



PFAS i beredskaberne og Forsvaret

Eksposering for per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) i arbejdsmiljøet

Incidens af kræft blandt brandfolk

Indholdsfortegnelse

Resumé	3
Bidragydere	5
1. Introduktion	6
1.1 Baggrundviden	6
1.2 Formål	9
1.3 Organisering af indsatsberedskabet	9
2. Undersøgelse af PFAS.....	10
2.1 Metode	10
2.1.1 Studiedesign	10
2.1.2 Kortlægning af kilder til eksponering.....	10
2.1.3 Rekruttering af deltagere.....	12
2.1.4 Blodprøvetagning	15
2.1.5 Analyse af PFAS	16
2.1.6 Spørgeskema.....	16
2.1.7 Statistiske analyser	16
2.1.8 Etik.....	18
2.2 Resultater	18
2.2.1 Kohorte karakteristika.....	18
2.2.2 Serum koncentrationer af PFAS	19
2.2.3 Regressionsanalyser	19
2.3 Diskussion	26
2.2.3 Styrker og begrænsninger	27
3. Undersøgelse af kræft	28
3.1 Metode	28

3.1.1	Studiedesign.....	28
3.1.2	EPIBRAND kohorten	28
3.1.3	Studiepopulation	28
3.1.4	Eksponering.....	29
3.1.5	Referencegruppe	29
3.1.6	Vitalstatus og cancer	29
3.1.7	Statistiske analyser.....	30
3.2	Resultater	30
3.3	Diskussion	33
3.3.1	Styrker og begrænsninger	33
4.	Referencer	34

Version: 1
 Udformet af: Kajsa Ugelvig Petersen

Senest opdateret: 23.08.2024

Resumé

Per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS) indgår i moderne brandbekæmpelse. Høje koncentrationer af PFAS er især blevet brugt i filmdannende syntetisk brandskum, men også branddragter og andet personligt beskyttelsesudstyr kan indeholde PFAS. Endelig kan brandrøg og -støv indeholde PFAS. Tidligere internationale eksponeringsstudier har dokumenteret højere koncentrationer af PFAS i blodet hos forskellige typer af brandfolk, men eksponering i arbejdsmiljøet i Danmark er ikke belyst. Arbejdseksponeringer hos brandfolk blev i 2022 vurderet af det Internationale Agentur for Kræftforskning (IARC), som fandt tilstrækkelig evidens for kræftfremkaldende effekter.

Formålene med dette projekt var følgende:

- 1) at undersøge serum koncentrationer af non-polymere PFAS blandt forskellige typer af nuværende og tidligere brandfolk fra både beredskaberne og Forsvaret i relation til referencemålinger fra baggrundsbefolkningen i Danmark.
- 2) at vurdere potentielle faktorer med betydning for serum koncentrationer af PFAS i og uden for arbejdsmiljøet.
- 3) at vurdere incidensen af kræft blandt danske brandfolk ved hjælp af en opdateret og udvidet registerundersøgelse.

Undersøgelse af PFAS

Indledningsvist blev kilder til eksponering for PFAS i beredskaberne og Forsvaret kortlagt ved hjælp af information fra eksisterende rapporter, videnskabelige artikler og arbejdssteder. Med udgangspunkt i denne kortlægning blev beredskaber og enheder i Forsvaret udvalgt til at indgå i et tværsnitsstudie med rekruttering af deltagere blandt nuværende og tidligere ansatte og frivillige. I alt 27 kommunale brandstationer og -øvelsespladser, tre beredskabscentre, to civile lufthavnsbrandstationer, tre flyvestationer og to flådestationer indgik i undersøgelsen med repræsentation af alle fem regioner i Danmark.

I perioden fra september 2023 til januar 2024 blev 1525 ansatte og frivillige inviteret til at deltage i undersøgelsen. Heraf deltog 429 mænd (deltagelse 28%) og fik taget blodprøver med efterfølgende analyser af indhold af 15 forskellige PFAS. Deltagere blev desuden anmodet om at besvare et elektronisk spørgeskema.

Deltagernes mediankoncentrationer var 5,09 ng/mL for total perfluoroktansulfonsyre (PFOS), 1,02 ng/mL for perfluoroktansyre (PFOA), 0,76 ng/mL for perfluorhexansulfonsyre (PFHxS), 0,43 ng/mL for perfluornonansyre (PFNA) og 0,19 ng/mL for perfluorheptansulfonsyre (PFHpS) i serum. For perfluordekansyre (PFDA) og perfluorundekansyre (PFUnDA) var koncentrationerne i serum generelt lave og forskelle små. Koncentrationer af de øvrige målte PFAS var under detektionsgrænsen hos langt størstedelen af deltagerne. Koncentrationer af PFAS i serum blandt deltagere var overordnet på niveau med

nylige danske målinger blandt mænd fra baggrundsbefolkningen. Deltagere fra civile luft-havnsberedskaber havde dog højere serum koncentrationer af særligt PFHxS, PFHpS og PFOS. Disse fund skyldes med stor sandsynlighed tidligere eksponering for PFAS i arbejdsmiljøet i forbindelse med brug af brandskum.

De væsentligste faktorer med betydning for deltagernes serum koncentrationer af PFAS var primær arbejdsseksponeringsgruppe og ansættelsestype, alder, body mass indeks, antal bloddonationer og indtag af æg.

Undersøgelse af kræft

Undersøgelsen blev udført som et registerstudie med fokus på incidens af udvalgte kræftformer i den historiske EPIBRAND kohorte. Studiepopulationen omfattede 11.827 mandlige brandfolk fra hele Danmark med tilgængelig ansættelseshistorik. En stikprøve af 418.161 lønmodtagere udgjorde en ekstern referencegruppe. Oplysninger om vitalstatus og kræftdiagnoser blev indhentet fra henholdsvis det Centrale Personregister og Cancerregisteret. Opfølgning af kohorten startede 2. april 1968 og sluttede 31. december 2021.

Brandfolkene i kohorten fik i løbet af opfølgningsperioden 1732 kræftdiagnoser. Der blev konsistent fundet højere risiko for malignt melanom blandt brandfolkene. Enkelte analyser viste også højere risiko for prostata-, testikel- og blærekræft, men her var resultaterne mere usikre. For tyktarmskræft, mesotheliom og non-Hodgkin lymfom var der derimod ikke holdepunkter for højere risiko i kohorten.

Bidragydere

Arbejdsgruppe

En arbejdsgruppe af forskere med ekspertviden om PFAS og arbejdsmiljøeksponeringer særligt i forbindelse med brandbekæmpelse varetog projektarbejdet.

Medvirkende institutioner og forskere:

Arbejds- og Miljømedicinsk Afdeling, Bispebjerg og Frederiksberg Hospital

Kajsa Ugelvig Petersen; Projektleder, postdoc og læge

Regitze Sølling Wills; Postdoc og læge

Dorthe Furstrand Lauritzen; Postdoc og læge

Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

Ulla Vogel, Professor

Anne Thoustrup Saber, Seniorforsker

Maria Helena Guerra Andersen, Postdoc

Det Sundhedsvidenskabelige Fakultet, Syddansk Universitet

Tina Kold Jensen, Professor og læge

Center for Kræftforskning, Kræftens Bekæmpelse

Johnni Hansen, Seniorforsker

Julie Elbæk Pedersen, Postdoc

Dansk Selskab for Arbejds- og Miljømedicin

Niels Erik Ebbenhøj, Dr. Med og Overlæge

Arbejdsgruppens forskere havde ingen interessekonflikter.

Følgegruppe

Projektgruppen havde løbende kontakt til en følgegruppe bestående af repræsentanter fra myndigheder, faglige organisationer og arbejdsgivere hos beredskaberne og Forsvaret. Denne kontakt sikrede gensidig vidensdeling undervejs i projektet og formidlede desuden samarbejdsrelationer i forhold til konkrete arbejdspladser, som kunne inddrages i projektet.

Følgegruppen omfattede repræsentanter fra:

Forsvarsministeriets Personalestyrelse

Beredskabsstyrelsen

Centralforeningen for Stampersonel

Arbejdstilsynet

Hovedstadens Beredskab

Trekantbrand

FOA

3F

Danske Beredskaber

Det Offentlige Beredskabs Landsforbund

Falck Danmark A/S

Landsklubben for Deltidsansatte Brandfolk

Brandfolkenes Organisation

Brandfolkenes Cancerforening

Finansiering

Projektet blev finansieret af Sundhedsstyrelsen.

1. Introduktion

1.1 Baggrundsviden

De såkaldte evighedskemikalier, per- og polyfluoralkylstoffer (PFAS), er efterhånden blevet almenkendt i Danmark. PFAS er en samlebetegnelse for over 9000 kemiske forbindelser med fluor-kulstofbindinger som fælles, svært nedbrydelig grundstruktur¹. Efter årtiers intensiv anvendelse i industri- og forbrugsprodukter kan PFAS nu detekteres globalt i vores omgivende miljø. I den brede befolkning er udsættelse for PFAS nærmest uundgåelig, og de vigtigste kilder er her fødevarer og drikkevand.

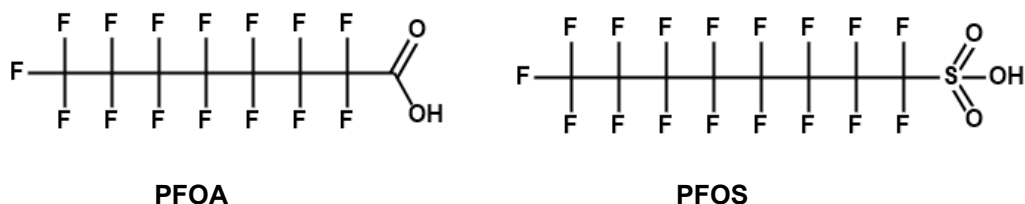
PFAS i arbejdsmiljøet

PFAS er menneskeskabte og fremstilles industrielt uden for Danmarks grænser. Med afsæt i stoffernes bemærkelsesværdige stabilitet og overfladeaktive egenskaber importeres tonsvis af PFAS årligt af en række brancher herhjemme². PFAS indgår således i vores kemiske arbejdsmiljø som led i enten produktfremstilling, produktanvendelse eller efterfølgende affalds- og forureningshåndtering.

Fluorholdige polymerer udgør størstedelen af den samlede mængde PFAS, som anvendes i Danmark. Fluorpolymeren polytetrafluorethylen (PTFE) anvendes under kendte varemærker som Teflon® og Gore-Tex®. Fluorpolymerer er makromolekyler, som består af mange ens, mindre byggesten (monomerer). Fluorpolymerer er med baggrund i deres høje molekylvægt og få reaktive grupper ofte biologisk inerte og bioakkumuleres ikke³.

Den resterende anvendelse af PFAS omfatter non-polymere forbindelser med varierende fluor-kulstofkædelængder. Non-polymere PFAS ophobes i særlig grad hos mennesker, der

har de længste halveringstider for udskillelse af alle undersøgte arter; 3-5 år for perfluoroktansyre (PFOA) og perfluoroktansulfonsyre (PFOS)^{4,5}.



Figur 1 Strukturformel for perfluoroktansyre (PFOA) og perfluoroktansulfonsyre (PFOS).

Indenfor EU er Stockholmkonventionen for persistente organiske miljøgifte og REACH-forordningens kandidatliste for *Substances of very high concern* (SVHC) siden 2009 gradvist blevet udvidet med restriktioner på anvendelsen af flere langkædede PFAS non-polymerer⁶. Disse restriktioner har medført en omstilling i anvendelsen af PFAS, så denne nu i højere grad tæller kortkædede forbindelser (fluor-kulstofkædelængde ≤ 7 for carboxylsyrer og fluor-kulstofkædelængde ≤ 5 for sulfonsyrer)^{7,8}. Herudover anvendes en del PFAS, som kan nedbrydes til traditionelle lang- eller kortkædede forbindelser (såkaldte precursors) og hermed indirekte bidrage til eksponering².

Eksponeringsveje for PFAS i arbejdsmiljøet omfatter optag gennem huden og inhalation⁹⁻¹¹. Ved inhalation kan partikler afhængigt af størrelse fanges af slimhinder og efterfølgende synkes eller følge luftstrømmen og nå de nedre luftveje. Konkrete arbejdsforhold er afgørende for omfanget af eksponering blandt ansatte. Tidligere undersøgelser dækker kun ganske få brancher med påvisning af højere eksponering for flere non-polymerer blandt ansatte ved PFAS-produktionsanlæg, ansatte med forkromningsarbejde i metalindustrien, skivoks teknikere, gartneriarbejdere og brandfolk¹²⁻¹⁴. En stor del af de tidligere undersøgelser af PFAS i arbejdsmiljøet omhandler eksponeringer hos netop brandfolk^{11,15-30}.

PFAS ved brandbekæmpelse

Med en kombination af brandresistente og vandskyende egenskaber har PFAS længe tjent som vigtige komponenter i både personligt beskyttelsesudstyr og brandskum¹⁰. Høje koncentrationer af PFAS er særligt blevet brugt i filmdannende syntetisk brandskum beregnet til slukning af ild i brandbare væsker (Klasse B brande)³¹. I begyndelsen af 1960'erne udviklede og patenterede den amerikanske flåde i samarbejde med industrivirksomheden 3M AFFF (aqueous film-forming foam)-skumvæske³². Til klasse B brande i polære opløsninger udviklede man desuden tilføjelsen af AR-AFFF-skumvæske (alcohol resistant AFFF). Sideløbende påbegyndtes produktionen af fluorprotein (film-forming fluoro-protein, FFFP) skum. Fra 1970'erne blev anvendelsen af brandskum med PFAS gradvist udvidet til også at kunne indgå i civil brandslukning. Globalt set har den militære anvendelse af AFFF dog med længder oversteget brug i civile sammenhænge^{33,34}.

I Danmark er anvendelsen af brandskum med PFAS formentlig startet sideløbende med udviklingen internationalt, men egentlig dokumentation for dette foreligger ikke. I 2006 påbegyndte man udfasningen af brandskum indeholdende PFOS, men lagre af dette måtte anvendes frem til et endeligt forbud trådte i kraft i juni 2011³¹. PFOA har siden 2020 været under udfasning i brandskum i Danmark, men her må restanvendelsen fortsætte indtil 2025³¹. Brandskum baseret på C6-kemi (PFAS med fluor-kulstofkædelængde 6, typisk PFHxS) anvendes på nuværende tidspunkt stadig en del steder.

PFAS indgår i moderne branddragter samt tekstildele i brandhætter, -handsker og -støvler. PFAS findes potentielt i alle lag af branddragter og udover indhold sikret ved produktionen af dragterne kan imprægnering løbende tilføjes under vask^{35,36}. PFAS kan frigives fra branddragter og øvrige tekstiler i forbindelse med almindelig slitage, vask, UV-påvirkning og intens varme.

Brandrøg og -støv kan indeholde PFAS og således udgøre en mindre forudsigelig kilde til eksponering²⁹. I det omfang materiale (bygningssdele eller indbo) indeholdende PFAS brænder, vil disse stoffer kunne frigives og ved højere temperaturer også nedbrydes.

Eksponering kan forekomme i forbindelse med både indsatser, træningsøvelser og arbejdsaktivitet særligt i risikozoner (zoner til rensning og opbevaring af udstyr) på arbejdsstedet.

I tidligere internationale studier af eksponeringer hos brandfolk har man fundet slående forskelle i blodkoncentrationer af PFAS^{11,15-30,37}. For PFOS og perfluorhexansulfonsyre (PFHxS) spænder de målte koncentrationer således fra at være under detektionsgrænsen til henholdsvis 1800 ng/mL og 470 ng/mL i serum²¹. De målte eksponeringskontraster afspejler formentlig store forskelle i brug af brandskum og øvrige arbejdsforhold.

På trods af den omfattende militære anvendelse af AFFF fokuserer langt størstedelen af de eksisterende studier udelukkende på eksponering for PFAS blandt kommunale brandfolk.

Eksponeringer ved brandbekæmpelse og kræft

Kemiske eksponeringer ved brandbekæmpelse omfatter langt mere end blot PFAS. Eksponeringskilder som brandrøg og -støv, industri- og bygningskomponenter, udstødningsgasser og slukningsmidler kan således indeholde tusindvis af forskellige kemiske forbindelser³⁸. Herudover udsættes brandfolk for en række ikke-kemiske påvirkninger i form af natarbejde, stress, fysiske belastninger, intens varme og støj^{38,39}.

I 2022 reevaluerede det Internationale Agentur for Kræftforskning (IARC) under Verdenssundhedsorganisationen (WHO) kræft hos brandfolk⁴⁰. Her fandt man tilstrækkelig evidens for at arbejds eksponeringer hos brandfolk er *kræftfremkaldende* (gruppe 1). Gruppe 1 klassifikationen er baseret på dokumentation af øget forekomst af mesotheliom og blærekræft hos brandfolk. For malignt melanom, non-hodgkin lymfom, tyktarms-, prostata- og testikelkræft fandt man også en positiv association hos brandfolk, men her vurderede man at evidensen stadig er *begrænset*⁴⁰.

Kræft blandt danske brandfolk er tidligere undersøgt i et registerstudie baseret på en stor historisk kohorte (EPIBRAND)³⁹. I dette studie fandt man lettere øget incidens af malignt melanom, prostata- og testikelkræft blandt brandfolk i sammenligninger med baggrundsbe-folkningen og en stikprøve af lønmodtagere. Flere estimater var dog baseret på relativt få kræfttilfælde og derfor noget usikre.

1.2 Formål

Formålene med dette projekt var følgende:

- 4) at undersøge serum koncentrationer af non-polymere PFAS blandt forskellige typer af nuværende og tidligere brandfolk fra både beredskaberne og Forsvaret i relation til referencemålinger fra baggrundsbe-folkningen i Danmark.
- 5) at vurdere potentielle faktorer med betydning for serum koncentrationer af PFAS i og uden for arbejdsmiljøet.
- 6) at vurdere incidensen af kræft blandt danske brandfolk ved hjælp af en opdateret og udvidet registerundersøgelse.

1.3 Organisering af indsatsberedskabet

I Danmark er indsatsberedskabet opdelt i et primært beredskab med udgangspunkt i lan-dets kommuner og et overordnet statsligt beredskab under Beredskabsstyrelsen. Herud-over findes en række særlige indsatsberedskaber og -ressourcer med specialiseret ek-spertise med mulighed for at imødegå særlige risici.

De kommunale beredskaber varetages af den enkelte kommune eller fælleskommunalt med mulighed for at overlade driftsopgaver til private redningsvæsner (herunder Falck Danmark A/S) eller frivillige brandværn (særligt i Sønderjylland). De kommunale beredska-ber har overvejende standardmateriel til hyppigt forekommende hændelser.

Det statslige beredskab under Beredskabsstyrelsen omfatter seks operative beredskabs-centre samt et Center for Uddannelse. Det statslige beredskab uddanner værnepligtige og frivillige og videreuddanner brandfolk med brug for særlige kompetencer. Beredskabet as-sisterer oftest ved længerevarende indsatser som kræver meget mandskab, mandskab med særlige kompetencer og/eller specialudstyr.

Særlige indsatsberedskaber omfatter civile lufthavnsberedskaber. Civile lufthavnsbered-skaber anvender i høj grad specialudstyr med fokus på kort respons- og slukningstid.

Øvrige indsatsressourcer findes hos Forsvarets tre værn og tilhørende hjemmeværn. De tre værn består af henholdsvis Flyvevåbnet, Søværnet og Hæren. Her varetages opgaver med elementer af brand- og redningstjeneste enten lejlighedsvist eller permanent.

Indsatsressourcer findes desuden hos en række sikkerhedskritiske industrier. De industrielle indsatsressourcer indgår ikke i dette projekt.

2. Undersøgelse af PFAS

2.1 Metode

2.1.1 Studiedesign

Undersøgelsen blev udført som et tværsnitstudie med biomonitorering af ansatte og frivillige ved arbejdssteder i beredskaberne og Forsvaret.

2.1.2 Kortlægning af kilder til eksponering

Litteratursøgning

Indledningsvist blev information om kilder til eksponering for PFAS i beredskaberne og Forsvaret identificeret med udgangspunkt i rapporter fra Miljøstyrelsen, Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer, Forsvarsministeriet og Rigsrevisionen^{2,31,41-43}. En systematisk litteratursøgning efter videnskabelige artikler blev desuden gennemført i PubMed databasen med en kombination af fritext og indeks (MeSH-termer) søgeord med relation til PFAS, brandfolk og/eller militærpersonale.

Indsamling af information

I perioden fra juni 2023 til september 2023 blev de kommunale beredskaber, Beredskabsstyrelsen, de civile lufthavnsberedskaber og Forsvarskommandoen kontaktet med henblik på at indhente yderligere information om kilder til eksponering for PFAS i arbejdsmiljøet. Fokus var her afgrænset til anvendelsen af brandskum og personligt beskyttelsesudstyr ved øvelser og indsatser i perioden fra 1995 til 2023. Forsvarskommandoen formidlede samlet information om forhold hos Flyvevåbnet, Søværnet og Hæren.

Den indsamlede information omfattede indsatsberedskaber og -ressourcer i hele Danmark (tabel 1).

Tabel 1 Oversigt over indsatsberedskaber og -ressourcer i kortlægningen

Kommunale beredskaber	19 af 29 beredskaber (66%)
Beredskabsstyrelsen	Beredskabsstyrelsen Nordjylland Beredskabsstyrelsen Midtjylland Beredskabsstyrelsen Syddjylland Beredskabsstyrelsen Sjælland Beredskabsstyrelsen Hovedstaden Beredskabsstyrelsen Bornholm Center for Uddannelse
Lufthavnsberedskaber	5 af 10 lufthavne ^a (50%)
Forsvarets værn	
Flyvevåbnet	Flyvestation Aalborg Flyvestation Skrydstrup Flyvestation Karup
Søværnet	Flådestation Korsør Flådestation Frederikshavn Center for Maritim Uddannelse og Skibssikkerhed
Hæren	Den Kongelige Livgarde Danske Artilleriregiment Efterretningsregimentet Føringsstøtteregimentet Gardehusarregimentet Ingeniørregimentet Jydske Dragonregiment Slesvigske Fodregiment Trænregimentet

^a Danske lufthavne med mindst 10.000 passagerer årligt.

Arbejdsmedicinske virksomhedsbesøg

En projekttilknyttet læge gennemførte desuden arbejdsmedicinske virksomhedsbesøg hos flere beredskaber og enheder i Forsvaret med fokus på at kunne vurdere mulig eksponering for PFAS ved specifikke arbejdsforhold og -funktioner⁴⁴.

Den samlede kortlægning

Nuværende kilder til eksponering for PFAS i arbejdsmiljøet kunne belyses med projektets kortlægning. Omfattende sammenlægninger af de kommunale beredskaber fra 2014 til 2016 og løbende omstruktureringer i Forsvaret gjorde det imidlertid kompliceret at redegøre for historiske forhold en del steder med resulterende mangelfulde informationer om tidligere brug af PFAS.

Anvendelsen af brandskum var i den kortlagte periode fordelt på ganske mange forskellige skumtyper. Følgende producenter og produkter var iblandt: Dr. Sthamer (Sthamex, Mousol og Schaumgeist), Perimeter Solutions (Solberg), 3M (Lightwater), Fomtec, Bioex (Bio T og Bio For), Orchidee (Orchidex). Flere generationer af brandskum var i brug i perioden

med stor variation i udskiftningstidspunkter arbejdsstederne imellem. Brandskum indeholdende PFAS blev stadig anvendt flere steder i begrænset mængde i 2023.

Størstedelen af branddragter anvendt i perioden var produceret af Viking Life-Saving Equipment A/S (Viking). Viking besluttede i 2020 at udskifte deres imprægnering med PFOA og overgik i stedet til at anvende PFHxA⁴⁵. Denne udskiftning skete løbende frem mod juli 2023.

En vigtig begrænsning i forhold til at kortlægge kilder til PFAS i arbejdsmiljøet i perioden er manglende deklarationskrav for indhold i de produkter, der er anvendt³¹. Indhold af PFAS har ikke konsekvent kunnet aflæses i sikkerhedsdatablade og oftest er deklARATIONER holdt på et overordnet gruppeniveau³¹. Mange arbejdsgivere og ansatte har således ikke reelt haft mulighed for kendskab til potentielle eksponeringer for PFAS.

Udvælgelse af arbejdssteder til biomonitoreringsprogram

Med udgangspunkt i den samlede kortlægning udvalgte arbejdsgruppen beredskaber og enheder i Forsvaret til at indgå i et måleprogram med rekruttering af deltagere blandt ansatte og tilknyttede frivillige. Udvælgelsen af forskellige arbejdssteder havde til formål at sikre tilstrækkelig repræsentation af grupper med forskellige arbejdsseksponeringer, aldersfordelinger og geografiske tilhørsforhold. Arbejdssteders velvillighed til at medvirke i projektet var desuden en forudsætning for udvælgelsen.

Med projektets begrænsede ressourcer valgte arbejdsgruppen at se bort fra enheder i Hæren i selve måleprogrammet. Eksponeringer blandt ansatte i Hæren og herunder særligt Ingeniørregimentet vil således ikke blive vurderet i denne rapport.

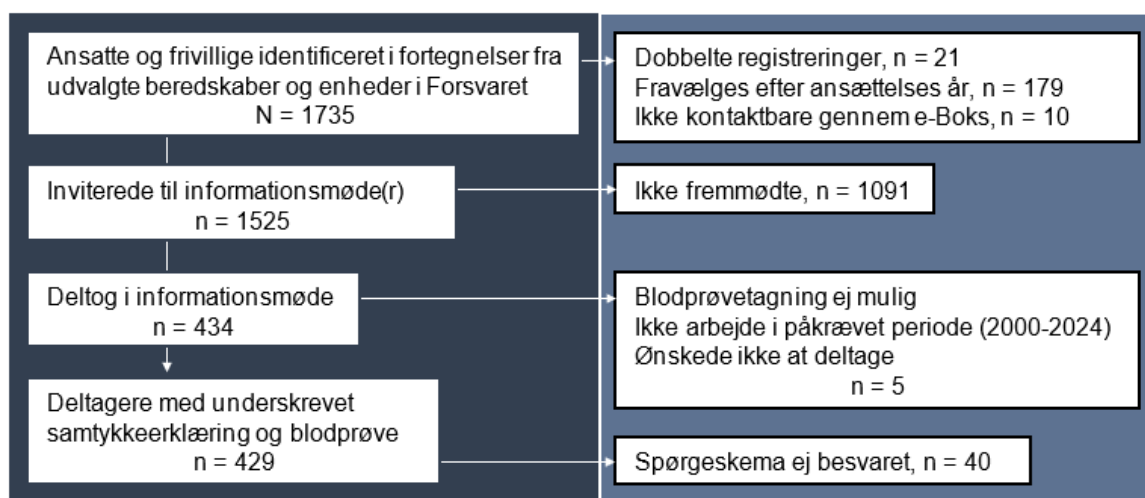
Fra arbejdsstederne indhentes information om ansatte og tilknyttede frivillige med arbejdsopgaver i relation til brandbekæmpelse. Oplysninger omfattede her cpr-nummer og så vidt muligt også ansættelsesdato og arbejdsfunktion(er).

2.1.3 Rekruttering af deltagere

Studiepopulationen omfattede nuværende og tidligere ansatte og frivillige ved 27 kommunale brandstationer og brandøvelsespladser, tre beredskabscentre, to civile lufthavnsbrandstationer, tre flyvestationer og to flådestationer med arbejdsopgaver i relation til brandslukning. Studiepopulationen repræsenterede alle fem regioner i Danmark.

Antallet af nuværende og tidligere kvindelige ansatte og frivillige ved de udvalgte arbejdssteder var for begrænset til at statistiske analyser af eksponering for PFAS i arbejdsmiljøet kunne gennemføres med tilstrækkelig styrke. Inklusionskriterier var således mandligt køn, en minimumalder på 18 år, habilitet og mindst én ansættelse eller tilknytning i perioden fra 2000 til 2024.

I alt 1735 mænd opfyldte ifølge fortegnelser fra de udvalgte arbejdssteder inklusionskriterierne for at kunne indgå i studiet (**figur 2**). Ved en indledende screening blev 21 dobbelte registreringer slettet. For at sikre en nogenlunde repræsentativ fordeling af deltagere med forskellige ansættelsesperioder og -længder blev 1535 mænd udvalgt til at kunne inviteres med baggrund i startåret for deres ansættelse eller tilknytning. I perioden fra september 2023 til januar 2024 blev disse mænd forsøgt kontaktet via sikker digital post i e-Boks med en invitation til minimum ét informationsmøde. Mænd fritaget for digital post kunne ikke inviteres (n = 10).



Figur 2 Flowchart over rekrutteringen af deltagere fra beredskaberne og Forsvaret; 2023-24.

Blandt de fremmødte ved informationsmøderne (n = 434) endte fem mænd med ikke at deltage i studiet. Årsager til ikke at deltage var her enten, at blodprøvetagning ikke var mulig, at arbejde ikke havde fundet sted i den påkrævede periode eller manglende ønske om at deltage.

De 429 deltagere (deltagelse 28%) modtog grundig skriftlig og mundtlig information om studiet og underskrev samtykkeerklæring for deltagelse. Deltagelse omfattede afgivelse af en blodprøve og besvarelse af et elektronisk browserbaseret spørgeskema. Hver deltager modtog et personligt link til besvarelse af spørgeskemaet i e-Boks. Deltagere med manglende spørgeskemabesvarelser fik tilsendt flere påmindelser om at udfylde deres spørgeskema. Til trods for disse påmindelser manglede 40 deltagere at besvare spørgeskemaet ved dataindsamlingens afslutning i juni 2024.

Arbejdssteder med informationsmøder fremgår af figur 3 og efterfølgende liste:



Figur 3 Danmarkskort med angivelse af besøgte brandstationer, brandøvelsespladser, beredskabscentre, lufthavne, flyve- og flådestationer

- **Beredskab & Sikkerhed – Randers, Favrskov, Djursland**
Station Randers (Falck Danmark A/S)
Station Rønde
- **Beredskabsstyrelsen**
Beredskabsstyrelsen Syddjylland (Haderslev)
Beredskabsstyrelsen Hovedstaden (Hedehusene)
Beredskabsstyrelsen, Center for Uddannelse (Tinglev)
- **Flyvevåbnet**
Flyvestation Aalborg (Air Transport Wing)
Flyvestation Skrydstrup (Fighter Wing)
Flyvestation Karup (Helicopter Wing)

- **Hovedstadens Beredskab**
Hovedbrandstationen og Specialtjenesten
Station Frederiksberg
Station Tomsgården
Station Glostrup
Station Hvidovre
Station Fælledvej
Station Christianshavn
Station Vesterbro
- **Københavns Lufthavne A/S – Rescue and Firefighting (RFF)**
Station Øst
Station Vest
- **Slagelse Brand og Redning**
Station Slagelse
Station Sorø
Station Skælskør (Falck Danmark A/S)
- **Søværnet**
Flådestation Korsør
- **Østjyllands Brandvæsen**
Station Aarhus C
Station Aarhus Nord
Station Aarhus Syd
Beredskabscenter Kirstinesmindevej

2.1.4 Blodprøvetagning

Et VACUETTE® sikkerhedsveneprøvesæt med rørholder (Greiner Bio-One GmbH, Kremsmünster, Østrig) blev anvendt til at tage blodprøver fra en antecubital vene. Delta-gere var ikke fastende. Hver deltager fik udtaget blod i to rør; først et VACUETTE® CAT-rør med koagulationsaktivator og herefter et VACUETTE® K2EDTA-rør med antikoagulant. Alle rør blev indledningsvist vendt forsigtigt 5-10 gange. For det første rør (CAT) noteredes tidspunkt for prøvetagning mhp. at sikre tilstrækkelig tid til koagulationsprocessen inden centrifugering (10 minutter ved 2000 rpm). Efterfølgende blev serum afpipetteret til videre opbevaring i CryoPure-rør (Sarstedt, Nümbrecht, Tyskland) i en fryser ved -80°C. Fra røret med antikoagulant blev fuldblod ligeledes afpipetteret til opbevaring i CryoPure-rør til nedfrysning.

2.1.5 Analyse af PFAS

PFAS blev analyseret i serum ved hjælp af væskekromatografi-massespektrometri (LC-MS/MS). Indhold af i alt 15 kort- og langkædede PFAS (PFBS, PFPeA, PFPeS, PFHxA, PFHxS, PFHpA, PFHpS, PFOA, PFOS, PFNA, PFDA, PFDS, PFUnDA, PFDoDA og PFTrDA) blev kvantificeret. Lineær PFOS og forgrenede isomerer blev kvantificeret samlet som total PFOS, mens koncentrationerne af lineær PFOS også blev vurderet separat. Analyserne blev udført ved Klinisk Farmakologi, Farmaci og Miljømedicin, Institut for Sundhedstjenesteforskning, Syddansk Universitet.

Værdier under detektionsgrænsen blev tildelt værdien for detektionsgrænsen divideret med kvadratroden af to. På forhånd var det besluttet, at kun at inkludere PFAS med serum koncentrationer over LOD hos mindst 50% af deltagerne i de statistiske analyser.

2.1.6 Spørgeskema

Et nyt spørgeskema blev udarbejdet med udgangspunkt i tidligere internationale studier af eksponering for PFAS blandt brandfolk, viden om specifikke arbejdsmiljøforhold hos de danske beredskaber og Forsvaret, samt øvrige faktorer med betydning for eksponering for eller udskillelse af PFAS^{10,15,17,18,20-24,26-30,37}. Information om alder, højde, vægt, helbred, sundhedsadfærd, bloddonation, arbejdshistorik og -miljø indgik i dette spørgeskema, som i udviklingsfasen blev gennemgået og testet i samarbejde med repræsentanter fra følgegruppen (brandfolk). Det færdige spørgeskema blev herefter oprettet i et sikkert, browser-baseret dataindsamlingsværktøj under Region Hovedstaden (Research Electronic Data Capture – REDCap)⁴⁶.

2.1.7 Statistiske analyser

Ved at kombinere information fra spørgeskemabesvarelser og arbejdsgivere blev alle deltagere indledningsvist inddelt i en primær arbejdsseksponeringsgruppe (kommunalt beredskab, Beredskabsstyrelsen, lufthavnsberedskab, Flyvevåbnet og Søværnet) og ansættelsestype (fuldtid, deltid og frivillig). Herefter blev fordelingen af kovariater og serum koncentrationer af PFAS undersøgt i relation til primær arbejdsseksponeringsgruppe og ansættelsestype.

Kønsspecifikke og aldersjusterede geometriske middelværdier med 95% konfidensintervaller for serum koncentrationer af PFAS blev beregnet for primære arbejdsseksponeringsgrupper og sammenholdt med målinger fra ENFORCE (National Cohort Study of Effectiveness and Safety of SARS-CoV-2 vaccines) studiet fra 2021⁴⁷. Målingerne fra ENFORCE studiet blev valgt med henblik på bedst muligt at afspejle serum koncentrationer i den nuværende baggrundsbefolkning i Danmark.

ENFORCE studiet var en ikke-randomiseret fase 4, parallel gruppe ækvivalensundersøgelse med deltagere i alle fem regioner i Danmark. Alle voksne med en minimumsalder på 18 år og bopæl i Danmark var inkluderbare på tidspunktet for deres første SARS-CoV-2 vaccination gennem det nationale COVID-19 vaccinationsprogram^{47,48}. I alt fik 2620 deltagere i studiet mRNA-1273 (Spikewax®, Moderna) vaccinen. PFAS blev målt i serum fra 496 mandlige deltagere ved hjælp af væskekromatografi-massespektrometri (LC/MS/MS, QTRAP 5500, AB Sciex, Framingham, MA, USA). Disse analyser blev udført ved Afdelingen for Arbets- och Miljömedicin, Lunds Universitet, Sverige.

Aldersjusterede geometriske middelværdier med 95% konfidensintervaller for serum koncentrationer af PFAS blev også beregnet for deltagere fordelt på primære arbejdseksponeringsgrupper og med startår for tjeneste fra og med 2011.

Korrelationer mellem serum koncentrationer af PFHxS, PFHpS, PFOA, PFOS, PFNA, PFDA og PFUnDA blev beregnet ved hjælp af Spearmans ρ .

Associationer mellem henholdsvis primær arbejdseksponeringsgruppe og primær ansættelsestype og serum koncentrationer af PFAS blev analyseret ved hjælp af multipel lineær regression. Betydningen af en række kovariater blev testet i en udvidet analysemodel.

Følgende variable indgik i analysemodellerne:

- Alder i år
- Varighed af tjeneste i beredskaberne og Forsvaret
- Længste fuldførte uddannelse
- Body mass indeks
- Kost fordelt på indtag af kød, mælkeprodukter, fisk og skaldyr, æg, frugt, te og takeaway
- Samlet antal bloddonationer
- Komorbiditet
- År med anvendelse af brandskum
- Arbejdsfunktion fordelt på instruktør, depottjeneste og mekaniker for udrykningskøretøjer
- Andet arbejde i perioden fordelt på brancher

I hovedregressionsmodellen indgik udelukkende kovariater, som var udvalgt *a priori* baseret på directed acyclic graphs (DAGs) og fund fra eksisterende studier. Analyserne var således justeret for alder, varighed af tjeneste, uddannelse, bloddonationer og primær ansættelsestype (kun analyser for primær arbejdseksponeringsgruppe). Deltagere fra et kommunalt beredskab udgjorde referencen i analyser af associationer for primære arbejdseksponeringsgrupper, mens frivillige var referencen i analyser af associationer for primære ansættelsestyper. I en udvidet regressionsmodel blev betydningen af yderligere kovariater testet.

For at bedømme mulig multikollinearitet mellem variable i analyser blev bivariate korrelationer (Spearman's $\rho < 0,8$) og variance inflation factors (VIF) beregnet. Serum koncentrationer af PFAS fulgte en højre-skæv fordeling og for at sikre at analysemodellens forudsætninger i tilstrækkelig grad var opfyldt blev alle værdier transformeret med den naturlige logaritme. Alle værdier blev efterfølgende tilbage-transformeret og omregnet til procentvise forskelle for at lette fortolkningen af resultaterne.

For at sikre tilstrækkelig anonymitet og overholdelse af gældende GDPR (General Data Protection Regulation) blev alle resultater baseret på information fra minimum fem deltagere (f.eks. beregning af pseudomedianer og -percentiler). I tabeller blev information ligeledes udeladt, hvis et deltagerantal var under fem.

Alle statistiske analyser blev udført i programmet Stata V. 14 (StataCorp, College Station, TX, USA)

2.1.8 Etik

Udførelsen af projektet fulgte Helsinki-deklarationens principper for nødvendige etiske hensyn. Projektet blev desuden godkendt af Videnskabsetisk Komité (H-23027326) og registreret hos Videnscenter for Dataanmeldelser under gældende regler for sundhedsvidenskabelig forskning i Region Hovedstaden (p-2023-14170). Alle deltagere afgav skriftligt informeret samtykke forud for deres medvirken ved blodprøvetagning og besvarelse af spørgeskema.

Den væsentligste tilbageværende etiske problemstilling omhandlede de mulige konsekvenser ved at få viden om egen udsættelse for PFAS. Deltagere kunne i forbindelse med afgivelse af skriftligt samtykke eksplicit vælge, om de ville kunne tilgå resultatet af deres egen blodprøve. Deltagere med serumkoncentrationer af PFAS udenfor normalområdet modtog skriftlig information om tolkning af deres prøvesvar. Disse deltagere fik også mulighed for at tale med en af projektets læger og vejledning i forhold til henvisning til regional arbejds- og miljømedicinsk klinik ved behov for yderligere opfølgning.

2.2 Resultater

2.2.1 Kohorte karakteristika

Kohorten af deltagere fra beredskaberne og Forsvaret 2023/2024 omfattede 429 mænd med en medianalder på 50 år. Deltagere med primær arbejdseksponeringsgruppe ved Beredskabsstyrelsen havde lavest medianalder, mens Flyvevåbnets deltagere var ældst. Deltagere med primær arbejdseksponeringsgruppe hos et lufthavnsberedskab, Flyvevåbnet

eller Søværnet var udelukkende fuldtidsansatte, mens deltagere fra de kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen også omfattede deltidsansatte og frivillige. En oversigt over kohortens samlede karakteristika og karakteristika fordelt på primær arbejdseksponeringsgruppe fremgår af **tabel 2**.

2.2.2 Serum koncentrationer af PFAS

I alt syv af de målte PFAS kunne kvantificeres over detektionsgrænsen i størstedelen af deltagerne. Disse syv PFAS var PFHxS, PFHpS, PFOA, PFOS, PFNA, PFDA og PFUnDA. I **tabel 3** ses en oversigt over deltagernes serum koncentrationer af PFAS med angivelse af medianer med 5- og 95-percentiler. Mediankoncentrationerne var 5,09 ng/mL for total PFOS, 1,02 ng/mL for PFOA, 0,76 ng/mL for PFHxS, 0,43 ng/mL for PFNA og 0,19 ng/mL for PFHpS for alle deltagere. For PFDA og PFUnDA var koncentrationerne i serum generelt lave og forskelle små.

Set i forhold til primær arbejdseksponeringsgruppe havde deltagere fra et lufthavnsberedskab højere mediankoncentrationer af PFOS, PFOA, PFHxS, PFNA og PFHpS (**tabel 3**). Med opdeling af deltagere i forhold til primær ansættelsestype (kun kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen) var mediankoncentrationerne lavest hos de frivillige, lidt højere hos de deltidsansatte og højest hos de fuldtidsansatte (**tabel 4**).

De aldersjusterede geometriske middelværdier for serum koncentrationer af PFAS blandt deltagere fordelt på primær arbejdseksponeringsgruppe og sammenholdt med ENFORCE deltagere fremgår af **figur 4** og **tabel 5**. De geometriske middelværdier for serum koncentrationer af total PFOS, PFHxS og PFHpS var højere for deltagere fra et lufthavnsberedskab end for ENFORCE deltagere. I den efterfølgende analyse af deltagere startet i tjeneste fra og med 2011 var de geometriske middelværdier for et lufthavnsberedskab ikke længere forhøjede (**tabel 6**).

Korrelationer mellem serum koncentrationer af PFAS er vist i **tabel 7**. Koncentrationerne af flere PFAS enkeltstoffer var stærkt korrelerede. PFOA var det eneste enkeltstof, hvis koncentrationer i serum ikke var meget stærkt korreleret til koncentrationerne af nogen af de øvrige PFAS. Koncentrationerne af PFAS med de korteste fluor-kulstofkædelængder (PFHxS, PFHpS og PFOA) var kun i moderat omfang korreleret til koncentrationerne af PFAS med de længste fluor-kulstofkædelængder (PFDA og PFUnDA) (**tabel 7**).

2.2.3 Regressionsanalyser

Resultater fra hovedregressionsmodellen fremgår af **tabel 8**. Her er associationer angivet som procentvis forskel i serum koncentration af PFAS for de primære arbejdseksponeringsgrupper. De procentvise forskelle i serum PFAS mellem deltagere fra et lufthavnsberedskab og kommunale beredskaber var størst for PFHxS og PFHpS. Forskellene mellem disse deltagere var også positive, men mindre markante for flere PFAS med længere fluor-kulstofkædelængder; PFOS, PFNA og PFUnDA.

Deltagere fra Flyvevåbnet havde markant lavere koncentrationer af PFHxS, PFOS og PFNA ved sammenligning med de kommunale beredskaber (**tabel 8**). Deltagere fra Søværnet havde lidt højere koncentrationer af PFDA og PFUnDA.

Tabel 9 viser de procentvise forskelle i serum PFAS for deltagere fra kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen fordelt på primære ansættelsestyper. Ansættelsestype deltid og fuldtid var næsten entydigt associeret med procentvis højere serum PFAS. Fuldtidsansættelse var associeret med de mest markante procentvise forskelle i serum PFAS, undtagen for PFUnDA.

I en udvidet analysemodel blev betydningen af de øvrige kovariater testet (se afsnit 2.7). Udover primær arbejdsseksposeeringsgruppe og ansættelsestype var alder, body mass index, samlet antal bloddonationer og dagligt/næsten dagligt indtag af æg (≥ 4 dage om ugen) de mest betydningsfulde faktorer for serum PFAS (data ikke vist). Når analyserne fra hovedregressionsmodellen blev gentaget med tilføjelse af justering for body mass index og indtag af æg blev resultaterne dog ikke ændret substantielt (data ikke vist).

Da denne undersøgelses resultater endnu ikke er fagfællebedømt og videnskabeligt publiceret tages der forbehold for mulige ændringer i analyser.

Tabel 2 Karakteristika for de 429 mænd fra beredskaberne og Forsvaret, 2023-2024

	Primær arbejdsseksponeringsgruppe					
	Total	Kommunalt beredskab	Beredskabsstyrelsen	Lufthavnsberedskab	Flyvevåbnet	Søværnet
Deltagere, n	429	208	59	50	98	14
Alder (år), Mdn (P _{5%} , P _{95%})	50 (26, 67)	50 (27, 64)	38 (29, 62)	52 (38, 67)	56 (28, 72)	49 (35, 58)
Fuldført uddannelse						
Kort	-	22 (12)	≤ 5	9 (20)	31 (35)	-
Mellem	-	125 (66)	28 (53)	29 (66)	44 (49)	-
Lang	-	42 (22)	22 (42)	6 (14)	14 (16)	-
BMI, Mdn (P _{5%} , P _{95%})	26,8 (22,6; 33,6)	26,6 (22,8; 32,8)	27,4 (21,3; 33,7)	26,2 (22,7; 36,4)	27,3 (22,2; 33,7)	26,1 (24,3; 31,2)
Tobak (ja) ^a , n (%)	73 (19)	38 (21)	11 (21)	5 (12)	14 (16)	5 (36)
Æg (≥ 4 dage/uge, ja), n (%)	-	48 (26)	13 (25)	16 (38)	24 (27)	-
Takeaway (ugentligt, ja), n (%)	-	75 (41)	26 (50)	16 (38)	24 (27)	-
Alkohol (genstande/uge), Mdn (P _{5%} , P _{95%})	3 (0, 12)	3 (0, 13)	3 (0, 13)	4 (0, 12)	3 (0, 11)	2 (0, 6)
Motion (timer/uge) ^b , Mdn (P _{5%} , P _{95%})	5 (1, 15)	5 (1, 17)	3 (0, 19)	5 (1, 12)	4 (1, 15)	7 (3, 12)
Bloddonation (ja), n (%)	152 (40)	77 (42)	13 (25)	17 (40)	38 (43)	7 (50)
Kolesterolsenkende medicin (ja), n (%)	44 (11)	19 (10)	≤ 5	5 (10)	16 (16)	≤ 5
Komorbiditet ^c	-	26 (14)	6 (11)	8 (18)	16 (18)	≤ 5
Arbejdsinformation						
Primær ansættelsestype (fuldtid), n (%)	348 (81)	143 (69)	43 (73)	50 (100)	98 (100)	14 (100)
Startår for tjeneste, Mdn (P _{5%} , P _{95%})	1999 (1979, 2020)	1999 (1983, 2019)	2009 (1984, 2023)	1998 (1979, 2021)	1992 (1972, 2020)	1996 (1986, 2012)
Antal år i tjeneste, Mdn (P _{5%} , P _{95%})	23 (3, 41)	23 (4, 40)	14 (1, 39)	24 (2, 42)	30 (2, 43)	27 (10, 37)
År med brug af skum, Mdn (P _{5%} , P _{95%})	21 (2, 40)	23 (3, 39)	10 (1, 31)	21 (6, 37)	26 (4, 43)	11 (5, 17)
Funktioner:						
Instruktør	-	62 (30)	40 (68)	28 (56)	34 (35)	≥10
Depottjeneste	27 (7)	8 (4)	10 (19)	≤ 5	6 (7)	≤ 5
Mekaniker for udrykningskøretøjer	31 (8)	14 (8)	6 (12)	≤ 5	6 (7)	≤ 5
Andet arbejde (ja) ^d , n (%)	182 (47)	95 (50)	29 (55)	10 (23)	43 (48)	5 (36)

Mdn, Median; BMI, Body Mass Indeks

Medianer og øvrige percentiler er vist som pseudopercentiler baseret på fem tilstødende værdier

^a Nuværende bruger af cigaretter, e-cigaretter, pibe eller snus

^b Omfatter moderat og hård fysisk aktivitet

^c Inkluderer cancer, diabetes, inflammatorisk tarmsygdom, nyre- og leversygdom, akut myokardieinfarkt og apopleksi

^d Arbejde udenfor beredskaberne og Forsvaret i perioden fra 2000-2024

Tabel 3 Serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt de 429 mænd fra beredskaberne og Forsvaret, 2023-2024

	Primær arbejdsseksponeringsgruppe					
	Total	Kommunalt beredskab	Beredskabsstyrelsen	Lufthavnsberedskab	Flyvevåbnet	Søværnet
PFAS	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})
PFHxS	0,76 (0,36; 2,03)	0,74 (0,37; 1,70)	0,66 (0,27; 1,43)	1,49 (0,49; 3,99)	0,74 (0,36; 1,41)	0,81 (0,48; 1,38)
PFHpS	0,19 (0,07; 0,41)	0,18 (0,06; 0,39)	0,17 (0,06; 0,39)	0,28 (0,08; 0,68)	0,19 (0,08; 0,37)	0,19 (0,11; 0,35)
PFOA	1,02 (0,44; 1,91)	1,03 (0,45; 2,11)	0,89 (0,39; 1,91)	1,11 (0,41; 1,92)	0,95 (0,46; 1,81)	0,89 (0,47; 1,82)
PFOS ^a	3,96 (1,41; 10,19)	4,00 (1,36; 10,03)	3,32 (1,34; 9,99)	5,12 (1,80; 14,70)	3,91 (1,61; 8,75)	4,48 (2,20; 8,00)
Total PFOS	5,09 (1,91; 12,36)	5,08 (1,77; 12,42)	4,41 (1,67; 11,92)	6,46 (2,35; 18,31)	5,17 (2,09; 11,22)	5,68 (2,76; 9,91)
PFNA	0,43 (0,20; 0,90)	0,45 (0,18; 0,96)	0,39 (0,19; 1,03)	0,54 (0,23; 0,95)	0,41 (0,23; 0,77)	0,48 (0,28; 0,86)
PFDA	0,15 (0,08; 0,34)	0,16 (0,07; 0,36)	0,13 (0,07; 0,34)	0,16 (0,07; 0,31)	0,15 (0,09; 0,29)	0,18 (0,12; 0,33)
PFUnDA	0,08 (0,02; 0,20)	0,08 (0,01; 0,21)	0,07 (0,01; 0,25)	0,09 (0,03; 0,22)	0,08 (0,03; 0,17)	0,10 (0,06; 0,18)

PFAS, per- and polyfluoralkylstoffer; Mdn, Median

Medianer og øvrige percentiler er vist som pseudopercentiler baseret på fem tilstødende værdier

^a Lineær PFOS

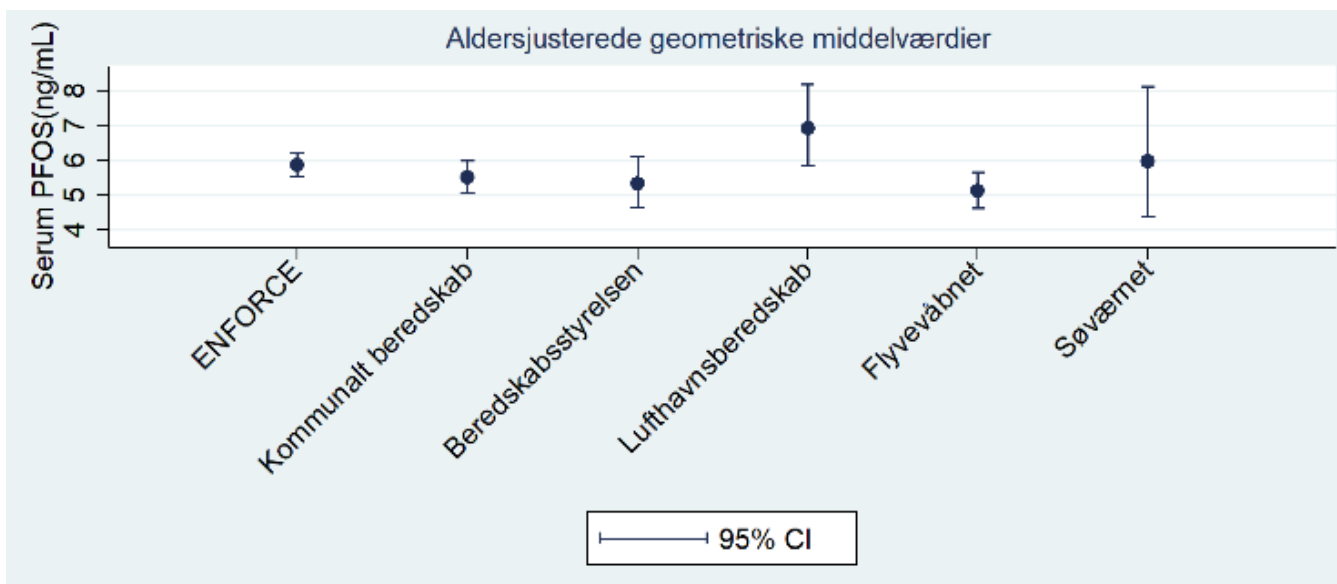
Tabel 4 Serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt mænd (n = 267) fra de kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen fordelt på primære ansættelsestyper, 2023-2024

	Primær ansættelsestype		
	Frivillig	Deltid	Fuldtid
PFAS	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})	Mdn (P _{5%} ; P _{95%})
PFHxS	0,55 (0,36; 0,82)	0,65 (0,30; 1,63)	0,77 (0,40; 1,72)
PFHpS	0,13 (0,08; 0,24)	0,17 (0,06; 0,42)	0,19 (0,07; 0,40)
PFOA	0,82 (0,50; 1,50)	0,91 (0,37; 2,32)	1,06 (0,44; 2,01)
PFOS ^a	2,60 (1,44; 4,40)	3,20 (1,13; 8,94)	4,21 (1,49; 0,79)
Total PFOS	3,25 (1,96; 5,73)	4,09 (1,45; 11,08)	5,35 (1,91; 12,87)
PFNA	0,30 (0,20; 0,55)	0,39 (0,17; 0,93)	0,47 (0,20; 1,02)
PFDA	0,12 (0,07; 0,24)	0,15 (0,06; 0,36)	0,16 (0,08; 0,38)
PFUnDA	0,07 (0,01; 0,14)	0,08 (0,02; 0,24)	0,08 (0,02; 0,22)

PFAS, per- and polyfluoralkylstoffer; Mdn, Median

Medianer og øvrige percentiler er vist som pseudopercentiler baseret på fem tilstødende værdier

^a Lineær PFOS



Figur 4 Aldersjusterede geometriske middelværdier for serum koncentrationer af total PFOS blandt mænd (n = 429, 2023-2024) fra beredskaberne og Forsvaret samt ENFORCE studiet (n = 496 mænd, 2021)

Tabel 5 Aldersjusterede geometriske middelværdier for serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt mænd (n = 429, 2023-2024) fra beredskaberne og Forsvaret samt nationale målinger fra ENFORCE studiet (n = 496 mænd, 2021)

	Primær arbejds eksponeringsgruppe					
	ENFORCE	Kommunalt beredskab	Beredskabsstyrelsen	Lufthavnsberedskab	Flyvevåbnet	Søværnet
PFAS	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)
PFHxS	0,72 (0,66; 0,78)	0,83 (0,77; 0,89)	0,77 (0,69; 0,87)	1,42 (1,20; 1,68)	0,76 (0,69; 0,82)	0,88 (0,69; 1,13)
PFHpS	0,14 (0,12; 0,17)	0,20 (0,18; 0,21)	0,23 (0,20; 0,26)	0,28 (0,24; 0,33)	0,20 (0,18; 0,22)	0,23 (0,17; 0,29)
PFOA	1,15 (1,06; 1,24)	1,10 (1,03; 1,17)	1,18 (1,04; 1,33)	1,07 (0,95; 1,21)	1,02 (0,92; 1,13)	1,04 (0,77; 1,42)
Total PFOS	5,86 (5,53; 6,22)	5,51 (5,05; 6,00)	5,32 (4,64; 6,11)	6,92 (5,85; 8,19)	5,11 (4,62; 5,66)	5,97 (4,38; 8,14)
PFNA	0,55 (0,50; 0,60)	0,48 (0,44; 0,51)	0,48 (0,42; 0,54)	0,53 (0,47; 0,59)	0,44 (0,40; 0,47)	0,54 (0,41; 0,71)
PFDA	0,19 (0,16; 0,22)	0,17 (0,16; 0,18)	0,16 (0,14; 0,19)	0,16 (0,14; 0,18)	0,16 (0,15; 0,17)	0,20 (0,16; 0,26)
PFUnDA	0,11 (0,09; 0,13)	0,08 (0,07; 0,11)	0,08 (0,06; 0,12)	0,09 (0,07; 0,11)	0,08 (0,08; 0,09)	0,11 (0,08; 0,16)

PFAS, per- og polyfluoralkylstoffer; GM, geometrisk middelværdi

Tabel 6 Aldersjusterede geometriske middelværdier for serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt mænd med startår for tjeneste ≥ 2011 (n = 97, 2023-2024) fra beredskaberne og Forsvaret

	Primær arbejdsseksponeringsgruppe			
	Kommunalt beredskab	Beredskabsstyrelsen	Lufthavnsberedskab	Flyvevåbnet
PFAS	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)	GM (95% CI)
PFHxS	0,62 (0,54; 0,70)	0,61 (0,54; 0,68)	0,67 (0,50; 0,91)	0,61 (0,55; 0,68)
PFHpS	0,12 (0,10; 0,14)	0,14 (0,12; 0,16)	0,13 (0,08; 0,20)	0,14 (0,12; 0,16)
PFOA	0,87 (0,76; 1,00)	0,85 (0,73; 0,98)	0,64 (0,48; 0,86)	0,86 (0,71; 1,04)
PFOS	2,84 (2,42; 3,34)	3,21 (2,73; 3,78)	3,19 (2,16; 4,70)	2,78 (2,41; 3,20)
Total PFOS	3,57 (3,06; 4,17)	4,01 (3,44; 4,68)	3,87 (2,63; 5,69)	3,58 (3,15; 4,08)
PFNA	0,32 (0,28; 0,37)	0,40 (0,35; 0,47)	0,37 (0,28; 0,49)	0,36 (0,31; 0,42)
PFDA	0,12 (0,11; 0,14)	0,15 (0,13; 0,18)	0,12 (0,10; 0,16)	0,14 (0,13; 0,16)
PFUnDA	0,05 (0,03; 0,08)	0,09 (0,07; 0,11)	0,05 (0,03; 0,09)	0,07 (0,06; 0,09)

PFAS, per- og polyfluoralkylstoffer; GM, geometrisk middelværdi

Tabel 7 Spearmans ρ for serum koncentrationer af PFAS blandt de 429 mænd fra beredskaberne og Forsvaret, 2023-2024

PFAS	PFHxS	PFHpS	PFOA	PFOS	Total PFOS	PFNA	PFDA
PFHxS	1,00						
PFHpS	0,86	1,00					
PFOA	0,58	0,65	1,00				
PFOS ^a	0,74	0,81	0,57	1,00			
Total PFOS	0,77	0,86	0,60	0,99	1,00		
PFNA	0,61	0,68	0,63	0,84	0,82	1,00	
PFDA	0,43	0,47	0,44	0,75	0,70	0,86	1,00
PFUnDA	0,35	0,37	0,30	0,63	0,57	0,72	0,84

PFAS, per- and polyfluoralkylstoffer

^a Lineær PFOS

Tabel 8 Multipel lineær regression af associationer mellem primær arbejdsseksponeringsgruppe og serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt 429 mænd fra beredskaberne og Forsvaret, 2023-2024

Primær arbejdsseksponeringsgruppe					
	Kommunalt beredskab	Beredskabsstyrelsen	Lufthavnsberedskab	Flyvevåbnet	Søværnet
PFAS		% diff (95% CI)	% diff (95% CI)	% diff (95% CI)	% diff (95% CI)
PFHxS	ref	-15,7 (-26,9; -2;8)	76,8 (51,9, 105,8)	-5,9 (-16,3, 6,0)	3,6 (-20,6, 35,2)
Justeret ^a	ref	-12,4 (-24,5; 1,7)	59,6 (36,6; 86,5)	-16,3 (-26,0; -5,3)	-3,0 (-24,1; 24,0)
PFHpS	ref	-2,2 (-17,0, 15,2)	50,7 (26,5, 79,5)	7,8 (-6,0, 23,5)	10,1 (-19,0, 49,7)
Justeret	ref	13,4 (-3,8; 33,6)	32,6 (11,8; 57,4)	-4,7 (-16,8; 9,2)	9,9 (-16,1; 43,9)
PFOA	ref	-6,1 (-18,1, 7,6)	2,3 (-11,6, 18,4)	-2,7 (-13,1, 9,0)	-8,5 (-29,1, 18,2)
Justeret	ref	-2,8 (-16,5; 13,2)	-5,2 (-19,2; 11,1)	-9,9 (-20,6; 2,3)	-10,6 (-30,4; 14,9)
PFOS ^b	ref	-15,5 (-28,5, 0,0)	33,5 (11,7, 59,7)	-4,6 (-17,0, 9,6)	6,6 (-22,1, 45,8)
Justeret	ref	-7,7 (-23,1; 10,7)	17,8 (-2,6; 42,5)	-17,1 (-28,7; -3,6)	1,0 (-25,1; 36,3)
Total PFOS	ref	-15,1 (-28,1, 0,4)	31,4 (10,0, 57,0)	-3,0 (-15,5, 11,5)	4,7 (-23,4, 43,1)
Justeret	ref	-6,3 (-21,6; 12,1)	14,5 (-5,0; 38,0)	-16,2 (-27,7; -2,8)	-0,2 (-25,7; 33,9)
PFNA	ref	-10,7 (-21,8, 1,9)	15,4 (0,2, 32,9)	-5,5 (-15,4, 5,5)	9,7 (-14,4, 40,5)
Justeret	ref	-4,7 (-17,5; 10,2)	8,8 (-6,5; 26,6)	-12,8 (-22,7; -1,7)	4,9 (-17,3; 33,2)
PFDA	ref	-11,3 (-22,0, 0,9)	-3,4 (-15,8, 10,9)	-4,6 (-14,3, 6,1)	17,7 (-7,6, 49,8)
Justeret	ref	-9,1 (-21,4; 5,1)	-5,7 (-18,9; 9,8)	-9,4 (-19,6; 2,2)	15,5 (-9,0; 46,7)
PFUnDA	ref	-12,0 (-28,4, 8,1)	10,6 (-11,3, 37,9)	3,4 (-12,8, 22,8)	31,6 (-10,5, 93,7)
Justeret	ref	-0,3 (-20,6; 25,2)	14,6 (9,7; 45,3)	-1,9 (-18,7; 18,6)	35,0 (-7,2; 96,4)

PFAS, per- og polyfluoralkylstoffer

^a Justeret for alder, varighed af tjeneste, uddannelse, bloddonationer og primær ansættelsestype. Deltagere uden spørgeskemainformation er ikke inkluderet i de justerede analyser (n = 40)

^b Lineær PFOS

Tabel 9 Multipel lineær regression af associationer mellem primær ansættelsestype og serum koncentrationer af PFAS (ng/mL) blandt mænd (n = 267) fra de kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen fordelt på primære ansættelsestyper, 2023-2024

Primær ansættelsestype			
	Frivillig	Deltid	Fuldtid
PFAS		% diff (95% CI)	% diff (95% CI)
PFHxS	ref	20,7 (-3,7, 51,3)	43,3 (17,2, 75,2)
Justeret ^a	ref	13,0 (-9,6; 41,1)	39,0 (14,9; 68,2)
PFHpS	ref	20,1 (-8,6, 57,9)	32,7 (4,0, 69,3)
Justeret	ref	8,4 (-16,0; 39,9)	25,6 (1,0; 56,2)
PFOA	ref	6,4 (-14,6, 32,7)	19,5 (-1,8, 45,5)
Justeret	ref	-2,4 (-22,3; 22,6)	14,3 (-6,0; 38,9)
PFOS ^b	ref	24,3 (-5,6, 63,8)	57,7 (23,4, 101,6)
Justeret	ref	16,2 (-13,2; 55,6)	51,2 (17,8; 94,0)
Total PFOS	ref	24,6 (-5,1, 63,5)	55,6 (22,1, 98,3)
Justeret	ref	14,7 (-13,4; 52,1)	48,5 (16,7; 88,9)
PFNA	ref	20,4 (-3,9, 50,8)	44,6 (18,2, 76,7)
Justeret	ref	23,1 (-2,9; 56,2)	42,4 (16,2; 74,5)
PFDA	ref	14,2 (-8,2, 43,0)	27,5 (4,3, 55,8)
Justeret	ref	17,9 (-7,4; 50,3)	25,1 (1,7; 54,0)
PFUnDA	ref	57,1 (7,8, 129,0)	50,4 (7,5, 110,5)
Justeret	ref	63,1 (9,1; 143,8)	53,1 (8,5; 115,9)

PFAS, per- og polyfluoralkylstoffer

^a Justeret for alder, varighed af tjeneste, uddannelse og bloddonationer.

Deltagere uden spørgeskemainformation er ikke inkluderet i de justerede analyser (n = 25).

^b Lineær PFOS

2.3 Diskussion

I dette tværsnitsstudie med måling af serum PFAS hos ansatte og frivillige i beredskaberne og Forsvaret bekræftede fund eksponering i arbejdsmiljøet. Mediankoncentrationer og geometriske middelværdier for PFAS blandt deltagere var overordnet på niveau med nylige danske målinger blandt mænd fra baggrundsbefolkningen⁴⁹. Deltagere fra civile lufthavnsberedskaber havde dog højere serum koncentrationer af særligt PFHxS, PFHpS og PFOS. Regressionsanalyser viste også markante procentvise forskelle i serum PFAS mellem deltagere fra lufthavnsberedskaber og de kommunale beredskaber.

Lufthavnsberedskaber er specialiserede i slukning af brande med involvering af flybrændstof og lignende brandbare væsker (klasse B) med krav om kort respons- og slukningstid. AFFF brandskum har således i vid udstrækning været anvendt i relation til både civile og militære lufthavne verden over^{23,50}. De dominerende enkeltstoffer ved måling af PFAS i anvendt AFFF brandskum og ved håndtering af miljøforureninger ved lufthavnsarealer har været PFHxS og PFOS^{24,50}. I en tidligere omfattende undersøgelse af lufthavnsbrandfolk (n = 799) fra 27 lufthavne i Australien (målinger fra 2013-2014 og 2018-2019) fandt man således højere koncentrationer af PFHxS, PFHpS og PFOS i blodet specielt hos ansatte med startår for tjeneste før 2005^{23,24}. Her havde man blandt andet anvendt 3M Lightwater AFFF brandskum. I en mindre amerikansk undersøgelse fra Ohio (n = 47) fandt man i 2019 ligeledes højere koncentrationer af især PFHxS og PFOS i blodet hos civile lufthavnsbrandfolk sammenlignet med både kommunale brandfolk og baggrundsbefolkningen²⁰.

I dette studie var deltagere fra civile lufthavnsberedskaber primært ansat ved Station Øst og Vest, Rescue and Firefighting (RFF), Københavns Lufthavne A/S. Her anvendte man frem til 2009 3M Lightwater AFFF. Fra 2009 overgik man i stedet til at anvende PFAS fri Solberg Re-Healing RF3x6 skum. De målte koncentrationer af PFAS hos deltagere fra danske lufthavnsberedskaber var noget lavere end i de tidligere internationale undersøgelser af lufthavnsbrandfolk^{20,24}. Med tanke på at langt størstedelen af deres arbejdsmiljørelaterede eksponering for PFAS ligger år tilbage i tid, vil peak-koncentrationerne af især PFHxS og PFOS i blodet med stor sandsynlighed have været markant højere hos tidligt ansatte deltagere end de tilbageværende mængder, som kan spores i nutidige målinger. I analyser begrænset til deltagere med startår for tjeneste fra og med 2011 var koncentrationerne af PFAS derimod ikke højere hos lufthavnsberedskaber. Der blev således ikke fundet tegn på en igangværende eksponering i arbejdsmiljøet.

Deltagere fra Flyvevåbnet har ligeledes arbejdet med brandslukning i lufthavne. Disse deltagere havde dog ikke højere koncentrationer af PFAS i blodet. I regressionsanalyser var især koncentrationerne af PFHxS, PFOS og PFNA lavere i blodet hos Flyvevåbnets ansatte end hos deltagere fra de kommunale beredskaber. I dag anvender Flyvevåbnet PFAS fri Solberg Re-Healing RF3x6 skum. Helt frem til 2013-2014 har man dog anvendt STHAMEX-AFFF fra Dr. Sthamer og 3M Lightwater AFFF⁴². Imprex 30F fra Gloria GmbH med PFAS har også været i brug på Flyvevåbnets arealer⁴². I en tidligere undersøgelse af

ansatte (n = 1060) i det amerikanske luftvåben fandt man højere koncentrationer af PFHxS og PFOS i blodet hos brandfolk, som dog kun udgjorde 5 deltagere²⁵. Når deltagere fra Flyvevåbnet ikke havde højere koncentrationer af PFAS i blodet kan det skyldes forskelle i mængden af brandskum anvendt og øvrige arbejdsforhold.

Antallet af deltagere fra Søværnet var begrænset. I regressionsanalyserne havde disse deltagere tilsyneladende lidt højere koncentrationer af PFDA og PFUnDA, men disse udsving var meget små og mest sandsynligt udtryk for tilfældige fund.

Blandt deltagere fra de kommunale beredskaber og Beredskabsstyrelsen var koncentrationerne af PFAS lavest hos de frivillige, intermediære hos de deltidsansatte og højest hos de fuldtidsansatte. Disse forskelle kan umiddelbart tolkes som udtryk for en arbejdsrelateret eksponeringsgradient mellem ansættelsesgrupper. Tidligere studier har dog dokumenteret markante forskelle i socioøkonomisk status, geografiske tilhørsforhold, sundhedsadfærd og sygdomsforekomst mellem disse grupper af brandfolk^{51,52}. Da forskellene i koncentrationer af PFAS her ikke er begrænset til udvalgte enkeltstoffer, kan eksponeringskilder uden for arbejdsmiljøet synes mere oplagte.

I dette studie var de væsentligste faktorer uden for arbejdsmiljøet med betydning for deltageres serum PFAS; alder, body mass indeks, samlet antal bloddonationer og indtag af æg. Disse faktorer har alle tidligere været koblet til serum PFAS^{17,26,27}.

2.2.3 Styrker og begrænsninger

Selvom undersøgelsens rekrutteringsindsats var omfattende og fleksibel med talrige informationsmøder ude på arbejdssteder, var den overordnede deltagelse lidt lavere end forventet (28%). Brandfolk med formodning om højere eksponering for PFAS kan have været mere tilbøjelige til at fremmøde og ønske at deltage, hvilket kan have medført selektionsbias med mulig betydning for den eksterne validitet af fund.

Grundet ændringer i finansieringsforhold undervejs i projektperioden blev det endelig antal deltagere i undersøgelsen desuden reduceret væsentligt, og ikke alle arbejdsseksponeringsgrupper var herefter tilstrækkeligt store til, at statistiske analyser kunne gennemføres med overbevisende styrke i beregninger.

Der findes tusindvis af PFAS. Ingen måleprogrammer kan således favne alle enkeltstoffer, som potentielt kan have indgået i brandbekæmpelse i den undersøgte periode. De 15 målte PFAS i denne undersøgelse udgør normalt over 98% af den samlede kropsbyrde for PFAS. De er desuden udvalgt med baggrund i relevante tidligere undersøgelser og den indledende kortlægning af forhold i Danmark. Selvom en del brandskum har indeholdt fluortelomerer, indgik disse ikke i måleprogrammet. Fluortelomererne i brandskum fungerer dog ofte som precursorer og kan nedbrydes til de målte non-polymere PFAS (f.eks. kan 6:2 FTS nedbrydes til PFHxA, PFPeA og PFBA, mens 8:2 FTS kan nedbrydes til PFOA)³¹.

I sammenligninger med geometriske middelværdier for PFAS i ENFORCE studiet skal det bemærkes, at disse er fra blodprøver taget i 2021. Der forekommer ændringer i baggrundsbefolkningens serum PFAS over tid, og det havde således været mere optimalt at sammenligne med målinger fra samme år som i indeværende undersøgelse⁴⁹.

Undersøgelsens væsentligste styrker var målinger fra deltagere med flere forskellige arbejdseksponeringsgrupper, ansættelsestyper og -tidspunkter. Undersøgelsens deltagere repræsenterede desuden et relativt bredt geografisk udsnit af brandfolk i Danmark.

3. Undersøgelse af kræft

3.1 Metode

3.1.1 Studiedesign

Undersøgelsen blev udført som et registerstudie af kræft baseret på en historisk kohorte af civile brandfolk.

3.1.2 EPIBRAND kohorten

Etableringen af EPIBRAND kohorten blev påbegyndt i 2015 og er beskrevet i detaljer tidligere³⁹. Alle danske beredskaber blev indledningsvist kontaktet med henblik på at bidrage med ansættelsesoplysninger for brandfolk. Relevante fagforeninger blev ligeledes anmodet om at udlevere medlemslister over brandfolk. Endelig blev personoplysninger fra det Centrale Personregister for individer med selv-rapporteret jobtitel i relation til brandbekæmpelse også tilføjet. Samlet set udgjorde oplysningerne grundlaget for EPIBRAND kohorten med i alt 16.860 tidligere og nuværende danske brandfolk.

3.1.3 Studiepopulation

Følgende kriterier for inklusion blev anvendt ved tilretning af studiepopulationen af brandfolk:

- Jobtitel med relation til aktiv brandbekæmpelse
- Startdato for ansættelse oplyst og uden obskure fejl
- Alder på max 60 år ved første ansættelse (indikation af fejl)
- Fødselsdato tidligst 2. april 1928
- Ingen kræftdiagnoser før startdato for ansættelse

Oplysninger fra enkelte beredskaber omfattede kun nuværende ansatte. Brandfolk, som udelukkende var registreret i disse datasæt, blev ekskluderet for at begrænse selektion. Antallet af kvindelige ansatte og frivillige var desuden for begrænset til at meningsfulde statistiske analyser kunne udføres i denne population, og kvinder blev derfor også ekskluderet. Den endelige studiepopulation omfattede herefter 11.827 brandfolk⁵³.

3.1.4 Eksponering

Fra Arbejdsmarkedets Tillægspensions (ATP) register blev fuld ansættelseshistorik (fra 1964) indhentet for alle brandfolk i kohorten. Disse oplysninger blev brugt til at supplere og validere øvrige ansættelsesoplysninger for kohorten.

En stor del af eksponeringen ved brandbekæmpelse er uregelmæssig og uforudsigelig. Tidligere epidemiologiske studier har undersøgt en række ansættelsesrelaterede surrogatmål for eksponering uden at finde en enkelt dimension som i overbevisende grad kan rumme alle facetter af brandbekæmpelse⁵². Derfor blev flere mål for eksponering anvendt i denne undersøgelse.

Ansættelsestype blev inddelt i fuldtid og deltid/frivillig. Brandfolk med mere end en enkelt ansættelsestype blev kategoriseret som fuldtidsfolk, hvis de nogensinde havde været det.

Ansættelsesvarighed med en indbygget latenstid på 10 år blev beregnet som kumulativ, ikke-overlappende tid i en stilling med aktiv brandbekæmpelse.

Ansættelsesæra med første ansættelse henholdsvis før og efter 1985 blev anvendt for at afspejle de omfattende ændringer i eksponering, der er sket undervejs i studiets lange opfølgning.

Jobfunktion skelnede brandfolk med regulære funktioner fra ansatte i Specialtjenesten (specialiserede røgdykkere og pionerer).

3.1.5 Referencegruppe

En ekstern referencegruppe blev dannet ved hjælp af oplysninger fra ATP registeret. Her blev oplysninger for en stikprøve af lønmodtagere udtrukket med udgangspunkt i deres køn og fødselsår. Disse lønmodtagere skulle opfylde samme kriterier som kohorten af brandfolk – med undtagelse af kravet om jobtitel med relation til aktiv brandbekæmpelse. Referencegruppen omfattede i alt 418.161 mandlige lønmodtagere⁵³.

3.1.6 Vitalstatus og cancer

Fra det Centrale Personregister blev oplysninger om vitalstatus og emigration indhentet for både kohorte og referencegruppe. Herefter blev oplysninger om kræft med datoer for

diagnoser udtrukket fra Cancerregisteret. Alle diagnoser blev angivet i overensstemmelse med den 10. udgave af den internationale sygdomsklassifikation (ICD-10) fra WHO.

3.1.7 Statistiske analyser

Karakteristika for kohorten blev undersøgt med stratificering i forhold til ansættelsestype.

Opfølgning af kohorten begyndte på startdatoen for første ansættelse med relation til brandbekæmpelse, dog tidligst 2. april 1968. Opfølgning sluttede på førstkomende dato for kræftdiagnose, død eller emigration. Opfølgning ophørte dog senest 31. december 2021.

Antallet af person-år i opfølgningsperioden blev beregnet for alle i kohorten og herefter inddelt i femårs alders- og kalendertidsintervaller. For referencegruppen blev incidensrater for kræft beregnet for i de samme alders- og kalendertidsintervaller. Det forventede antal kræfttilfælde i kohorten blev så udregnet med baggrund i referencegruppens incidensrater. Endelig kunne den standardiserede incidensratio (SIR) med 95% konfidensintervaller så opgøres som det observerede versus det forventede antal kræfttilfælde i kohorten.

Alle statistiske analyser blev udført i programmet Stata V. 16 (StataCorp, College Station, TX, USA).

3.2 Resultater

I EPIBRAND kohorten var de fuldtidsansatte brandfolk ældst ved opfølgningstidens afslutning (**tabel 10**). Størstedelen af fuldtidsfolkene havde også deres første ansættelse i den tidlige æra før og med 1985. De deltidsansatte og frivillige brandfolk var derimod ældre ved deres første ansættelse.

Tabel 10 Karakteristika for EPIBRAND kohorten af mandlige danske brandfolk (n = 11.827), 1968-2021

Karakteristika	Fuldtid	Deltid/ frivillig
<i>Kohorte</i>		
Antal brandfolk, n	4650	7177
Samlede person-år med opfølgning	155.580	1.653.812
Antal år med opfølgning, gns (SD)	33 (13,6)	23 (11,4)
Alder ^a , gns (SD)	62 (14,1)	54 (13,6)
Fødselsår, gns	1955	1966
<i>Vitalstatus ^b</i>		
I live	3358 (72,3)	6416 (89,4)
Afdød	1035 (22,4)	539 (7,5)
Emigreret	248 (5,3)	222 (3,1)
<i>Arbejdsinformation</i>		
Alder ved første ansættelse, gns (SD)	26 (6,4)	31 (8,4)
Første ansættelse		

År, gns	1982	1997
≤ 1985, n (%)	2468 (53,1)	1061 (14,8)
> 1985, n (%)	2182 (46,9)	6116 (85,2)
Jobfunktion		
Regulær, n (%)	4166 (90,0)	7177 (100,0)
Specialiseret, n (%)	484 (10,0)	0
Varighed af ansættelse		
≤ 5 år, n (%)	1566 (33,7)	2665 (37,1)
> 5 år, n (%)	3084 (66,3)	4512 (62,9)

Gns, gennemsnit

^a Ved opfølgningstidens afslutning (førstkommende af dødsdato, emigrationsdato eller 31. december 2021)

^b 31. december 2021

Brandfolkene i kohorten fik i løbet af opfølgningsperioden 1732 kræftdiagnoser. De fuldtidsansatte brandfolk fik i alt 993 kræftdiagnoser og deres SIR for alle kræftformer indikerede lidt højere overordnet kræftincidens (**tabel 11**). Fund indikerede desuden lavere risiko for tyktarmkræft og højere risiko for malignt melanom (svarende til huden). For blærekræft var der også en beskedent overrisiko blandt de fuldtidsansatte.

Tabel 11 Analyser af standardiseret incidensratio (SIR) for kræft blandt 11.827 mandlige danske brandfolk sammenlignet med en stikprøve af lønmodtagere, 1968–2021

Udfald	Hele kohorten		Fuldtid		Deltid/Frivillig	
	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Alle kræftformer ^a	1732	1,03 (0,98; 1,08)	993	1,09 (1,03; 1,16)	739	0,95 (0,88; 1,02)
Tyktarm	110	0,85 (0,70; 1,02)	61	0,83 (0,65; 1,07)	49	0,86 (0,65; 1,14)
Mesotheliom	9	0,93 (0,48; 1,78)				
Malignt melanom (hud)	127	1,21 (1,02; 1,44)	65	1,30 (1,02; 1,66)	62	1,13 (0,88; 1,45)
Prostata	348	1,06 (0,96; 1,18)	202	1,11 (0,97; 1,28)	146	1,00 (0,85; 1,18)
Testikel	57	1,03 (0,79; 1,33)	26	1,11 (0,75; 1,63)	31	0,97 (0,68; 1,38)
Urinblære	128	1,11 (0,93; 1,32)	79	1,16 (0,93; 1,45)	49	1,04 (0,79; 1,38)
Non-Hodgkin lymfom	49	0,99 (0,75; 1,31)	24	0,95 (0,64; 1,43)	25	1,03 (0,69; 1,53)

Obs, observerede tilfælde

^a Fraset almindelig hudkræft

SIR for henholdsvis fuldtidsfolkene og de deltidsansatte og frivillige fordelt på ansættelsesdimensioner fremgår af **tabel 12 og 13**. For de fuldtidsansatte var den øgede risiko for malignt melanom begrænset til ansatte startet i den tidlige æra. Blandt de tidligt ansatte fuldtidsfolk var risikoen for testikelkræft også lettere forhøjet. Fuldtidsfolk fra specialtjenesten havde en markant øget risiko for malignt melanom, testikelkræft og non-Hodgkin lymfom og lettere øget risiko for prostatakræft, men disse fund var baseret på relativt få tilfælde. Fuldtidsfolk med længere ansættelser havde også højere risiko for malignt melanom, mens blærekræft i højere grad blev fundet hos dem med kortere ansættelser.

Tabel 12 Analyser af standardiseret incidensratio (SIR) blandt 4.650 fuldtids brandfolk sammenlignet med en stikprøve af lønmodtagere, 1968-2021

Æra for første ansættelse				
		≤1985		
			>1985	
Udfald	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Tyktarm	52	0,82 (0,62; 1,07)	9	0,94 (0,48; 1,80)
Malignt melanom (hud)	51	1,46 (1,11; 1,92)	14	0,94 (0,56; 1,59)
Prostata	177	1,10 (0,95; 1,28)	25	1,12 (0,81; 1,78)
Testikel	15	1,32 (0,79; 2,19)	11	0,91 (0,50; 1,64)
Urinblære	70	1,14 (0,90; 1,44)	9	1,32 (0,69; 2,54)
Non-Hodgkin lymfom				
Jobfunktion				
		Specialiseret		
			Regulær	
Udfald	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Tyktarm	6	0,71 (0,32; 1,59)	55	0,85 (0,65; 1,11)
Malignt melanom (hud)	14	2,41 (1,43; 4,08)	51	1,16 (0,88; 1,52)
Prostata	25	1,17 (0,79; 1,73)	177	1,11 (0,96; 1,28)
Testikel	5	1,81 (0,75; 4,36)	21	1,01 (0,66; 1,55)
Urinblære	7	0,93 (0,44; 1,96)	72	1,19 (0,94; 1,50)
Non-Hodgkin lymfom	5	1,67 (0,69; 4,02)	19	0,86 (0,54; 1,35)
Varighed af ansættelse				
		≤5 år		
			>5 år	
Udfald	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Tyktarm	27	0,86 (0,59; 1,26)	34	0,81 (0,58; 1,14)
Malignt melanom (hud)	16	0,91 (0,56; 1,49)	44	1,37 (1,02; 1,85)
Prostata	87	1,18 (0,96; 1,46)	114	1,06 (0,88; 1,28)
Testikel	8	1,22 (0,61; 2,45)	9	0,54 (0,28; 1,04)
Urinblære	39	1,27 (0,93; 1,74)	38	1,02 (0,74; 1,40)
Non-Hodgkin lymfom	8	0,84 (0,42; 1,69)	15	0,96 (0,58; 1,60)

Obs, observerede tilfælde

Hos de deltidsansatte og frivillige var risikoen for malignt melanom lidt højere ved start-ansættelse efter 1985, mens risikoen for blærekræft og non-Hodgkin lymfom var størst hos dem med tidlige startansættelser.

Tabel 13 Analyser af standardiseret incidensratio (SIR) blandt 7.177 deltids/frivillige brandfolk sammenlignet med en stikprøve af lønmodtagere, 1968-2021

Æra for første ansættelse				
		≤1985		
			>1985	
Udfald	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Tyktarm	25	0,90 (0,62; 1,07)	24	0,83 (0,55; 1,23)
Malignt melanom (hud)	17	1,02 (1,11; 1,92)	45	1,17 (0,88; 1,57)
Prostata	82	1,10 (0,95; 1,28)	64	0,90 (0,70; 1,15)
Testikel	4	0,79 (0,79; 2,19)	27	1,00 (0,69; 1,47)
Urinblære	36	1,42 (0,90; 1,44)	13	0,60 (0,35; 1,04)
Non-Hodgkin lymfom	12	1,27 (0,72; 2,25)	13	0,88 (0,51; 1,51)
Varighed af ansættelse				
		≤5 år		
			>5 år	
Udfald	Obs	SIR (95% CI)	Obs	SIR (95% CI)
Tyktarm				
Malignt melanom (hud)	10	0,92 (0,49; 1,71)	42	0,99 (0,73; 1,34)
Prostata	16	0,91 (0,55; 1,48)	127	0,99 (0,84; 1,18)
Testikel				
Urinblære				
Non-Hodgkin lymfom				

Obs, observerede tilfælde

3.3 Diskussion

I dette opdaterede registerstudie blev kræftincidensen blandt danske brandfolk analyseret med fokus på kræftformer, som af IARC er blevet vurderet at have tilstrækkelig eller begrænset evidens for en sammenhæng med eksponering i erhvervet⁴⁰. Der blev konsistent fundet højere risiko for malignt melanom blandt brandfolkene. Enkelte analyser viste også højere risiko for prostata-, testikel- og blærekræft, men her var resultaterne mere usikre. For tyktarmskræft, mesotheliom og non-Hodgkin lymfom var der derimod ikke holdepunkter for højere risiko i kohorten.

Den væsentligste kendte risikofaktor for malignt melanom er ultraviolet stråling. Det er ikke umiddelbart sandsynligt at brandfolk, som har været iført branddragter og andet personligt beskyttelsesudstyr, har haft en øget eksponering for sollys under deres arbejde. Øget eksponering for sollys i fritiden kan derimod have bidraget med potentiel confounding af fund⁵². Kemiske eksponeringer af huden har været hyppigt forekommende og til tider intense hos brandfolk og kan have spillet en afgørende rolle for udviklingen af malignt melanom. Hudeksponering for polyklorede biphenyler (PCB), arsenik og benzen har således været associeret med malignt melanom – særligt på områder af kroppen som ikke normalt udsættes for store mængder sollys. Termiske påvirkninger af huden kan også være hyppige og intense hos brandfolk med øget risiko for mindre, kroniske læsioner i form af brandsår. Disse læsioner vil kunne give anledning til malignitet.

Endelig gennemgår brandfolk i modsætning til øvrige lønmodtagere obligatoriske og regelmæssige helbredsundersøgelser, hvor sygdomstegn opspores. Denne forskel i medicinsk overvågning kan medføre en grad af såkaldt *detektionsbias*, som kan have påvirket fund⁵³.

For en mere detaljeret gennemgang af de øvrige fund henvises til de publicerede videnskabelige artikler for kohorten^{39,53}.

3.3.1 Styrker og begrænsninger

Den samlede kohorte af brandfolk var relativt stor og tillod opfølgning over en meget lang årrække. Kohorten var dog stadig ved opfølgningstidens afslutning relativt ung med tanke på at mange kræftformer oftest optræder senere i livet. Registeroplysninger af høj kvalitet blev indhentet fra flere landsdækkende registre. Oplysninger om sundhedsadfærd var imidlertid ikke tilgængelige og må betragtes som en begrænsning for vurdering af et multifaktorielt udfald som kræft. Brandfolk bliver ved ansættelse og efterfølgende regelmæssige helbredsundersøgelser mødt af krav til deres fysiske konstitution. Sådanne krav kan medføre selektion med mulighed for en såkaldt *healthy worker effect*. For at minimere denne selektion blev brandfolkene i kohorten sammenlignet med en referencegruppe af lønmodtagere fremfor hele baggrundsbefolkningen.

4. Referencer

1. Petersen KU, Hærvig KK, Flachs EM, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) and male reproductive function in young adulthood; a cross-sectional study. *Environmental Research* 2022;212:113157. doi: 10.1016/j.envres.2022.113157
2. Miljøstyrelsen. Kortlægning af brancher der anvender PFAS. 2016.
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2016/12/978-87-93529-43-4.pdf> (accessed 17.02.2023).
3. Henry BJ, Carlin JP, Hammerschmidt JA, et al. A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. *Integr Environ Assess Manag* 2018;14(3):316-34. doi: 10.1002/ieam.4035
4. Olsen GW, Burris JM, Ehresman DJ, et al. Half-life of serum elimination of perfluorooctanesulfonate, perfluorohexanesulfonate, and perfluorooctanoate in retired fluorochemical production workers. *Environ Health Perspect* 2007;115(9):1298-305.
5. International Agency for Research on Cancer. Some chemicals used as solvents and in polymer manufacture - IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Lyon, France: IARC 2017.
6. European Chemicals Agency. Perfluoroalkylkemikalier (PFAS). 2023.
<https://echa.europa.eu/da/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas> (accessed 20.03.2023).
7. The Danish Environmental Protection Agency. Short-chain polyfluoroalkyl substances (PFAS) - A literature review of information on human health effects and environmental fate and effect aspects of short-chain PFAS. In: Kjølholt J, Jensen AA, Warming M, eds., 2015.
8. Sundhedsstyrelsen. Helbredseffekter af PFOA, PFNA, PFOS og PFHxS. 1 ed. Copenhagen, Denmark, 2022.
9. Paris-Davila T, Gaines LGT, Lucas K, et al. Occupational exposures to airborne per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS)-A review. *Am J Ind Med* 2023 doi: 10.1002/ajim.23461
10. Rosenfeld PE, Spaeth KR, Remy LL, et al. Perfluoroalkyl substances exposure in firefighters: Sources and implications. *Environ Res* 2022;115164. doi: 10.1016/j.envres.2022.115164
11. Laitinen JA, Koponen J, Koikkalainen J, et al. Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. *Toxicol Lett* 2014;231(2):227-32. doi: 10.1016/j.toxlet.2014.09.007 [published Online First: 2014/12/03]
12. Lucas K, Gaines LGT, Paris-Davila T, et al. Occupational exposure and serum levels of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS): A review. *Am J Ind Med* 2022 doi: 10.1002/ajim.23454
13. Andersen HR, Grandjean P, Main KM, et al. Higher serum concentrations of PFAS among pesticide exposed female greenhouse workers. *Int J Hyg Environ Health* 2024;255:114292. doi: 10.1016/j.ijheh.2023.114292
14. Santonen T, Louro H, Bocca B, et al. The HBM4EU chromates study - Outcomes and impacts on EU policies and occupational health practices. *Int J Hyg Environ Health* 2023;248:114099. doi: 10.1016/j.ijheh.2022.114099 [published Online First: 20221217]

15. Burgess JL, Fisher JM, Nematollahi A, et al. Serum per- and polyfluoroalkyl substance concentrations in four municipal US fire departments. *Am J Ind Med* 2022 doi: 10.1002/ajim.23413
16. Goodrich JM, Calkins MM, Caban-Martinez AJ, et al. Per- and polyfluoroalkyl substances, epigenetic age and DNA methylation: a cross-sectional study of firefighters. *Epigenomics* 2021;13(20):1619-36. doi: 10.2217/epi-2021-0225
17. Graber JM, Black TM, Shah NN, et al. Prevalence and Predictors of Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Serum Levels among Members of a Suburban US Volunteer Fire Department. *Int J Environ Res Public Health* 2021;18(7)
18. Jin C, Sun Y, Islam A, et al. Perfluoroalkyl acids including perfluorooctane sulfonate and perfluorohexane sulfonate in firefighters. *J Occup Environ Med* 2011;53(3):324-8. doi: 10.1097/JOM.0b013e31820d1314 [published Online First: 2011/02/25]
19. Khalil N, Ducatman AM, Sinari S, et al. Per- and Polyfluoroalkyl Substance and Cardio Metabolic Markers in Firefighters. *J Occup Environ Med* 2020;62(12):1076-81. doi: 10.1097/JOM.0000000000002062 [published Online First: 2020/10/27]
20. Leary DB, Takazawa M, Kannan K, et al. Perfluoroalkyl Substances and Metabolic Syndrome in Firefighters: A Pilot Study. *J Occup Environ Med* 2020;62(1):52-57. doi: 10.1097/JOM.0000000000001756 [published Online First: 2019/10/29]
21. Mesfin Tefera Y, Gaskin S, Mitchell K, et al. Temporal decline in serum PFAS concentrations among metropolitan firefighters: Longitudinal study on post-exposure changes following PFAS foam cessation. *Environ Int* 2023;179:108167. doi: 10.1016/j.envint.2023.108167
22. Nematollahi AJ, Fisher JM, Furlong MA, et al. Comparison of Serum PFAS Concentrations in Incumbent and Recruit Firefighters and Longitudinal Assessment in Recruits. *J Occup Environ Med* 2023 doi: 10.1097/JOM.0000000000003020
23. Nilsson S, Aylward L, Kay M, et al. Evaluation of per- and poly- fluoroalkyl substances (PFASs) in Airservices Australia's Aviation Rescue Fire Fighting Service (ARFFS) Staff – 2018/2019: The University of Queensland, 2020.
24. Nilsson S, Smurthwaite K, Aylward LL, et al. Serum concentration trends and apparent half-lives of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) in Australian firefighters. *Int J Hyg Environ Health* 2022;246:114040. doi: 10.1016/j.ijheh.2022.114040
25. Purdue MP, Rhee J, Denic-Roberts H, et al. A Nested Case-Control Study of Serum Per- and Polyfluoroalkyl Substances and Testicular Germ Cell Tumors among U.S. Air Force Servicemen. *Environ Health Perspect* 2023;131(7):77007. doi: 10.1289/EHP12603
26. Rihackova K, Pindur A, Komprdova K, et al. The exposure of Czech firefighters to perfluoroalkyl substances and polycyclic aromatic hydrocarbons: CELSPAC - FIREexpo case-control human biomonitoring study. *Sci Total Environ* 2023;881:163298. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163298
27. Rotander A, Toms LM, Aylward L, et al. Elevated levels of PFOS and PFHxS in firefighters exposed to aqueous film forming foam (AFFF). *Environ Int* 2015;82:28-34. doi: 10.1016/j.envint.2015.05.005 [published Online First: 2015/05/24]
28. Shaw SD, Berger ML, Harris JH, et al. Persistent organic pollutants including polychlorinated and polybrominated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in firefighters from Northern California. *Chemosphere* 2013;91(10):1386-94. doi: 10.1016/j.chemosphere.2012.12.070
29. Tao L, Kannan K, Aldous KM, et al. Biomonitoring of perfluorochemicals in plasma of New York State personnel responding to the World Trade Center disaster. *Environ*

- Sci Technol* 2008;42(9):3472-8. doi: 10.1021/es8000079 [published Online First: 2008/06/05]
30. Trowbridge J, Gerona RR, Lin T, et al. Exposure to Perfluoroalkyl Substances in a Cohort of Women Firefighters and Office Workers in San Francisco. *Environ Sci Technol* 2020;54(6):3363-74.
 31. NIRAS for Regionernes Videnscenter for Miljø og Ressourcer. Datablad for brandøvelsespladser, brandstationer, større brande og skumfester. 2021 09.07.2021. <https://www.miljoeogressourcer.dk/udgivelser.php?lixd=5202> (accessed 10.10.2021).
 32. Wikipedia. Firefighting foam. 2024. https://en.wikipedia.org/wiki/Firefighting_foam (accessed 10.06.2024).
 33. Rosenfeld PE, Spaeth KR, Remy LL, et al. Perfluoroalkyl substances exposure in firefighters: Sources and implications. *Environ Res* 2023;220:115164. doi: 10.1016/j.envres.2022.115164
 34. Ruyle BJ, Thackray CP, Butt CM, et al. Centurial Persistence of Forever Chemicals at Military Fire Training Sites. *Environ Sci Technol* 2023;57(21):8096-106. doi: 10.1021/acs.est.3c00675
 35. Peaslee GF, Wilkinson JT, McGuinness SR, et al. Another Pathway for Firefighter Exposure to Per- and Polyfluoroalkyl Substances: Firefighter Textiles. *Environmental Science & Technology Letters* 2020;7(8):594-99. doi: 10.1021/acs.estlett.0c00410
 36. Muensterman DJ, Titaley IA, Peaslee GF, et al. Disposition of Fluorine on New Firefighter Turnout Gear. *Environ Sci Technol* 2022;56(2):974-83. doi: 10.1021/acs.est.1c06322
 37. Dobraca D, Israel L, McNeel S, et al. Biomonitoring in California firefighters: metals and perfluorinated chemicals. *J Occup Environ Med* 2015;57(1):88-97.
 38. IARC. IARC monograph on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals: Vol 98 Painting, Firefighting and Shiftwork. 2010. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/06/mono98.pdf> (accessed 01.03.2018).
 39. Petersen KU, Pedersen JE, Bonde JP, et al. Long-term follow-up for cancer incidence in a cohort of Danish firefighters. *Occup Environ Med* 2018;75(4):263-69.
 40. IARC. Occupational exposure as a firefighter. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer 2023.
 41. Miljøministeriet - Miljøstyrelsen. PFAS i brandslukningsskum - En kortlægning af skumvæsker til øvelser, 2023.
 42. Forsvarsministeriet - Materiel og Indkøbsstyrelsen. Udfasning af PFAS-holdigt skumvæske i Forsvarsministeriets koncern. Ballerup, 2021.
 43. Rigsrevisionen. Miljøministeriets og Forsvarsministeriets indsats mod PFAS. København: Folketinget, 2023.
 44. Jørgensen NK, Brauer C, Carstensen O. Virksomhedsbesøg. 2014. <https://dasam.dk/wp-content/uploads/2019/03/Virksomhedsbes%C3%B8g.pdf> (accessed 20.02.2023).
 45. Kruse JP. Til Vikings kunder: Viking Life-Savings Equipment A/S, 2021.
 46. Harris PA, Taylor R, Thielke R, et al. Research electronic data capture (REDCap)--a metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *J Biomed Inform* 2009;42(2):377-81.
 47. Staerke NB, Reekie J, Johansen IS, et al. Cohort Profile: The Danish National Cohort Study of Effectiveness and Safety of SARS-CoV-2 vaccines (ENFORCE). *BMJ Open* 2022;12(12):e069065. doi: 10.1136/bmjopen-2022-069065

48. Sogaard OS, Reekie J, Johansen IS, et al. Characteristics associated with serological COVID-19 vaccine response and durability in an older population with significant comorbidity: the Danish Nationwide ENFORCE Study. *Clin Microbiol Infect* 2022 doi: 10.1016/j.cmi.2022.03.003 [published Online First: 20220311]
49. Hull SD, Deen L, Petersen KU, et al. Time trends in per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) concentrations in the Danish population: A review based on published and newly analyzed data. *Environ Res* 2023;237(Pt 2):117036. doi: 10.1016/j.envres.2023.117036
50. Miljøstyrelsen. Spredning og sammensætning i grundvand ved PFAS-forureninger - Litteraturstudie, 2016.
51. Pedersen JE, Ugelvig Petersen K, Hansen J. Full employment history of Danish firefighters potentially involving additional exposures, 1964-2015. *Am J Ind Med* 2020;63(4):328-36. doi: 10.1002/ajim.23089
52. Petersen KU. Adverse occupational health effects in firefighters - mortality, cancer and infertility. University of Copenhagen, 2018.
53. Pedersen JE, Petersen KU, Andersen MG, et al. Cancer incidence in a cohort of Danish firefighters: An extended long-term follow-up 1968-2021. *Am J Ind Med* 2024;67(9):857-64. doi: 10.1002/ajim.23635