

Forebyggelse af sodpåvirkning ved brandslukning (Biobrand 2)

Slutrapport til Arbejdsmiljøforskningsfonden

Projektnr.: 31-2019-03

Anne Thoustrup Saber, Maria Helena Guerra Andersen og Ulla Vogel

Slutrapport

Titel	Forebyggelse af sodpåvirkning ved brandslukning (Biobrand 2)
Forfattere	Anne Thoustrup Saber, Maria Helena Guerra Andersen og Ulla Vogel
Udgiver	Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø (NFA)
Udgivet	30. januar 2026
Finansiell støtte	Arbejdsmiljøforskningsfonden (Projektnr./sagsnr.: 31-2019-03/20195100235)
Bedes citeret	Anne Thoustrup Saber, Maria Helena Guerra Andersen og Ulla Vogel (2025). Forebyggelse af sodpåvirkning ved brandslukning (Biobrand 2). Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø.

Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø

Lersø Parkallé 105
2100 København Ø
Tlf.: 39165200
Fax: 39165201
e-post: nfa@nfa.dk
Hjemmeside: nfa.dk

Forord

Arbejdsmiljøforskningsfonden (AMFF) bevilgede i 2019 2.997.607 kroner til projektet 'Forebyggelse af sodpåvirkning ved brandslukning' med akronymet 'Biobrand 2'.

Hovedformålet med projektet var at undersøge om brandfolks udsættelse for sod kunne reduceres ved forskellige interventioner.

Vi vil gerne takke interessentgruppen, som bestod af repræsentanter fra Beredskabsstyrelsen, Trekantsområdets Brandvæsen, Hovedstadens Beredskab, Østjyllands Brandvæsen, Beredskab Øst, Østsjælland Beredskab, Falck Danmark A/S, DOBL, LFDB, Brancheudvalget for brand og redning, FOA, Danske Beredskaber, Brandfolkenes Cancerforening, Forsvarsministeriets Center for Arbejdsmiljø og Arbejdstilsynet, for deres støtte, gode diskussioner og at formidle vores resultater til branchen. Desuden vil vi gerne rette en særlig tak til de deltagende brandstationer og Beredskabsstyrelsen samt de brandfolk og værnepligtige, som har deltaget som forsøgspersoner i vores studie.

Vi vil også gerne takke Biobrand 2 projektgruppen, som har bidraget på forskellig vis herunder udførelsen af feltmålinger, foretaget observationer samt laboratorie- og dataanalyse, artikelskrivning med mere. Tak til Eva-Carina Nørskov (fra Mærsk-Nielsen HR), Niels Ebbenhøj og Tanja Carøe (Arbejds- og socialmedicinsk afdeling, Holbæk Sygehus), Anja Julie Huusom (fra Bispebjerg Hospital) samt Marie Frederiksen, Simon Pelle Jensen, Vivi Kofoed-Sørensen, Ulla Tegner, Anne Abildtrup og Per Axel Clausen (alle fra NFA).

Projektet blev igangsat den 1. november 2019 og sluttede den 30. januar 2026. Projektet var oprindeligt planlagt til at vare 2 1/2 år men blev forlænget med ca. 3 1/2 år bl.a. p.g.a. COVID-19 pandemien og en lang artikelpubliceringsproces.

God læselyst!

Anne Thoustrup Saber, Maria Helena Guerra Andersen og Ulla Vogel

Januar, 2026

Indhold

Forord	3
Indhold	4
Sammenfatning	5
Summary	7
1. Indledning	9
1.1 Biobrand 1 projektet	9
1.2 Optag af tjærestoffer over huden	9
1.3 Hudeksponering og risiko for kræft	9
1.4 Nedsættelse af eksponering ved intervention	10
2. Formål	10
3. Fremgangsmåde og diskussion af resultater	11
3.1. Brandstationer	11
3.1.1 Forsøgsdesign	11
3.1.2 Mindre sodeksponering end for 7 år siden	12
3.1.3 Udsættelse for tjærestoffer på døgnvagter både med og uden brandindsatser.....	13
3.1.4 Effekt af interventioner.....	14
3.2. Beredskabsstyrelsen	15
3.2.1 Forsøgsdesign	15
3.2.2 Sodforebyggende tiltag gennemført efter Biobrand 1	16
3.2.3 Biobrand 2 intervention	16
4. Vejledningsmateriale og øvrig formidling	16
4.1 Faktaark.....	16
4.2 Formidling/workshop med deltagende brandstationer.....	16
4.3 Formidling til politiske beslutningstagere og myndigheder	17
5. Konklusioner	17
6. Perspektivering	17
7. Publikationer og produkter fra projektet	18
7.1 Peer reviewede accepterede videnskabelige artikler	18
7.1.1 Biobrand 2 artikler	18
7.1.2 Fælles Biobrand 2 og Biobrand 3 artikel.....	18
7.2 Konferencebidrag	18
7.2.1 Biobrand 2 bidrag	18
7.2.2 Fælles Biobrand 2 og Biobrand 3 bidrag.....	19
7.3 Populærvidenskabelig formidling/presse	19
7.4 Mundtlig formidling	19
Referencer	20

Sammenfatning

Hovedformålet med Biobrand 2 projektet var at undersøge om brandfolks udsættelse for sod kunne reduceres ved forskellige interventioner.

Resultaterne viser, at den målrettede indsats, som branchen har gennemført siden Biobrand 1-projektet, har haft en betydelig og positiv effekt. Sammenlignet med målinger foretaget for ca. 7 år siden er både hudeksponering og udskillelsen af tjærestofmetabolitter i urin markant reduceret. Selvom de analytiske metoder til analyse af urinmetabolitter i Biobrand 1 og 2 ikke er direkte sammenlignelige, er forskellen i størrelsesorden så markant, at den vurderes at afspejle en reel reduktion i PAH-eksponeringen. Dette er et resultat af konkrete ændringer i arbejdsgange, bedre hygiejnepraksis og et øget fokus på forebyggelse på danske brandstationer og ved Beredskabsstyrelsen.

Studiet dokumenterer dog samtidig, at der fortsat sker betydelig udsættelse for tjærestoffer under brandslukning. Niveauet af 1-hydroxypyren i urin var gennemsnitligt tre gange højere efter brandindsats, hvilket er i tråd med internationale studier. Men et vigtigt fund er også, at PAH-eksponering ligeledes stiger på døgnvagter uden brandudrykninger. Da brandfolk tilbringer en stor del af deres arbejdstid på brandstationen, viser resultaterne, at sekundær eksponering, som fx kan komme fra fx forurenede udstyr, udgør en væsentlig del af deres samlede påvirkning. Rengjort udstyr viste sig i flere tilfælde ikke at være fuldstændigt fri for tjærestoffer, hvilket kan bidrage til yderligere hudeksponering. Disse fund peger på, at fremtidige indsatser fortsat bør fokusere på arbejdsmiljøet på brandstationerne og effektiviseringen af rengøringsprocesser.

Projektets interventioner ved brandstationer giver viden om tiltag, der potentielt kan reducere PAH-eksponering. Bad efter brandindsats viste sig at reducere tjærestoffer på huden med 64 %, hvilket understøtter Arbejdstilsynets anbefalinger om at gå i bad efter brandindsats. Derimod gav tiltaget om bad efter alle brandindsatser ingen yderligere effekt. Saunainterventionen reducerede flere PAH-metabolitter i urin, men kræver yderligere undersøgelser, da varme kan medføre kredsløbsbelastning. Dette kan være problematisk for en gruppe, der i forvejen udsættes for varme og stor fysiskbelastning under brandslukning. Interventionen med branddragter med partikelmembran viste en tendens til reduceret eksponering, men resultaterne var ikke tilstrækkeligt entydige til at drage sikre konklusioner.

Studiet gennemført ved Beredskabsstyrelsen viser samme overordnede tendens som blandt de professionelle brandfolk: Markant lavere baseline-niveauer af sod sammenlignet med Biobrand 1 samt en positiv effekt af de ændringer, der er implementeret ved Beredskabsstyrelsen. Det dokumenterer, at branchens villighed til at tage ny viden i brug og samarbejde med forskningsmiljøet har haft konkret effekt på de værnepligtiges eksponeringsniveauer. Resultaterne fra selve interventionen med engangshandsker er endnu ikke publiceret.

Samlet viser Biobrand 2, at der de seneste år er sket væsentlige forbedringer i brandslukningsfagets forebyggelse af tjærestofeksposering. Det gælder både på brandstationerne og i uddannelsessystemet. Men studiet viser også tydeligt, at eksposering fortsat forekommer både under og uden for aktive brandindsatser, og at der er behov for fortsat fokus på arbejdsgange, rengøring, udstyrsdesign og brandstationens indretning. Fremtidigt kan større viden om effekten af forskellige hygiejneinitiativer og udviklingen af tekniske løsninger bidrage til yderligere at styrke brandfolks arbejdsmiljø og reducere risikoen for langsigtede helbredseffekter.

Summary

The main objective of the Biobrand 2 project was to investigate whether firefighters' exposure to soot could be reduced through various interventions.

The results show that the targeted efforts implemented by the sector since the Biobrand 1 project have had a substantial and positive effect. Compared with measurements carried out approximately seven years ago, both skin exposure and the urinary excretion of tar-related metabolites have been markedly reduced. Although the analytical methods used to analyse urinary metabolites in Biobrand 1 and Biobrand 2 are not directly comparable, the difference is of such a magnitude that it is considered to reflect a genuine reduction in PAH exposure. This reduction is the result of concrete changes in work procedures, improved hygiene practices, and an increased focus on prevention at Danish fire stations and within the Danish Emergency Management Agency.

At the same time, the study documents that significant exposure to tar substances still occurs during firefighting. On average, urinary levels of 1-hydroxypyrene increased threefold after firefighting operations, which is consistent with international studies. An important additional finding is that PAH exposure also increases during 24-hour shifts without emergency callouts. As firefighters spend a large proportion of their working time at the fire station, the results indicate that secondary exposure—such as from contaminated equipment—constitutes a substantial part of their overall exposure. In several cases, cleaned equipment was not completely free of tar substances, which may contribute to additional dermal exposure. These findings suggest that future efforts should continue to focus on the working environment at fire stations and on improving the efficiency of cleaning processes.

The project's interventions at fire stations provide insight into measures that may potentially reduce PAH exposure. Showering after firefighting operations was found to reduce tar substances on the skin by 64%, supporting the Danish Working Environment Authority's recommendation to shower after fire response. In contrast, the intervention of mandatory showering after all firefighting operations did not provide any additional effect. The sauna intervention reduced several PAH metabolites in urine but requires further investigation, as heat exposure may lead to thermal and cardiovascular strain. This may be problematic for a group already exposed to considerable physical strain during firefighting. The intervention involving turnout gear with a particle membrane showed a tendency towards reduced exposure, but the results were not sufficiently consistent to allow firm conclusions to be drawn.

The study conducted within the Danish Emergency Management Agency shows the same overall trend as observed among professional firefighters: markedly lower baseline soot levels compared with Biobrand 1 and a positive effect of the changes implemented at the agency. This demonstrates that the sector's willingness to adopt new knowledge and collaborate with the research community has had a tangible effect on exposure levels

among conscripts. Results from the intervention involving disposable gloves have not yet been published.

Overall, Biobrand 2 shows that in recent years there have been significant improvements in the fire service's prevention of exposure to tar substances. This applies both at fire stations and within the education and training system. However, the study also clearly shows that exposure continues to occur both during and outside active firefighting operations, and that there is a continued need to focus on work procedures, cleaning, equipment design, and the layout of fire stations. In the future, greater knowledge about the effectiveness of different hygiene initiatives and the development of technical solutions may help to further strengthen firefighters' working environment and reduce the risk of long-term health effects.

1. Indledning

Brandbekæmpelse er klassificeret som kræftfremkaldende for mennesker (1) af WHO's internationale kræftagentur (IARC)(IARC, 2023). Brandrøg kan indeholde mange forskellige kræftfremkaldende stoffer herunder tjærestoffer, hvoraf flere er kræftfremkaldende(IARC, 1983). Brandfolk anvender personlige værnemidler som røgdykkerudstyr, for at beskytte sig mod indånding af røgpartikler og hudeksponering for røg og sod.

1.1 Biobrand 1 projektet

Data fra vores første biomoniteringsprojektet af danske brandfolk og røgdykkere (omtales 'Biobrand 1' herefter) viste, at værnepligtige under uddannelse til røgdykkere (Andersen et al., 2018a) og danske brandfolk (Andersen et al., 2018b) eksponeres for tjærestof på huden under røgdykning, og at tjærestofmængden på huden korrelerer signifikant med udskillelsen af tjærestofmetabolitter i urin og niveauet af DNA-skader i blodceller hos de værnepligtige (Andersen et al., 2018a). Dette tyder på, at hudeksponeringen bidrager til den indre tjærestofeksponering og DNA-skader. Eksponering for sod på huden kan skyldes, at der er sod på diverse brandsluknings-udstyr eller at det anvendte beskyttelsesudstyr er gennemtrængeligt for tjærestoffer. I Biobrand 1 observeredes store inter-individuelle forskelle på deltagernes tjærestofniveau på huden samt i niveauet af tjærestofmetabolitter i urin (Andersen et al., 2018a). Ovenstående tyder på, at der er et stort forebyggelsespotentiale. I nærværende projekt ønskedes det belyst, om sodeksponeringen på huden kan reduceres, og om dette medfører et nedsat optag af tjærestoffer i kroppen målt som nedsat udskillelse af tjærestofmetabolitter i urin.

1.2 Optag af tjærestoffer over huden

Sod indeholder tjærestoffer, hvoraf mange er kræftfremkaldende (IARC, 1983). Pyren er et eksempel på et tjærestof, som typisk findes i alle tjæreblandinger (IARC, 1983). Tidligere studier af eksponeringsveje blandt arbejdere udsat for tjærestoffer tyder på, at de mest betydningsfulde eksponeringsveje for tjærestoffet pyren i arbejdsmiljøet er via indånding og optag over huden (Jongeneelen, 2014). Det samme forventes at gøre sig gældende ved brandbekæmpelse. Når pyren optages i kroppen, omsættes det til 1-hydroxypyren, som udskilles i urinen. 1-hydroxypyren anvendes som generel biomarkør for erhvervsmæssig udsættelse for tjærestoffer (Hansen et al., 2008; Jongeneelen, 2014).

Studier har vist, at pyren optages gennem huden (Storer et al., 1984; VanRooij et al., 1993). For eksempel blev det estimeret, at optag af pyren gennem huden udgjorde 75 % af den totale kropsdosis for koksovnarbejdere (VanRooij et al. 1993). Desuden er der målt betydelig udskillelse af 1-hydroxypyren i urinen fra frivillige eksponeret for pyren på huden (Viau et al., 1995).

1.3 Hudeksponering og risiko for kræft

Udsættelse for tjærestoffer på huden kan både resultere i lokale effekter i huden og i systemiske effekter. Eksempler på lokal effekt er hudkræft på pungen hos skorstensfejere

efter kontakt med sod (Hall, 1998) og øget DNA skade og mutationsfrekvens i huden på mus penslet med stenkulstjære på huden (Thein et al., 2000). De systemiske effekter kan opstå, hvis kræftfremkaldende tjærestoffer trænger gennem huden og via blodcirkulationen når indre organer, hvor de kan forårsage DNA skade. I Biobrand 1 fandt vi øget niveau af oxidativ DNA-skade i blodceller hos værnepligtige efter røgdykningskursus i forhold til når deltagere var i klasseværelset uden sodeksponering. Desuden fandt vi en signifikant sammenhæng mellem tjærestofeksposering på hud, udskillelse af tjærestofmetabolit i urin og DNA-skade i blodceller (Andersen et al., 2018a). Et studie af canadiske brandfolk viser øget niveau af tjærestofmetabolitter i urin og øget niveau af mutagenicitet af urinen efter brandslukning (Keir et al., 2017). I det canadiske studie er der, som i Biobrand 1, en signifikant sammenhæng mellem tjærestoffer på hud og tjærestofmetabolitter i urin. Et andet studie af aspiranter ved den svenske Beredskabsstyrelse viste, at der var sammenhæng mellem udskillelse af tjærestof-metabolit i urin og udsættelse for tjærestof på hud (Wingfors et al., 2018). Alle tre studier tyder derfor på, at tjærestoffer, som bliver optaget gennem huden, bidrager til DNA-skader. Hvis DNA-skader ikke bliver korrekt repareret, kan der opstå mutationer, som kan være første trin på vejen til udvikling af kræft.

1.4 Nedsættelse af eksponering ved intervention

I et finsk studie undersøgte hudbeskyttelsen mod tjærestoffer ved brug af et sæt underhandsker under de egentlige brandhandsker ved brandslukningsøvelser. Desuden sammenlignedes beskyttelseseffektiviteten for hudeksponering af tjærestoffer af to forskellige typer branddragter. Studiet viste, at underhandsker reducerede mængden af tjærestoffer på huden med næsten 80 %, mens der ikke var forskel i beskyttelseseffektiviteten mellem de to forskellige typer branddragter (Laitinen et al., 2010).

Optaget af tjærestoffer blev undersøgt i en gruppe sygeplejersker, som påførte patienter salver indeholdende stenkulstjære med og uden handsker. Studiet viste, at brug af handsker reducerede hudkontamineringen for to undersøgte tjærestoffer (pyren og benzo(a)pyren) med mere end 97 % og reducerede udskillelsen af 1- hydroxypyren med mere end 50 % (Scheepers et al., 2009).

Feedback på egen eksponering kan virke som en intervention: F.eks. har et studie af landmænd vist, at landmænds personlige eksponering for inhalerbart organisk støv blev reduceret med mellem 20 og 30 %, efter at de havde modtaget feedback på eget eksponeringsniveau (Basinas et al., 2016).

2. Formål

Formålet med Biobrand 2 projektet var at undersøge, om ændringer i arbejdsgange nedsætter tjærestofeksposeringen i forbindelse med brandslukning.

3. Fremgangsmåde og diskussion af resultater

Vi har undersøgt om ændrede arbejdsgange ved brandslukning mindsker sodafsætningen på hud på to måder:

1. Interventionsundersøgelse ved tre udvalgte brandvæsener
2. Interventionsundersøgelse ved Beredskabsstyrelsen

Projektgruppen har løbende afholdt møder med projektets interessentgruppe for at diskutere valget af interventioner og projektets øvrige aktiviteter.

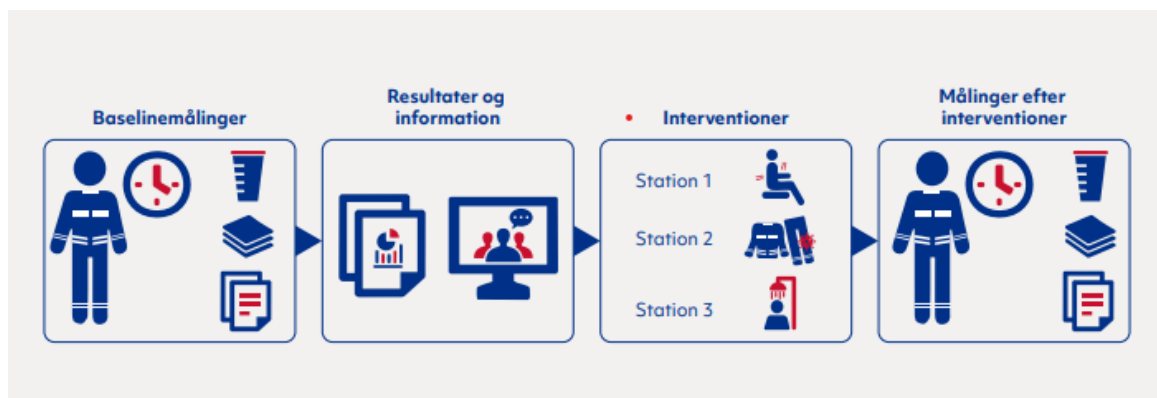
3.1. Brandstationer

Tjærestofeksposeringen blev undersøgt på brandfolk på en række brandstationer forskellige steder i landet.

Formålet var at undersøge, om 3 forskellige interventioner kunne mindske brandfolkenes udsættelse for tjærestoffer under røgdykning. Resultaterne er sammenfattet nedenfor. Flere detaljer kan findes i den videnskabelige artikel (Saber et al., 2025).

3.1.1 Forsøgsdesign

Der deltog 26 brandfolk fra 3 danske brandstationer. Forsøgsdesignet kan ses på figur 1.



Figur 1. Studiedesign for interventionsstudiet på brandstationer

Brandfolkene indsamlede selv prøverne hhv. før (baseline) og efter intervention, som varede 1-2 måneder. De blev instrueret i at indsamle prøver på alle deres vagter i indsamlingsperioderne og fungerede på den måde som deres egne 'kontroller'. Før

indsamlingen af prøver efter interventioner fik brandfolkene undervisning i de sundhedsskadelige effekter af tjærestoffer og en tilbagemelding på niveauet af tjærestoffer på deres hud i baselineperioden. Derudover skulle de gennemføre et af følgende tiltag (interventioner):

- » Gå i sauna efter en brandindsats (brandstation 1)
- » Bruge branddragt med partikelmembran (brandstation 2)
- » Tage bad efter ALLE brandindsatser (brandstation 3)

De indsamlede prøver blev undersøgt på følgende måde:

- » Analyse af indholdet af 16 forskellige tjærestoffer i hudafmålingsservietter (indsamlet ved vagtdøgnet start og afslutning samt før og efter bad efter brandindsatser).
- » Analyse af indholdet af 8 forskellige tjærestofmetabolitter i urin (indsamlet ved vagtdøgnet start og afslutning)

3.1.2 Mindre sodeksponering end for 7 år siden

Resultaterne viser, at brandfolkene på de tre brandstationer generelt er væsentligt mindre påvirkede af sod (målt som baselinemålinger) sammenlignet med baselinedata fra det tidligere Biobrand 1-studie (2015-2017). Resultaterne kan ikke sammenlignes direkte, da de analytiske metoder for analyse af urinmetabolitter adskiller sig, og metoden anvendt i Biobrand 2 er mere specifik end den tidligere. Ikke desto mindre tyder størrelsesordenen af forskellen i urin-niveauerne af 1-OHPYR mellem de to studier på en betydelig reduktion i den interne PAH-eksponering over tid. Vi så tilsvarende reduktioner i tjærestoffer på hud. De reducerede baseline-niveauer i den nuværende undersøgelse skyldes sandsynligvis en række initiativer til at reducere PAH-eksponering på de deltagende brandstationer, som blev implementeret efter vores første studie.

Karakteren af de sodreducerende initiativer, der blev indført mellem de to undersøgelser, varierede mellem brandstationerne. Eksempler på sådanne initiativer inkluderer brug af særlige posere til kontamineret udstyr, som åbner under vask i vaskemaskinen, samt adskilte områder til rent og kontamineret udstyr, og specialdesignede maskiner til rengøring af brandslanger uden menneskelig kontakt — blot for at nævne nogle.

Vi mener, at dialogen med brandstationerne og andre interessenter om resultaterne af vores tidligere studie, som fremhævede betydningen af PAH-eksponering på huden for genotoksiske effekter, har bidraget til det øgede fokus på hygiejne. Derudover lancerede Arbejdstilsynet i 2019 en kampagne med det formål at få brandfolk til at gå i bad umiddelbart efter udkald. Kampagnen henviste direkte til Biobrand 1-projektet.

Dette er et klart resultat af, at branchen på eget initiativ har omsat de erfaringer, de har fået fra at deltage i projektet og samarbejde tæt med forskerne fra NFA, og efterfølgende implementeret en række tiltag til at mindske sodpåvirkningen på brandstationerne.

3.1.3 Udsættelse for tjærestoffer på døgnvagter både med og uden brandindsatser

Vi fandt en tredobbelt stigning i gennemsnitlige 1-OHP-niveauer fra præ-vagt (0,03 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin) til post-vagt (0,1 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin) efter et brandudrykning. Efter-brand-niveauerne blandt de danske brandfolk svarer til dem i en tysk baggrundsbefolkning og ligger under niveauerne for rygere (Taeger et al., 2023) samt under den foreslåede grænse for ingen observeret genotoksisk effekt på 1,0 $\mu\text{mol/mol}$ kreatinin (Jongeneelen, 2014).

På tværs af forskellige brandtyper og prøvetidspunkter ligner ændringerne dem fra andre nyere studier: Et tysk studie fandt en fordobling af 1-OHPYR 2–4 timer efter brandslukning (Taeger et al., 2023), et amerikansk studie rapporterede en 1,6–2,2-fold stigning (Hoppe-Jones et al., 2021), og et canadisk studie fandt en 1,5-fold stigning 18 timer efter indsats (Keir et al., 2023).

Størstedelen af brandfolkenes vagter forløb uden brandudrykninger. Selvom brandfolk har andre opgaver uden for brandstationen end brandslukning, såsom f.eks. assistance ved trafikulykker, betyder dette, at brandfolk tilbringer en betydelig del af deres arbejdstid på brandstationen. Arbejdet på brandstationen omfattede, men var ikke begrænset til, rengøring af brugt udstyr samt vedligeholdelse af røgdykkerudstyr og køretøjer. Derfor kan sekundær eksponering på brandstationen – ud over eksponeringen under selve brandslukningen – være vigtig for brandfolks samlede erhvervsmæssige eksponering.

Ikke desto mindre har de fleste undersøgelser af brandfolk fokuseret på eksponering under selve brandslukningen, og kun få har vurderet eksponering på brandstationer. Resultaterne fra vores undersøgelse viste, at en 24-timers vagt uden brandudrykninger var forbundet med en betydelig stigning i den interne eksponering for PAH'er målt som PAH-metabolitter i urin (niveauerne af 1-OHPYR og 2-OH-FLU steg med henholdsvis 38 % og 8 %).

For at vurdere effektiviteten af rengøringsproceduren for brugt udstyr målte vi PAH'er på rengjort udstyr på en af de deltagende brandstationer (Station 3). Selvom antallet af prøver i den aktuelle undersøgelse var lavt, viste resultaterne, at rengøring af udstyr ikke altid fjernede alle PAH'er. Dette kan medføre hudeksponering både under selve rengøringen og ved håndtering af det rengjorte udstyr. Tidligere studier har vist, at doseringen af vaskemiddel er vigtig ved rengøring af tekstiler brugt som brandmandsudstyr: Rengøringseffektiviteten for PAH'er steg med mere end 90 %, når der blev brugt højere koncentrationer af vaskemiddel end anbefalet (Hossain et al., 2023). Desuden har forudgående iblødsætning vist sig at øge fjernelsen af højmolekylære PAH'er (Hossain and Ormond, 2024).

En nylig gennemgang af forurening på brandstationer identificerede brandmandsudstyr og personligt beskyttelsesudstyr som nogle af de vigtigste kilder til forurening på brandstationer (Brulewska, 2024). Gennemgangen understregede også, at der er behov for mere viden om niveauet af forurenende stoffer på brandstationer. Resultaterne fra

den aktuelle undersøgelse og de ovenfor nævnte studier viser, at der – trods mange igangværende hygiejnetiltag på brandstationerne for at reducere sodforurening – stadig er plads til forbedring og behov for dokumentation af effekten af disse tiltag.

Resultaterne viser også, at brandfolk bliver udsat for sodpåvirkning både under udrykninger, og når de arbejder på brandstationen. Det sidste fund understreger behovet for nye studier, som fokuserer på at mindske sodpåvirkningen under arbejde på selve brandstationen.

3.1.4 Effekt af interventioner

Bad

Standardbad efter brandindsats mindskede niveauerne af tjærestoffer på huden med 64 %. Derimod reducerede interventionen 'Tage bad efter ALLE brandindsatser' ikke tjærestofniveauet på huden yderligere og havde ingen effekt på niveauet af tjærestofmetabolitter i urinen. Resultatet understøtter derfor Arbejdstilsynets kampagne, som opfordrer brandfolk til at gå i bad hurtigst muligt efter brandslukning – en kampagne som blev igangsat efter Biobrand 1-projektet.

Sauna

Baggrunden for saunainterventionen på Station 1 var en udbredt opfattelse blandt brandfolk af, at sauna reducerer sodeksponering og -lugt. Resultaterne fra vores undersøgelse viste fald på henholdsvis 37, 34 og 28 % i de gennemsnitlige urin-niveauer af 1-OHPYR, Σ OHPHE og 2-OHFLU efter saunabehandling (inklusive brusebad før sauna). Σ OHNAP blev reduceret med 24 %, men ikke signifikant. Denne reduktionsgrad svarer til et studie af amerikanske brandfolk (n = 12), hvor infrarød saunabehandling i 20 minutter ved 49 °C reducerede det geometriske gennemsnit af totale OH-PAH'er i urin indsamlet 12 timer efter eksponering med 43,5 % sammenlignet med en kontrolgruppe uden saunabehandling (n = 12) (Burgess et al., 2020). Den største reduktion – dog ikke statistisk signifikant – sås for urinære OHNAP-metabolitter (Burgess et al., 2020).

Der er dog behov for flere studier for at kunne vurdere effekten af sauna på den systemiske PAH-eksponering, og det skal bemærkes, at saunainterventionen sandsynligvis var en kombination af sauna og et ekstra brusebad. Derudover skal mulige effekter af sauna på andre helbredsudfald, herunder yderligere varme og belastning af hjertekarsystemet, tages i betragtning. Vi indsamlede ikke temperaturmålinger eller andre markører for hjertekarsystemet fra de deltagende brandfolk. I studiet af Burgess et al. steg kernetemperaturen dog ikke under eller efter saunabehandlingen, men pulsen var forhøjet efter saunaen, hvilket indikerer varmebelastning (Burgess et al., 2020).

Flere kardiovaskulære markører (herunder trombedannelse, karfunktion og myokardieiskæmi) blev negativt påvirket i et studie af 19 erfarne brandfolk efter 20 minutters træningsøvelser i brandslukning (Hunter et al., 2017). Desuden har en langtidsopfølgning af danske brandmænd vist en moderat forhøjet forekomst af især

iskæmisk hjertesygdom og atrieflimren sammenlignet med øvrige erhvervsaktive mænd, særligt blandt fuldtidsansatte brandmænd (Pedersen et al., 2018). En helt ny dansk undersøgelse har ydermere vist, at danske fuldtidsbrandfolk har 36% øget risiko for nyresten, hvor dehydrering er en kendt risikofaktor (Pedersen et al., 2025). Stærk varme herunder sauna kan medføre dehydrering.

Det vil være bekymrende, hvis brug af sauna efter brandslukning øger belastningen af hjertekar-systemet.

Branddragt med partikelmembran

Interventionen 'Brug branddragt med partikelmembran' reducerede niveauet af tjærestoffer, men resultaterne er ikke entydige og tillod ikke en endelig konklusion om effekten.

3.2. Beredskabsstyrelsen

Denne del af projektet bestod i at gennemføre et kontrolleret forsøg på ca. 50 unge værnepligtige, som var ved at uddanne sig til redningsspecialister ved Beredskabsstyrelsen.

3.2.1 Forsøgsdesign

I løbet af uddannelsen deltog de værnepligtige i to forskellige brandslukningskurser. I dette projekt foregik det første af kurserne, som det er sædvanlig praksis. I forbindelse med det andet af kurserne, modtog de værnepligtige en specifik instruktion i, hvordan de kan forsøge at undgå at få sod på huden ved at anvende engangshandsker under brandhandskerne kombineret med undervisning i de helbredsmæssige effekter af sodeksponering. Valget af handsker som intervention blev fastlagt i samråd med Beredskabsstyrelsen og interessenterne i projektets følgegruppe. Der blev målt tjærestofniveauer i urin og aftørret sod fra huden efter begge brandslukningsøvelsesforløb samt på en uddannelsesdag, hvor der ikke foregik brandslukning. Udsættelsen for partikler blev hos enkelte deltagere målt i indåndingszonen.

For at bestemme det mest optimale tidspunkt for indsamling af urinprøver analyserede vi 8 OH-PAH-metabolitter i urin indsamlet løbende over 2 døgn efter endt røgdykkerøvelse på et mindre antal forsøgsdeltagere. På baggrund af resultaterne blev det fastslået, at det ved den nuværende uddannelse af værnepligtige i røgdykning var mest hensigtsmæssigt at indsamle urinprøver senere samme dag som eksponeringen for at detektere den maksimale udskillelse. I den nuværende opsætning var dette 4–6 timer efter afslutningen af øvelsen eller 8–10 timer efter eksponeringens start. Hvis prøvetagningen derimod blev udført næste morgen, ville de fleste PAH'er allerede være udskilt, hvilket kunne gøre det vanskeligt at påvise potentielle eksponeringsforskelle. Metoden samt tidsforløbet for tjærestofudskillelse er beskrevet i detaljer i en videnskabelig artikel (Frederiksen et al., 2024).

3.2.2 Sodforebyggende tiltag gennemført efter Biobrand 1

Som en naturlig del af projektet observerede vi træningspraksis ved røgdykkerøvelserne. I såvel Biobrand 2 som Biobrand 3, hvor prøveindsamlingen foregik i umiddelbar forlængelse af Biobrand 2, observerede vi, at Beredskabsstyrelsen har ændret i deres træningspraksis ved røgdykkerkurserne på baggrund af resultaterne i Biobrand 1. Resultaterne fra Biobrand 1 blev diskuteret med Beredskabsstyrelsen og den øvrige følgegruppe og mulige kilder til eksponering og forebyggende tiltag blev identificeret. De identificerede kilder til eksponering bestod bl.a. i placering af 'briefing/debriefing'- og hvileområder, udstødning fra brandbil, begrænset mulighed for rengøring på selve træningslokationen samt håndtering af kontamineret materiel. Herefter gennemførte Beredskabsstyrelsen en række praktiske ændringer. Disse ændringer førte til reducerede niveauer af partikeleksponering via luftvejene, nedsat sodeksponering på huden og reduktion i tjærestofmetabolitter i urinen. Dog blev der foretaget ændringer i analysemetoden til bestemmelse af PAH-metabolitter i urin mellem Biobrand 1 og Biobrand 2/3, og sammenligningen bør derfor tolkes med forsigtighed.

Resultaterne viser altså, at de værnepligtige ligesom vi fandt for de deltagende brandfolk generelt er væsentligt mindre påvirkede af sod (målt som baselinemålinger) sammenlignet med baselinedata fra det tidligere Biobrand 1-studie (2015-2018). Dette er et klart resultat af, at branchen på eget initiativ har omsat de erfaringer, de har fået fra at deltage i projektet og samarbejde tæt med forskerne fra NFA, og efterfølgende implementeret en række tiltag for at mindske sodpåvirkningen ved Beredskabsstyrelsen.

3.2.3 Biobrand 2 intervention

Resultaterne fra selve handskeinterventionen er endnu ikke publiceret og omtales derfor ikke yderligere i nærværende rapport. Når data er publiceret vil forsøgsdeltagere, Beredskabsstyrelsen og den øvrige følgegruppe modtage information herom.

4. Vejledningsmateriale og øvrig formidling

4.1 Faktaark

Vi har udarbejdet et NFA-faktaark indeholdende biomoniteringsstudiets vigtigste konklusioner fra undersøgelserne ved brandstationerne. Faktaarket kan downloades fra NFAs hjemmeside: [Tre vigtige konklusioner fra BIOBRAND 2-studiet om brandfolks sodpåvirkning. Faktaark 16-09-2025 - Det Nationale Forskningscenter for Arbejdsmiljø.](#)

4.2 Formidling/workshop med deltagende brandstationer

Da resultaterne for tjærestofniveau på hud før intervention forelå, afholdt vi onlinemøder med de deltagende brandfolk. Ved disse møder præsenterede vi niveauet

af tjærestoffer på hud ved vagtdøgnet start, før og efter bad efter brandindsats samt niveauet ved vagtdøgnet afslutning, og deltagerne kunne spørge ind til resultaterne. Desuden blev de sundhedsskadelige effekter af tjærestoffer gennemgået og interventionen i den kommende prøveindsamlingsperiode blev forklaret. Deltagerne modtog desuden skriftlig information om deres individuelle resultater og gennemsnitsresultater for den enkelte brandstation via e-boks.

I forbindelse med udgivelse af den videnskabelige artikel fik alle deltagere fra biomoniteringsstudiet tilsendt fakta-arket beskrevet i afsnit 4.1.

4.3 Formidling til politiske beslutningstagere og myndigheder

Arbejdstilsynet blev som interessentgruppens andre medlemmer løbende orienteret i forbindelse med afholdelsen af interessentgruppemøder. Derudover blev Arbejdstilsynet og Beskæftigelsesministeriet orienteret om projektets resultater via orientingssager. Desuden orienterede Beskæftigelsesministeren Folketingets Beskæftigelsesudvalg om fundene i forbindelse med publiceringen af den videnskabelige artikel.

5. Konklusioner

Samlet viser Biobrand 2, at der de seneste år er sket væsentlige forbedringer i brandslukningsfagets forebyggelse af tjærestofeksposering. Det gælder både på brandstationerne og i uddannelsessystemet. Men studiet viser også tydeligt, at eksposering fortsat forekommer både under og uden for aktive brandindsatser, og at der er behov for fortsat fokus på arbejdsgange, rengøring, udstyrsdesign og brandstationens indretning. Fremtidigt kan større viden om effekten af forskellige hygiejneinitiativer og udviklingen af tekniske løsninger bidrage til yderligere at styrke brandfolks arbejdsmiljø og reducere risikoen for langsigtede helbredseffekter.

6. Perspektivering

Resultaterne fra Biobrand 2 understreger, at målrettede organisatoriske og tekniske tiltag kan reducere brandfolks eksposering for sundhedsskadelige tjærestoffer markant. Samtidig viser studiet, at der fortsat er udfordringer — især i relation til sekundær eksposering på brandstationerne, effektiv rengøring af udstyr samt fysiologiske belastninger som muligvis kan være forbundet med varmepåvirkning såsom sauna. Det igangværende Biobrand 3 projekt forventes at kunne give mere viden om effekten af varmebelastning og potentielle påvirkninger af hjertekar-systemet. Der er desuden behov for flere studier af hvordan arbejdsgangene kan optimeres yderligere på brandstationer for at minimere forurening i opholds- og arbejdsområder. Endelig viser erfaringerne fra dette projekt, at tæt samarbejde mellem forskere, beredskaber og myndigheder er afgørende for at omsætte ny forskningsbaseret viden til praksis og sikre et fortsat fokus på forebyggelse gennem evidensbaseret viden.

7. Publikationer og produkter fra projektet

7.1 Peer reviewede accepterede videnskabelige artikler

7.1.1 Biobrand 2 artikler

Frederiksen, M., Jensen, S.P., Andersen, M.H.G., Vogel, U., Saber, A.T., 2024. Online SPE-LC-MS-MS method for eight hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine and determination of optimal sampling time after firefighter training. *Toxicol Lett* 400, 9-15.

Saber AT, Frederiksen M, Jensen SP, Kofoed-Sørensen V, Clausen PA, Huusom AJ, Carøe T, Ebbenhøj N, Andersen MHG, Vogel U, 2025. Effects of Different Interventions Aimed at Reducing Dermal and Internal Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Exposure Among Firefighters. *J Xenobiot.* 16;15(5):150. doi: 10.3390/jox15050150. PMID: 40981361; PMCID: PMC12452719.

7.1.2 Fælles Biobrand 2 og Biobrand 3 artikel

Maria Helena Guerra Andersen, Anne Thoustrup Saber, Marie Frederiksen, Eva-Carina Nørskov, Ole Henning Sørensen, Ulla Vogel, 2026. Practical impact of research on firefighters: reduced exposure levels through changes in firefighting training. *Societal Impact*. DOI: [10.1016/j.socimp.2026.100166](https://doi.org/10.1016/j.socimp.2026.100166)

7.2 Konferencebidrag

7.2.1 Biobrand 2 bidrag

Præsentation: 'Two Danish biomonitoring studies of firefighters and train drivers' ved 11th International Symposium on Biological Monitoring in Occupational and Environmental Health (ISBM-11), 28 aug. 2019, Leuven, Belgien, Saber AT (Foredragsholder), Antal tilhørere: ca. 35

Præsentation 'Biomonitoring studies of exposure to airport emissions, diesel exhaust and firefighting' ved 13th International Conference on Environmental Mutagens, 01/09/2022, Ottawa, Canada, Saber AT (Inviteret foredragsholder), Antal tilhørere: 30

7.2.2 Fælles Biobrand 2 og Biobrand 3 bidrag

Aktiviteter ved EUROTOX 2024 - 58th Congress of the European Societies of Toxicology, Copenhagen:

- Arrangering af symposium 'Toxicology - a quest for safer firefighting' (Andersen MGA og Saber AT)
- Præsentation 'Exposure and effect markers during firefighting activities - Danish intervention studies' (Andersen MHG (Foredragsholder))
- Poster 'Interventions to reduce dermal and internal PAH exposure among firefighters and conscripts under education as firefighters' (Saber AT)

Præsentationen 'Using biomarkers to assess the impact of changes in firefighting training' ved 13th International Symposium on Biological Monitoring 9 – 12 September 2025, Milano (Andersen, MHG (Foredragsholder))

7.3 Populærvideenskabelig formidling/presse

Fagbladet FOA Teknik og Service: Mindre sod skal forebygge kræft hos brandfolk
18/04/2023

Redderen: Opdatering på projekter om brandfolks helbred, 02/10/2023

Beredskabsinfo.dk: Forskning: Sauna er brandfolks bedste våben mod farlig sod på huden, 17/09/2025

Populærvideenskabelig artikel: Planlagt indsendt til Dansk Kemi

NFA Faktaark

7.4 Mundtlig formidling

Projektet Biobrand 2 er blevet formidlet ved følgende lejligheder:

Præsentation 'To nye projekter om partikler i arbejdsmiljøet' ved Temamøde på NFA 19/9-2019, København, Saber, A. T. (Foredragsholder)

Præsentation 'Forebyggelse af sodpåvirkning ved brandslukning (BIOBRAND II)' ved Hovedstadens Beredskabs temadag ildløs 10/3-2020, Hvidovre Brandvæsen, Saber, AT og Vogel UV(Foredragsholdere)

Præsentation 'Helbredseffekter ved udsættelse for PAH'er - med udgangspunkt i BIOBRAND projekterne' ved mødet 'Personlige værnemidler til brandfolk og renholdelse af udstyr' 26/5-2021, NFA, Saber AT (foredragsholder)

Præsentation 'BIOBRAND II: Prevention of soot exposure during firefighting' ved 'Lab Exchange Meeting about research on firefighters', 21/9-2022, online, Saber AT (foredragsholder)

Præsentation 'Når kemi har betydning for helbredet: Forskning i brandfolks helbred - BIOBRAND og PFAS projekterne' ved Danske Beredskabers Årsmøde den 30/9- 2023, Odense, Saber, A. T. (Foredragsholder)

Præsentation 'Biobrand 2 - Interventions for reducing dermal exposure to PAHs during fire extinguishing' ved 'Danish-Swedish workshop on exposure and health among firefighters', NFA 6/11-2023, København, Saber, A. T. (Foredragsholder), Antal tilhørere: 45

Præsentation 'Brandfolk og forebyggelse af sodpåvirkning' ved Temamøde (fysisk og webinar): 'Tre veje fra forskning til bedre kemisk arbejdsmiljø', FFIKA2 temamøde på NFA 5/11-2025, København, Saber, A. T. (Foredragsholder), Antal tilhørere: 45

Præsentation 'Forskning i brandfolks arbejdsmiljø og helbredseffekter' ved webinar om BIOBRAND 2 for Danske Beredskaber den 3. december og den 4. december, Saber, A. T. (Foredragsholder), Antal tilmeldte: ca. 100 fordelt på de to dage

Referencer

- Andersen, M.H.G., Saber, A.T., Clausen, P.A., Pedersen, J.E., Lohr, M., Kermanizadeh, A., Loft, S., Ebbehoj, N., Hansen, A.M., Pedersen, P.B., Koponen, I.K., Norskov, E.C., Moller, P., Vogel, U., 2018a. Association between polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and peripheral blood mononuclear cell DNA damage in human volunteers during fire extinction exercises. *Mutagenesis* 33, 105-115.
- Andersen, M.H.G., Saber, A.T., Pedersen, J.E., Pedersen, P.B., Clausen, P.A., Lohr, M., Kermanizadeh, A., Loft, S., Ebbehoj, N.E., Hansen, A.M., Kalevi Koponen, I., Norskov, E.C., Vogel, U., Moller, P., 2018b. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, lung function, systemic inflammation, and genotoxicity in peripheral blood mononuclear cells from firefighters before and after a work shift. *Environ Mol Mutagen* 59, 539-548.
- Basinas, I., Sigsgaard, T., Bonlokke, J.H., Andersen, N.T., Omland, O., Kromhout, H., Schlunssen, V., 2016. Feedback on Measured Dust Concentrations Reduces Exposure Levels Among Farmers. *Ann Occup Hyg* 60, 812-824.
- Bralewska, K., 2024. Air pollution inside fire stations: State-of-the-art and future challenges. *Int J Hyg Envir Heal* 255.
- Burgess, J.L., Hoppe-Jones, C., Griffin, S.C., Zhou, J.J., Gulotta, J.J., Wallentine, D.D., Moore, P.K., Valliere, E.A., Weller, S.R., Beitel, S.C., Flahr, L.M., Littau, S.R.,

- Dearmon-Moore, D., Zhai, J., Jung, A.M., Garavito, F., Snyder, S.A., 2020. Evaluation of Interventions to Reduce Firefighter Exposures. *J Occup Environ Med* 62, 279-288.
- Frederiksen, M., Jensen, S.P., Andersen, M.H.G., Vogel, U., Saber, A.T., 2024. Online SPE-LC-MS-MS method for eight hydroxylated metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine and determination of optimal sampling time after firefighter training. *Toxicol Lett* 400, 9-15.
- Hall, E.J., 1998. From chimney sweeps to astronauts: cancer risks in the work place: the 1998 Lauriston Taylor lecture. *Health Phys* 75, 357-366.
- Hansen, A.M., Mathiesen, L., Pedersen, M., Knudsen, L.E., 2008. Urinary 1-hydroxypyrene (1-HP) in environmental and occupational studies--a review. *Int J Hyg Environ Health* 211, 471-503.
- Hoppe-Jones, C., Griffin, S.C., Gulotta, J.J., Wallentine, D.D., Moore, P.K., Beitel, S.C., Flahr, L.M., Zhai, J., Zhou, J.J., Littau, S.R., Dearmon-Moore, D., Jung, A.M., Garavito, F., Snyder, S.A., Burgess, J.L., 2021. Evaluation of fireground exposures using urinary PAH metabolites. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 31, 913-922.
- Hossain, M.D.T., Girase, A.G., Ormond, R.B., 2023. Evaluating the performance of surfactant and charcoal-based cleaning products to effectively remove PAHs from firefighter gear. *Frontiers in Materials* 10.
- Hossain, M.T., Ormond, R.B., 2024. Assessing the Impact of Pre-Soaking to Enhance Laundering Efficacy of Firefighter Turnout Gear. *Toxics* 12.
- Hunter, A.L., Shah, A.S., Langrish, J.P., Raftis, J.B., Lucking, A.J., Brittan, M., Venkatasubramanian, S., Stables, C.L., Stelzle, D., Marshall, J., Graveling, R., Flapan, A.D., Newby, D.E., Mills, N.L., 2017. Fire Simulation and Cardiovascular Health in Firefighters. *Circulation* 135, 1284-1295.
- IARC, 1983. Polynuclear Aromatic Compounds, Part 1: Chemical, Environmental and Experimental Data, IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans. International Agency for Research on Cancer.
- IARC, 2023. Occupational Exposure as a Firefighter, IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans 132. IARC, Lyon, pp. 1-730.
- Jongeneelen, F.J., 2014. A guidance value of 1-hydroxypyrene in urine in view of acceptable occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicol Lett* 231, 239-248.
- Keir, J.L.A., Akhtar, U.S., Matschke, D.M.J., Kirkham, T.L., Chan, H.M., Ayotte, P., White, P.A., Blais, J.M., 2017. Elevated Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Other Organic Mutagens in Ottawa Firefighters Participating in Emergency, On-Shift Fire Suppression. *Environ Sci Technol* 51, 12745-12755.
- Keir, J.L.A., Kirkham, T.L., Aranda-Rodriguez, R., White, P.A., Blais, J.M., 2023. Effectiveness of dermal cleaning interventions for reducing firefighters' exposures to PAHs and genotoxins. *J Occup Environ Hyg* 20, 84-94.
- Laitinen, J., Mäkelä, M., Mikkola, J., Huttu, I., 2010. Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology Letters* 192, 61-65.
- Pedersen, J.E., Petersen, K.K.U., Andersen, M.H.G., Saber, A.T., Vogel, U., Ebbeløj, N., Bonde, J.P., Jensen, T.K., Wils, R.S., Hansen, J., 2025. Non-malignant kidney diseases in Danish firefighters. *Occupational and Environmental Medicine* 82, 423-428.

- Pedersen, J.E., Ugelvig Petersen, K., Ebbeløj, N.E., Bonde, J.P., Hansen, J., 2018. Incidence of cardiovascular disease in a historical cohort of Danish firefighters. *Occup Environ Med* 75, 337-343.
- Saber, A.T., Frederiksen, M., Jensen, S.P., Kofoed-Sørensen, V., Clausen, P.A., Huusom, A.J., Carøe, T., Ebbeløj, N., Andersen, M.H.G., Vogel, U., 2025. Effects of different interventions aimed at reducing dermal and internal polycyclic aromatic hydrocarbon exposure among firefighters [In press]. *Journal of Xenobiotics*.
- Scheepers, P.T., van Houtum, J., Anzion, R.B., Champmartin, C., Hertsenberg, S., Bos, R.P., van der Valk, P., 2009. The occupational exposure of dermatology nurses to polycyclic aromatic hydrocarbons - evaluating the effectiveness of better skin protection. *Scandinavian journal of work, environment & health* 35, 212-221.
- Storer, J.S., DeLeon, I., Millikan, L.E., Laseter, J.L., Griffing, C., 1984. Human absorption of crude coal tar products. *Arch Dermatol* 120, 874-877.
- Taeger, D., Koslitz, S., Kafferlein, H.U., Pelzl, T., Heinrich, B., Breuer, D., Weiss, T., Harth, V., Behrens, T., Bruning, T., 2023. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by biomonitoring of firefighters during fire operations in Germany. *Int J Hyg Environ Health* 248, 114110.
- Thein, N., Møller, P., Amtoft, H., Vogel, U., Korsholm, B., Autrup, H., Wallin, H., 2000. A strong genotoxic effect in mouse skin of a single painting of coal tar in hairless mice and in MutaMouse. *Mutat Res* 468, 117-124.
- VanRooy, J.G., Bodelier-Bade, M.M., Jongeneelen, F.J., 1993. Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers. *Br J Ind Med* 50, 623-632.
- Viau, C., Carrier, G., Vyskocil, A., Dodd, C., 1995. Urinary excretion kinetics of 1-hydroxypyrene in volunteers exposed to pyrene by the oral and dermal route. *Sci Total Environ* 163, 179-186.
- Wingfors, H., Nyholm, J.R., Magnusson, R., Wijkmark, C.H., 2018. Impact of fire suit ensembles on firefighter PAH exposures as assessed by skin deposition and urinary biomarkers. *Ann Work Expo Health* 62, 221-231.