

Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer; deel 2, aanvulling op literatuurreview

Versie: 1.0, 12 oktober 2016



Instituut Fysieke Veiligheid
Facilitair Dienstencentrum
Postbus 7112
2701 AC Zoetermeer
Zilverstraat 91, Zoetermeer
www.ifv.nl
info@ifv.nl
079 330 46 00

Colofon

Opdrachtgever: Raad voor Brandweer Commandanten
Contactpersoon: Esther Lieben
Titel: Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer; deel 2,
aanvulling op literatuurreview
Datum: 12 oktober 2016
Status: Definitief
Versie: 1.0
Auteurs: Ronald Heus
Projectleider: Ronald Heus
Review: Jos Post
Eindverantwoordelijk: Hans Versnel

Voorwoord

Het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) heeft in 2015 een overzicht van de literatuur gegeven over de risico's die brandweerpersoneel loopt wanneer het o.a. wordt blootgesteld aan rook tijdens brandbestrijdingsactiviteiten.

Op basis van dat overzicht zijn er aanbevelingen gedaan voor vervolgactiviteiten om te onderzoeken hoe brandweerpersoneel zo veilig en gezond mogelijk zijn werk kan doen. Hiertoe zijn een aantal deelprojecten voorgesteld die meer inzicht moeten geven in de specifieke risico's voor de Nederlandse brandweerman en -vrouw.

In deze rapportage wordt een aanvulling gegeven met betrekking tot de laatste informatie in de wetenschappelijke literatuur over de gevaren van blootstelling aan toxische stoffen in rook en zullen lopende onderzoeken elders in de wereld worden belicht.

Daarnaast worden in andere (deel)projecten onderzoeken uitgevoerd naar leemten in de kennis over blootstelling aan rook voor Nederlands brandweerpersoneel. Zo wordt een pilotonderzoek gedaan naar de mate van vervuiling met toxische stoffen van in gebruik zijnde brandweerkleding. Ook wordt een overzicht gegeven van de opnameroutes van toxische stoffen in het menselijk lichaam en wordt meer specifiek onderzocht hoe huidopname van toxische stoffen in rook plaatsvindt. Over deze (deel)onderzoeken wordt separaat gerapporteerd.

Inhoud

Samenvatting	6
Summary	7
1 Inleiding	8
1.1 Achtergrond	8
1.2 Aanleiding	9
1.3 Doelstelling en vraagstelling	9
2 Methode	11
2.1 Methode	11
3 Stoffen in rook	12
4 Risico's voor brandweerpersoneel van blootstelling aan rook	15
5 Grootschalige onderzoeken	19
5.1 Monash University	19
5.2 Illinois Fire Service Institute	19
5.3 Finnish Institute of Occupational Health	20
6 Beschouwing	22
7 Conclusies	24
Referenties	26

Samenvatting

Het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) heeft in opdracht van Brandweer Nederland de meest recente wetenschappelijke literatuur over blootstelling aan rook onderzocht. Dit is in aanvulling op een in 2015 gepubliceerd literatuuronderzoek naar rook als beroepsrisico voor brandweerpersoneel. Nu zijn de meest recente wetenschappelijke publicaties naar blootstelling aan rook van branden geanalyseerd. In totaal zijn een dertiental publicaties en een boek verschenen na de eerder gepubliceerde literatuurstudie. De belangrijkste kankerverwekkende stoffen zijn: benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, styreen, alifaten, fenolen, aldehyden, ketonen, poly-aromatische koolwaterstoffen, dioxinen, fijn stof, en (zware) metalen. In de huidige rapportage zijn de lijsten met voor brandweerpersoneel kankerverwekkende stoffen van de International Agency Research on Cancer van de Wereldgezondheidsorganisatie integraal opgenomen en aangevuld met een in 2016 verschenen boek naar gezondheidsrisico's bij de brandweer. Ook is in deze rapportage aangegeven welke kennisinstituten toonaangevend zijn in onderzoek naar kanker bij brandweerpersoneel.

De nieuw verschenen artikelen en de (lopende) onderzoeken geven geen reden om de eerder getrokken conclusies dat directe bewijsvoering ontbreekt dat brandweermensen in verhoogde mate kanker ontwikkelen als gevolg van schadelijke stoffen in rook. Toch is er voor deze beroepsgroep een statistisch significant verhoogde kans op kanker en dan vooral teelbalkanker (ook wel testiskanker), prostaatkanker, en non-hodgkin, omdat deze vormen van kanker in meerdere onderzoeken bij brandweermensen vaker lijken voor te komen.

Summary

The Knowledge Centre for Occupational Safety(KCAV) was commissioned by the Fire Services in the Netherlands to study the latest scientific literature on exposure to smoke. This is in addition to a literature review published in 2015 on smoke as an occupational hazard for firefighters. A total of thirteen recent publications and a book were published after the previously published literature study. As concluded before the major carcinogens are: benzene, toluene, ethyl benzene, xylenes, styrene, aliphatic compounds, phenols, aldehydes, ketones, poly-aromatic hydrocarbons, dioxins, particulate matter, and (heavy) metals. In the present report is a list of all known carcinogens published by the International Agency Research on Cancer of the World Health Organisation is fully recorded and completed with a 2016 published book on health risks in the fire services. This report also identifies the leading knowledge institutes in cancer research related to firefighting. The newly published articles and the (ongoing) investigations give no reason to rewrite the earlier conclusions showing that direct evidence is lacking that firefighters develop cancer at a higher rate due to exposure of hazardous materials in smoke. Yet there is for this profession a statistically significant increased risk of cancer, especially testicular cancer, prostate cancer, and non-Hodgkin, because these types of cancer occur more often amongst firefighters.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

Er is de laatste tijd veel aandacht voor de mogelijk verhoogde incidentie van kanker onder brandweerpersoneel o.a. als gevolg van het in aanraking komen met gevaarlijke stoffen in de rook tijdens brandbestrijdingsactiviteiten. In 2010 heeft de Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) (IARC, 2010) beroepsmatige blootstelling als brandweer geassocieerd als mogelijk kankerverwekkend als gevolg van blootstelling aan rookgassen en -deeltjes. Bij het Nederlands Centrum voor Beroepsziekten (NCVB) komt de brandweer als beroepsgroep niet voor. Dat wil zeggen dat er geen geregistreerde informatie over beroepsziekten beschikbaar is voor de beroepsgroep brandweer. Brandweer Nederland heeft het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) opdracht gegeven een literatuuronderzoek te doen naar de relatie tussen kanker en de werkzaamheden van de brandweer. Een eerste rapport is afgelopen jaar verschenen (Heus, 2015). Daarnaast heeft Brandweer Nederland destijds gevraagd een advies uit te brengen over de mogelijke maatregelen om het risico zo veel mogelijk te beperken. Dat is in een separaat document (KCAV, 2015) gedaan.

In bovengenoemd literatuuronderzoek zijn de mogelijke oorzaken van het ontstaan van bepaalde vormen van kanker onder brandweerpersoneel in relatie tot brandbestrijdingsactiviteiten onderzocht. Het is bekend dat bij branden gevaarlijke gassen en stoffen in de rook zitten. Beschreven is dat de belangrijkste kankerverwekkende stoffen in de rook benzeen, toluen, ethylbenzeen, xylenen, styreen, alifaten, fenolen, aldehyden, ketonen, poly-aromatische koolwaterstoffen, dioxinen, fijn stof, en (zware) metalen zijn (Heus, 2015). Deze stoffen kunnen bij directe blootstelling kanker veroorzaken, maar kunnen ook ontstekingsreacties tot gevolg hebben. Ook ontstekingsreacties kunnen uiteindelijk leiden tot het krijgen van kanker. Daarnaast zijn lifestylefactoren als overgewicht, roken, alcoholgebruik en stress ook mogelijke oorzaken voor het ontwikkelen van kanker. Verstoring van het bioritme wordt in de literatuur eveneens als oorzaak genoemd om kanker te ontwikkelen. Uit het voorgaande blijkt dat er meerdere factoren zijn die een rol spelen bij het ontwikkelen van kanker, maar niet per definitie tot kanker hoeven te leiden. Uit de genoemde literatuurstudie (Heus, 2015) blijkt dat directe bewijsvoering ontbreekt dat brandweermensen in verhoogde mate kanker ontwikkelen. Toch zijn bovengenoemde risicofactoren voor deze beroepsgroep niet uit te sluiten. In de (buitenlandse) literatuur worden verhoogde incidenties voor de volgende kankersoorten genoemd: huidkanker, blaaskanker, teelbalkanker (ook wel testiskanker), prostaatkanker, longkanker (vooral mesothelioom) en non-hodgkin. Omdat de literatuur niet eenduidig is en een causaal verband ontbreekt kan niet onomstotelijk de conclusie worden getrokken dat blootstelling aan genoemde risicofactoren leidt tot een grotere kans op het krijgen van deze vormen van kanker. Daarvoor is nader onderzoek noodzakelijk zoals beschreven in de notitie met aanbevelingen (KCAV, 2015)

De volgende aanbevelingen kunnen leiden tot resultaten die op de middellange termijn gerealiseerd kunnen worden:

- *Medische screening op gezondheidsbedreigende factoren, e.e.a. i.s.m. instituten als RIVM.*

- *Bijhouden van gezondheidsstatistieken van (oud)brandweerpersoneel.*
- *Meldpunt beroeps(bijna)ongevallen en –ziekten.*
- *Advies aanpassen bescherming (b.v. advies ‘firehood’ bij binnenaanval en realistische trainingen)*

Start gelijktijdig vervolgonderzoek naar:

- *Zwakke plekken in de beschermende uitrusting.*
- *Mate van vervuiling met carcinogenen in de beschermende uitrusting.*
- *Bepalen van concentraties biologisch beschikbare carcinogene stoffen op persoonlijke beschermingsmiddelen (en persoon in kwestie).*
- *Effect en wijze van reiniging van beschermende uitrusting.*
- *Epidemiologie van (beroeps)ziekten bij de brandweer.*
- *Onderzoek naar de huid als barrièrefunctie.*
- *Opzetten database met gezondheidsparameters (oud)brandweerpersoneel.*
- *Vóórkomen van kankerverwekkende stoffen in bloed en urine.*
- *Concentraties kankerverwekkende stoffen bij verschillende soorten branden.* (KCAV, 2015).

1.2 Aanleiding

De laatste jaren is door internationaal onderzoek veel meer bekend geworden over de stoffen die voorkomen in rook bij (grote) branden en de relatie met het ontwikkelen van kanker bij brandweerpersoneel. Om specifiek over de situatie van de Nederlandse brandweer te kunnen zijn, moeten de geïdentificeerde gaten in de kennis worden ingevuld. De Raad van Brandweercommandanten (RBC) heeft het KCAV gevraagd daarvoor een onderzoeksplan te maken en zoveel mogelijk aan te sluiten bij (lopend) onderzoek elders in de wereld. Onderdeel van dat plan is een update met de meest recente literatuur (na 2015) over blootstelling aan rook en aan te geven welke kennisinstellingen momenteel bezig zijn te onderzoeken wat de effecten zijn van blootstelling aan rook voor brandweerpersoneel. Ter verduidelijking wordt in deze update ook wel gerefereerd naar eerdere studies.

1.3 Doelstelling en vraagstelling

De laatste jaren is vooral in de Verenigde Staten, Australië, Canada en de Scandinavische landen veel onderzoek verricht naar schade voor de mens van stoffen die bij branden vrijkomen (Heus, 2015). In de voorliggende literatuurupdate worden recent verschenen publicaties over schadelijke stoffen in rook en de relatie met het voorkomen van kanker behandeld en wordt aangegeven welke kennisinstellingen momenteel bezig zijn met (experimenteel) onderzoek naar blootstelling aan rook van brandweermensen.

De resultaten geven Brandweer Nederland handvatten om beleid te ontwikkelen met maatregelen om de risico's van brandbestrijdingsactiviteiten in relatie tot het krijgen van kanker zo veel mogelijk te beperken.

De hoofdvraag van deze (en de eerder uitgevoerde) literatuurstudie is:

- Aan welke schadelijke stoffen als gevolg van brandbestrijdingsactiviteiten, die tot beroepsziekten met de focus op kanker kunnen leiden, wordt brandweerpersoneel in verhoogde mate blootgesteld ten opzichte van de totale Nederlandse populatie?

De te beantwoorden subvragen zijn:

- Welke schadelijke stoffen, die tot kanker kunnen leiden, komen vrij bij branden (zowel woningbranden, industriële branden als natuurbranden)?
- Hoe kunnen brandweermensen in contact komen met deze kankerverwekkende stoffen?
- Leidt contact met deze stoffen tot een verhoogd risico op het krijgen van kanker?

In deze aanvulling op de eerdere literatuurstudie zijn bovenstaande vragen zo goed mogelijk beantwoord en geplaatst in het perspectief van de Nederlandse situatie. In hoofdstuk 2 worden de onderzoeksmethoden beschreven. In hoofdstuk 3 en 4 wordt een volledig overzicht gegeven van welke stoffen bij brand vrij kunnen komen en wat de risico's van die stoffen kunnen zijn. In hoofdstuk 5 wordt beknopt aangegeven wat de inhoud is van de belangrijkste lopende onderzoeken. In hoofdstuk 6 wordt een beschouwing gegeven en tenslotte worden een aantal conclusies getrokken.

2 Methode

2.1 Methode

Voor deze aanvulling op het in 2015 verschenen rapport (Heus, 2015) zijn Pubmed¹, Researchgate² en Google scholar³ opnieuw gecheckt om te zien of er in 2015 en 2016 nog belangrijke wetenschappelijke artikelen zijn verschenen op het gebied van de gevolgen van blootstelling aan rook bij brandweermensen, die mogelijk tot kanker leiden. In totaal zijn er aanvullend 13 artikelen en rapporten en één boek gebruikt die voldoen aan de wetenschappelijke kwaliteitseisen en passen binnen het onderwerp van deze aanvullende studie. Daarnaast wordt indien nodig ook naar relevante eerdere studies gerefereerd.

2.1.1 Bronnen

De wetenschappelijke artikelen zijn geselecteerd op onderzoek naar de effecten van (kankerverwekkende) stoffen die vrijkomen bij (het bestrijden van) branden en daardoor mogelijk tot kanker kunnen leiden bij brandweerpersoneel.

Dat wil zeggen dat eerst is vastgesteld welke stoffen in het algemeen vrijkomen bij branden en brandbestrijdingsactiviteiten. Van deze stoffen is vervolgens onderzocht wat de opnamekanalen zijn door het menselijk lichaam en of ze al dan niet kankerverwekkend zijn. Verder is op basis van de beschikbare wetenschappelijke literatuur gekeken welke vormen van kanker bij brandweerpersoneel vaker voorkomen in vergelijking met de totale populatie in de betreffende landen. Het uitgangspunt hierbij is het in 2010 verschenen rapport van de WHO (IARC, 2010).

2.1.2 Begrippen

De volgende in de tekst voorkomende begrippen worden gebruikt:

Epidemiologie	De wetenschappelijke studie van het vóórkomen en de verspreiding van ziekten binnen en tussen populaties
Incidentie	Het aantal nieuwe gevallen van een ziekte per tijdseenheid, per aantal van de bevolking. ⁴
Metabolieten	De tussen- of eindproducten die ontstaan na verwerking van een gegeven stof in een biologisch systeem of 'levend wezen' (bacteriën en andere eencelligen; planten, dieren). Metabolieten zijn onder andere: aminozuren, adenosinetrifosfaat of ATP, glucose, adrenaline, alkaloiden, glycosiden.
Mortaliteit	De sterfte, aangegeven in relatie tot het totaal aantal individuen waar het over gaat, meestal in procent of promille.
Retrospectief	Achteruitkijkend onderzoek. Bij mensen met een bepaalde ziekte wordt bijvoorbeeld nagegaan of bij hen de gemeenschappelijke factor bestaat die een oorzakelijke invloed kan hebben gehad

¹ PubMed comprises more than 24 million citations for biomedical literature from MEDLINE, life science journals, and online books. Citations may include links to full-text content from PubMed Central and publisher web sites.

² ResearchGate is a network dedicated to science and research. Connect, collaborate and discover scientific publications, jobs and conferences.

³ Google scholar is een internetzoekmachine die de volledige tekst van wetenschappelijke artikelen uit verschillende disciplines doorzoekbaar maakt.

⁴ Meestal wordt de incidentie per duizend personen per jaar opgegeven en soms per honderdduizend per jaar.

3 Stoffen in rook

In het in 2015 verschenen rapport 'Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer; een literatuurreview' (Heus, 2015) is een beknopt overzicht gegeven van de mogelijk kankerverwekkende stoffen in rook en de mogelijke opnameroutes in het lichaam. In aanvulling op genoemd rapport wordt nu een volledig overzicht gegeven van alle door de WHO aangegeven ((mogelijk/waarschijnlijk) kankerverwekkende) stoffen in rook bij brandbestrijdingsactiviteiten (IARC, 2010). (Tabel I). Daarnaast is recentelijk een lijst gepubliceerd (Guidotti, 2016a). Deze lijst is naast die van het IARC gelegd en afwijkingen zijn cursief aangegeven in de onderstaande Tabel.

Tabel I IARC evaluaties van chemicaliën gemeten in brand en kankerlocaties in mensen⁵

Chemicaliën gemeten bij branden	Evaluatie ⁶	Menselijk bewijs voor carcinogeniteit	Kanker bij mensen (Alleen voor Groep 1 chemicaliën)
Acetaldehyde	2B	Ontoereikend	
<i>Acroleïne</i>	3		
<i>Antimoon</i>	2B		
Arseen-	1	Voldoende	Huid, long, lever (angiosarcoom)
Asbest	1	Voldoende	Long, mesothelioom, larynx, maagdarkanaal
Benz[a]anthraceen	2B	Ontoereikend	
Benzeen	1	Voldoende	Leukemie
Benzo[b]fluorantheen	2B	Geen gegevens	
Benzo[k]fluorantheen	2B	Geen gegevens	
Benzofuraan (coumarone)	2B	Geen gegevens	
Benzo[a]pyreen	1	Geen gegevens	Long, blaas, huid
1,3-Butadien	1	Voldoende	Lymfatisch systeem
Cadmium	1	Voldoende	Long
<i>Chlooralkanen</i>	2B		

⁵ mede gebaseerd op stoffenlijst IARC http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/latest_classif.php

⁶ Groepen IARC Monographs: 1 (chemische stof is carcinogeen voor mensen), 2A (chemische stof is **waarschijnlijk** carcinogeen voor mensen), 2B (chemische stof is **mogelijk** carcinogeen voor mensen) en 3 (chemische stof is niet als carcinogeen te classificeren).

Chemicaliën gemeten bij branden	Evaluatie ⁶	Menselijk bewijs voor carcinogeniteit	Kanker bij mensen (Alleen voor Groep 1 chemicaliën)
<i>Chloorbenzenen</i>	2B/3		
Chryseen	2B	Ontoereikend	
Dibenz[a,h]anthraceen	2A	Ontoereikend	
Dichloromethaan (methyleen chloride)	2B	Ontoereikend	
Ethylbenzene	2B	Ontoereikend	
Formaldehyde	1	Voldoende	Nasofarynx (neusholtes) en leukemie
<i>Fosgenen</i>	??		
Furaan	2B	Ontoereikend	
<i>Fijnstof</i>	??		
<i>Glutaraldehyde</i>	??		
Indeno-1,2,3-[cd]pyreen	2B	Ontoereikend	
Isopreen	2B	Niet beschikbaar	
Kooldioxide	??		
Koolstof (totaal)	2B	Ontoereikend	
<i>Methylene chloride</i>	2A		
Naftaleen	2B	Ontoereikend	
<i>Nitrilen</i>	2B/3		
2-Nitroamisolen	2B	Ontoereikend	
<i>Perfluorooctanoisch zuur (PFOA)</i>	2B		
- <i>Polytetrafluoroethyleen (PTFE)</i>	??		
<i>Pesticiden</i>	??		
Polychloorfenolen	2B	Beperkt	
- Pentachlorofenol			
- 2,4,6-Trichlorofenol			
Polychloor biphenylen ((aroclor; 54%) (chlorodiphenyl) gecombineerd)	2A	Beperkt	
Polychloor dibenzodioxinen ⁷	3		
Radioactiviteit (γ activiteit)	1	Voldoende	Alle locaties
Radionucliden (α -deeltjes-straling)	1	Voldoende	Alle locaties

⁷ Polygechloroerde dibenzo-para-dioxinen worden als groep geclassificeerd in Groep 3

Chemicaliën gemeten bij branden	Evaluatie ⁶	Menselijk bewijs voor carcinogeniteit	Kanker bij mensen (Alleen voor Groep 1 chemicaliën)
Radionucliden (β-deeltjes-straling) 1	1	Voldoende	Alle locaties
Roet(deeltjes)	1 ⁸	Voldoende	Long, slokdarm, lever
Silica (kristallijn)	1	Voldoende	Long
Silica (amorf)	3	Ontoereikend	
<i>Stikstofdioxide</i>	??		
Styreen	2B	Beperkt	
2,3,7,8-tetrachloro dibenzo-paradioxin	1	Beperkt	Long, non-Hodgkin lymfoom, sarcoom
<i>Tetrachloroethane</i>	2B		
Tetrachloroethylene (perchloroethylene)	2A	Beperkt	Hals, slokdarm, non-Hodgkin lymfoom
Toluene diisocyanates	2B	Ontoereikend	
Trichloroethylene	1/2A	Beperkt	Lever en galwegen, non-Hodgkin lymfoom, niercellen
Trichloromethane (chloroform)	2B	Ontoereikend	
Triphenylene	3	Ontoereikend	
<i>Vinylchloride</i>	1		
<i>Waterstofcyanide</i>	??		
<i>Waterstoffluoride</i>	??		
<i>Xyleen</i>	3		
<i>Zoutzuur</i>	??		
<i>Zwavedioxide</i>	??		
Zwavelzuur ⁹	1	Voldoende	Long- en strottenhoofdkanker

(naar (IARC, 2010; Guidotti, 2016a)) *Cursief zijn de stoffen zoals vermeld door Guidotti*

⁸ (IARC, 1987)

⁹ Evaluatie van arbeidsgerelateerde blootstelling aan sterke anorganische zuurlevels met zwavelzuur

4 Risico's voor brandweerpersoneel van blootstelling aan rook

De WHO heeft ook aangegeven hoe bepaalde carcinogene stoffen in rook worden opgenomen in het menselijk lichaam en tot welke mogelijke aandoeningen dat zou kunnen leiden. Dat wil niet zeggen dat deze aandoeningen ook daadwerkelijk zullen optreden bij blootstelling aan deze stoffen, omdat ook factoren als concentraties en expositieduur een rol spelen. In Tabel II wordt een overzicht gegeven van carcinogene stoffen in rook en de mogelijke aandoeningen als gevolg van blootstelling aan die stoffen (IARC, 2010).

Tabel II Toxicokinetiek en metabolisme voor (een aantal) carcinogene stoffen in rook

Chemicaliën in rook	Opname in lichaam	Verspreiding in lichaam	Metabolisme in lichaam	Uitscheiding via	Mechanisme	Kanker
Deeltjes	Ademhaling	Longen	Afhankelijk van oplosbaarheid van deeltjes	Macrofaag fagocytose	Ontsteking	Koolstof: longkanker, Hodgkin (in aanwezigheid van PAKs). Diesel uitlaatgas: long-, blaas-, prostaatkanker, non-Hodgkin, multipel myeloom
Acetaldehyde	Ademhaling (45–70%)	Bloedbaan	Azijnzuur	Onvoldoende data beschikbaar	DNA schade inclusief acetaldehyde–DNA bijproducten	nasofarynxcarci noom
Benzeen	Ademhaling (20–80%), Huid (<1%)	Vetweefsel, beenmerg en urinewegen	Metabolisme voornamelijk in lever en beenmerg. Metabolieten zijn kanker-verwekkend	Halfwaardetijd 42 minuten tot 12 uur	Benzeen metabolieten hydroquinone en 1,4-benzoquinone remmen topoisomerase II en microtubule functies, en veroorzaken oxidatieve stress en DNA schade	Leukemie

Chemicaliën in rook	Opname in lichaam	Verspreiding in lichaam	Metabolisme in lichaam	Uitscheiding via	Mechanisme	Kanker
1,3-Butadiene	Ademhaling (>40%)	Wijd verspreid door het lichaam	Urineweg metabolieten 1,2-dihydroxylbutyl mercapturic zuur en monohydroxy-3-butenyl mercapturic zuur	Halfwaardetijd 2–10 h	1,3-butadiene veroorzaakt DNA verbindingen en schade en veroorzaakt woekering van cellen	Lymphohaematopoietic
Formaldehyde	Ademhaling (100%) Huid (3.4% in ratten)	Voornameijk lokaal voor metabolisme	Omzetting naar CO2 en andere monokoolstofverbindingen in alle weefsels	Halfwaardetijd 1 min (ratten)	DNA crosslinking, Chromosomale wijzigingen en cel woekering. Gen mutaties en chromatoide uitwisseling	nasofarynxcarci noom en sinonasale kanker, leukemie
PAKs	Voornameijk ademhaling Huid (ca. 20% voor pyreen)	Na huidblootstelling hoogste concentraties in lever, nieren, vetweefsel en longen	Metabolisme in alle weefsels. 1-hydroxypyrene wordt gebruikt als indicator voor totale blootstelling	Halfwaardetijd na huidblootstelling 30 uur voor benzo[a]pyrene	Metabolieten van PAK oxideren en diol epoxiden vormen stabiele DNA structuren en induceren mutaties. Ook andere mechanismen worden verondersteld	Long, blaas, huid, mogelijk prostaat
PCBs	Ademhaling Huid (variabel Afhankelijk van oplosmiddel)	Hoogste concentraties in vetweefsel	Lever metabolisme	Halfwaardetijd (arbeidsblootstelling) 1–24 jaar	Covalente verandering van eiwitten en DNA, mogelijk toename celdeling met daarop volgend lichaams-schade als gevolg van vrije radicalen	Lever en galwegen
Styreen	Ademhaling 60–70%	Breed verspreid met hoogste concentraties in vetweefsel	Lever metabolisme	Halfwaarde in bloed snelle fase (0.58 u) en langzame fase (13.0 u).	Voornameijk als urine metabolieten 0.7–4.4% uitademing Onveranderde eiwit en DNA additieven, Andere	Lymphohaematopoietic (bloedkanker)

Chemicaliën in rook	Opname in lichaam	Verspreiding in lichaam	Metabolisme in lichaam	Uitscheiding via	Mechanisme	Kanker
					genotoxiciteit	
Zwavel dioxide	Ademhaling (40→90% in konijnen)	Voornameijk in bovenste luchtwegen	Sulfiet en bisulfiet in luchtwegen	Uitgescheiden door urine als sulfaat	Tegenstrijdige uitkomsten	Long kanker
Zwavelzuur	Ademhaling (50–87%)	Voornameijk in bovenste luchtwegen	Omgezet in sulfaat voor opname in het bloed	Overmaat aan sulfaat uitgescheiden door urine	DNA schade	Slokdarm, neusholte, long

(naar (IARC, 2010))

Brandweermensen kunnen op verschillende manieren in contact komen met de stoffen zoals genoemd in bovenstaande tabel. Primair door ontoereikende persoonlijke bescherming, secundair bij het verwijderen van de persoonlijke beschermingsmiddelen waarbij deeltjes vrijkomen en/of schadelijke gassen nog vrijkomen van de persoonlijke beschermingsmiddelen. Tenslotte kunnen (brandweer)mensen ook bij het vervoer van de persoonlijke beschermingsmiddelen of het reinigen ervan worden blootgesteld aan schadelijke stoffen.

Blootstelling aan deze stoffen kan zoals eerder is aangegeven (Heus, 2015) via de ademhalingswegen, het spijsverteringskanaal of de huid.

Aangezien brandbestrijding een beperkt deel van de tijd plaatsvindt moeten andere bronnen van blootstelling aan schadelijke stoffen niet worden uitgesloten. Veel van die blootstelling vindt plaats zonder dat beschermende uitrusting wordt gedragen en de kans op besmetting dus groter is dan tijdens brandbestrijdingsactiviteiten. Voorbeelden zijn veelvuldige blootstelling aan PAK's anders dan de brandweerge relateerde blootstelling aan PAK's zoals bij de vergassing van kolen, bij het aanbranden van eten (barbecueën), en sigarettenrook (Polycyclische aromatische koolwaterstoffen, 2015). Daarnaast worden brandweermensen ook blootgesteld aan schadelijke en mogelijke carcinogene stoffen tijdens hulpverleningsactiviteiten langs de (snel)weg. In die gevallen wordt vaak geen adembescherming gebruikt.

Aan de hand van urinemonsters bij natuurbrandbestrijders is geconstateerd dat de metabolieten van PAK's bij hen hoger zijn dan bij niet-brandbestrijders en dat de opname door inhalatie plaatsvindt vanwege de gasvormige toestand van de opgenomen PAK's (Oliveira, et al., 2016). Veel van de blootstelling vindt overigens plaats als gevolg van het inademen van binnenlucht in de kazerne. Hiermee wordt verondersteld dat secundaire contaminatie plaats vindt als gevolg van het uitdampen van de kleding. De concentraties PAK's in de urine zijn echter voor alle onderzochte brandweermensen beneden de grenswaarden die worden gesteld door de 'American Conference of Governmental Industrial Hygienists' (Oliveira, et al., 2016).

Volgens Bronaugh en anderen kan transport van schadelijke stoffen door de haarzakjes en zweetklieren van de huid naar het capillaire vaatbed worden verwaarloosd, omdat de haarzakjes en de zweetklieren slechts 1% van het huidoppervlak bestrijken (Bronaugh, et al., 1992). In een vervolgstudie zal uitgebreider worden onderzocht wat de verschillende

opname- en transportmogelijkheden van het lichaam zijn en welke rol de huid speelt als barrière voor de opname van schadelijke stoffen door het lichaam.

Verder ontbreekt in veel studies het onderscheidend vermogen (=power) om de verhoogde kans op kanker bij brandweermensen hard te maken (Guidotti, 2016a). In datzelfde boek (Guidotti, 2016a) wordt vermeld dat er vaak gezegd wordt dat er onvoldoende data zijn om iets over het risico op kanker te zeggen, maar het tegenovergestelde is juist waar. Er is geen beroepsgroep waarnaar de laatste jaren zoveel onderzoek is gedaan. Het probleem is echter dat de meest genoemde kankervormen bij brandweermensen zeldzaam zijn en er te weinig cases zijn om een significant onderscheid te maken. Bovendien wordt aan veel studies met een 'negatief' resultaat geen aandacht besteed of ze worden niet eens gepubliceerd. Dat betekent dat de huidig beschikbare literatuur een overschatting geeft van het werkelijke risico op kanker voor de beroepsgroep brandweer (Guidotti, 2016b). Hoewel Ahn en Sook (Ahn & Sook, 2015) onder Koreaanse brandweermensen wel een verhoogde mortaliteit voor bepaalde kankersoorten gerelateerd aan beroepsmatige blootstelling vinden, onderstrepen zij toch ook de bevindingen van Guidotti.

Daniels e.a. (Daniels, et al., 2015) vonden een significante toename in longkanker- en leukemiesterfte voor brandweermensen gekoppeld aan de werkelijke blootstellingsduur. Hun bevindingen versterken het bewijs van een oorzakelijk verband tussen de brandbestrijdingsactiviteiten en kanker. Vanwege de geringe effecten melden zij dat de resultaten met de nodige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd en dat vervolgonderzoek moet plaatsvinden.

In een nadere analyse van de 'Australian Firefighters' Health Study - Final Report' (Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J., 2014), waarin verondersteld is dat de vrijwillige brandweermensen die geen branden hadden meegemaakt invloed hebben gehad op de eindresultaten, is aangetoond dat onder vrijwilligers die wel branden hadden meegemaakt de incidenties zelfs lager lagen dan vrijwilligers die geen branden hadden meegemaakt. In zijn totaliteit bleek opnieuw dat de kankerincidenties en mortaliteit als gevolg van kanker onder (vrijwillige) brandweermensen lager zijn dan onder de rest van de populatie. Uitzondering is een significant verhoogde incidentie voor prostaatcancer (Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J., 2015a). Daarnaast hebben Glass en anderen ook nog onderzoek verricht bij militair brandweerpersoneel waar zij ook geen verhoogde incidentie of mortaliteit vonden in relatie tot kanker. Zij waarschuwen wel voor het gebrek aan onderscheidend vermogen van deze studie (Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J., 2015b).

5 Grootschalige onderzoeken

Op een aantal plaatsen in de wereld werd en wordt (experimenteel) onderzoek verricht naar de gevaren van blootstelling aan rook voor brandweerpersoneel. De belangrijkste instituten zijn de Monash University (Centre for Occupational and Environmental Health) in Australië, het Illinois Fire Service Institute (in samenwerking met Skidmore College, Underwriter's Laboratories (UL) en het National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)) in de Verenigde Staten en het Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) in Finland. Alle onderzoeken hebben een verschillende insteek en de combinatie van dergelijke onderzoeken zal uiteindelijk kunnen leiden tot meer duidelijkheid over de causaliteit van blootstelling aan carcinogenen en het ontwikkelen van kanker.

5.1 Monash University

In Australië heeft van 2011 tot 2015 een groot retrospectief epidemiologisch onderzoek plaatsgevonden naar de mortaliteit en kankerincidentie van diverse subgroepen binnen de brandweerpopulatie. De subgroepen zijn te onderscheiden op basis van o.a. type werkzaamheden, aantal jaren werkzaam bij de brandweer, en betrokkenheid bij aantal incidenten.

Specifieke doelen van deze studie waren:

- Onderzoek naar de verschillen in doodsoorzaken tussen de normale populatie en die van (deelpopulaties van) brandweermensen. Primair aandachtspunt was overlijden als gevolg van kanker, cardiovasculaire aandoeningen, luchtwegaandoeningen en trauma's.
- Onderzoek naar het aantal kankergevallen in het algemeen en voor specifieke kankersoorten vergeleken met de rest van de bevolking.
- Vergelijken van de mortaliteit en de incidentie van kanker voor diverse subgroepen binnen de cohort brandweer.
- Rekening houden met onderzoek naar een verhoogd risico van andere gezondheidseffecten voor beroepsbrandweerpersoneel en vrijwillige brandweermensen.

In grote lijnen is de mortaliteit als gevolg van kanker en de kankerincidentie van brandweerpersoneel niet echt afwijkend ten opzichte van de rest van de Australische populatie (Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J., 2014).

5.2 Illinois Fire Service Institute

In tegenstelling tot de epidemiologische studie van de Monash University wordt bij het Illinois Fire Service Institute (IFSI) experimenteel onderzoek gedaan naar de blootstelling aan hitte en rook van brandweerpersoneel. Het directe verband tussen kanker en blootstelling aan hitte en rook is derhalve in deze studie niet vast te stellen.

In juni 2016 heeft een delegatie van Brandweer Amsterdam en het IFV een bezoek gebracht aan het IFSI tijdens lopende experimenten naar de effecten van brandbestrijdingsactiviteiten op de vervuiling van de beschermende uitrusting en op fysiologische parameters (bloeddruk, hartslag en bloedsamenstelling)

In dit meerjarig onderzoeksprogramma worden diverse praktijkexperimenten uitgevoerd. Met dergelijke experimenten wil men tijdens brandbestrijdingsinzetten meer inzicht krijgen in wat de gecombineerde blootstelling aan hitte en rook met je doet. Tijdens de experimenten worden brandweermensen en -instructeurs gemonitord voor, tijdens en na een brandbestrijdingsinzet. Er worden meerdere brandscenario's in een ruimte met verschillende bouwmaterialen geënceneerd om te kijken wat de verschillende effecten van hitte-opbouw, rook en brandverloop zijn op de fysieke belasting van brandweermensen.

Van de deelnemers aan het onderzoek worden de bloeddruk, de hartslagfrequentie, de ademfrequentie en de kerntemperatuur van het lichaam tijdens de inzet gemeten. Verder worden monsters genomen van urine, bloed en (uitadem) luchtmonsters om te onderzoeken wat daarmee gebeurt na blootstelling aan hitte en rook tijdens een inzet. Veegmonsters van de huid rondom de hals en nek zijn genomen om te kijken welke stoffen op de huid voorkomen.

Uitdampen van de beschermende kleding wordt gemeten en de hoeveelheid schadelijke stoffen die achterblijven op de kleding wordt bepaald.

Opvallend tijdens het bezoek waren de verschillen in werkwijze tussen de Amerikaanse brandweermensen en de Nederlandse. Dat betekent dat de onderzoeksresultaten niet één op één zijn te vertalen naar de Nederlandse arbeidsomstandigheden van de brandweer. Het mooie aan dit samenwerkingsverband tussen verschillende Amerikaanse instituten, is dat de onderzoeksresultaten direct vertaald worden naar onderwijscontent voor de brandweer en normen voor (middelen voor) brandweerpersoneel.

5.3 Finnish Institute of Occupational Health

In Finland loopt bij het Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) een onderzoeksprogramma naar de vervuiling van beschermende kleding van binnenbrandbestrijders. Vooral zij worden blootgesteld aan kankerverwekkende stoffen als PAKs, maar ook tijdens nabluswerkzaamheden zijn de risico's op blootstelling substantieel, omdat de bescherming vaak minder goed is dan tijdens binnenbrandbestrijding.

Een resultaat van dit onderzoek naar blootstelling aan rook is dat verhoogde concentraties van ontstekingsmarkers en stresshormonen in het lichaam zijn gevonden. Projectleider Juha Laitinen geeft vanwege deze resultaten het nadrukkelijke advies de juiste procedures op te volgen tijdens een inzet, maar ook bij het onderhoud van de middelen. Een verdere aanbeveling uit dit onderzoeksprogramma is het opzetten van een database met gezondheidsregistraties.

In een recent onderzoek binnen het Finse programma is onderzocht in hoeverre het in Zweden ontwikkelde 'Skellefteå model'¹⁰ (Magnusson & Hultman, 2014) bijdraagt aan vermindering van de opname van kankerverwekkende stoffen in het lichaam (Laitinen, Lindholm, Aatamila, Hyttinen, & Karisola, 2016). Het oorspronkelijke model is hiervoor aangepast aan de Finse situatie door het incidentterrein aan te passen aan optreden bij chemische incidenten. Het resultaat hiervan was een reductie van de totale blootstelling aan gevaarlijke chemicaliën bij mensen die werkten volgens het aangepaste 'Skellefteå model'. Andere initiële resultaten zijn dat de slechtst beschermde mensen de hoogste concentraties ontstekingsmarkers en stresshormonen te zien geven en dat wasprocessen van belang zijn bij het reinigen van de kleding. Inmiddels is er intensief contact met FIOH om aanvullend, data te verzamelen die specifiek is voor de Nederlandse situatie.

¹⁰ Het Skellefteå model behelst het schoon werken bij de brandweer en is ontwikkeld in Zweden. Het wil zeggen dat je schoon naar een incident vertrekt en dat je na een inzet ter plaatse de vuile pbm's uittrekt en gescheiden van de manschappen vervoert. Het brandweerpersoneel gaat in 'schone' kleding terug naar de kazerne.

6 Beschouwing

Deze aanvullende literatuurstudie ondersteunt de conclusies uit het eerder uitgevoerde literatuuronderzoek dat bij brand kankerverwekkende stoffen vrijkomen die mogelijk tot kanker kunnen leiden indien de bescherming tegen die stoffen niet afdoende is (Heus, 2015). Er is nu echter een uitgebreide lijst met (potentieel) kankerverwekkende stoffen (Tabel I) in rook opgenomen en tot welke vormen van kanker deze stoffen kunnen leiden (Tabel II). Tevens is daarbij aangegeven hoe sterk de relatie tussen blootstelling en het krijgen van kanker is.

Meest geciteerde meta-analyse is van Lemasters (LeMasters, et al., 2006) waarin van een viertal kankersoorten is aangegeven dat er een significante relatie is met brandweerstandigheden. Na het toevoegen van twee extra meta-analyses die sindsdien zijn verschenen zoals vermeld in de IARC Monographs (IARC, 2010) blijven er nog drie soorten kanker (prostaat, teelbal en Non-Hodgkin) over waarbij mogelijk een relatie gelegd kan worden met brandbestrijdingsactiviteiten. Er is volgens de IARC Monographs beperkt bewijs voor een verhoogd risico op kanker onder brandweerpersoneel voor deze drie vormen van kanker. Het is belangrijk om brandweermensen te gaan monitoren op de risico's die zij lopen om aan kankerverwekkende stoffen te worden blootgesteld en op relevante gezondheidsparameters.

De meeste geciteerde studies tot op heden over blootstelling van brandweermensen gaan uit van totale arbeidsduur, maar volgens een studie van Dahm en medewerkers leidt dat tot misclassificatie tot zelfs 30% (Dahm, Bertke, Allee, & Daniels, 2015) en zijn het aantal brand uitrukken en de tijd die men bij de brand verblijft meer geschikte maten om blootstelling aan rook vast te leggen.

In een studie van Fent en medewerkers (Fent, et al., 2015) is gekeken naar de opname van VOC's waaronder benzeen als gevolg van het uitdampen van beschermende kleding. Zij vinden hoge waarden in de uitademingslucht van brandweermensen die sterk correleren met de uitdampingswaarden van de kleding. De limietwaarden voor kortdurende blootstelling aan deze stoffen wordt echter niet overschreden, maar het is onbekend wat de effecten op de gezondheid zijn als je vaak een kortdurende blootstelling beneden de limietwaarden ondergaat. Fent e.a. veronderstellen opname door de huid en via de ademhaling tijdens uittrekken van de beschermende kleding en reizen in de cabine van het voertuig (Fent, et al., 2015). Opname door de ademhalingswegen tijdens de brandbestrijding wordt in hun studie en die van Pleil en anderen (Pleil, Stiegel, & Fent, 2014) niet waarschijnlijk geacht, omdat dan adembescherming wordt gedragen. Zij hebben de directe huidopname echter niet gemeten en kunnen opname door de luchtwegen tijdens brandbestrijding dus niet uitsluiten. Vooral niet omdat bekend is dat de adembeschermingsmiddelen niet altijd een afdoende bescherming geven tijdens zware inspanning (Den Hartog & Heus, 2003).

Andere manieren van brandweeroptreden in VS leidt ook tot mogelijk andere situaties en andere blootstellingsrisico's. Er is duidelijk geconstateerd tijdens de experimenten in Illinois dat Amerikaanse brandweerlieden later hun adempluchtmasker opzetten en ook tijdens het optreden regelmatig hun helm "verliezen" (Kemmeren & Mol, 2016).

Studies die geen relatie tussen bijvoorbeeld brandbestrijdingsactiviteiten en kanker aangeven, de zogenaamde 'negatieve' effectstudies, worden vaak niet gerefereerd of worden sowieso niet gepubliceerd, omdat dergelijke studies minder interessant zijn voor uitgevers (Guiddotti, 2016b). Hierdoor ontstaat mogelijk een beeld dat de vermeende relatie tussen blootstelling en kanker sterker is dan die in werkelijkheid is.

Tenslotte is het belangrijk om rekening te houden met technische ontwikkelingen waarbij beschermende kleding steeds beter ventilerend wordt gemaakt om de warmtebelasting te verminderen, maar deze toename in ventilatie mag nooit ten koste gaan van de bescherming tegen schadelijke stoffen in rook (McQuerry, DenHartog, Barker, & Ross, 2016).

7 Conclusies

Deze aanvulling op de eerder uitgevoerde literatuurstudie levert geen andere conclusies op dan die eerder getrokken zijn. Deze conclusies zijn hieronder opnieuw opgenomen.

De focus in deze vervolgstudie lag op verdieping van de blootstelling aan gevaarlijke stoffen die vrijkomen bij branden. Bij brand komen tal van kankerverwekkende stoffen vrij waaraan Nederlands brandweerpersoneel bij de brandbestrijding mogelijk blootgesteld wordt. De belangrijkste stoffen zoals die ook in de eerdere studie genoemd zijn, zijn:

- benzeen,
- toluen,
- ethylbenzeen,
- xylenen,
- styreen,
- alifaten,
- fenolen,
- aldehyden,
- ketonen,
- poly-aromatische koolwaterstoffen,
- dioxinen,
- fijn stof, en
- (zware) metalen.

In dit rapport is een volledige lijst van alle tot nu toe bekende stoffen opgenomen zoals vermeld in de tabellen I en II.

Wanneer geen afdoende maatregelen worden genomen kan direct contact met deze stoffen door inademing, opname via het spijsverteringskanaal en in sommige gevallen door de huid mogelijk kanker tot gevolg hebben. Het is daarom belangrijk adembeschermingsmiddelen en beschermende kleding te dragen die in het algemeen zorgen voor primaire bescherming tegen deze stoffen.

Kritische plaatsen in de beschermende uitrusting zijn de aansluitingen van de verschillende beschermingsmiddelen en de nekflap en/of balaclava, omdat daar direct contact mogelijk is tussen de huid en de gevaarlijke stoffen als gevolg van de openingen in de kleding en de dunnere beschermende textiellaag van de balaclava of het dragen van onvoldoende gereinigde PBM's die in contact met de huid zijn.

Secundaire besmetting kan plaatsvinden door blootstelling aan verontreinigde (beschermings)middelen. Het is daarom belangrijk om ook voldoende beschermd te zijn tijdens reiniging van de verontreinigde (beschermings)middelen.

Als gevolg van blootstelling aan genoemde kankerverwekkende stoffen is er een statistisch verband tussen blootstelling aan kankerverwekkende stoffen in rook en de volgende vormen van kanker bij brandweermensen:

- teelbalkanker (ook wel testiskanker),
- prostaatkanker,
- non-hodgkin.

Het is vrijwel onmogelijk om bij mensen een causaal verband tussen blootstelling aan rook en kanker te leggen, omdat meer factoren dan alleen blootstelling aan rook (Heus, 2015) een rol spelen bij het krijgen van kanker. De beschikbare literatuur legt dan ook geen causaal verband tussen blootstelling aan rook en kanker, maar constateert dat bij brandweermensen sommige vormen van kanker vaker voorkomen (statistisch verband). Het is namelijk niet vast te stellen hoeveel van de carcinogene stoffen door het lichaam wordt opgenomen en/of eventuele opname ook leidt tot het ontwikkelen van kanker. Wel is er een verhoogd risico bij brandweermensen, omdat ze in aanraking kunnen komen met kankerverwekkende stoffen tijdens de uitoefening van hun beroep. Het is daarom van belang zoveel mogelijk de blootstelling aan deze stoffen te beperken.

In deze studie is de nadruk gelegd op blootstelling aan schadelijke stoffen in rook als risico op het krijgen van kanker. Andere factoren zoals lifestyle, verstoring van het bioritme en blootstelling aan andere carcinogenen zijn daarom verder buiten beschouwing gelaten.

Omdat de beschikbare studies gebaseerd zijn op optreden van brandweermensen buiten Nederland, waarbij de manier van optreden anders is en de bescherming anders kan zijn, is het noodzakelijk dat op basis van (wetenschappelijk) onderzoek meer informatie wordt verkregen over de Nederlandse situatie wat betreft vervuiling van kleding en mogelijke opnameroutes in het lichaam. Om specifieke aanbevelingen te kunnen doen voor de Nederlandse brandweermensen moeten ook data van Nederlandse brandweermensen beschikbaar zijn. Hiervoor is een aanbeveling geschreven met uit te voeren onderzoek. Een pilot-onderzoek naar de vervuiling van de kleding zal in Finland door het FIOH worden uitgevoerd. Een onderzoek naar blootstellingsroutes en opname door de huid worden uitgevoerd door de Radbouduniversiteit. Verder zal aansluiting worden gezocht bij het lopende onderzoek van het IFSI.

Referenties

- Ahn, Y.-S., & Sook, J. K. (2015). Mortality Due to Malignant and Non-Malignant Diseases in Korean Professional Emergency Responders. *Plos one*, 1-14.
- Bronaugh, R., Brown, R., Bunge, a., Driver, J., Flynn, G., Gregg, B., . . . Schaum, J. (1992). *DERMAL EXPOSURE ASSESSMENT: PRINCIPLES AND APPLICATIONS*. Washington: United states Environmental Protection Agency.
- Dahm, M., Bertke, S., Allee, S., & Daniels, R. (2015). Creation of a retrospective job-exposure matrix using surrogate measures of exposure for a cohort of US career firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia. *Occup Environ Med*. 72(9), 670-677.
- Daniels, R., Bertke, S., Dahm, M., Yiin, J., Kubale, T., Hales, T., . . . Pinkerton, L. (2015). Exposure–response relationships for select cancer and non-cancer health outcomes in a cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950–2009). *Occup Environ Med*, 1-8.
- Den Hartog, E., & Heus, R. (2003). Positive pressure breathing during rest and exercise. *Applied ergonomics*, 185-194.
- Fent, K., Evans, D., Booher, D., Pleil, J., Stiegel, M., Horn, G., & Dalton, J. (2015). Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 12, 404–414.
- Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J. (2014). *Final Report Australian Firefighters' Health Study*. Monash Centre for Occupational and Environmental Health .
- Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J. (2014). *Final Report Australian Firefighters' Health Study*. Melbourne: Monash Centre for Occupational and Environmental Health.
- Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J. (2015a). *Australian Firefighters Health Study. Further Analysis of Volunteer Firefighter Data*. Melbourne: Monash Centre for Occupational and Environmental Health.
- Glass, D.; Sim, M.; Pircher, S.; Del Monaco, A.; Dimitriadis, C.; Miosge, J. (2015b). *Defence Firefighters' Health Study*. Melbourne: Monash Centre for Occupational and Environmental Health.
- Guiddotti, T. (2016b). Reading a 'negative' study. *Archives of Environmental & Occupational Health* 71:4, 187-188.
- Guidotti, T. (. (2016a). *Health Risks and Fair Compensation in the Fire Service*. Switzerland: Springer.
- Heus, R. (2015). *Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer; een literatuurreview*. Zoetermeer: IFV.
- IARC. (1987). *Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans 1 - 42, Suppl. 7*. Lyon.
- IARC. (2010). *IARC (2010). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans VOLUME 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork*. Lyon: WHO.
- KCAV. (2015). Notitie, Vervolgstappen gezond en veilig werken bij de brandweer.
- Kemmeren, M., & Mol, E. (2016). persoonlijke mededeling.
- Laitinen, J., Lindholm, H., Aatamila, M., Hyttinen, S., & Karisola, P. (2016). *Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa työssä*. Helsinki: FIOH.

- LeMasters, G., Genaidy, A., Succop, P., Deddens, J., Sobeih, T., Barriera-Viruet, H., . . . Lockey, J. (2006). Cancer Risk Among Firefighters: A Review and Meta-analysis of 32 Studies. *Occup. Environ. Med.*, *48*, 1189–1202.
- Magnusson, S., & Hultman, D. (2014). *Healthy firefighters – the Skellefteå Model improves the work environment*. Sweden: Swedish Civil Contingencies Agency (MSB) .
- McQuerry, M., DenHartog, E., Barker, R., & Ross, K. (2016). A review of garment ventilation strategies for structural firefighter protective clothing. *Textile Research Journal*, *Vol. 86*(7), 749–764.
- Oliveira, M., S. K., A. M., Fernandes, A., Teixeira, J., Delerue-Matosa, C., . . . Morais, S. (2016). Polycyclic aromatic hydrocarbons at fire stations: firefighters' exposure monitoring and biomonitoring, and assessment of the contribution to total internal dose. *Journal of Hazardous Materials*, in press.
- Oliveira, M., Slezakova, K., Alves, J., Fernandes, A., Teixeira, J., Delerue-Matos, C., . . . Morais, S. (2016). Firefighters' exposure biomonitoring: Impact of firefighting activities on levels of urinary monohydroxyl metabolites. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, in press.
- Pleil, J., Stiegel, M., & Fent, K. (2014). Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns. *J. Breath Res.* *8*, 1-9.
- Polycyclische aromatische koolwaterstoffen*. (2015). Retrieved from Wikipedia: https://nl.wikipedia.org/wiki/Polycyclische_aromatische_koolwaterstoffen