore vindenergianlæg bør denne situation følges tæt af myndighederne.

Sandpumpning og klapning af fx havneslam er aktiviteter, som foregår på en daglig basis i Danmark både i forbindelse med store anlægsprojekter, men også for at holde havnebassiner og sejlrender åbne. Forekomst af PFAS i marint sediment er generelt dårligt belyst. Resultaterne fra forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 8 (kapitel 3) viser lave PFAS-koncentrationer i tre marine sedimentprøver, men der kan formentlig forventes højere koncentrationer i forbindelse med lokale kilder. Klapning kan dermed muligvis resultere i en utilsigtet remobilisering af PFAS. I havet vil opslemning af sedimenter kunne medføre forøget eksponering for vandlevende organismer og dermed optag i fødenettet med risiko for bioakkumulation i fx fisk og/eller forøgede koncentrationer i vandfasen eller overfladelaget.

Handling

- Undersøgelse af mulige PFAS-udledninger relateret til offshore olie- og gasaktiviteter:
  - de store mængder af produktionsvand, som hvert år udledes urenset til Nordsøen
  - mulige udledninger relateret til aktiviteter på platforme fx brandslukningsøvelser
- Kortlægning af PFAS-indhold i dede væsker, der anvendes i havvindmøller.
  Nødvendigt at undersøge:
  - hvilke stoffer?
  - hvor store mængder?
  - scenarier for hvor stor udledningerne kan forventes at være.
- Vurdering af risiko for frigivelse af PFAS ved klapning. Især havneslam vil potentielt kunne indeholde PFAS pga. de mange forskelligartede aktiviteter i havneområder.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"

Viden om mulige oversete/ikke-beskrevne kilder til PFAS i det danske havmiljø er væsentlig for at kunne afskære og begrænse den diffuse eksponering af mennesker og miljø. Ved en afklaring af om de nævnte tre større marine aktiviteter (olie-gas udvinding, offshore vindmølleparker og klapning) reelt er kilder til PFAS-forurening af havmiljøet, kan handlinger iværksættes. Handlemuligheden er derfor rettet mod at undgå spredning af uønskede kemiske stoffer og retter sig mod afværge-delen af den nationale PFAS handlingsplan. Her er det væsentligt at bidraget fra de direkte marine kilder sammenlignes med depositionen over det marine område for herved at kunne give en samlet vurdering.

5.4 HANDLEMULIGHED #4 - PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder

PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder

Baggrund
PFAS er en gruppe af stoffer, der ofte knyttes til problematiske niveauer i vores omgivelser, det være sig jord, grundvand, overfladevand eller fødevarer. Der er derfor en generel interesse i at kende indholdet i de (gødnings)produkter, som spredes på store dele af de danske landbrugsarealer. Her vil stofferne kunne optages i afgrøder eller foder, de kan fra vandfasen spredes til nærliggende recipienter via afstrømning i fx dræn eller til grundvandsboringer gennem nedsivning.

Indholdet af organiske mikroforureninger, herunder PFAS, er som oftest relativt godt belyst i spildevandsslam, mens der ofte mangler viden om indholdet i andre organiske restprodukter som anvendes til gødning af landbrugsmarker, herunder svinegylle, kvægmøg og restprodukter fra biogasproduktion.

Et nyt screeningsstudie har belyst emnet (Jensen et al., 2024) og fandt generelt ikke bekymrende niveauer af PFAS i hverken svinegylle eller i restprodukter fra biogasproduktion. Data viste dog også, at der var undtagelser herfor, samt at der, baseret på EOF data, kan være PFAS til stede, som ikke tilhører PFAS22. Selv med lavere koncentrationer sammenlignet med fx spildevandsslam kan den samlede masse af PFAS, der tilføres landbrugsarealer, være sammenlignelig grundet den meget større produktion og udbringning af disse gødningstyper. Svinegylle var desuden indsamlet fra mindre forskningsrelateret set-up og ikke i gylletanke fra kommercielle svineproducenter.

Videnshul
Der mangler systematiske undersøgelser af PFAS-indholdet i husdyrgødning fra danske landbrug.

Der mangler systematiske viden om indholdet af PFAS i restprodukter, som anvendes som gødning til landbrugsflader fra danske biogasanlæg, herunder hvilke primære kilder til PFAS, der foreligger på de enkelte anlæg,

Der mangler dansk viden om hvor stor en andel af det samlede PFAS-indhold, fx målt som totalt ekstrahérbart organisk fluor (EOF), der udgøres af PFAS22 i organiske gødningsprodukter som anvendes på landbrugsfladen, herunder spildevandsslam.

Der mangler viden om i hvilket omfang, at lagring, kompostering og diverse termiske behandlingsmetoder, herunder pyrolyse og biochar produktion, nedbryder, omdanner og/eller eliminerer forskellige typer af PFAS.

Udfordring
Med en stor husdyrproduktion, en stigende biogasproduktion og en forventet storproduktion af biokul er det en høj andel af jorder, som årligt tilføres disse (gødnings)produkter. Det er derfor vigtigt at få et bedre billede af den samlet arealbelastning, for at kunne belyse, om disse kilder kan være bidragsyder til de koncentrationer, som vi finder fx i vores ferske recipienter.

Handling
Vidensopsamling, forskning og kildeopsporing gennem et projekt, der i samarbejde med interessenter, fx Dansk Landbrug og Fødevarer og danske naturgasproducenter indsamler relevante prøver til analyse på tværs af husdyrtyper og anlægstyper over tid.

Derudover bør der findes egnede områder, fx LOOP- og/eller VAP-stationer, hvor prøver af jord, porevand og drænvand indsamles efter områderne er gødet med de pågældende produkter for at analysere for et bredt udsnit af PFAS og EOF.

I tilfælde af at der findes (uacceptable mængder af) PFAS i de restprodukter, som udbringes til landbrugsflader, bør der ske en kildeopsporing i fodertyper til husdyr og råmaterialer til biogasanlæg. Endelig bør det kortlægges i hvilket omfang pyrolyse og produktion af biokul er en fuld eller delvis løsning ift. bortskaffelsen af PFAS fra restprodukter inden tilførslen af biokultil landbrugsjorder. Den langsigtet (bio)tilgængelig og mobilitet af PFAS i biokul er vigtige elementer at få belyst i den sammenhæng.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Der foreligger i dag for lidt viden på området til, at man kan eller bør igangsætte afværge eller inddæmning, men hvis ny viden viser, at den diffuse forurening af landbrugsjorder via gødning er en væsentlig kilde til de problemstillinger med PFAS, der i dag kan konstateres i de ferske vandområder og grundvand, skal en eventuel afværge eller inddæmning ske ved kilden, fx valg af fodertyper til husdyr eller biogas-relateret brug af biomasse (affald) fra industri eller kommuner. Et eventuelt projekt kan gennemføres på to til tre år. Efterfølgende vil potential afværge og inddæmning have en længere tidshorisont.

5.5 HANDLEMULIGHED #5 – Emissioner til udeluft

Emissioner til udeluft

Baggrund
Flygtige PFAS anvendes i mange sammenhænge og kan desuden frigives i forbindelse med brug af produkter og affaldshåndtering. For eksempel bruges flygtige FTOH'er som feedstock kemikalier til at lave FTOH derivater (fx PAPS), og F-gasser dannes som et bi-produkt i fluorpolymer produktion. Under brugen af PFAS-produkter kan flygtige PFAS dannes, og forskellige PFAS, som fx FTOH'er, er målt i luften over spildevandsrensningsanlæg, i røggassen fra forbrændingsanlæg og fra pyrolyse.

I Danmark har der i 2024 været fokus på emissioner fra virksomheder, som forarbejder især metal- og plastoverflader med fluorpolymerer til industriel brug. Tilsvarende vil der være andre forarbejdningsprocesser i Danmark med en risiko for PFAS-emissioner, hvor man anvender flygtige PFAS og/eller neutrale PFAS og opvarmning. Der er begrænset viden om mængden af PFAS, der emitteres, og hvilke stoffer det drejer sig om. Det skyldes dels, at der ikke er lovkrav om at måle, dels at prøvetagningen er logistisk besværlig.

Emissioner fra affaldssektoren er en anden kendt kilde til PFAS luftemissioner. Siden 2010'erne er der blevet målt flygtige FTOH'er i luften over spildevandsanlæg, og der er i de seneste år kommet flere studier, der bekræfter dannelse af PFAS under nedbrydningen af de polyfluorerede precursors i rensningsanlæg. I nylige amerikanske undersøgelser er der også fundet store emissioner til luft fra gamle lossepladser (Lin et al., 2024).

Spredningen af flygtige PFAS kan ske på flere måder. Dels vil de ioniske PFAS kunne sætte sig på (vand) aerosoler som med nedbør kan skabe forurening i nærmiljøet omkring udledninger. Forbliver de flygtige PFAS på gasform, kan deres opholdstider på > 20 dage gøre, at de kan transporteres til Arktis og andre kolde regioner. Det gælder fx for FTOH'er, som over tid omdannes abiotisk til PFCA'er (Bossi et al., 2016; Lohmann et al., 2024).

F-gasser kan udledes fra fx direkte anvendelse som kølemidler, fluorpolymer-virksomheder og dannes ved fx affaldsforbrænding eller emissioner fra affaldsdeponier. Der mangler overblik over hvilke danske virksomheder og hvilken type infrastruktur, der potentielt vil kunne danne og afgive PFAS til luften.

Den mest effektive teknik til at undgå emissioner af de flygtige PFAS er termisk/elektrokemisk destruktion i røggassen. Den amerikanske miljøstyrelse har i 2024 udgivet en rapport om PFAS-emissioner til luft fra affaldshåndteringen og konkluderede, at man ikke kan destruere (mineralisere) PFAS fuldt ud ved temperaturer under 1100-1400°C (US EPA, 2024). Fra andre kilder, fx F-gasser i kølemidler, vil det være relevant at se på tekniske forbedringer og krav til opsamling af gasserne i forbindelse med affaldshåndtering og deponier, og mulighederne for opskalering fra pilot til fuldskala niveau.

Videnshul
Der mangler overblik over hvilke typer af virksomheder og infrastruktur (fx rensningsanlæg) der potentielt vil kunne udlede PFAS til luft. Dernæst er der brug for studier til prøveopsamling for forskellige emissionstyper af flygtige PFAS, og for udvikling af tilstrækkeligt følsomme analysemetoder der omfatter relevante PFAS også fra termisk destruktion.

For at understøtte den offentlige kontrol og virksomhedernes egenkontrol bør prøvetagningen og de flygtige PFAS analysemetoder standardiseres.

Hvordan flygtige PFAS mest effektivt kan opsamles fra oplag eller affald/deponier eller fra renseteknikker (fx termisk nedbrydning af PFAS forureninger i jord) bør undersøges.

I forhold til rensemetoder er der behov for undersøgelser af hvordan PFAS i luft mest effektivt vil kunne destrueres, ideelt set til uorganisk fluorid, som HF eller mineralet CaF_2.

Endelig vil det være relevant at undersøge, hvilke PFAS der bør sættes grænseværdier for, både for specifikke PFAS samt PFAS Total (fx ved EOF-CIC). Disse grænseværdier kan understøtte handlinger i tilfælde af, at luftmålinger bekræfter emissioner til luften som en vigtig emissionskilde. I denne forbindelse kan det med fordel overvejes om en evt. dansk anbefaling/lovgivning på PFAS vil kunne udformes så den harmonerer både med EU-lovgivningen og andre miljølovgivninger for PFAS.

Udfordring
Det er fortsat tilladt for industrien at udlede PFAS i mængder, der vil vanskeliggøre overholdelse af andre miljølovgivninger. Det vil være muligt i væsentlig grad at reducere PFAS udledninger i Danmark. Det vil dels reducere eksponering af lokalsamfund via luft, støv og regn, og begrænse den fortsatte ophobning af PFAS i miljøet. En reduktion af emissioner til luften vil også reducere transporten af flygtige PFAS over lange afstande til fx Arktis, hvor der sker en omdannelse og ophobning af stabile PFAS i fødekæder. Da forureningen over tid vil falde, vil det blive lettere for myndighederne i fremtiden at arbejde med at holde PFAS forureningen under effektniveauerne i fx vand og jord i overensstemmelse med miljølovgivningerne.

Handling
Kortlægning af PFAS-emissioner til udeluft. Ud fra problemets omfang kan der arbejdes videre hen imod en indførelse af danske anvisninger/forbud mod bevidst anvendelse af PFAS i produkter, samt fastsættelse af grænseværdier for PFAS udledt til luft fra virksomheder og affaldssektoren.

På kort sigt, vil man kunne **kortlægge** hvilke virksomheder, der i Danmark bruger og/eller forarbejder PFAS/produkter indeholdende PFAS, hvor der vil være en risiko for, at stofferne frigives til udendørsluft.

Kortlægningen vil kunne indgå i, eller blive komplementeret af et **forskningsprojekt**, der ser ud over det begrænsede antal PFAS, der er belyst i de studier, der vil ligge til grund for kortlægningen. Forskningsprojektet vil kunne baseres på en analysestrategi (se Handlemulighed #12) bestående af en kombination af målemetoder. Prøvetagningen af meget flygtige stoffer er særligt udfordrende, men kan blive baseret på de nylige US EPA 'OTM' vejledninger for opsamling af gasser i cannisters.

På baggrund af disse to handlinger vil det være muligt at **udarbejde en plan** for hvilke PFAS, der kunne indgå i en kontrolkampagne (evt. i en monitoreringsplan), hvilke kriterier/krav der vil kunne sættes for stofferne, og hvordan man vil kunne agere i tilfælde af overskridelser.

Planen vil kunne danne grundlaget for **en dansk anvisning** til virksomhederne om evt. begrænsning af PFAS-anvendelse i fremtiden. Anvisningen vil være en anledning til at **oplyse** og **starte en dialog** med virksomhedsejere om PFAS-problemstillingen, den kommende EU (og/eller danske) restriktion på PFAS-anvendelser, og support til at finde PFAS-frie alternativer. I denne fase vil man kunne afprøve, standardisere og få erfaring med kemiske kontrolmetoder og dokumentationskontrol (jf. Handlemulighed #13).

Ideelt set vil det bedste være at få praktiske erfaringer med anvisningerne for at teste, at de virker og tilpasse dem i en tidsperiode (fx 1-2 år) førend et **forbud** mod anvendelse/udledning indføres.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Set i international sammenhæng og af hensyn til lige konkurrencevilkår vil det bedste være et Europæisk forbud/regulering, fx baseret på EU restriktionsforslaget. Overgangsperioden for EU restriktionsforslaget er dog ret langstrakt: 1,5 til >12 år fra forbuddet træder i kraft (forventeligt 2027/2028, hvis det går igennem).

I perioden indtil da kan det hænde, at forureningen findes uacceptabel, fx af sundhedsmæssige, bekymringsmæssige eller økonomiske grunde, og da har vi mulighed for at indføre national lovgivning. Det er muligt i tilfælde, hvor den nationale lovgivning ikke overlapperen specifik EU lovgivning[1]. Det er tilfældet for IED/E-PRTR idet (i Annex med listen af 91 pollutants/groups) II, ikke har anført PFAS andet end F-gasser (fra visse industrielle aktiviteter der ikke omhandler hverken forarbejdning eller forbrænding/rensningsanlæg). Derfor vil det være muligt at lave nationale/danske regler uden at være i modstrid med gældende EU lov. Et nationalt forbud vil endvidere kunne understøtte et EU restriktionsforslag eller den kommende EU Portal Regulation ved at teste om den er 'implementerbar', og give mulighed for at justere inden den bliver EU lov.

En vigtig del for implementerbarheden er at have kontrolmetoder, der virker. Man vil kunne starte med de stofgrupper, der forventes at komme EU lovgivning på (EU Portal regulation: PFHxS og PFOA, samt de PFAS der oftest giver anledning til høje koncentrationer/overskridelser i miljøet, fx PFOS og precursors, PFNA, 6:2 FTS og TFA).

Det vil det være afgørende, at der er support til især SMV'er til rådgivning i hvad bedre alternativer kan være uden brug af skadelig kemi i livscyklussen. En mulighed vil være at oprette tekniske support centre, der vil kunne assistere virksomheders overgang til PFAS frie alternativer (se Handemulighed #2) , og samtidig hjælpe til at overføre/udbrede løsninger til andre danske virksomheder.

1 Et fortilfælde er, Danmarks forbud mod bevidst anvendelser af PFAS i fødevarekontaktmaterialer af papir og pap. Her er fødevarematerialer omfattet af en generel rammeforordning, der siger, at der ikke må migrere stoffer i mængder, der kan være til skade for menneskers sundhed (Artikel 3), men der er ikke sat EU grænseværdier for PFAS i fødevare papir og pap emballage. Derfor måtte Danmark gerne indføre egne nationale grænseværdier.

5.6 HANDLEMULIGHED #6 - PFAS forurening på forurenede grunde

PFAS forurening på "Forurenede grunde"

Baggrund
Der foreligger et efterhånden meget stort datasæt for grundvandsprøver (10.935 kemiske analyser) på forurenede grunde for PFAS 22, mens der er et mere begrænset omfang af analyser på jordprøver (1841 kemiske analyser). Samlet set er der ved udgangen af 2023 analyseret PFAS på 1500 forurenede grunde. De brancher/aktiviteter, som i særlig grad skal i søgelyset med hensyn til PFAS forurenede grunde, er fx tekstilindustri og tæppefabrikker, lossepladser, overfladebehandling af metal, brandvæsen og redningskorps og trykkerier, men listen er lang, og en afgrænsning til få brancher/aktiviteter er vanskelig.

Der er kun i meget begrænset omfang analyseret på vand eller jordprøver for andre grupper af PFAS end PFAS22. Internationale erfaringer er ligeledes sparsomme bortset fra undersøgelser på brandøvelsespladser.

I Region Hovedstaden er et større udviklingsprojekt igangsat i 2024. Projektet består af fem delprojekter, som belyser:
- Diffuse kilder af relevans i bynære miljøer
- Felt og laboratoriebestemmelse af styrende parametre for PFAS transport
- Kvantificering af PFAS forureningsflux mod grundvandet
- PFAS modellering af vertikal transport
- Implementering af resultater i fremtidige forureningsundersøgelser

Projektet afsluttes i sommeren 2026 og forventes – sammen med en række andre udviklingsprojekter i TUP-regi og via Region Syddanmarks Udviklingspulje at skabe erfaringer, som kan bruges landsdækkende i regionernes indsats overfor PFAS.

Den konceptuelle forståelse og specifikke procesforståelse for den vertikale transport er blevet konsolideret i forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 9 (Morsing et al., 2024). Det er både sket i kraft af en generel vidensopbygning, eksperimentelle aktiviteter på DTU Sustain, faglige møder herunder en workshop afholdt i juni 2024, samt specifikke projektaktiviteter i relation til forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 10 om diffus forurening (Strobel et al., 2024), samt en stadigt voksende forståelse af processerne opnået fra den internationale litteratur.

Der er udviklet konceptuelle modeller, procesforståelse, en vertikal strømnings- og stoftransportmodel, følsomhedsanalyser for et udvalg af betydende parametre. Dette er illustreret vedbearbejdede eksempler på specifikke forurenede lokaliteter under forskellige geologiske forhold. Figurerne i rapporten belyser processer, transport og forureningsspredning ved de forskellige lokaliteter.

Videnshul
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.

Der er et betydeligt videnshul i forhold til forekomst af ultrakortkædede PFAS og precursors på forurenede grunde, da den eksisterende viden stort set er opbygget på baggrund af analysepakken for PFAS22.

Der er ikke et fagligt fundament for at vurdere om forurenede grunde i Danmark er dækket i tilstrækkelig grad med det hidtidige analyseprogram (PFAS22).

Det største videnshul er transport og spredning i umættet zone og grundvand under danske geologiske forhold. Det drejer sig især om opsprækket moræneler og kalk, hvor der er meget få udenlandske erfaringer at trække på.

Der er desuden en række specifikke videnshuller omkring forståelsen af den vertikale transport for PFAS, som alle er beskrevet i Morsing et al. (2024).

Udfordring
Viljen/interessen til at medtage yderligere PFAS ved forureningsundersøgelser - udover stoffer med kvalitetskriterier - er meget begrænset hos myndighederne (regionerne).

Kvalitetskriterier eksisterer ikke for de relevante PFAS stofgrupper. Der er behov for kvalitetskriterier for både jord og grundvand for relevante PFAS stofgrupper.

Den umættede zone har stor betydning for tilbageholdelsen af især langkædede PFAS. Herved adskiller PFAS forureninger sig fra forureninger med ikke-flygtige stoffer. I branchen er der derfor et stort behov for at viderebringe og implementere erkendelsen af den umættede zones betydning for forureningsudbredelsen.

I den nuværende situation er risikovurdering af PFAS forurening fra forurenede grunde en stor udfordring, da det er vanskeligt at håndtere dynamikken i stofspredningen mod grundvandet. For at afhjælpe dette problem kræves adgang til veldokumenterede stoftransportmodeller, som kan simulere fremtidige koncentrationer og stof-fluxe i jord og grundvand. Som beskrevet i Handlemulighed #5 bør emissioner til udeluft fra lossepladser tages i betragtning, men det bør også belyses, om det er er relevant for andre typer af forurenede grunde.

Risikokommunikation er af afgørende betydning for håndtering af sager om PFAS forurenede grunde, og det stiller krav til, at myndighederne snakker sammen (se også Handlemulighed #18). Selvom risikokommunikation vedrørende forurenede grunde altid er vigtig, har PFAS-relaterede forureninger som Kvistgård, Lynge grusgrav og Korsør Brandskole accentueret dette behov, da myndigheder her er blevet spillet ud mod hinanden i pressen. Myndighederne kommer dermed for borgeren til at fremstå ukoordinerede og modsætningsfyldte. Set fra et borgersynspunkt er myndighedsansvaret uinteressant, da det handler om hurtig/rettidig, entydig og troværdig information og handlemuligheder. Der er et særligt behov for, at myndighederne kan svare på spørgsmål omkring sundhedseffekter. Myndighederne er i stigende grad bevidste om dette, og miljømedicinere er i stigende grad en del af fx regionernes borgermøder.

Det skal her nævnes, at via danske regioner er der stor vilje til en fælles videnopbygning og konsolidere den genererede viden. Der er fx etableret et samlet PFAS datasæt fra danske regioner, som er anvendt i flere projekter, herunder Morsing et al. (2024). Der er også iværksat en række udviklingsprojekter, som er målrettet udfordringerne med forståelsen af den vertikale transport og belysning af stof-fluxe.

Handling

- Systematisk fastsættelse af kvalitetskriterier for flere medier (jord, grundvand, overfladevand)
- Der er et stort behov for at omsætte den opbyggede viden til praksis. Implementering af koncepter, nye metoder og vurderinger kræver implementering i branchen, vidensdeling og efteruddannelse i håndtering og forureningsundersøgelser af PFAS af medarbejdere hos rådgivere og myndigheder
- Udvikling af veldokumenterede modeller som kan simulere PFAS transport spredning i jord og grundvand
- Forskning i PFAS transport og forsinkelse i opsprækkede medier og belysning af stofspredning og fluxe i jord og grundvand for at belyse effekten i forhold til grundvand og drikkevandsforsyning.
- Udvikling af afværgetiltag medinjektion af sorbenter ved forurenede grunde (PFAS Enhanced Retention)
- Styrkelse af koordineret risikokommunikation ved forurenede grunde– afsættelse af midler til fælles indsats – evt. et "rejsehold" eller hotline forankret hos en myndighed.

Potentiel effekt/Implementerbarhed

Det er værd at bemærke, at Miljøstyrelsen har bevilget 10 mio. kr. til gennemførelse af PFAS-demonstrationsprojekter. Projekterne er forankret i et samarbejde mellem de fem regioner, Regionernes Videncenter for Miljø og Ressourcer og Miljøstyrelsen. Det overordnede mål med demonstrationsprojekterne er at understøtte udvikling af flest mulige jordhåndteringsmetoder. Det er valgt at udføre to pilottest med termisk oprensning af PFAS forurenet jord. Pilottest udføres på RESC Rednings- og SikkerhedsCenter i Korsør, som også er et PFAS-testcenter. Målet er, at PFAS i jorden destrueres til koncentrationer under jordkvalitetskriterierne. Det er en vigtig del af projektet, at der udarbejdes en grundig dokumentation af de testede teknologier i forhold til renseeffektivitet, pris, bæredygtighed samt anvendelighed (herunder on-site behandling) og mulighed for opskalering.

5.7 HANDLEMULIGHED #7 - Spildevand og spildevandsslam

Spildevand og spildevandsslam

Baggrund
Der er et relativt godt billede af indholdet af PFAS i spildevandsslam og spildevand, idet data for miljøfarlige forurenende stoffer i ind- og udløb indsamles fra renseanlæg til databasen PULS. PULS-databasen drives af Danmarks Miljøportal, og data indberettes af kommuner, myndighederne og anlægsejere. I PULS indberettes data om spildevand, badevand, regnbetingede udløb og akvakultur.

Spildevandsslam og andre typer af anden organisk gødning end husdyrgødning, der indeholder kvælstof, skal indberettes til Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø. Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø har derfor data for alt slam, som anvendes til gødning, og som sælges i fri handel. Der publiceres dog ikke offentligt et samlet overblik, hvorfor der ikke foreligger et samlet overblik over indhold og op- eller nedadgående trends.

Videnshuller
Det nye vandkvalitetskriterie for summen af 24 PFOA-ækvivalenter (PFAS24) giver kommunerne mulighed for at sætte en grænseværdi for 24 PFAS-stoffer i vandmiljø og spildevand. Der er dog stadig begrænsede mængder af data for PFAS24 og stort set ingen viden om andre PFAS. Aro et al. (2021) viste i et mindre antal prøver af udløbsvand fra nordiske renseanlæg, at i gennemsnit 90 % af det ekstraherbare organiske fluor (EOF) ikke kunne forklares med de 73 PFAS, der blev overvåget i denne undersøgelse. Niveauerne af EOF i spildevand (324-1460 ng F/L) og slam (39-210 ng F/g tørvægt) indikerer, at en betydelig mængde organiske fluorforbindelser udledes til jord og overfladevand. Der mangler bedre viden om omfanget af dette problem i Danmark.

Regionerne gennemførte i 2021-22 en undersøgelse af i hvilket omfang jordforureninger påvirker overfladevand negativt med miljøfarlige forurenende stoffer (MFS). Ud af de knap 400 undersøgte jordforureninger blev der således fundet ca. 120 jordforureninger, der påvirker overfladevand med MFS over gældende grænseværdier. I godt 80 tilfælde blev der for overfladevand beliggende ved jordforureninger fundet en påvirkning med MFS over gældende grænseværdier for overfladevand., der ikke umiddelbart kunne tilskrives jordforurening, hvorfor andre kilder antages at være årsagen til den observeret forurening. Det blev ikke undersøgt i hvilket omfang fx andre punktkilder, såsom renseanlæg, helt eller delvist kunne være årsagen til de fundne overskridelser.

Landbrugsstyrelsen har data for den slam, som anvendes til gødning, og som sælges i fri handel. Hovedfokus er at sikre, at grænseværdier overholdes og ikke at vurdere en tidslig eller rumlig udvikling. Der publiceres således ikke et samlet overblik over indhold og op- eller nedadgående trends. Dette kunne være nyttig viden ikke mindst ift. at vurdere effekten af afværgetiltag i samfundet. Tidligere publiceret data kunne fx netop visse sådanne effekter af (frivillige) udfasningsaftaler ift. DEHP og LAS.

PFAS bliver ofte karakteriseret som unedbrydelige under normale forhold, men særligt for spildevandshåndteringen i Danmark er det vigtigt, at der kan ske omdannelse af precursorer til de PFAS, vi har miljøkvalitetskrav for. De eksisterende renseteknikker, der benyttes til at afhjælpe problemet med PFAS i spildevand, kræver typisk enten meget energi, brug af andre typer af kemikalier eller også destruerer de ikke PFAS helt, men overfører dem til en anden fase, fx fra vand til slam eller fra vand til sorbenter (ionbytningsmaterialer eller aktiv kul). En række potentielle nedbrydningsmetoder (foruden meget høj temperatur) har været lanceret med større eller mindre overbevisning og som oftest ikke i fuldskala, der kan anvendes direkte. Som et eksempel har foto-katalyseret reaktor-behandling af PFAS forurenet vand vist lovende takter i forskellige laboratorie eller bench-scale forsøg.

Udfordring
Flere og flere vandområder må forventes at overskride gældende grænseværdier i takt med at de skærpes. Kilderne er ikke altid kendte, og selv når de er kendte, er det svært at rense for PFAS på en omkostningseffektiv og klimamæssig bæredygtig måde.

Handling
Få kortlagt kilderne til de fundne PFAS-niveauer i vandområderne og overfladevand, herunder betydningen af andre punktkilder end forurenede grunde og/eller bidrag fra den diffuse tilførsel fra landområder gennem fx dræn.

Få kortlagt hvor stor en andel PFAS22/PFAS24 udgør af det samlet organiske fluor (EOF) i spildevand og spildevandsslam samt skabe et overblik over trendudviklingen af PFAS fundet i dansk spildevandsslam siden der blev introduceret et analysekrav. Data indrapporteres ikke digitalt i dag, hvilket er medvirkende årsag til at der ikke er overblik over indhold og trends. Det bør derfor overvejes at der stilles krav til at data for slam indrapporteres til et datasystem som f.eks. det eksisterende for spildevand (PULS).

For både spildevand og spildevandsslam er der behov for at udvikle og validere prøvetagnings- og analysemetoder, som modsvarer de krav til spildevand, der vil være i fx det nye byspildevandsdirektiv.

Få identificeret de mest lovende renseteknologier og støtte at disse bliver opskaleret og testet på realistisk pilot-og fuldskala niveau for at gøre dem relevante for renseanlæggene. En væsentlig kilde til handlingsorienteret viden kan skabes gennem MUDP, som er myndighedernes program for støtte til udvikling af fremtidens miljøteknologiske løsninger og afprøvning af teknologi i fuld skala. Programmet giver tilskud til udvikling, test og demonstration af ny miljøteknologi og tilskud til projekter, der kan afprøve ny miljøteknologi på fuldskalaanlæg eller ved nye anlægsprojekter. Det skal understreges, at der har været og på nuværende tidspunkt er igangsat mere end 10 projekter direkte eller indirekte rettet mod PFAS rensning i MUDP-regi.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Det vurderes, at en forbedret opsporing af kilder til PFAS i ferske recipienter i det åbne land er umiddelbart implementerbart. Der opfordres til forsat fokus på teknologiudvikling og -afprøvning med fokus på at nedbringe usikkerheder forbundet med at opskalere renseteknologier. For en reel fjernelse af massen af PFAS i cirkulation i samfundet, er det vigtigt, at muligheder for total destruktion af PFAS indtænkes i rensemetoder, der benytter sig af fraktionering/sorption/opkoncentrering. Denne handlemulighed er i overensstemmelse med PFAS handlingsplanens fokus på rensning.

5.8 HANDLEMULIGHED #8 - Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter

Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter

Baggrund
EFSA edekonkluderede i deres 2020 vurdering, at kosten er den primære kilde til PFAS-eksponering for flertallet af den europæiske befolkning (EFSA, 2020). Der er dog stor forskel på, hvor meget de forskellige fødevarekilder bidrager til danskernes PFAS-eksponering.

Det er dog åbenlyst, at den primære kilde til eksponering for de fire PFAS-stoffer (PFOS, PFOA, PFNA og PFHxS), særligt PFOS, er fisk og andre marine produkter (43% af det samlede indtag for voksne og 47% for børn), når vi kigger på tal fra EFSA's database.

Der er god grund til at undersøge fisk fra specielt Østersøen og Nordsøen nærmere, da et nyligt review af global PFAS-forurening af havene viste, at PFAS-indhold i havfugleæg indsamlet fra Østersøen og Nordsøen viste de højeste niveauer (Sun et al., 2023).

Forureningen af fisk kan også føre til indirekte forurening af andre fødevaregrupper, når fiskemel, der stammer fra relativt forurenede havområder, anvendes som foder. Dette blev eksemplificeret, da fiskemel blev brugt som supplementfoder til æglæggende høns, hvilket førte til forurening af økologiske æg i hele Danmark (Granby et al., 2024).

Videnshul
Visse typer fødevarer er stadig mangelfuldt undersøgt for PFAS indhold. Derudover er EFSA's database ubalanceret, da den generelt er domineret af mange tyske data og kun indeholder relativt få danske data. Med analyserne af frugt som danskerne spiser mest af, er det nu sandsynliggjort at PFAS i frugt generelt ikke er et stort problem for danskerne (Fauser et al., 2024).

Derimod mangler et fyldestgørende overblik over PFAS-indhold i de fisk og marine produkter, som danskerne spiser mest af. Og da de fødevarer tilsyneladende er den primære kilde til befolkningens PFOS-indtag, er det vigtigt at få adresseret.

Handling
Target and non-target analyse af PFAS-forekomst i fersk fisk og skaldyr fra saltvand og ferskvand, og dækkende arter der lever på forskellige dybder fra nær havoverfladen til bunden, som eksempelvis sild, makrel, torskefisk, fladfisk, laks, ørred og rejer.

Target and non-target analyse af PFAS-forekomst i frisk fisk fra dambrug og havbrug og vilde fisk

Target analyse af PFAS-forekomst i forarbejdede fisk og skaldyr (eksempelvis makrel, sild, sardiner, ansjoser, brisling, tun, fiskerogn, torskelever, rejer, krabbe).

Der lægges vægt på at udtage prøver fra de fiske- og skaldyrsarter, som danskerne primært indtager.

PFAS-analyser af fiskemel og nye marine produkter som tang og ekstraherede proteiner fra fiskebiprodukter og marine produkter med oprindelse i Østersøen og Nordsøen.

Vejledning fra myndighederne til borgerne om kostindtag med henblik på at begrænse PFAS indtaget via kosten.

Fisk og marine produkter tilhører en fødevarekategori, hvor det kan være en udfordring at iværksætte tiltag, der fører til en reduktion af forbrugernes eksponering med mindre det omhandler foder til dambrugs-/havbrugsfisk. Den mest radikale handling vil derfor være at reducere eller stoppe udledningen af PFAS-stoffer til havmiljøet (se også Handlemulighed #2).

Potentiel effekt/"Implementerbarhed
Dette projekt sigter mod at få et retvisende billede af befolkningens PFAS-eksponering, der stammer fra fisk og marine produkter. Viden kan bidrage til en præcisering af hvilke produkter, der bidrager mest til vores PFAS-indtag. Dertil kommer, at flere data kan hjælpe i forhandlinger om lavere EU-grænseværdier for PFAS i fisk. Endelig kan resultaterne potentielt tænkes anvendt til at afværge eventuelle sundhedsskadelige effekter ved at ændre produktionsforhold for dambrugs/havbrugs-fisk eller give specifikke kostråd.

Det er ikke målet at anbefale et generelt reduceret indtag af fisk og fiskeprodukter pga. de gavnlige sundhedsmæssige effekter af fiskeindtag. Derimod kunne man forestille sig anbefalinger ift. import, produktion og forbrugsmønster.

5.9 HANDLEMULIGHED #9 – Forbrugerprodukter og eksponering

Forbrugerprodukter og eksponering

Baggrund
På grund af PFAS' unikke vand- og olieafvisende egenskaber samt stabilitet overfor varme, lys etc. anvendes PFAS i en lang række forbrugerprodukter. Listen omfatter tekstiler, elektronik, kosmetik samt forskellige rengørings- og imprægneringsprodukter. Hvert af disse områder bruger flere tons PFAS om året, med tekstiler i spidsen (> 10.000 tons), som en opgørelse fra det Europæiske Kemikalieagentur (ECHA, 2023) viser.

Forbrugere kommer i kontakt med mange af disse produkter, hvilket muligvis kan medføre en betydelig eksponering. Ud over en evt. direkte eksponering gennem hudkontakt (fx for kosmetik), vil en omfattende anvendelse af PFAS i forbrugerprodukter på sigt føre til deres frigivelse til miljøet, i både produktions-, anvendelse- og bortskaffelsesfasen. Derfra kan PFAS akkumuleres i fødekæder og transporteres til drikkevand og dermed bidrage til menneskers eksponering.

Samtidig viser forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr.6 (Fauser et al., 2024) et stort spektrum af PFAS i forbrugerprodukter. En foreløbig kortlægning i projektet kom frem til 189 forskellige PFAS i forbrugerprodukter, i modsætning til 57 forskellige PFAS i fødevarer. Tallene skal vurderes med forbehold, da de bagvedliggende undersøgelser ofte bærer præg af en vis "forskningsbias", dvs. der analyseres typisk for et begrænset antal af PFAS (som man forventer at finde eller som er inkluderet i analysemetoden) med risiko for at overse andre. Flere PFAS i forbrugerprodukter falder udenfor de gængse kategorier af perfluorcarboxylsyrer (PFCA'er) og -sulfonater (PFSA'er) og er ikke velundersøgt. Derudover importeres mange forbrugerprodukter, inkl. fra lande hvor der muligvis er mindre kontrol med PFAS-anvendelsen.

Videnshul
Videnstaskforcen beskrev i rapportens første del forskellige videnshuller i forhold til PFAS-eksponeringen. Der foreligger en del viden om forekomsten af PFAS i forbrugerprodukter, som er tilvejebragt i tidligere projekter af Miljøstyrelsen, forbrugerorganisationen Tænk og andre. Det blev dog bemærket, at der manglede indsigt i den samlede eksponering fra forskellige kilder såvel som de enkelte kilders bidrag i forhold til hinanden:

I del 1 af Videnstaskforcens rapport (Baun et al., 2023) blev det identificeret, at der savnes et overblik over andre kilders rolle/bidrag til den samlede humane eksponering for et bredt spektrum af PFAS-forbindelser.

Dette videnshul er blevet adresseret af Fauser et al. (2024), som har brugt litteraturdata til at a) vurdere relevante PFAS fra forskellige eksponeringskilder og b) kvantificere deres betydning i forhold til hinanden. Projektet pegede på et muligt bidrag fra forbrugerprodukter, primært gennem hudadsorption. Samtidig er netop denne optagelse over huden meget usikker. Der mangler en grundlæggende procesforståelse for optagelsen gennem huden, specielt for PFAS, hvis molekylestruktur ikke kan sammenlignes med andre, muligvis bedre undersøgte kemikalier. Dermed er der også usikkerheder om, hvordan optagelsen bør beregnes. Her er der behov for mere forskning til at kunne beskrive denne eksponeringsvej mest korrekt (og dermed også bekræfte eller afkræfte resultaterneresultaterne fra forskningsprojekt nr. forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 6, Fauser et al., 2024).

Udfordring
Den udbredte anvendelse af et meget stort spektrum af forskellige PFAS i forbrugerprodukter i kombination med potentielt begrænset viden om kemikalier i importerede produkter kan medføre en fortsat ukendt eksponering af befolkningen. Samtidig skaber nye rapporter om fund af PFAS i bl.a. importerede produkter eller kosmetik usikkerhed i befolkningen mht. produktsikkerhed og deres personlige eksponering. Det er en vigtig del af risikohåndteringen og kommunikationen at sikre, at borgerne ikke udsættes for sundhedsfarer gennem almindelige forbrugerprodukter, og at formidle dette til befolkningen på overbevisende vis.

Videnstaskforcens arbejde tyder på, at a) der fortsat er videnshuller på dette område, b) eksponeringen fra forbrugerprodukter ikke kan negligeres (selvom den ikke udgør den største eksponeringskilde) og c) der er behov for handling hen imod bedre kontrol (og dermed reduktion) af denne eksponeringskilde.

Handling

- Tage PFAS-listen fra forbrugerprodukter (Fauser et al., 2024) til efterretning og sammendrage eksponeringsrelevant viden, fx om nedbrydning vs. akkumulering i miljøet/kroppen samt evt. helbredseffekter i den udstrækning de er tilgængelige.
- Gennemføre en litteraturundersøgelse af hudoptag af PFAS, inkl. identificering af evt. videnshuller.
- (Videre-)udvikle produktmærkning i forhold til "PFAS-frie produkter".
- Overveje om PFAS i bestemte forbrugerprodukter kan erstattes/reduceres (analogt til fødevarekontaktmaterialer, brandslukningsskum etc.).
- Øge opmærksomhed på forbrugerprodukter i risikokommunikationen (som ofte fokuserer på fødevarer/drikkevand).

Derudover bør det overvejes at etablere kontrolmetoder og -mekanismer til at undersøge PFAS-indhold i produkter. Denne handling vil hænge sammen med andre forslag til handlinger (bl.a. indenfor analyse- og overvågningsstrategier).

Området er meget komplekst, idet det omfatter mange produkter og mange PFAS samt en verdensomspændende produkthandel. Det vil være udfordrende og ressourcekrævende at nå til bunds i denne problematik. Pga. netop denne kompleksitet er grundlaget til at vurdere problemets omfang usikkert. På den anden side er befolkningens bekymring om deres personlige eksponering reel, og resultaterne i litteraturen (inkl. Fauser et al., 2024) virker tilstrækkeligt robuste til at tyde på, at der er behov for handling.

Derudover vil varehandlens internationale dimension vanskeliggøre nationale handlinger. Det kan dog forventes, at de fleste lande (som vi normalt sammenligner os med) står overfor den samme problematik, så samarbejde kan være oplagt. Undersøgelser af PFAS i produkter er bl.a. igangsat i EU-projektet PARC.

Pga. PFAS' unikke egenskaber kan det være en udfordring at finde alternative stoffer med de samme egenskaber, så produkternes funktion og kvalitet ikke påvirkes. Almindeligvis søges erstatningsstoffer først indenfor den samme kemikaliegrupper med lignende molekylestrukturer. Ud fra PFAS-definitionen, som blev foreslået af ekspertgruppen under OECD, og som også er brugt i PFAS-Videnstaskforcens rapport, vil et stof med en lignende molekylestruktur med høj sandsynligvis også være et PFAS. Da der tilstræbes regulering på gruppeniveau, kan det ikke være en bæredygtig løsning at udskifte et PFAS-molekyle med et andet. Derfor vil det være nødvendigt at arbejde hen imod alternativer udenfor PFAS-stofgruppen.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
For at overkomme barrierer i handlingernes implementering vil en transparent kommunikation af usikkerheder og videnshuller og involvering af relevante aktører være nødvendig. Det vil være vigtigt med en klar forventningsafstemning og god dialog om drift på dette område. Det kan være gavnligt med workshops, som bringer forskellige aktører sammen og samler viden på enkelte elementer af dette forslag til handling.

I relation til PFAS-handlingsplanen vil de foreslåede handlinger kunne afværge og inddæmme eksponeringen. Handlingerne vil afværge ved at begrænse PFAS i Danmark og reducere befolkningens eksponering. Et forbud mod PFAS i tøj har været et konkret forslag til at afværge eksponeringen. Handlingerne vil også inddæmme eksponeringen gennem spredning til miljøet, hvis en primær kilde til PFAS i miljøet (dvs. anvendelse i forbrugerprodukter) vil blive reduceret. Desuden vil handlingerne forbedre grundlaget for risikokommunikationen.

Handlingerne kan igangsættes nu og bør koordineres indenfor dette forslag og med andre handlinger, fx under kontrol og overvågning. Forskningselementerne i handlemuligheden vil betyde en lidt længere tidshorisont på nogle år før vidensgrundlaget er styrket. Forslaget hænger også sammen med Handlemulighed #2 – PFAS frie alternativer, som dog fokuserer mest på industrielle anvendelser.

5.10 HANDLEMULIGHED #10 - En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS

En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS

Baggrund
De nyeste danske undersøgelser om PFAS-eksponering blandt den generelle befolkning i Danmark er mere end 5 år gamle. Denne manglende viden har allerede vanskeliggjort håndteringen af og rådgivning i konkrete sager, hvor borgere har været højt eksponerede på grund af forureningssager. Derudover mangler vi viden om eksponering for de nyere kortkædede PFAS. I lyset af den omfattende tilstedeværelse af PFAS i miljøet og den følgende eksponering i befolkningen blev det af i Videnstaskforcen vurderet, at der mangler en national strategi for den fremadrettede biomonitorering af danskerne. Fortløbende biomonitorering af danskerne vil, udover at bidrage med viden om blodniveauerne i befolkningen, være handlingsanvisende, idet myndighederne kan følge eksponeringen over tid samt vurdere effekten af indsatser og regulering.

Videnshul
Der mangler viden om danskernes nuværende niveauer af PFAS i blodet, herunder en national plan for fortløbende systematisk biomonitorering af danskernes blodniveauer af PFAS. Det er essentielt for fremadrettet at vurdere, om en indsats til at nedsætte eksponering virker.

Udfordring
Ved gennemgang af den eksisterende forskning om biomonitorering af PFAS i Danmark og EU-regi fandt forskere fra forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 5, at der mangler viden om den nuværende eksponering for PFAS i den generelle danske befolkning (især de nyere kortkædede PFAS). De seneste målinger er fra 2021 og fra Covid-19 patienter og SARS-covid-2 vaccinerede voksne, formodes ikke at repræsentere den generelle befolkning. Viden om eksponering i den generelle befolkning er nødvendig ved klinisk rådgivning af særligt eksponerede eller sårbare grupper, men især relevant for at kunne følge om reguleringstiltag har den ønskede effekt at mindske eksponeringen for den generelle befolkning.

Handling
Det anbefales at gennemføre fortløbende biomonitorering af danskere. Det vurderes, at der i biomonitoreringen skal fokuseres på unge voksne, da den tidlige eksponering i fremtidens generationer i høj grad vil afhænge af PFAS eksponeringen hos unge i den reproduktive alder. Derudover er unge ikke udsatte for PFAS i et langt liv, hvilket gør denne gruppe mere sammenlignelige over tid eller ved gentagelse af undersøgelsen. Undersøgelsens resultater vil give viden om den nuværende eksponering i den danske befolkning, som kan anvendes ved kliniske risikovurderinger af særligt eksponerede borgere og som referenceværdier for fremtidige målinger. Det er væsentligt, at der måles såvel for PFAS som for PFAS erstatningsstoffer i overensstemmelse med PARC's anbefalinger.

Det anbefales at biomonitoreringen igangsættes med et tværsnitsstudie med måling af PFAS hos unge danskere i den reproduktive alder. Sundhedsstyrelsen har allerede finansieret dette studie, som vil undersøge 1500 unge danskere imellem 18-28 år fordelt i 5 regioner.

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

Typer af handling
- Skaffe konkret viden om blodniveauerne af de tidligere anvendte PFAS og de nyere erstatningsstoffer.
- Vælge referenceværdier til anvendelse i den kliniske risikovurdering.
- Følge trends over tid og efter reguleringstiltag.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Der er givet tilsagn fra Sundhedsstyrelsen om finansiering af den første tværsnitsundersøgelse, som udføres af en gruppe bestående af repræsentanter fra Region Hovedstaden, Region Sjælland, Region Nordjylland og Syddansk Universitet. Tværsnitsstudiet gennemføres i 2024-2026. Den fortløbende biomonitorering bør planlægges, således at man kan følge om reguleringstiltag har den ønskede effekt at mindske eksponeringen for den generelle befolkning. Planen bør revideres løbende og i overensstemmelse med internationale anbefalinger. Den fortløbende biomonitorering bør ligeledes udføres med national finansiering samt sikring af bred involvering af aktører.

Beskyttelse af borgere mod PFAS i deres hverdag kræver, at omfanget af den humane eksponering er kendt. Dette er vigtig for at sikre grundig og rettidig information til borgere om PFAS.

5.11 HANDLEMULIGHED #11 - Overvågningsstrategi

Overvågningsstrategi

Baggrund
PFAS forekommer overalt i miljøet, akkumuleres i en række fødevarer og er påvist i mennesker som en følge af deres udbredte tilstedeværelse. PFAS overvåges derfor i miljøet og fødevarer i Danmark, mens human biomonitorering (HBM) foregår i enkelte initiativer (i modsætning til den systematiske miljø-overvågning). På europæisk plan er nationale HBM-initiativer sammenfattet og harmoniseret i EU-projektet *Partnership for the Assessment of Risks from Chemicals (PARC)*[2].

De forskellige overvågningsprogrammer og initiativer genererer data, som typisk kun bruges indenfor en disciplin, men som har potentialet til at fremme vores forståelse for PFAS, hvis de bruges på en mere interdisciplinær måde.

Problematikken blev beskrevet i Videnstaskforcens 2023-rapport under 4.9 Overvågningsstrategier og 4.10 Risikostyring, beslutningsstøtte og kommunikation. Problematikken er ligeledes blevet adresseret på Videnstaskforcens workshop om Vidensdeling (13. september 2024) og i forsknings- og vidensopbygningsprojektet "Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål" (Vorkamp et al., 2024), som har udviklet koncepter til overvågning af miljø-, fødevare- og humane prøver, dog ikke med fokus på tværgående initiativer.

Der foreslås en mere holistisk tilgang som et ekstra lag i overvågningen, som tager udgangspunkt i PFAS i stedet for specifikke matricer. Den kan være specielt relevant for hot spots, hvor der typisk ikke kun er én matrice, der er påvirket, og hvor afværgende foranstaltninger vil kræve en helhedsvurdering af kilder, spredning- og eksponeringsveje samtsamt menneskers eksponering.

Det vil fortsat være relevant at tilpasse og optimere overvågningsstrategien indenfor hver matrice for at sikre sammenhængen med europæiske overvågningsprogrammer og reguleringer. På basis af de eksisterende programmer og initiativer kan en mere interdisciplinær brug af data øge den samlede viden om forekomst af og eksponering for PFAS.

Eksempel: Målinger jævnfør Vandrammedirektivet i NOVANA bruger ferskvandsfisk (lever, til fremskrivning af tidsserier; værdierne omregnes til muskel) som miljøindikator, mens fødevarerelateret overvågning vil være mest interesseret i muskel, sandsynligvis af både marine og ferskvandsfisk, som potentiel eksponeringskilde. Ved at samle data kan der opnås en langt bedre forståelse af PFAS-bioakkumuleringen i forskellige arter, geografiske forskelle af PFAS i fisk, PFAS-mønstre, fx i forhold til emissionskilder og risikoen for human eksponering.

2 https://www.eu-parc.eu/

Videnshul
I del 1 af Videnstaskforcens rapport (Baun et al., 2023) nævnes problematikken flere steder, både i forbindelse med overvågningsstrategier og vidensdeling (i forhold til optimeret risikokommunikation).

Fx er der beskrevet under 4.9.:
"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 fødevare- 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 iden pågældende matrice."*

"Der er behov for at supplere overvågningen af PFAS i det akvatiske miljø med bioindikatorer fra det terrestriske miljø." Det terrestriske miljø omfatter såvel jord og biota, herunder planter og dyr i og på jorden.

I afsnit 4.10 i del 1 af Videnstaskforcens rapport peges der på PFAS' kompleksitet, som der bør tages højde for i en vurdering af den samlede risiko for alle relevante receptorer:

"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."***

Disse observationer, der blev beskrevet i del 1 Videnstaskforcens rapport, er blevet diskuteret og udviklet videre i Videnstaskforcen i 2024. Ud fra denne diskussion har Videnstaskforcen konkluderet, at det faglige grundlag for beslutningstagernes samlede risikovurdering vil kunne styrkes betydeligt gennem en mere tværfaglig tilgang. Mens dataindsamlingen foregår indenfor specifikke discipliner og datatolkningen også først foregår i forhold til specifikke fagområder og tilknyttede reguleringer, kan der genereres mere omfattende viden gennem et ekstra lag af dataanalysen, som går på tværs og bestræber sig på en helhedsbetragtning i et "One Health"-perspektiv.

Udfordring
PFAS er en kompleks problematik, bl.a. fordi a) PFAS-gruppen omfatter flere tusinde enkeltstoffer, b) PFAS forekommer overalt i miljøet, og mennesker er eksponeret fra flere kilder, c) de fleste stoffer er svært nedbrydelige (P, persistente), mange er mobile (M) dvs. kan transporteres fra en kilde til fx grundvandet og mange er sundhedsskadelige (T) og karakteriseres derfor som PMT-stoffer) deres fysisk-kemiske egenskaber er forskellige fra andre svært nedbrydelige stoffer, hvilket kræver nye tilgange i målinger og risikovurderinger.

Overvågningsprogrammer indeholder målinger af PFAS i forskellige matricer, bl.a. til at oprette tidsserier og til at vurdere koncentrationeri forhold til grænseværdier eller fx toksikologiske tærskelværdier. Mens disse data er meget værdifulde og giver indblik i bl.a. koncentrationsudviklingen før og efter reguleringstiltag, reflekterer deres disciplin-specifikke brug ikke hele PFAS-kompleksiteten, specielt i forhold til de ovennævnte punkter b) og c). Ved at kombinere data fra forskellige initiativer kan informationsudbyttet øges, uden at det kræver nye målinger. Det kræver dog en mere helhedsorienteret tilgang med diskussioner på tværs af faggrupper, inkl. nytænkning af spørgsmål, der tager udgangspunkt i stofferne snarere end matricer.

Handling

- Nedsætte en tværfaglig gruppe (fx i forbindelse med PFAS-centret)
- Skabe et overblik over PFAS-overvågningsprogrammer og -initiativer i Danmark mht. stoflister, lokaliteter, målefrekvens etc. samt eksisterende data
- Definere (indenfor den tværfaglige gruppe) relevante tværgående spørgsmål
- Lokalisere de eksisterende data, der vil være relevante til at svare på spørgsmålene
- Analysere om spørgsmålene kan besvares med de eksisterende data, og hvordan, eller om væsentlige datahuller foreligger
- Gennemføre analyserne (kvalitativt/kvantitativt)

Handlingerne vil bidrage til at sikre en mere helhedsorienteret håndtering af PFAS-problematikken og mindske risikoen for en "blind vinkel" i de aktuelle dataanalyser. Handlingerne vil også optimere brugen af måledata, som er dyre at tilvejebringe.

Overvågningsprogrammerne og -initiativerne er optimeret til deres specifikke formål. De vil divergere i forhold til stoflister og muligvis også i forhold til analysekvaliteten (fx detektionsgrænser). Der vil altså eksistere en risiko for begrænset sammenlignelighed af overvågningsdata. Risikoen forventes dog at være lav for de fleste PFAS, der indgår i overvågningsprogrammer, da der typisk bruges den samme analysemetode (baseret på LC-MS/MS) til PFAS-analyser. Resultaterne rapporteres typisk i masse/masse (faststoffer) eller masse/volumen (væsker), som normalt kan sammenlignes direkte eller omregnes med få antagelser.

Der kan være praktiske udfordringer med at samle data, der p.t. foreligger i forskellige databaser, hvilket der også blev nævnt på workshoppen om vidensdeling.

Selvom mange projekter formuleres som interdisciplinære projekter, er der tradition for at arbejde og specialisere sig indenfor én disciplin. PFAS-reguleringerne er matrix-specifikke. Tværgående initiativer kan være uvante og kræve en indsats for at sikre fælles forståelse.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"

Handlingen fjerner ikke umiddelbart PFAS fra miljøet, men kan fremme vores forståelse af sammenhængen mellem kilder, forekomst i miljøet og menneskers eksponering. Arbejdet i den tværfaglige ekspertgruppe vil kræve ressourcer, men vil ikke umiddelbart kræve nye kemiske analyser.

Handlingen kan igangsættes nu og bør koordineres med aktiviteter indenfor overvågning af PFAS. Handlingen foreslås som et supplement til den eksisterende matrice-specifikke dataanalyse af PFAS, hvor dataene analyseres og tolkes i en helhedsbetragtning af PFAS-problematikken i miljøet og for den humane eksponering.

Handlingerne vil primært kunne frembringe viden der vil kunne inddæmme og afværge eksponeringen. En mere helhedsvurderet analyse kan fx hjælpe med at afdække kilder. Handlingerne vil forbedre grundlaget til bl.a. risikokommunikation.

5.12 HANDLEMULIGHED #12 - Analysemetoder

Analysemetoder

Baggrund

Brugen af de gængse analyser af specifikke individuelle PFAS ("target-analyser") indebærer risikoen for, at ikke-inkluderede PFAS overses. I lyset af de mange forskellige PFAS, inkl. precursors der findes, er denne risiko forholdsvis stor og vanskeliggør en effektiv begrænsning af PFAS-eksponeringen.

Problematikken blev beskrevet i del 1 af Videnstaskforcens rapport (Baun et al., 2023) under afsnit 4.6 Analysestrategi. Problematikken er ligeledes blevet adresseret i forsknings- og vidensopbygningsprojektet "Videreudvikling af PFAS-analysemetoder til overvågningsformål" (Vorkamp et al., 2024).

Projektet og den internationale PFAS-forskning peger på en kombination af analysemetoder, der tager højde for PFAS-kompleksiteten. Ved at bruge "PFAS Total"-metoder (såsom f*x Exstractable Organic Fluorine-Combustion Ion Chromatography, EOF-CIC*) opnås en samlet værdi for det totale indhold af ekstraherbart organisk fluor i en prøve. Hvis PFAS Total niveauerne falder, vil det føre til en faldende samlet eksponering.

Da risikovurderingen og reguleringen generelt foregår på enkeltstof- eller stofgruppeniveau, er det dog fortsat relevant at udføre target-analyser. Ved at analysere individuelle PFAS i overvågningsprogrammer kan det undersøges om reguleringen af disse stoffer har den ønskede effekt at nedbringe niveauerne i miljøet. Samtidig kan specifikke kvantitative målinger bruges i en vurdering af eksponeringen (af dyr og mennesker) og resulterende risici.

Ny viden indikerer desuden, at det er relevant at udvide programmet for target-analyser til kortkædede PFAS i egnede matricer, primært overfladevand og grundvand. I forbindelse med Drikkevandsdirektivet har EU-Kommissionen udgivet en guideline, der beskriver, at a) PFAS Total-metoder bør evalueres i forhold til deres evne til at måle TFA og andre PFAS med 2-3 C-atomer; b) TFA og fire andre PFAS med 2-3 C-atomer ikke indgår i grænseværdier på 100 ng/l for 22 PFAS.

Den "ukendte" PFAS-del mellem PFAS Total og summen af enkeltstoffer kan undersøges vha. non-target screening-teknikker. Mens teknikkerne på nuværende tidspunkt ikke er modne til rutineanvendelse i miljøovervågningsprogrammer, foreligger der erfaring fra mange forskningsprojekter og initiativer bl.a. i PARC om indfasning af non-target screening i overvågningsprogrammer. Teknikkerne kan bruges til at øge viden om hidtil oversete PFAS i målrettede kampagner og vil i fremtiden i stigende grad kunne inkluderes i overvågningen. Analysemetoder eksisterer for summen af fx ekstraherbart organisk fluor i prøverne (PFAS Total; EOF-CIC) og for identificeringen af ukendte stoffer (non-target/suspect screening), som med fordel kan kombineres med target-analyser til at tilvejebringe mere information og på lavere koncentrationsniveauer. Samlet vil denne kombination af metoderne give information om

- Niveauet af enkeltstoffer (som kan sammenlignes med grænseværdier eller toksikologiske tærskelværdier)
- Koncentrationsudvikling af enkeltstoffer (bl.a. som følge af reguleringer)
- Koncentrationsudvikling af PFAS Total i forhold til koncentrationsudvikling for target-analyser (for at sikre, at eksponeringen af både kendte og ukendte PFAS falder)

Metoderne er dog ressourcekrævende og derfor primært egnede til mindre, målrettede kampagner.

Videnshul
Fra del 1 af Videnstaskforcens rapport (Baun et al., 2023):

"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. Samtidig er der behov for en mere omfattende kvalitetskontrol, dvs. præstations-prøvninger og certificerede referencematerialer, for at sikre analysekvaliteten for både enkeltstoffer og total fluor analyser (PFAS sum parametre).

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.

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)."

Udfordring
Kemiske target-analyser af PFAS dækker kun forholdsvis få af de mange PFAS, der muligvis kan forekomme i miljøet og som vi kan være eksponeret for. Ved at fokusere på et vist antal enkeltstoffer i overvågningsinitiativer er der en risiko for, at andre relevante stoffer overses (og fortsat bidrager til menneskenes eksponering).

Handling
- Inkorporere PFAS Total-metoder i overvågningsprogrammer (i tillæg til target-analyser)
- Igangsætte non-target/suspect screening-undersøgelser af PFAS, hvor det er mest kritisk at få viden om muligvis oversete stoffer
- Udvide analyseprogrammerne for target-analyser med kortkædede PFAS (med 2-3 C-atomer) i relevante matricer (vand).
- Teste PFAS Total-metoder i forhold til de kortkædede PFAS (med 2-3 C-atomer)

Handlingerne vil være en vigtig forudsætning for at nedbringe PFAS-eksponeringen, da de sikrer, at der ikke overses ukendte PFAS i de analyserede prøver. Samtidig vil metoderne være et værktøj til at følge reguleringernes effekt.

PFAS-analysemetoder til target-analyser bygger på mange års erfaring med lignende metoder og er udviklet til en standard, der sikrer høj kvalitet. Nye analysemetoder, såsom PFAS Total og non-target/suspect screening, er ikke på samme kvalitetsniveau endnu. Fx mangler der præstationsprøvninger til ekstern kvalitetskontrol af PFAS Total.

Motiveret af den store internationale interesse for PFAS foregår der en hurtig metodeudvikling, som forventes at løse nogle af de aktuelle udfordringer i den nærmere fremtid. PFAS Total er en forholdsvis simpel metode, hvor mere udbredt anvendelse vil forbedre analysekvaliteten, og efterspørgslen vil frembringe ekstern kvalitetskontrol.

Non-target/suspect screening-metoder er et forskningsfelt i hurtig udvikling, inkl. metoder til semi-kvantificering af nye stoffer. Resultaterne har typisk ikke den samme høje analysekvalitet som target-analyser, men kan give vigtige informationer til opfølgende ogverificerende undersøgelser. Disse metoder er tidskrævende og dermed dyre og anvendelsen bør derfor overvejes med hensyn til formål og egnet studiedesign.

Target-analyserne af TFA og andre kortkædede PFAS (2-3 C-atomer) møder p.t. udfordringer med både prøveforurening og tab af stofferne under prøveforberedelsen. Der foreligger ikke tilstrækkelig erfaring på nuværende tidspunkt til at vurdere, om de kortkædede PFAS er omfattet kvantitativt af PFAS Total-metoden. Her bør metodeudviklingen intensiveres på europæisk plan.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Handlingen fjerner ikke PFAS, men sikrer, at der ikke sker en ukendt eksponering. Handlingen bidrager til at sikre, at PFAS-reguleringen har den ønskede effekt. Handlingen kan implementeres direkte, med plads til justeringer. Den kræver investeringer i metodeudvikling og udvidet overvågning.

Handlingen kan igangsættes nu, men har et langtidsperspektiv. Grundet PFAS' stabilitet bør niveauerne i miljøet, fødevarer og mennesker overvåges i mange år.

Analysestrategien kan med fordel justeres løbende, for at tage højde for udviklinger på det analysekemiske område. Det er vigtigt, at der sikres sammenlignelighed af analyseresultater, når metoderne justeres, da den tidsmæssige koncentrationsudvikling er et af de vigtigste formål med overvågningen. I relation til PFAS handlingsplanen vil denne handling medvirke til at afværge en fortsat eksponering for PFAS.

5.13 HANDLEMULIGHED #13 – Kontrolmetoder og -strategi

Kontrolmetoder og -strategi

Baggrund
For at sikre at regler, frivillige tiltag og andre risikostyringstiltag virker i praksis, er det vigtigt at have robuste målemetoder, der både måler for det der er relevant og virker indenfor de praktiske rammer. Relevansen kan fx være om et tiltag er effektivt til at skabe bevidsthed og reducere en eksponering og dermed en sundhedsrisiko set ud fra et myndighedsperspektiv - eller om en virksomheds egenkontrol sikrer, at der ikke er PFAS i produkterne.

Selvom kontrol for kemikalier ofte er forårsaget af en videnskabelig risikovurdering, kan selve kontrolmetoden og den evt. fastsatte grænse være sat på et niveau højere eller lavere end det videnskabeligt fastsatte niveau. Det vigtige er, om kontrolmetoden opfylder sit mål. Her ved man fx fra fødevarekontrollen, at frekvensen af kontrollen (hvor ofte der bliver kontrolleret) har større betydning end på hvilket niveau, der bliver kontrolleret. Årsagen er blandt andet, at det skaber bevidsthed om hvilke problematiske stoffer, der er vigtige at undgå, samt hvilke målinger eller dokumentationskontrol der kan foretages.

For kontrolmetoder er det vigtigt, at et resultat giver mulighed for at tage en beslutning. Metoderne skal være robuste og reproducerbare med angiven usikkerhed på resultaterne, så det er klart, om et resultat er over eller under en grænseværdi. En parameter er også, at resultaterne skal kunne leveres indenfor den tidshorisont, som er relevant for en virksomhed/myndighed. Resultatet skal således både være forståeligt og give mening (kan kommunikeres) både for dem, der foretager prøvetagning, og dem der bliver kontrolleret. Desuden vil prisen ofte være afgørende for, at man kan øge frekvensen af kontrollen, eller alternativt at kunne udtage flere prøver per gang for at øge den statistiske signifikans af et resultat. Ideelt set skal det også være klart hvilke opfølgende handlinger, der kan tages på baggrund af resultaterne. Det kan fx være yderligere målinger for at kunne foretage en konkret risikovurdering, påbud/forbud, vejledning til virksomheder eller borgere, og hvem der har ansvar for at udføre handlingerne (fx myndigheder eller virksomheder).

Som et positivt fortilfælde kan nævnes, at det danske forbud mod PFAS i fødevarekonktaktmateriale (FKM) rettet mod bevidst tilsætning af PFAS i fødevarepapir og papemballager samt mangeårige kontrol, har ført til markant lavere PFAS i FKM i Danmark end i lande som fx Frankrig og USA. Samtidig har det motiveret producenter til at udvikle og opskalere PFAS-frie alternativer til alle hidtidige anvendelser, selv de sværeste som materialer til mikrobølgeovnspopcorn der skal modstå høj temperatur og langtidsopbevaring i direkte kontakt med fedt. Endelig har det vist vejen for tilsvarende forbud i lande som Holland, amerikanske stater og forventeligt snart i hele EU. Det er værd at bemærke, at forbuddet har til formål at sænke menneskers og miljøs eksponering til PFAS, men at grænseværdien er på en måde og et niveau der øger implementerbarheden: Hvis en barriere bremser migrationen ind mod fødevaren, kan højere værdier i pap/papir accepteres, og samtidig kan der anvendes simple og billige analysemetoder med tilstrækkelig følsomhed (grænseværdien sat mindst tre, men helst ti gange over detektionsgrænsen, hvor usikkerheden er lav, og metoden er mere robust). Niveauet er sat lavt nok til at forhindre bevidst anvendelse af PFAS, men højt nok til at lettere baggrundsforurenet papir og pap kan recirkuleres. Over tid vil PFAS niveauerne dermed falde, og befolkningens eksponering vil falde. Samtidig vil virksomheder have mulighed for at indstille sig på en ny produktion, være på forkant med innovation, og vil kunne kontrollere med målemetoder der har god performance indenfor sit anvendelsesområde. Det vil samlet set øge tilliden og accepten af reguleringen og kontrollen.

Videnshul og udfordring
Videnshullerne omfatter både metode performance parametre og deres relaterede anvendelighed til formålet, herunder:

- Hvor stor en andel af PFAS er det relevant, og giver det i praksis (ud fra de ovenfor nævnte performance parametre) mening at implementere i lovgivning?
- Hvor stor en usikkerhed bidrager meget præcise sum-metoder (idet de ignorerer en stor gruppe PFAS), vs. sum-metoder (der ikke er nøjagtige i deres kvantificering, men som omfatter flere - men heller ikke alle - PFAS)?
- Hvilke kontrolmetoder, (fx kemiske analyser, dokumentkontrol, indrapporteringer, estimater af Best Available Practices/technologies, egen- vs. myndighedskontrol, lokal/national/EU kontrol) er mest effektive til at nedbringe PFAS eksponeringen?
- Hvilke kontrolmetoder giver mest effekt for pengene?
- Hvad er performance af PFAS total metoder til kontrol af PFAS i forskellige reguleringer?

Med 'reguleringer' menes der både lov, vejledninger og frivillige tiltag som fx mærkningsordninger, herunder reguleringer af det eksterne miljø, anvendelser, emissioner, arbejdsmiljø, produkter og specifikke forbrugerprodukter (fx tøj, smøremidler, imprægneringsvæske, møbler, boligtekstiler, kosmetik og personlige plejeprodukter mm.). Særligt vil det være relevant at klargøre kontrolmetoder til de produkter der allerede har PFAS forbud, eller forventes at få sat forbud fx som følge af PFAS restriktionen.

Handling

- Kortlægning/forskningsprojekt af
  - forskellige typer kontrolmetoder (kemiske, fx PFAS total, sum af PFAS og andre)
  - deres fordele og ulemper til specifikke formål, fx til PFAS i jord; EU restriktionsforslaget, PFAS i byggematerialer og emissioner fra røggasser
  - deres anvendelighed til forskellige formål (risiko, implementerbarhed, omkostning)
  - være i dialog med dem der kontrollerer/bliver kontrolleret
- Kommunikation: Dialog med andre lande, fx Nordiske lande og landene bag EU restriktionsforslaget
  - om principperne for PFAS Kontrol
  - koordination af aktiviteter
  - mulighed for at sætte et dansk/Nordisk aftryk på europæisk lovgivning.
- Inter-laboratorie kalibrering af udvalgte kontrol metoder.
- Forslag til grænseværdier for PFAS og mulige typer af opfølgning fra myndigheder og virksomheder
  - PFAS udover PFAS4, PFAS22 og PFAS24 i udvalgte matricer (jord, gas, m.fl.)
- Kontrolkampagne: Emission af PFAS i gas, aerosoler og partikler i emissioner fra fx fabrikker, rensningsanlæg og affaldsoplag herunder deponier
  - udført at kommuner og evt. i flere Nordiske lande.
- Udvikling af metoder specifikt til kontrolformål til at checke overholdelse af grænseværdier for de relevante PFAS (dvs. udover PFAS4, PFAS22 og PFAS24)

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Handlingen understøtter, at PFAS fjernes fra anvendelse og cirkulation i samfundet ved at sørge for, at begrænsninger og forbud i lovgivningen faktisk bliver overholdt. Opsamling på kontrolresultaterne vil også kunne understøtte yderligere forbedring af lovgivningernes effektivitet.

Handlemulighederne går fra 'meget enkelt' (kortlægning) til 'mere krævende' (at udføre kontrol på virksomheder), og giver høj grad af incitament for virksomheder at skifte til PFAS frie alternativer, dels ved at de bliver kontrolleret, og dels ved at de derigennem bliver opmærksomme på, at de muligvis har PFAS i deres produkter – som de ønsker at undgå af hensyn til sundhed og for at forhindre dårlig omtale.

Handlemuligheden er direkte relateret til risikokommunikation, og kontrolindsatsen er en meget direkte og forpligtende vej til at starte en dialog med virksomheder, som er de vigtigste aktører i at forhindre bruge af PFAS.

5.14 HANDLEMULIGHED #14 - Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land

Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land

Baggrund
I udgangspunktet findes begrænset viden om forekomst af PFAS i jord i det åbne land for arealer, som alene er tilført PFAS som diffus forurening fra luften eller fra en almindelig arealforvaltning uden særlige kendte kilder til spredning af PFAS til arealerne. I Danmark er undersøgt almindelig landbrugsdrift med og uden husdyr og husdyrgødning og enge med græsning og høslæt. Skov, hede og overdrev med naturlig eller næsten naturlig vegetation uden kendt tilførsel af PFAS fra andre kilder end atmosfærisk deposition.

De kendte data for diffus forurening er fra undersøgelser af indhold af PFAS22 i græs, og undersøgelser af indhold i græssende dyr og deraf estimering af optag fra græs. Et par nyere rapporter om indhold af i forvejen kendte koncentrationer af PFAS22 i danske jorde er publiceret (Thomsen og Sukstorf, 2024; Strobel et al., 2024), og der er en del undersøgelser på vej. Både danske og internationale undersøgelser fokuserer på bynære og kildenære områders indhold af udvalgte PFAS, og hidtil har fokus været på PFAS22.

Det overordnede billede af forekomst af i forvejen kendte koncentrationer af PFAS22 på landbrugs- og naturarealer i det åbne land viser indhold på under 5 µg/kg ts som sum PFAS22 fordelt på 10-12 enkeltstoffer.

Sum PFAS4 udgør en stor del af de fundne mængder, og enkelte undersøgelser af koncentration ned igennem rodzonen viser samme lave koncentrationsniveau. Den ensartede vertikale fordeling er mønstret for en ældre og vedvarende kilde til PFAS og en tilførsel til jorden, som ikke er aftaget nævneværdigt de seneste 10-20 år.

Undersøgelse af PFAS22 i skove viser forhøjede koncentrationer i skovbryn på vest siden, som rammes af den dominerende vindretning fra vest. Træerne i skovbrynet ser ud til at filtrere større mængder PFAS ud af luftmasserne, og derved sker der afsætning af PFAS på løv og grene. Med gren- og stammenedløb og gennemdryp transporteres mere PFAS22 til jorden i skovbrynet. Inde i større skovområder i Danmark og Sverige findes lave koncentrationer af PFAS22.

Landbrugsarealer i omdrift, som alene er diffust forurenede, viser samme indhold af PFAS22, som naturområder beliggende i samme område. Der er ikke forskel mellem landsdele i Danmark, og ikke forskel på om det er lynghede eller græsoverdrev.

De undersøgte lavbundsjorde, dvs. jorde med over 6% kulstof, viser et højere for sum PFAS4 og sum PFAS22 end marker på højbundsjord, da det har sat sig over en årrække med dræning.

Kystnære græsarealer langs vestkysten viser betydeligt forhøjede indhold af PFAS22 end tilsvarende arealer længere fra kysten, og det kan skyldes, at havskum påvirkningen har givet akkumulering i de øverste jordlag.

Modellering af vertikal mobilitet af de polære PFAS22 i de øverste jordlag i diffust forurenede jorde er muligt med den eksisterende jord-vand-luft-plante model (Daisy-modellen) for nogen af stofferne. Modellen kan udvides med luft-vand grænseflade i den eksisterende modelarkitektur. Med luft-vand grænseflade integreret kan modellen håndtere polære PFAS22, som har en betydelig fordeling til luft-vand grænsefladen i meniskerne i jordens porer i den umættede zone (Strobel et al., 2024). tDet kræver flere data for sorption af flere PFAS forbindelser end PFAS22, og feltdata fra jordprofiler til validering af modeludvidelsen og mobilitet af nye PFAS grupper.

Videnshuller
Det overordnede billede af forekomst af PFAS på diffust forurenede landbrugs- og naturarealer er begrænset til PFAS22 gruppen. Der er behov for at udvide fokus på andre PFAS forbindelser, som har en større anvendelse i samfundet nu, og dermed kan spredes diffust til jord i det åbne land og forurenede områder.

Områder med øget akkumulering af PFAS fra atmosfærisk deposition eller øget akkumulering af PFAS forbindelser i lavbundsjorde udgør et væsentligt videnshul. Udbredelsen af disse arealer, akkumuleringsfaktoren til planter og udvaskningspotentialet for en bredere vifte af PFAS er i al væsentlighed ukendt, idet der kun har været fokus på PFAS22 stofferne.

Optag i planter fra diffust forurenede jorde er en vigtig faktor i forhold at sikre en risikofri anvendelse af kødkvæg til græsning på beskyttet naturområder. Det samme gør sig gældende i forhold til at sikre sig sundhedsmæssigt forsvarlige niveauer af PFAS i jagtbart vildt.

Modellering af vertikal spredning af PFAS i umættet zone er et videnshul. De første simuleringer tyder på, at flere mekanismer er væsentlige for en retvisende forståelse af vertikal fordeling i jordprofilet, og den tidslige udvikling i den nedadgående fordeling i jordens faste fase og opløst i jordvæsken. Variation og koncentrationsniveau af PFAS forbindelser og tidsskala for hvornår stofferne når til drændybde og afstrømmer til overfladevand, og koncentration i jordvæsken som forlader rodzonen nedadgående mod grundvandet, er et videnshul. Årstidsvariation i vandindhold og skiftene mellem umættede og mættede forhold i de øverste jordlag og betydningen for den vertikale mobilitet er et videnshul.

Større datasæt til validering af model parametre med lille tidslig opløsning for arealmæssigt store områder der er diffust forurenede er et videnshul.

Plantemodel med dynamisk optag, translokation og udskillelse af PFAS er et videnshul, og tilsvarende for andre levende organismers optag og påvirkning af PFAS i lave koncentrationer på diffust forurenede arealer.

Udfordring
Forekomst af PFAS i jord har stor betydning for risiko for optag i planter og afgrøder til fødevarer og dyrefoder. Græssende dyr vil løbende æde små mængder PFAS , som vil kunne akkumulere i kød med deraf forringet værdi som slagtedyr. Afgrøder kan optage og translokere til spiselige dele af planterne med risiko for senere at komme på spisebordet.

Jorden i det åbne er begyndelsen til grundvandsdannelse, og kilde til afstrømmende ferskvand via overflade eller drænafstrømning til vandløb. Selv lave jordkoncentrationer af mobile PFAS har vist sig i visse områder at kunne udgøre en udfordring ift. en sikker udnyttelse af grundvand til drikkevand.

Kendskab til forekomst, akkumulering og mobilitet af PFAS forbindelser i diffust forurenede jorde er et vigtigt første skridt for at kunne undgå uønskede stoffer i vegetation og afgrøder.

Kendskab til forekomst, akkumulering og mobilitet af PFAS forbindelser i diffust forurenede jorde er vigtigt for at undgå uønsket nedsivning til grundvand dannet under marker og naturarealer, og afstrømning til vandløb og søer.

Diffus forurening ligger på et lavt niveau af PFAS22 (Strobel et al., 2024) og de fleste ligger under det gældende jordkvalitetskriterium for jord. Det skal dog understreges, at jordkvalitetskriteriet ikke er fastsat på baggrund af data om koncentration i jorden, som belyser planteoptag eller risiko for grundvandsforurening. Forekomst og mobilitet af PFAS22 varierer desuden mellem jordtyper og arealanvendelser.

Handling
Rotation af græssende dyr på diffust forurenede arealer, så de enkelte dyr ikke opholder sig for længe på arealer med PFAS i græsset, og dyrene derved i en passende andel af tiden opholder sig og græsser på arealer uden eller med meget lavt indhold af PFAS.

På arealer med forhøjet indhold af PFAS over jordkvalitetskriteriet, f.eks. langs vestkysten hvor havskum og aerosoler tilfører PFAS, kan afgræsning ske med dyr dedikeret til naturpleje, og disse dyr må ikke slagtes og anvendes som føde.

Skrånende arealer og arealer hvor intensive regnhændelser giver overfladeafstrømning fra marker i omdrift direkte til ådale, enge og vandløb kan omlægges til vedvarende græs, og dermed minimere overfladeafstrømning og erosion med partikelbåret transport af PFAS22 til vandmiljøet.

Almindeligt dyrkede arealer i omdrift, som alene er diffust forurenede, kræver ikke nogen særlige forholdsregler med den nuværende viden om PFAS22.

Tilførsel af jordforbedringsmidler og organiske gødningsmidler som mistænkes for indhold af PFAS skal screenes inden udbringning (jvf. Handlemulighed #4). Screening skal omfatte flere PFAS forbindelser som har en større anvendelse i samfundet nu, og ikke kun PFAS22.

Der er behov for en bedre forståelse af sammenhængen mellem forekomst af PFAS forbindelser i jorden, og den mængde og hastighed som optages i planter på forskellige vækststadier af vegetationen. Der er behov for viden om indhold af PFAS i overfladevand som oversvømmer græsningsarealer, og viden om hvilke mængder af PFAS der afsættes udenpå græs med risiko for optag af PFAS i græssende dyr på oversvømmede arealer. Et sådant forskningsprojekt vil tilvejebringe nødvendig viden om, hvilke perioder græssende dyr kan færdes på diffust forurenede arealer uden risiko for kritiske værdier i dyrene, og danne grundlag for en forvaltningsplan for diffust forurenede arealer med forhøjede PFAS forekomster.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Det er af afgørende betydning, at vores viden om forekomst, akkumulering og mobilitet af PFAS forbindelser i diffust forurenede jorde øges af hensyn til risikovurdering og håndtering for afgrøder, dyr, beskyttelse af grundvand dannet under marker og naturarealer, samt afstrømning til vandløb og søer. De foreslåede praktiske handlinger er rettet mod at minimere eksponeringen og skal ses i sammenhæng med den nuværende arealanvendelse til f.eks. afgræsning eller fødevareproduktion, med fokus på potentielt indhold af PFAS i gødningsprodukter, recirkulering af organiske jordforbedringsmidler, og hjælpestoffer i planteproduktionen. Der anbefales øget overvågning af PFAS i vandmiljøet og grundvand for at forstå langtidseffekten af diffus forurening på det store areal i det åbne land, som producerer grundvand og danner kilder der skaber vores vandløb.

5.15 HANDLEMULIGHED #15 - Grundvand og drikkevand

Grundvand og drikkevand

Baggrund
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.

Grundvandet er påvirket af PFAS, men i dag er der ingen vandforsyningsboringerne i Danmark, der har et PFAS-indhold over kravværdien til PFAS22 (100 ng/L). Derimod påvises PFAS4 i 18% af indvindingsboringer, heraf har en betydelig del (pt. 5,6 %) af vandforsyningsboringerne PFAS-koncentrationer over drikkevandskravet til PFAS4 på 2 ng/L (Thorling et al., 2024).

Vandforsyninger langs vestkysten har problemer med PFAS4, sandsynligvis som følge af PFAS indhold i havskum og aerosoltransport (Henriksen og Lenschow, 2024). Derudover er der et stort område omkring hovedstadsområdet og syd herfor, hvor relativt mange boringer er påvirket af PFAS fra deponier og brandøvelsespladser.

Flere forsyninger er ramt af så betydelig PFAS forurening, at de er blevet lukket eller har iværksat rensning for PFAS. På flere større vandforsyninger undersøges relevante renseteknologier med henblik på fuld-skala implementering. Status i dag er, at stoffer indeholdt i PFAS4 kan fjernes med aktivt kul, mens de kort- og ultra-kortkædede PFAS, som PFBA og TFA ikke kan fjernes omkostningseffektivt.

Videnshul
Udvikling af teknologiske løsninger og beredskab til at rense for korte og ultrakorte PFAS, fx TFA, eller andre PFAS, hvis de viser sig at være problematiske.

Afdækning af farlighed af korte og ultrakorte PFAS, fx TFA.

Disse videnshuller er direkte relateret til gennemgangen i 1. del af Videnstaskforcen rapport (Baun et al., 2023), hvor også behovet for risikokommunikation og socioøkonomisk analyser er relevante i denne sammenhæng.

Udfordring
Vi har i Danmark en decentral vandforsyningsstruktur med mange små vandværker. Dette kan være en udfordring ved implementering af teknologiske løsninger og risikokommunikation, da de små vandforsyninger ikke har samme fagekspertise og beredskab, samt mulighed for at ansætte kommunikationsmedarbejdere, som de større vandforsyninger har.

Det store antal boringer med PFAS fund, sporkoncentrationer eller i koncentrationer omkring kravværdier, har rejst en debat i fagkredse og medier om behovet for at indføre aktiv kulrensning på alle vandværker med PFAS (dog undtaget TFA) i grundvandsboringer. Det er en gigantisk samfundsmæssig beslutning og omkostning, hvis man vælger at implementere dette, og det vil direkte påvirke prisen på drikkevand i fremtiden.

Et centralt punkt for vandforsyningerne er, at der for nyligt (2021) er fastsat kravværdier for PFAS4. Det er et vilkår for vandforsyningerne, at de skal overholde disse kravværdier. Forureninger med PFAS over kravværdien skal håndteres, før der kan leveres vand til forbrugerne. Her er det centralt at være opmærksom på, hvilket PFAS-niveau i indløb til vandværker der er målsætningen (hvad kan tolereres) i forhold til samfundet.

Målsætningen vil være afgørende for den samfundsmæssige omkostning og bæredygtighed, og en grundig analyse heraf er nødvendig inden beslutningen træffes (jf. listen med handlingsforslag). I forhold til det tekniske grundlag for en sådan analyse er det væsentligt at være opmærksom på, at detektionsgrænsen må forventes at blive sænket løbende (parallelt til forløbet for pesticiderne), og eksisterende forsøg og data er alene fokuseret på overholdelse af gældende kravværdier.

GEUS har for nylig beskrevet, at der er en diffus forurening med TFA af terrænnært grundvand overalt i Danmark. Niveauet er varierende, men koncentrationen i grundvandet dannet efter 1980 forventes at være mindst 0,1 µg/L og med en tydelig stigende tendens (Albers og Sültenfuss, 2024). Det betyder, at vi vil se stigende indhold af TFA i det grundvand, der indvindes til drikkevand. Vi forventer ikke, at TFA vil tilbageholdes under nedsivningen til grundvandet. I en anden undersøgelse fra GEUS, publiceret i december 2024, vises det for syv CF_3-holdige pesticidaktivstoffer i en række laboratorieforsøg med 1 års varighed, at TFA kan dannes (Johnsen et al., 2024). Beregninger i undersøgelsen sandsynliggør, at CF_3-holdige pesticider kan være en kilde til grundvandsforurening med TFA over grænseværdien for pesticidnedbrydningsprodukter, men klart under den nuværende grænseværdi for TFA i drikkevand. Endelig skal det nævnes, at der vil kunne ske en yderligere tilførsel af TFA fra andre precursors og ved forurenede grunde, men i dag er disse bidrag ikke undersøgt.

TFA har en kravværdi på 9 µg/L og er ikke blandt de 22 PFAS, der er reguleret i dag. Det betyder, at fundene i grundvand i dag generelt er under kravværdien. Hvis TFA i fremtiden toksikologisk bliver vurderet relevant ift. gældende sumværdier for PFOA-ækvivalenter, eller i fremtiden vil blive betragtet som en relevant metabolit fra pesticidnedbrydning, og grænseværdien dermed sænkes til de 0,1 µg/L, der er gældende for disse, står vi med en meget stor samfundsmæssig udfordring i forhold til at sikre rent drikkevand ved vores nuværende praksis.

Det er muligt, der findes parallelle problematikker mht. toksikologiske aspekter for andre ultrakortkædede/kortkædede PFAS. Det understreger den brændende platform og hejser også det flag, at en eventuel indsats skal fremtidssikres ved at tage højde for, at problemet forventes at være voksende. TFA og lignende ultrakortkædede PFAS kan i dag ikke renses omkostningseffektivt med aktivt kulfilter, som beskrevet i et netop publiceret VUDP-projekt (Clausen et al., 2024). Den eneste reelle rensemulighed pt. er membran filtrering. Dette er ikke en realistisk renseteknologi for PFAS på et større antal danske vandværker til rensning forfor TFA. Metoden kræver bl.a. øget vandvinding pga. dannelse af en betydelig spildstrøm, som desuden er meget svær at aflede miljømæssigt forsvarligt.

Desuden skal der tages hensyn til, hvordan PFAS fund og løsninger kommunikeres til brugere. Har vi et kommunikationsberedskab til især mindre vandværker, som bliver ramt af en forurening med PFAS?

Handling

- Vurdering af grænseværdi og toksicitet af kortkædede/ultrakortkædede PFAS. (se også Handlemuligheder #16 og #17).
- Særlig indsats i forhold til at kortlægge diffus forurening og hjælpe nødstedte vandværker langs den jyske vestkyst.
- Teknologisk beredskab for PFAS/udvikling af nye renseteknologier for TFA og lignende stoffer. Effektivitet skal øges og omkostninger skal bringes ned.
- En konsekvensanalyse/socioøkonomisk analyse af implementering af grænseværdier for PFAS i drikkevand i dag og i fremtiden. Der skal dedikeres særlig fokus på TFA og andre ultrakortkædede/kortkædede PFAS.
- Beredskab/rejsehold til at hjælpe især mindre vandværker med udfordringer med PFAS. Gælder også for øvrige miljøfremmede stoffer fx pesticider og medicinstoffer.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"

Ovenstående handlinger vurderes at kunne have meget stor betydning for de nært forestående beslutninger vedrørende håndtering af PFAS i drikkevandsforsyning over hele Danmark. Tages hensynet til betydningen af rent drikkevand i betragtning vurderes det, at handlingerne direkte kan iværksættes.

5.16 HANDLEMULIGHED #16 - Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS

Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS

Baggrund
Behovet for robuste risikovurderinger fordrer en kortlægning af hvilke PFAS, der er skadelige med hensyn til befolkningens sundhed. Her bør et særligt fokus rettes mod at afklare, hvorvidt de kortkædede PFAS skal betragtes som skadelige (se også Handlemulighed #17).

Studier af afdøde mennesker har vist at flere kortkædede PFAS kan akkumulere i humant væv såsom lunge, hjerne, og nyre, som er organer, hvor de langkædede PFAS, inklusive PFOS, akkumulerer i langt lavere niveauer (Perez et al., 2014).

Derudover er det eksperimentelt vist, at et højt fiberindhold i kosten kan være medvirkende til en større udskillelse af PFAS (Lykkebo et al., 2024). Da tarmmikrobiomet er påvirket af flere faktorer inklusive fiberindtag, er det derfor sandsynligt, at optagelsen og udskillelsen af PFAS fra tarmen kan påvirkes af tarmmikrobiomet.

I det hele taget er der behov for mere viden om tarmmikrobiomets betydning for optagelse og udskillelse af PFAS herunder specielt de kortkædede PFAS, og dermed få afklaret om der kan gives handlemuligheder for borgere, der ønsker at reducere deres eksponering.

Videnshul
Generelt er de kortkædede PFAS ikke risikovurderede, og der savnes et overblik over de toksikologiske effekter og eksponering til disse stoffer. Specielt er tarmmikrobiomets betydning for PFAS eksponering meget ringe undersøgt.

Udfordring
Danmarks Tekniske Universitet har tidligere demonstreret, at et højt fiberindhold i kosten kan være medvirkende til en større udskillelse af PFAS. Denne viden gør det muligt for den enkelte borger, der ønsker at reducere sin PFAS eksponering, at gøre noget selv. Derfor er det relevant at undersøge, om der kan ligge andre handlemuligheder for det enkelte individ, der ønsker at nedbringe sit PFAS-niveau.

Handling
Vi foreslår, at der iværksættes dels en teoretisk og dels en eksperimentel undersøgelse.

- Den teoretiske del omfatter en videnskabelig gennemgang af eksisterende litteratur om eksponering til og humane helbredseffekter af de kortkædede PFAS. De få PFAS, der i forsknings- og vidensopbygningsprojekt nr. 4 blev påvist i den frugt, som danskerne spiser mest af, var de kortkædede PFAS, som derfor er omfattet af denne litteratursøgning.
- Den eksperimentelle del omfatter undersøgelser af tarmmikrobiomets betydning for optag og udskillelse af de kortkædede PFAS. Det foreslås at benytte en eksisterende dyremodel, som tidligere er brugt til PFOS-studier. Modellen er udviklet til at studere, hvordan tarmmikrobiomet og kostens sammensætning påvirker optagelsen og udskillelsen af kemikalier, samt hvordan de undersøgte kemikalier påvirker tarmmikrobiomet. Det foreslås at fokusere på de kortkædede PFAS, som vides at findes i dansk kost, for at kunne bidrage til et samlet billede af, hvilken sundhedspåvirkning denne eksponering kan forårsage.

I en kommende kemiindsats i samarbejde med Fødevarestyrelsen er det foreslået at undersøge tarmmikrobiomets betydning for mængden af kortkædede PFAS, der frigives fra vores kost. Sammen kunne de ovennævnte aktiviteter bidrage til en mere omfattende undersøgelse af denne problemstilling og dermed skabe synergi.

Sådanne undersøgelser kan eventuelt munde ud i en vejledning fra myndighederne til borgerne vedrørende kostråd, der medvirker til et reduceret optag og en øget udskillelse af PFAS.

Potentiel effekt/"Implementerbarhed"
Den forslåede undersøgelse sigter mod at nedbringe befolkningens niveau af kortkædede PFAS og dermed afværge eventuelle sundhedsskadelige effekter. Der er tale om forskningsrettede undersøgelser, men på længere sigt forventes undersøgelserne at kunne bidrage til konkrete handlemuligheder. De primære målgrupper er dels fagpersoner, der laver risikovurderinger, og dels forskere der arbejder med tarmmikrobiomets betydning for PFAS-niveauer i blodet. Sekundært kan målgruppen blive myndigheder, der ønsker at vejlede befolkningen om kostindtag og i sidste ende den enkelte borger.

5.17 HANDLEMULIGHED #17 – Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier

Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier

Baggrund
For at kunne tage aktion på flere vigtige handlemuligheder (fx vurdere om en miljø- eller fødevareprøve er acceptabel eller ej mht. PFAS eksponering) er det nødvendigt at have fastsat nogle grænseværdier eller aktionsgrænser (her overordnet omtalt som grænseværdier). Hvis sådanne værdier er overskredet, vil man dog ofte ønske at foretage en konkret risikovurdering til at understøtte risikohåndteringen, særligt hvis man skal retfærdiggøre omkostningstunge eller indgribende tiltag, som fx at fraråde indtag af specifikke arter af fisk eller drikkevand fra hanen i et område.

Dette kræver robuste risikovurderinger baseret på en kortlægning af hvilke PFAS, der er kritiske med hensyn til befolkningens sundhed. Stofgruppen omfatter mange tusinde stoffer, men kun ganske få – nemlig 4 PFAS (PFOA, PFOS, PFNA og PFHxS) - er grundigt risikovurderede mht. forskellige typer sundhedsskadelige effekter på mennesker. I forhold til økotoksikologiske effekter er situationen endnu værre og vidensgrundlaget væsentligt lavere.

Udover vigtige eksponeringsdata, som er behandlet i Handlemuligheder #8-10, kræver en risikovurdering også toksicitetsdata. Pt. er risikovurderingen af de 4 PFAS baseret på en kompleks vurdering af epidemiologiske studier af reduceret vaccine-respons hos børn, der blev ernæret med modermælk. Det tolerable ugentlige indtag (TWI) på 4,4 ng/kg bw/uge er det samlede indtag af de 4 PFAS, som 35-årige mødre kan indtage i løbet af deres liv, uden at det forårsager et reduceret immunforsvar i deres ammende 1-årige børn.

Det er ikke muligt at risikovurdere tusindvis af andre PFAS med denne grundige metode i en overskuelig fremtid. Ligeledes er det ikke muligt at anvende metoder, hvor man vurderer toksiciteten af PFAS i forhold til hinanden, hvis der ikke er toksicitetsdata for dem. Det gælder fx de metoder, der anvendes i det foreslåede opdaterede vandrammedirektiv, hvor man anvender Relative Potensfaktorer (RPF) til at tage højde for dels toksiciteten og optag/udskillelse af diverse PFAS relativt til PFOA, hvis toksicitet sættes til 1. Denne metode forudsætter, at alle stofferne virker via samme virkningsmekanisme. Beregningen bygger på data fra dyreforsøg (enten vægt af lever eller milt) og omfatter RPF'er for ca. 24 stoffer. Denne metode baseret på dyreforsøgsdata er heller ikke farbar i forhold til de mange tusinde PFAS, vi mangler data på, og derudover er det usandsynligt, at toksiciteten af alle PFAS er forårsaget af samme virkningsmekanisme, og dermed kan relateres til PFOA. Det er snarere realistisk, at forskellige RPF'er i fremtiden kan etableres for specifikke grupper af PFAS (se kapitel 4 for opdeling af PFAS i undergrupper) baseret på computer-baserede *(in silico)* og/eller celle-baserede *(in vitro)* metoder. Indtil sådanne data findes, er det derfor vigtigt, at man estimerer 'standard' RPF'er, så metoderne kan anvendes også for stoffer, der ikke er toksicitetsdata for.

Videnshul
Generelt er hovedparten af PFAS ikke risikovurderede, og der savnes viden om de toksikologiske effekter, der sammen med eksponeringsdata kan indgå i en risikovurdering. Der mangler metoder til at estimere toksicitet for stoffer, der ikke findes toksicitetsdata for, så de kan medtages i et estimat af risikoen ved PFAS total i mennesker og miljø. Der er en udtalt mangel på viden om økotoksicitet af de fleste PFAS og især om effekter på jord- og sedimentlevende organismer. Der er derfor også behov for at afdække, hvilke økotoksikologiske effekter der skal beskyttes for og på hvilket niveau.

Udfordring
Det er af afgørende betydning at få afklaret de vigtigste virkningsmekanismer for de forskellige hovedgrupper af PFAS, herunder at forsøge at afklare hvad de vigtigste mekanismer for det forringede vaccinerespons er. Dette arbejde foregår flere steder bl.a. i forbindelse med PARC, men der savnes overblik over hvilke aktiviteter, der internationalt er iværksat og der mangler egnede metoder til at vurdere toksiciteten af de mange forskelligartede PFAS.

Handling
At skabe et overblik over de indsatser, der er i gang internationalt fx i PARC med henblik på at belyse virkningsmekanismerne for PFAS i forhold til deres kritiske effekter (forringet immunforsvar, reduceret fødselsvægt, øget kolesterol-niveau).

Når mekanismerne er kendte, bør der etableres *in vitro* metoder til at kvantificere effekten for et større antal PFAS tilhørende forskellige undergrupper. Med sådanne data kan der udvikles *in silico* metoder til at forudsige toksiciteten af et stort antal PFAS. I sidste ende kan beregnes RPFs for PFAS.

Alternativt kan *in silico* metoder baseret på fysisk-kemiske data for PFAS muligvis vise sig anvendelige til at bidrage til forudsigelse af toksicitet for et større antal stoffer. Det er dog vigtigt, at metoderne forudsiger kvantitative data for at muliggøre en form for risikovurdering.

Disse metoder bør suppleres med en vurdering af principper for at fastsætte defaultværdier for PFAS der ikke findes toksikologiske data for.

På baggrund heraf at bidrage til udvikling af *in silico* og/eller *in vitro* metoder til at forudsige (øko)toksicitet af et større antal PFAS.

På basis af de udviklede metoder at beregne RPF for et større antal PFAS for dermed at kunne gennemføre farevurderinger af stofferne.

Eventuelt at anvende farevurderingerne til at definere grænseværdier for diverse matricer.
Der bør igangsættes et arbejde for at fastlægge kriterier/principper til fastsættelse af specifikke RPFs for PFAS, der ikke findes økotoksikologiske og toksikologiske data for.

Potentiel effekt/Implementerbarhed
Denne handlemulighed vil ikke sig selv nedbringe PFAS eksponeringen, men vil have afgørende betydning for fastsættelse af beskyttelsesniveauer og grænseværdier. Dermed adresserer den flere af de problemstillinger, der rejses i kapitel 4 vedrørende kortkædede PFAS og grænseværdier som dimensionerende for handlinger.

De primære målgrupper er dels fagpersoner, der laver risikovurderinger, og dels forskere der arbejder med (øko)toksikologi og regulering. Sekundært kan målgruppen blive myndigheder, der ønsker at indføre kontrolmetoder og/eller tage aktion på målte PFAS niveauer.

5.18 HANDLEMULIGHED #18 - Myndighedernes risikokommunikation

Myndighedernes risikokommunikation

Baggrund
For at imødekomme borgeres bekymringer ift. myndighedernes håndtering af miljø- og helbredsrisici er der behov for, at myndighederne løbende varetager en troværdig, transparent og koordineret risikokommunikation målrettet såvel specifikke berørte grupper som den generelle offentlighed, og således sikrer, at befolkningen opnår forståelse for eksponeringsveje, risici og mulige sundhedseffekter.

Videnshul
I første del af Videnstaskforce rapporten (Baun et al., 2023) er det beskrevet, at selvom alle myndigheder på miljøområdet varetager deres opgaver, er den samlede risikokommunikation til berørte borgere og offentligheden ved miljømæssige eksponeringer i nogle tilfælde mangelfuld, ukoordineret eller forsinket.

Udfordring
Som beskrevet i kapitel 4 var konklusionen på Videnstaskforcens workshop om myndighedernes risikokommunikation, at den i 2023 beskrevne svaghed ift. risikokommunikation til borgerne kunne genfindes på mødet. Dette gælder i øvrigt ikke kun for PFAS-forurening, men også i forhold til kommunikation ved eksponering for miljøfarlige stoffer generelt. Myndighederne kunne derudover konkretisere nogle udfordringer ift. kommunikation til borgerne om helbredsrisici ved eksponering for miljøfarlige stoffer. På den baggrund finder Videnstaskforcen, at der er behov for at styrke risikokommunikationen til borgerne.

Det skal understreges, at der generelt er et godt samarbejde mellem myndigheder på miljøområdet også ved forespørgsler om den sundhedsmæssige risiko ved miljøfarlige stoffer, men en række udfordringer består, fx:

- Kommunikation til berørte borgere om den sundhedsmæssige risiko er kommunernes opgave, men kommunerne har ikke medarbejdere med miljømedicinsk sundhedsfaglig baggrund og erfaring med risikokommunikation om sundhedsmæssige aspekter. Kommunerne har derfor svært ved at løfte opgaven i forhold til sager med ny-opdagede eksponeringer eller mulige eksponeringer af borgerne.
- Styrelserne er bundne af deres ressortområde, og har ikke ressourcer og dermed mulighed for at varetage opgaver uden for dette.
- Der er til tider uklarhed ift. roller, så fx kommunikation til berørte borgere ikke løftes eller først iværksættes sent i processen.

Det er nødvendigt, at alle myndigheder indtænker risikokommunikation til berørte borgere i deres varetagelse af miljøområdet, og at der tages initiativ til kommunikation til borgerne tidligt i processen.

Handling
Videnstaskforcen vurderer, at risikokommunikationen til borgerne bedst styrkes ved, at den kommunale kommunikation ved behov kan understøttes af risikokommunikation fra Styrelsen for Patientsikkerhed (STPS), som er den nationale myndighed, der varetager sundhedsfaglige afgørelser og rådgiver kommunerne ift. de sundhedsfaglige spørgsmål. Videnstaskforcen finder, at det er vigtigt, at samme myndighed varetager risikovurdering og –kommunikation, og at myndigheden har såvel miljøfaglig som medicinsk viden med henblik på at kunne varetage såvel rådgivning som kommunikation om helbredsmæssige forhold ved eksponering for PFAS og andre stoffer.

Videnstaskforcen finder derfor, at det ville være hensigtsmæssigt, at der afsættes ressourcer til, at STPS miljømedicinske enhed styrkes, så de i større grad kan understøtte kommunernes varetagelse af den borgerrettede kommunikation, såvel skriftligt som ved borgermøder lokalt, når det er nødvendigt.

En styrkelse af STPS's mulighed for at bidrage til den borgerrettede rådgivning og information, kan understøtte kommunerne og regionerne fx når de skal varetage tidlig orientering af borgerne om betydningen for deres helbred ved eksponering for miljøfarlige stoffer.

Der er ligeledes behov for, at der skabes større klarhed over de relevante aktørers roller eller ansvar, herunder fx at sikre at udredning af eksponering bliver iværksat, at kommunikationen til borgerne ikke forsinkes, og at der sikres inddragelse af almen praksis og de arbejds- og miljømedicinske sygehusafdelinger.

Potentiel effekt/implementerbarhed
Handlingsforslaget vil have stor betydning for risikokommunikation til borgerne om helbredsmæssige aspekter ved eksponering for PFAS og andre miljøfarlige stoffer.

Handlingsforslaget flugter med den nationale handlingsplan for PFAS under afsnittet "Vi skal inddæmme PFAS", hvor der beskrives, at aftaleparterne ønsker at sikre grundig og rettidig information til borgerne om PFAS samt styrke den målrettede information til borgerne med letforståelige råd og vejledning, ligesom der beskrives, at handlingsplanen styrker rådgivningen af kommuner og vandforsyningsselskaber mv., da deres rådgivningsopgave de senere år er intensiveret.

6. OPSUMMERING OG KONKLUSION

Det er Videnstaskforcens overordnede konklusion på videnskortlægningen i 2023-2024, at vidensniveauet vedrørende forurening med gammelkendte PFAS i Danmark generelt set er højt. Vi har også på grund af dette høje vidensniveau erkendt problemstillinger, som kræver nye undersøgelser og ny forskning rettet mod konkrete løsninger, for at vi kan sikre befolkningen og miljøet mod skadevirkningerne af stofferne. Her udstikker den nationale PFAS handlingsplan væsentlige sigtelinjer, men også helt konkrete områder, hvor handling enten allerede er i gang eller bør igangsættes. Videnstaskforcens første rapport og forsknings- og vidensopbygningsprojekter (se kapitel 3 og Baun et al., 2023) har bidraget til handlingsplanen. Derudover vil etableringen af Dansk PFAS Forsknings- og Leverancecenter (PFAS-centret), som beskrevet i handlingsplanen, bidrage til kompetence- og vidensopbygning i Danmark på både kort og langt sigt. Videnstaskforcens arbejde i 2024 og forslag til handlemuligheder i kapitel 5 i denne rapport, har derfor været rettet mod implementering i linje med handlingsplanens områder inkl. de muligheder som samarbejdet i PFAS-centret åbner for.

I figur 6.1 er vist en oversigt over Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder sat i relation til den overordnede konceptfigur for formålet med Videnstaskforcens arbejde (figur 1.1). De emner, for hvilke Videnstaskforcen har prioriteret at fremsætte forslag til handlemuligheder, omfatter i overvejende grad de områder, indenfor hvilke Videnstaskforcens medlemmer har ekspertviden.

I udvælgelsen af forslag til handlemuligheder har hensynet til *reduktion af massen af PFAS været af afgørende betydning. Det drejer sig dels om massen af de enkelte PFAS med kendt toksicitet* og dels *massen af den samlede gruppe af PFAS i cirkulation* i Danmark samt i høj grad *massens relation til eksponering*.

Videnstaskforcen understreger, at en reduktion af PFAS-eksponeringen i Danmark først og fremmest afhænger af en udfasning, og helst en absolut afvikling af brugen af PFAS. Her spiller det restriktionsforslag, som Danmark sammen med fire andre europæiske lande fremsatte i 2023, en afgørende rolle. I Videnstaskforcens arbejde har det været antaget som en forudsætning, at restriktionsforslaget vedtages i sin nuværende form. Derfor har Videnstaskforcens arbejde i høj grad været rettet mod den allerede eksisterende forureningssituation i Danmark, og hvordan befolkningens og miljøets eksponering til PFAS kan reduceres.

En af handlemulighederne er direkte rettet mod udfasning af brugen af PFAS, nemlig *#2 PFAS–frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling*. Dette emne er udvalgt, da afhængigheden af anvendelse af PFAS i flere grønne teknologier (fx varmepumper og batterier) i dag stadig er stor, og en udfasning af brugen afhænger af, at der findes realistiske alternativer. Balancen mellem, hvad der på den ene side er miljø- og sundhedsmæssigt sikkert og på den anden side er bæredygtigt, kan være svær at opnå, men kræver i første omgang en opmærksomhed på alternativer og metoder til at vurdere balancen. Aktiviteter på dette område er i gang på både dansk og internationalt niveau, og er også en integreret del af PFAS-centrets forsknings- og rådgivningsaktiviteter.

Kategori	Handlemulighed
Dataoverblik	#1 Vidensdeling
Alternativer	#2 PFAS-frie alternativer i teknologier til den grønne omstilling
Kortlægning af potentielle kilder	#3 Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet
	#4 PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder
	#5 Emissioner til udeluft
Kendte kilder	#6 PFAS forurening på forurenede grunde
	#7 Spildevand og spildevandsslam
Forekomst og eksponering	#8 Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter
	#9 Forbrugerprodukter og eksponering
	#10 En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS
	#11 Overvågningsstrategi
Analysestrategi	#12 Analysemetoder
	#13 Kontrolmetoder og -strategi
Skæbne, fordeling og transport i miljøet	#14 Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land
	#15 Grundvand og drikkevand
Toksikologiske effekter	#16 Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS
	#17 Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelse af grænseværdier
Risikokommunikation	#18 Myndighedernes risikokommunikation

Figur 6.1 Oversigt over Videnstaskforcen forslag til handlemuligheder til håndtering og nedbringelse af PFAS eksponeringen i Danmark. Sat i relation til konceptfiguren for Videnstaskforcens arbejde (se figur 1.1)

I Danmark har der siden begyndelsen af 2000-tallet været fokus på PFAS hos myndighederne – i begyndelsen især på anvendelsen af PFOS i brandskum, og senere på forekomst af PFAS i mennesker og miljø. Alene i Miljøstyrelsens regi er der siden 2018 iværksat mere end 70 forsknings-, udviklings- og udredningsprojekter på PFAS-området. Hertil kommer projekter hos især Fødevarestyrelsen og Sundhedsstyrelsen, men også mange projekter hos regioner, kommuner og private aktører. At bringe al denne viden i spil er afgørende for nedbringelse af miljøets og befolkningens eksponering. Som beskrevet i rapporten, og særligt i handlemulighed *#1 Vidensdeling,* er vidensdeling særdeles vigtig og prioriteres højt af Videnstaskforcen. Behovet for en balanceret risikokommunikation er vurderet at være stort, og det vægtes højt af Videnstaskforcen, at myndighedernes risikokommunikation prioriteres som beskrevet i den foreslåede handlemulighed *#18 Myndighedernes Risikokommunikation.* Risikokommunikation vil i sig selv naturligvis ikke nedbringe eksponeringen, men er af stor betydning for såvel den enkelte borgers forståelse af situationen, og dermed borgernes tryghed, såvel som myndigheders og beslutningstageres muligheder for at iværksætte handlinger.

PFAS dagsordenen er i høj grad styret af, hvad vi måler i miljøet, fødevarer og i mennesker – men også hvad vi *kunne måle for, men som vi ikke* måler for rutinemæssigt i dag. Som nævnt i rapporten dækker de 4, 22 eller 24 PFAS, der i dag måles for, kun en meget lille del af PFAS-universet. Totalmålinger af det organiske fluorindhold viser, at en stor del af de fluorholdige stoffer, der er til stede i miljø-, fødevare- og humane prøver, ikke fanges af de målrettede analyser, der i dag anvendes. Fortsat udvikling og afprøvning af analysemetoder samt kombination af analytisk-kemiske tilgange er derfor nødvendig og baggrunden for, at Videnstaskforcen har foreslået handlemulighederne *#11 Overvågningsstrategi*, *#12 Analysemetoder* og *#13 Kontrolmetoder og -strategi*.

Definitionen af hvilke stoffer, der tilhører gruppen af PFAS, er så bred, at gruppen dækker mange forskellige stoffer, der i forhold til deres miljømæssige skæbne kun har det til fælles, at de er persistente. Deres øvrige fysisk-kemiske egenskaber, opførsel i miljøet, akkumulering og toksikologiske profiler kan være vidt forskellige. Der er fx meget stor forskel på, hvordan de langkædede PFAS (som PFOA og PFOS) og de kortkædede (som TFA) fordeles i miljøet, optages og påvirker mennesker og miljøets organismer. At betragte dem som én samlet gruppe af PFAS vil ud fra et videnskabeligt og håndteringsmæssigt synspunkt ikke altid give mening. Imidlertid kan det ud fra et regulatorisk og kontrolmæssigt synspunkt være mest effektivt at håndtere PFAS som en samlet gruppe, som det er foreslået i PFAS restriktionsforslaget. I nogle tilfælde kan en opdeling af PFAS i undergrupper ud fra deres fysisk-kemiske egenskaber også give god mening for at målrette håndteringen mod disse undergrupper i stedet for enkeltstofferne (se kapitel 4). Et nyligt eksempel er det forslag til et revideret vandkvalitetskrav, som er fremsat af EU's fælles forskningscenter. Her omregnes koncentrationerne af 24 enkelte PFAS til PFOA-ækvivalenter, der sammenfattes til en grænseværdier for PFAS24. Begrænsningen ved denne metode er, at den på nuværende tidspunkt kun er egnet til de ret få PFAS, der findes toksicitetsdata for, og at grænseværdien varierer ifht. hvilken toksisk effekt, man vælger at basere beregningen på, fx lever- eller immunotoksicitet. Der er behov for både videreudvikling og klarhed over, hvordan metoderne for disse sum-parametre anvendes i kontrol sammenhæng.

Der er behov for en øget forståelse af stoffernes skæbne, fordeling og transport i miljøet og udover, at flere af de foreslåede handlemuligheder vil bidrage hertil (fx *#6 PFAS forurening på forurenede grunde; #7 Spildevand og spildevandsslam; #8 Kortlægning og forekomst i fisk og marine produkter*), ligger dette også centralt i forskningsemnerne i PFAS-centret. For håndteringen af PFAS bør et særlig fokus rettes mod indsatser, der belyser betydningen af den diffuse forurening for arealanvendelser (se *#14 Diffus forurening og arealanvendelse i det åbne land*) men også i relation til forurening af grundvand og drikkevand (se *#15 Grundvand og drikkevand*).

I forhold til at begrænse massen af PFAS i cirkulation i Danmark er det afgørende, at kilderne til PFAS er kortlagte. Her ligger der et stort datamateriale tilgængeligt i baggrundsdokumenterne til restriktionsforslaget og massestrømsanalysen af Lassen et al. (2024), som begge er vigtige bidrag til at danne overblik over situationen i Danmark. Der er dog betydelige usikkerheder knyttet til estimater af massen af PFAS fra historiske anvendelser og i cirkulation, og derfor vil kortlægning af potentielle kilder stadig være vigtigt. Her har Videnstaskforcen valgt af foreslå følgende tre handlemuligheder: *#3 Mulige kilder til forurening med PFAS i havmiljøet, #4 PFAS i rest- og gødningsprodukter, som anvendes på landbrugsjorder* og *#5 Emissioner til udeluft*. Yderligere vil Videnstaskforcen fremhæve, at viden om indhold, udvaskning og spredning af PFAS fra byggematerialer under anvendelse, ved genbrug/genanvendelse og ved bortskaffelse er vigtig. Inden for de nævnte områder vil der kunne være betydelige bidragsydere til PFAS forureningen i Danmark, men det er i dag ikke tilstrækkeligt belyst, om disse kilder reelt bidrager samt hvilke handlinger, der vil kunne iværksættes for at nedbringe emissionerne fra disse kilder.

For de kendte kilder til PFAS forurening har Videnstaskforcen foreslået handlemuligheder inden for to store områder, nemlig *#6 Forurenede grunde* og *#7 Spildevand og spildevandsslam*. For begge disse områder er behovet for kortlægning samt omsætning af den opbyggede viden stadigt stort. På jord- og grundvandsområdet, vil forskning i PFAS transport og spredning være vigtigt i forhold til at beskytte mod forureningen – et emne som også indgåri PFAS-centret forskningsprogram for 2025-2028. På spildevandsområdet vil et øget fokus på prøvetagnings- og analysemetoder samt opskalering og afprøvning af renseteknologier kunne bidrage væsentligt til at reducere miljøets PFAS eksponering.

Videnstaskforcen har ikke givet forslag til egentlige handlemuligheder med hensyn til jordhåndtering, da et udredningsprojekt specifikt rettet mod dette område er iværksat af Miljøstyrelsen. På affaldsområdet er der ligeledes et udredningsprojekt om affaldsdeponier, på vej. Her er mod håndteringen af perkolater fra affaldsdeponier, et område, der giver særlige udfordringer på grund af påvisningen af relativt høje koncentrationer af PFAS. Rensning er implementeret på nogle deponier, men rensning for PFAS på alle affaldsdeponier i Danmark vil være meget ressourcekrævende. Videnstaskforcen foreslår, at det undersøges, om det er mere hensigtsmæssigt at opgaven med at rense perkolat fra deponier placeres hos de offentlige renseanlæg. Udover udfordringer med PFAS i perkolater, tyder nye udenlandske undersøgelser på, at emissioner fra affaldshåndteringsanlæg til luft vil kunne bidrage betragteligt til den samlede masse af PFAS i miljøet. Dette er et emne, hvor PFAS-centret i foråret 2025 igangsætter et forskningsprojekt fokuseret på luftemissioner fra spildevandsrensningsanlæg og affaldsdeponier.

Som beskrevet i afsnit 3.2 blev det ved et forsknings- og vidensopbygningsprojekt i Videnstaskforcens regi i 2024 undersøgt om frugt er en væsentlig kilde til danskerne eksponering for PFAS. Analyserne godtgjorde, at de analyserede frugttyper næppe bidrager signifikant til danskernes samlede eksponering for de målte PFAS. Som ved andre målinger af specifikke PFAS viste målingerne i frugt, at der var en væsentlig mængde uidentificeret organisk fluor i prøverne – et forhold, der bør undersøges nærmere. På tilsvarende vis, er der behov for en fortsat kortlægning af forskellige fødekilders bidrag til befolkningens PFAS eksponering. På basis af internationale studier er det forventeligt, at fisk og skaldyr udgør væsentlige bidragsydere, men dette er ikke undersøgt systematisk under danske forhold. Videnstaskforcen har derfor foreslået handlemulighed *#8 Kortlægning af forekomst af PFAS i fisk og marine produkter,* som vil være oplagt for PFAS-centret at følge op på. Med hensyn til eksponering fra forbrugerprodukter er PFAS handlingsplanens forbud mod PFAS i beklædning og imprægneringsmidler til forbrugere et vigtigt skridt, da netop brugen af PFAS i tekstiler udgør en stor del af de samlede forbrug. I Videnstaskforcens handlemulighed *#9 Forbrugerprodukter og eksponering* foreslås et yderligere fokus på forbrugerprodukters betydning for eksponeringen samt en række tiltag, der vil kunne bidrage til at reducere denne.

For at kortlægge danskernes tidligere, nuværende og fremtidige eksponering for såvel tidligere anvendte PFAS som nyere erstatningsstoffer foreslår Videnstaskforcen, at der etableres en biomonitoreringsplan for befolkningens blodniveauerne af PFAS (*#10 En national fortløbende biomonitoreringsplan for blodniveauerne af PFAS*). Dette forslag ligger i direkte forlængelse af det forsknings- og vidensopbygningsprojekt, som Videnstaskforcen gennemførte i 2024, og som er beskrevet i afsnit 3.3. Udover at skaffe konkret viden om blodniveauerne, vil man kunne etablere referenceværdier til risikovurdering samt kunne følge trends over tid og belyse effekten af reguleringstiltag på den reelle PFAS eksponering.

I forlængelse af dette, vil Videnstaskforcen understrege, at miljøkvalitetskrav og grænseværdier spiller en afgørende rolle for håndteringen af PFAS i Danmark, hvor vi – set i et internationalt perspektiv – i nogle tilfælde har implementeret de laveste værdier. Grænseværdierne for fx overfladevand og forurenet jord er baseret på en beskyttelse af mennesker, herunder specielt børn og kvinder i den reproduktive alder. Baseret på den nuværende økotoksikologiske viden forventes mulige risici knyttet til effekter på økosystemer, dyr og planter at opstå ved væsentlig højere koncentrationer end dem, som er styrende for beskyttelse af bl.a. børn. I de seneste 25 år har ny viden ledt til en markant nedsættelse af det tolerable ugentlige indtag og til at flere PFAS omfattes af grænseværdierne. Det kan dog være en udfordring, at ændringerne i grænseværdierne for diverse matricer ikke nødvendigvis sker synkront, idet man fagligt set må formode, at den samme målgruppe (typisk gravide kvinder og deres børn) reagerer ens på PFAS eksponering uanset om kilden er drikkevand, fiskekonsum eller jord. I 2020 skærpede EFSA TWI (det tolerable ugentlige indtag) for PFAS hvilket blev reflekteret i nogle, men ikke alle grænseværdier – fx er datagrundlaget og baggrundsrapporten for jordkvalitetskriterierne for PFAS fra 2019 eller tidligere. Ingen grænseværdier er så vidt vides justeret ind efter det faktum, at PFOA i december 2023 af IARC blev kategoriseret som kræftfremkaldende og PFOS karakteriseret som muligt kræftfremkaldende. Det er uklart i hvilket omfang en sådan justering vil ske i fremtiden og om det yderligere vil rykke på grænseværdierne.

Videnstaskforcens forslag til handlemuligheder *#16 Human eksponering og toksikologi – de kortkædede PFAS* og *#17 Toksikologiske og økotoksikologiske effekter af PFAS til at understøtte fastsættelsen af grænseværdier* er rettet mod at udvikle redskaber til at farevurdere de mange PFAS, for hvilke vi mangler viden om deres toksikologiske egenskaber. I sidste ende er denne viden nødvendig for at kunne risikovurdere og senere fastsætte risikobaserede grænseværdier for de mange ukendte PFAS, herunder de kortkædede PFAS. Farevurderingen går hånd i hånd med eksponeringsanalyserne som i disse år bliver udviklede til at omfatte hele gruppen af PFAS og tilsammen forventes nye farevurderinger og eksponeringsmål at kunne forbedre og nuancere risikovurderinger af undergrupper af PFAS.

De fastsatte grænseværdier vil ofte være dimensionerende for de beslutninger og investeringer, der foretages i dag. Investeringer foretaget i dag kan derfor, hvis grænseværdierne ændres, vise sig utilstrækkelige i fremtiden. Der mangler i dag sammenhæng mellem grænseværdier for forskellige dele af miljøet og i mange konkrete tilfælde er det ikke givet, at de mest følsomme beskyttelsesmål (typisk kvinder i den reproduktive alder og deres ammende børn) reelt er udsat for en væsentlig eksponering gennem en given matrice, fx forurenet jord. Videnstaskforcen vurderer derfor, at der kan være et behov for at udvikle differentierede vejledende jordkvalitetskriterier, som er målrettet forskellige anvendelsesmuligheder og reflekterer mulige eksponeringsveje og beskyttelsesmål. I samme kontekst bør det fx overvejes, om andre supplerende metoder som fx udvaskningstest, kan tages i brug for at belyse risiko forbundet med beskyttelse af grundvand og overfladevand. I denne sammenhæng er det afgørende, at vurderingerne og grænseværdifastsættelsen tager højde for fremtidige realistiske eksponeringsscenarier, der kan være anderledes end de nuværende eksponeringer og transport af forurening. Fx vil øget nedbør kunne føre til øget udvaskning eller oversvømmelser, der kan remobilisere PFAS forurenet jord. Remobilisering vil også kunne ske i tilfælde af tørke og spredning af støv, eller ved genanvendelse af forurenet jord, vand og materialer.

Endelig konkluderer Videnstaskforcen, at det bør overvejes at revurdere de faglige grunde til at opretholde det nuværende overfladevands*kriterium* for PFAS24, da dette er baseret på lever- og ikke immunotoksicitet, ikke inkluderer væsentligt forekommende precursors, samt at overfladevand anvendes som drikkevand. En praksis, der ikke foregår i Danmark, hvor vi allerede har implementeret grundvands- og drikkevandskvalitets*krav*, der er baseret på PFAS4 og PFAS22.

Afslutningsvist mener Videnstaskforcen, at vi som samfund må finde en måde, hvorpå vi kan leve med at PFAS findes i miljøet, men det er afgørende, at vi finder måder, hvorpå vi kan leve *så sikkert som muligt* med forureningen og samtidig gør, hvad der er muligt for at *begrænse skaderne*. Som nævnt er det Videnstaskforcens opfordring, at fokus rettes mod massen af PFAS i cirkulation i samfundet samt risikohåndteringstiltag rettet mod begrænsning af befolkningens og miljøets eksponering til PFAS. Denne problemstilling er ikke unik for PFAS, men gælder også for andre miljøfarlige stoffer – dels "historiske" (fx PCB, vinylklorid, MTBE, TBT, kviksølv) og dels "nye" stoffer som dukker op i de mere avancerede analyser, vi har til rådighed i dag (fx pesticidnedbrydningsprodukter i grundvand og drikkevand). Fælles for disse stoffer er, at deres persistens i kombination med egenskaber som mobilitet, bioakkumulering og/eller toksicitet gør risikohåndtering nødvendig. Et andet fælles træk for mange af de "gamle stoffer" er, at vi ikke nødvendigvis har løst problemet med deres tilstedeværelse i miljøet, men vi har fået afskåret kilderne, mindsket massen i cirkulation i samfundet og har fundet måder, hvorpå vi kan tolerere deres tilstedeværelse i miljøet. Det er Videnstaskforcen håb, at vi kan finde lignende måder at håndtere risikoen ved PFAS, velvidende, at PFAS problemstillingen er mere kompleks end for de tidligere kendte miljøfarlige stoffer. Der forestår et langt sejt træk, hvor praktiske erfaringer og ny viden må følges ad for at finde målrettede tiltag, der giver størst beskyttelse mod tilstedeværelse af PFAS i Danmark.

7. REFERENCER

Albers, C.N. (2024). Diffus grundvandsforurening med trifluoreddikesyre (TFA). GEUS. Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelser. https://doi.org/10.22008/gpub/34725 https://doi.org/10.22008/gpub/34725

Albers, C.N. og Sültenfuss, J. (2024). A 60-Year Increase in the Ultrashort-Chain PFAS Trifluoroacetate and Its Suitability as a Tracer for Groundwater Age. Environmental Science & Technology Letters 11 (10), 1090-1095 DOI: 10.1021/acs.estlett.4c00525

Albertsen, J., Guldberg, A.N., Krag, A., Lassen, C., Dahl, F., Samuelsen, L. Hjelmar, O., Hyks, J., Raed Awad (2025). Håndtering af PFAS i deponeringsanlæg. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark. (udkast november 2024)

Aro R, Eriksson U, Kärrman A, Chen F, Wang T, Yeung LWY. 2021. Fluorine Mass Balance Analysis of Effluent and Sludge from Nordic Countries. *ACS ES&T Water* **2021** *1* (9), 2087-2096. DOI: 10.1021/acsestwater.1c00168

Baun, A., Bjerg, P.L., Jensen, J., Jensen, T.K., Lyngberg, A., Strobel, B.W., Vinggaard, A.M., Vorkamp, K., Trier, X. (2023) Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark – Del 1: Identifikation af videnshuller. Rapport fra Videnstaskforce for PFAS-forurening. https://mst.dk/media/y0uctupn/rapport-om-videnshuller-om-pfas-skrevet-af-pfas-videnstaskforce.pdf

Belga News Agency (2023). Flemish government approves PFAS action plan. https://www.belganewsagency.eu/flemish-government-approves-pfas-action-plan

Bil W, Zeilmaker M, Fragki S, Lijzen J, Verbruggen E, Bokkers B. 2021. Risk Assessment of Per- and Polyfluoroalkyl Substance Mixtures: A Relative Potency Factor Approach. Environmental Toxicology and Chemistry 40, Number 3, pp. 859–870, 2021.

Bossi, R., Vorkamp, K., & Skov, H. (2016). Concentrations of organochlorine pesticides, polybrominated diphenyl ethers and perfluorinated compounds in the atmosphere of North Greenland. Environmental Pollution, 217, 4-10. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.12.026

Brendel, S., Fetter, É., Staude, C. et al. Short-chain perfluoroalkyl acids: environmental concerns and a regulatory strategy under REACH. Environ Sci Eur 30, 9 (2018). https://doi.org/10.1186/s12302-018-0134-4

Bundesministerium (2024). PFAS-Aktionsplan. Maßnahmen zur Reduktion der Belastung von Mensch und Umwelt durch per- und polyfluorierte Alkylsubstanzen (PFAS) in Österreich. https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:c161255b-b8c7-4122-b9e9-268f4b63e66b/PFAS-Aktionsplan_Fassung_2024_UA.pdf (in german)

Clausen L., Thomsen, A.H., Skrbic, N., Jensen, C.M., Overheu, N.D., Fischer, L.M., Christensen, J.E., Albrechtsen, H.J. (2024), AFSMITNING AF MILJØFREMMEDE STOFFER FRA AKTIVT KUL OG IONBYTTERRESINER SAMT TEST FOR TILSTEDEVÆRELSE AF OG RENSNING FOR +50 PFAS STOFFER (PFAS-RENS GRAD) VUDP-FORENINGEN PROJEKTRAPPORT. Projekt ID: 2023.45

D'eon, J. C.; Mabury, S. A (2011). Is indirect exposure a significant contributor to the burden of perfluorinated acids observed in humans?. *Environ. Sci. Technol. 45* (19), 7974– 7984, DOI: 10.1021/es200171y

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, København, Danmark. https://www.eea.europa.eu/publications/late-lessons-2

EEA/ETC/ WMGE (2021). Fluorinated polymers in a low carbon, circular and toxic-free economy. Technical report. http://youthstudies.co/pdf/eea%20task%20on%20fluoropolymers_full%20report_december%2014%202021%20(1).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.2020.6223https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223
Europa Kommissionen (EC) (2024). Standing Committee on Plants, Animals, Food and Feed Section Phytopharmaceuticals - Legislation 4 - 5 December 2024. https://food.ec.europa.eu/document/download/968dd1ff-e95f-420a-a669-8200bd5a08db_en?filename=sc_phyto_20241204002_ppl_agenda.pdf

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

Gehrmann, H.J., T. Philip, K. Aleksandrov, P. Bergdolt, A. Bologa, D. Blye, P. Dalal, P. Gunasekar, S. Herremanns, D. Kapoor, M. Michell, V. Nuredin, M. Schlipf, D. Stapf (2024). Mineralization of fluoropolymers from combustion in a pilot plant under representative european municipal and hazardous waste combustor conditions Chemosphere, 365 (2024), Article 143403, 10.1016/j.chemosphere.2024.143403

Giesy JP & Kannan K. (2001) Global distribution of perfluorooctane sulfonate in wildlife. Environ Sci Technol. 2001;35(7):1339-42. doi: 10.1021/es001834k. PMID: 11348064.

Geertinger, A., Jensen, A.A. (2023). Litteraturstudie om PFAS i forbrændingsanlæg. Miljøprojekt nr. 2246. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark.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

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

Henriksen, A., Lenschow, S.R. (2024) "Kan PFAS virkelig spredes fra havet til grundvand ?". Fremlæggelse på ATV Jord & Grundvand Vintermøde 5. marts 2024.

Fauser, P.; Zhu, L.; Bossi, R.; Vorkamp, K. (2024): Contribution of different exposure pathways to the total human exposure to PFAS. Projektrapporten for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Flanders (2022). PRESS RELEASE. PFAS COMMISSIONER CONCLUDES CRISIS WITH 50 CONCRETE ACTIONS IN NEW PFAS ACTION PLAN. https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1671185047/Press_release_PFAS_-_Final_Report_-_16.12.2022_otqvn2.pdf

Jensen, J., Strobel, B., Trier, X. (2024): PFAS i restprodukter til landbrugsmæssig anvendelse. Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Jensen, J. Fauser, P. (2024). Differentierede aktionsværdier i jord. Aktionsværdier for PFAS i jord. Miljøprojekt 2276. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark.

Joerss, H.; Freeling, F.; van Leeuwen, S.; Hollender, J.; Liu, X.;Nödler, K.; Wang, Z.; Yu, B.; Zahn, D.; Sigmund, G. (2024). Pesticides can be a substantial source of trifluoroacetate (TFA) to water resources. Environ. Int. 193, 109061.

Johnsen, A.R., Henriksen, T., Albers C.N. (2024). TriFluPest Trifluoreddikesyre (TFA) fra pesticider. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/12/978-87-7038-688-3.pdfhttps://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/12/978-87-7038-688-3.pdf

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. (2020) Scientific Basis for Managing PFAS as a Chemical Class. Environ Sci Technol Lett. 11;7(8):532-543. https://doihttps://doi: 10.1021/acs.estlett.0c00255

Lassen, C., Maag, J., Krag, A., Dau, M.S. (2024). Massestrømsanalyse for PFAS i Danmark. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark https://mim.dk/media/ae3o5ayj/substance-flow-analysis-of-pfas-20-feb.pdfhttps://mim.dk/media/ae3o5ayj/substance-flow-analysis-of-pfas-20-feb.pdf

Lin, A.M., Thompson, J.T., Koelmel, J.P., Liu, Y., Bowden, J.A., Townsend, T.G. 2024. Landfill Gas: A major Pathway for Neutral Per- and Polyfluoroalkyl Substance (PFAS) Release. Environ. Sci. Technol. Lett. 11, 730-737

Lohmann, R., Abass, K., Bonefeld-Jørgensen, E.C., Bossi, R., Dietz, R., Ferguson, S., Fernie, K.J., Grandjean, P., Herzke, D., Houde, M., Lemire, M., Letcher, R.J., Muir, D., De Silva, A.O., Ostertag, S.K., Rand, A.A., Søndergaard, J., Sonne, C., Sunderland, E.M., Vorkamp, K., Wilson, S., Weihe, P., (2024). Cross-cutting studies of per- and polyfluorinated alkyl substances (PFAS) in Arctic wildlife and humans. Sci.Total Environ., 176274

Lykkebo et al. 2024. Diet rich in soluble dietary fibres increases excretion of perfluorooctane sulfonic acid (PFOS) in male Sprague-Dawley rats. Food Chem.Toxicol. 193, 115041 https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.115041

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-miljoeindsatsenhttps://mst.dk/erhverv/groen-produktion-og-affald/industri/olie-og-gasproduktion-i-nordsoeen-oversigt-over-miljoeindsatsen

Miljøstyrelsen (2024). Kvalitetskriterier (grænseværdier). Miljøstyrelsen, Odense, Danmark https://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/kemikalier/graensevaerdier-og-kvalitetskriterierhttps://mst.dk/erhverv/sikker-kemi/kemikalier/graensevaerdier-og-kvalitetskriterier

Ministry of Ecology (2023). Plan d'actions ministériel sur les PFAS. https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/22261_Plan-PFAS.pdf

Morsing, L.; Tsitonaki, K.; Dyreborg, S.; Mosthaf, K.; Fjordbøge, A. S.; Hjorth, R.; Jensen, B.; Baun, A.; Bjerg, P. L. (2024): Konceptuel model for transport og skæbne af PFAS ved forurenede grunde, Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS- forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Neuwald, I. J.; Hübner, D.; Wiegand, H. L.; Valkov, V.; Borchers, U.; Nödler, K.; Scheurer, M.; Hale, S. E.; Arp, H. P. H.; Zahn, D. (2022). Ultra-Short-Chain PFASs in the Sources of German Drinking Water: Prevalent, Overlooked, Difficult to Remove, and Unregulated. Environ. Sci. Technol. 56 (10), 6380– 6390, DOI: 10.1021/acs.est.1c07949

Nielsen, A. F., Baun A., Andersen S. I., Skjolding L. M. (2022), Critical review of the OSPAR risk-based approach for offshore-produced water discharges, Integrated Environmental Assessment and Management, 19, 5, 1172-1187. https://doi.org/10.1002/ieam.4715

Niklas, A. A.; Geertsen, G.; Mueller, V.; Feldmann, J.; Olesen, P. T.; Vinggaard, A. M.; Sloth, J. J. (2024): PFAS i frugt. Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Raun-Petersen, C.; Rausgaard, N. L. K.; Vorkamp, K.; Lyngberg, A. C; Jensen, T. K. (2024): Forslag til plan for biomonitorering for PFAS i den danske befolkning - Forslag til national handleplan for fortløbende systematisk biomonitorering af danskernes blodniveauer af PFAS. Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Rensmo, A.; Savvidou, E. K.; Cousins, I. T.; Hu, X.; Schellenberger, S.; Benskin, J. P. Lithium-ion battery recycling: a source of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) to the environment? Environ. Sci.: Processes Impacts 2023, 25, 1015. https://doi.org/10.1039/D2EM00511E

Reinikainen J, Bouhoulle E, Sorvari J. Inconsistencies in the EU regulatory risk assessment of PFAS call for readjustment. Environ Int. 2024 Apr;186:108614. doi: 10.1016/j.envint.2024.108614. Epub 2024 Mar 29. PMID: 38583295.

Perez et al. Accumulation of perfluoroalkyl substances in human tissues. Environ. Int. 59 (2013) 354 https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.06.004)

Schrenk D, Bignami M, Bodin L, Chipman JK, del Mazo J, Grasl-Kraupp B, Hogstrand C, Hoogenboom L, Leblanc J-C, Nebbia CS, Nielsen E, Ntzani E, Petersen A, Sand S, Vleminckx C, Wallace H, Barregaard L, Ceccatelli S, Cravedi J-P, Halldorsson TI, Haug LS, Johansson N, Knutsen HK, Rose M, Roudot A-C, Van Loveren H, Vollmer G, Mackay K, Riolo F and Schwerdtle T. Risk to human health related to the presence ofperfluoroalkyl substances in food. EFSA Journal 2020;18(9):6223. https://doi.org/10.2903/j.efsa.2020.6223

Salindres 2021. ETUDE D'IMPACT / PROJET FORCE. RHODIA OPERATIONS – SALINDRES (30). https://www.documentcloud.org/documents/24402979-20120731-etude-dimpact-projet-force-4-ei-10-08-2012/https://www.documentcloud.org/documents/24402979-20120731-etude-dimpact-projet-force-4-ei-10-08-2012/

Skjolding, L.M. & Baun, A. (2025) PFAS, solceller, grundvand og arealanvendelse. Vand & Jord, 1:2025; 38-41.

Smith, K.H., Tsitonaki, K. (2024). PFAS i jord - International screening af andre landes praksis for håndtering af jord med PFAS. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/05/978-87-7038-617-3.pdfhttps://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/05/978-87-7038-617-3.pdf

Strobel, B. W.; Jakobsen, C.; Trier, X.; Abrahamsen, P.; Holbak, Maja; Jensen, John. (2024): Diffus forurening og i forvejen forekommende niveauer af PFAS i danske jorde. Projektrapport for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Sun et al. Global ocean contamination of per- and polyfluoroalkyl substances: A review of seabird exposure. Chemosphere 330, 138721, 2023. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138721

The Brussels Times (2022). No eating eggs from hens 'in the whole of Flanders' due to PFAS contamination. https://www.brusselstimes.com/205120/no-eating-eggs-from-hens-in-the-whole-of-flanders-due-to-pfas-contamination-from-3m-factory

Thomsen, C.N., Midtiby, R.G., Qvist S. (2024). Undersøgelse af PFAS i byggeaffald Revideret udgave. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark. https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/02/978-87-7038-593-0.pdfhttps://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2024/02/978-87-7038-593-0.pdf

Thomsen, N., Sukstorf, F.N. (2024). Diffus forurening med PFAS i jord, grundvand og overfladevand. Litteraturstudie. Miljøprojekt nr. 2275, Miljøstyrelsen.

Thorling, L., Albers, C.N., Ditlefsen, D., Hansen, B., Johnsen, A.R., Kazmierczak, J., Mortensen, M.H. & Troldborg, L., (2024) Grundvand. Status og udvikling 1989–2022. Teknisk rapport, GEUS.

Trier X, van-Leeuwen SPJ, Brambilla G, Weber R, Webster TF. (2025). The critical role of commercial analytical reference standards in the control of chemical risks: the case of PFAS and ways forward. Environ Health Perspect 133(1):015001, https://doi.org/10.1289/EHP12331

UBA (2020). PFAS, Came to stay'. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/2546/publikationen/200922_uba_sp_1-2020_eng-web_0.pdf

USEPA (2021). PFAS Strategic Roadmap: EPA's Commitments to Action 2021-2024. https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-10/pfas-roadmap_final-508.pdf

USEPA (2024). Interim Guidance on the Destruction and Disposal of Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances and Materials Containing Perfluoroalkyl and Polyfluoroalkyl Substances—Version 2. United States Environmental Protection Agency. https://www.epa.gov/pfas/interim-guidance-destruction-and-disposal-pfas-and-materials-containing-pfas

Vorkamp, K.; Guedes, P.; Trier, X.; Bossi, R. (2024): Further development of analytical methods for PFAS monitoring of environmental, food and human samples. Projektrapporten for Videnstaskforcen for PFAS-forurening. Miljøstyrelsen, Odense, Danmark

Vranken, Karl. (2022). EXECUTIVE SUMMARY. FINAL REPORT. CLOSING THE CIRCLE? https://assets.vlaanderen.be/image/upload/v1671180849/PFAS_-_Final_report_-_Executive_summary_EN_-_16.12.2022_q67elq.pdf

8. BILAG

8.1 Bilag 1. Metode til identifikation af handlemuligheder

Den overordnede sigtelinje for identifikation og udvælgelse af handlemuligheder har været betydningen af områdets bidrag til en reduktion af menneskers og miljøet eksponering for PFAS på kort og langt sigt i henhold til de videnshuller, som Videnstaskforcen identificerede i 2023. Desuden blev hensynet til, hvordan de konkrete handlemuligheder relaterer sig til den nationale handlingsplan inddraget i udvælgelse og prioritering.

Ligesom for de identificerede videnshuller i del 1 (Baun et al., 2023) er forslag til handlemuligheder 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
- Socioøkonomisk analyse

Inden for disse kategorier blev specifikke videnshuller identificeret, og 12 projektforslag til at adressere disse blev fremsat i del 1 af Videnstaskforcens rapport (Baun et al., 2023), hvor af de 7 forsknings- og vidensopbygningsprojekter beskrevet i kapitel 3 blev afsluttet i 2024. Resultaterne og opfølgningen på disse projekter dannede grundlag for en række af de foreslåede handlemuligheder i kapitel 5. Derudover genbesøgtes øvrige videnshuller samt de større tværgående emner, som ikke, eller kun i mindre grad, blev inddraget i del 1 af Videnstaskforcens rapport (Bilag 3 i Baun et al., 2023).

Det skal understreges, at det i projektperioden september 2023-november 2024 ikke har været muligt for Videnstaskforcen at få kortlagt *samtlige* eksisterende og igangsatte initiativer på PFAS-området af private og offentlige aktører i Danmark (se i øvrigt "Handlemulighed #1 Vidensdeling" i kapitel 5.1). Hvor viden om danske projekter, udredninger, analyser og rapporter har været tilgængelig, er den viden inddraget i prioriteringer af områder, for hvilke Videnstaskforcen har vurderet at kunne bidrage med konkrete handlemuligheder. I denne udvælgelse har der gennem 2024 været dialog med forskellig danske og internationale netværk samt interessenter herunder følgegruppen. Endelig er alle forslag til handlemuligheder prioriteret i henhold til deres bidrag til vidensopbygning og håndtering af PFAS-forureningen i Danmark.

Videnstaskforcen anvendte yderligere de spørgsmål, som er vist i tabel 8.1, til den endelige udvælgelse af emner, som enten er behandlet i kapitel 4 som tværgående emner, der er vigtige i håndteringen af PFAS situationen, eller som indgår kataloget over forslag til handlemuligheder i kapitel 5. Spørgsmålene er anvendt vejledende og ikke i et egentlig scoringssystem. Derfor vil nogle af de prioriterede forslag til handlemuligheder i kapitel 5 adressere flere af spørgsmålene i tabel 8.1 og andre kun enkelte af spørgsmålene.

Tabel 8.1 Oversigt over spørgsmål anvendt af Videnstaskforcen for at identificere og prioritere handlemuligheder.

Spørgsmål	Forklaring
Er det betydende for reduktion af mængden/forekomsten i miljø eller produkter?	Handlinger inden for emnet vil kunne føre til en direkte reduktion i massen af PFAS i cirkulation i samfundet eller være en forudsætning for at kunne prioritere indsatser, der vil kunne resultere i den største reduktion.
Er det betydende for reduktionen af danskernes og miljøets eksponering på kort og langt sigt?	Inden for emnet kan der identificeres tiltag der direkte eller indirekte kan nedbringe eksponeringen over for PFAS
Muliggør handlingen en differentiering af risikohåndtering	Inden for emnet vil fx overvejelser om hvem der skal beskyttes og eksponeringsveje kunne lede til en differentieret håndtering rettet mod mindsket uacceptabel PFAS eksponering
Er der proportionalitet mellem indsatsens omfang og det forventede udkom	Kan indsatsens omfang (økonomisk, teknisk, bæredygtighedsmæssigt mv.) retfærdiggøres ved at den opnåede effekt bidrager væsentligt til at nedbringe eksponeringen til PFAS
Bidrager indsatsen til en bedre risikokommunikation	Åben og transparent risikokommunikation er særligt nødvendig for PFAS forurening på grund af allerede forekommende koncentrationer, forhøjede koncentrationer samt PFAS' iboende egenskaber.
Er området i forvejen dækket af myndighedernes indsats?	Hvis emnet helt eller delvist er omfattet af et myndighedsansvar og derfor inkluderet i fx overvågningsprogrammer kan emnet være nedprioriteret i forhold til Videnstaskforcens opgave.
Flugter emnet med den nationale handlingsplan 2024-2027?	For myndighedernes handlemuligheder vil det være betydende, at der er en vis overensstemmelse mellem handlingsplanen og den foreslåede handlemulighed.
Er emnet prioriteret af følgegruppen/interessenter?	Emner foreslået af følgegruppen er blevet inddraget i Videnstaskforcens udvælgelse af forslag til handlemuligheder

8.2 Bilag 2. Forkortelsesliste for PFAS

<table>
<tr><th colspan="2">Perfluoroalkylsyrer (PFAA)</th><th rowspan="2">Sulfonamider (FASA)</th></tr>
<tr><th>Sulfonsyrer (PFSA)</th><th>Carboxylsyrer (PFCA)</th></tr>
<tr><td>PFBS
(perfluorbutansulfonsyre)

PFPeS
(perfluorpentansulfonsyre)

PFHxS
(perfluorhexansulfonsyre)

PFHpS
(perfluorheptansulfonsyre)

PFOS
(perfluoroctansulfonsyre)

PFNS
(perfluornonansulfonsyre)

PFDS
(perfluordecansulfonsyre)

PFUnDS
(perfluorundecansulfonsyre)

PFDoDS
(perfluordodecansulfonsyre)

PFTrDS
(perfluortridecansulfonsyre)</td><td>TFA
(trifluoreddikesyre)

PFPrA

(perfluorpropionsyre)

PFBA
(perfluorbutansyre)

PFPeA
(perfluorpentansyre)

PFHxA
(perfluorhexansyre)

PFHpA
(perfluorheptansyre)

PFOA
(perfluoroctansyre)

PFNA
(perfluornonansyre)

PFDA
(perfluordecansyre)

PFUnDA
(perfluorundecansyre)

PFDoDA
(perfluordodecansyre)

PFTrDA
(perfluortridecansyre)

ADONA
(4,8-dioxa-3H-perfluornonansyre)

PFTeDA
(Perfluortetradecansyre)

HFPO-DA
(GenX)</td><td>PFOSA
(perfluoroctansulfonamid)

FASA
(perfluoroalkyl sulfonamide)

Me-FOSE
(Methyl perfluoroktansulfonamidoet-hanol)

FOSAA
(perfluoroktane sulfonamidoeddike syre)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><th>Telomere</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>6:2 FTS
(6:2 fluortelomersulfonsyre)

FTAB
(fluorotelomer sulfonamidoalkyl betaine)

6:2 FTOH
(6:2 Fluorotelomer alkohol)

8:2 FTOH
(8:2 Fluorotelomer alkohol)

FTOH
(fluorotelomer alkohol)

FTSH
(fluorotelomer thioler)

FTMAP
(fluorotelomer mercaptoalkyl fosfone-sterer)</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><th>Ethere</th></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>PFESAs
(polyfluoroalkylether sulfonsyrer)

PFECAs
(polyfluoroalkylether carboxylsyrer)</td></tr>
<tr><th colspan="2">Polymere</th><th>Fosforholdige</th></tr>
<tr><td colspan="2">PFPEs
(per- og polyflourerede polyethere)

PTFE
(polytetrafluorethylen)

PVDF
(polyvinylidendifluorid)</td><td>PAP
(Polyfluoralkyl fosfat ester)

diPAP
(polyfluoralkyl fosforsyrediestere)</td></tr>
</table>

Begrænsning af menneskers og miljøets eksponering for PFAS i Danmark

Del 2: Forslag til handlemuligheder for vidensopbygning og håndtering

2025

Videnstaskforcen for PFAS