

Blootstelling rook

Een overzichtsrapportage van de onderzoeken naar
blootstellingsroutes, vervuiling en reiniging uitrukkleding
en de barrièrefunctie van de huid



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

Colofon

Instituut Fysieke Veiligheid (2018). *Blootstelling rook. Een overzichtsrapportage van de onderzoeken naar blootstellingsroutes, vervuiling en reiniging uitrukkleding en de barrièrefunctie van de huid.* Arnhem: IFV.

Opdrachtgever: Brandweer Nederland
Contactpersoon: Esther Lieben, voorzitter Stuurgroep Arbeidsveiligheid
Titel: Blootstelling rook. Een overzichtsrapportage van de onderzoeken naar blootstellingsroutes, vervuiling en reiniging uitrukkleding en de barrièrefunctie van de huid
Datum: 2 juli 2018
Status: Definitief
Versie: 1.0
Auteur: drs. Ronald Heus
Projectleider: drs. Ronald Heus
Review: dr. ir. Ricardo Weewer
Eindverantwoordelijk: ing. Piet Verhage MCDm
Foto cover: Mizzle Media

Samenvatting

Brandweerpersoneel loopt het gevaar om tijdens brandbestrijdingsactiviteiten te worden blootgesteld aan toxische stoffen in rook. Sommige van deze toxische stoffen vormen een gezondheidsrisico en kunnen leiden tot beroepsgebonden aandoeningen. Het is daarom van groot belang om te weten aan welke stoffen brandweerpersoneel mogelijk wordt blootgesteld en hoe deze stoffen eventueel kunnen worden opgenomen door het lichaam, waardoor ze een potentieel gezondheidsrisico vormen. Hoewel blootstelling aan rook als één van de mogelijke risico's wordt onderkend, is gebleken dat directe bewijsvoering ontbreekt voor de stelling dat brandweermensen in verhoogde mate kanker ontwikkelen als gevolg van blootstelling aan rook. Om uit te sluiten dat brandweermensen een risico lopen, is het van belang om de blootstelling zo veel mogelijk te beperken.

In het huidige onderzoeksproject stond de volgende onderzoeksvraag centraal: wat moet er worden gedaan om de blootstelling aan toxische stoffen voorafgaande aan, tijdens en na afloop van de brandbestrijding bij brandweerpersoneel te minimaliseren, zodat de kans op eventuele (latere) gezondheidsschade zo veel mogelijk wordt beperkt? Om deze onderzoeksvraag te beantwoorden zijn een aantal deelonderzoeken gedefinieerd:

- > Literatuur- en modelstudie naar opnameroutes van toxische stoffen in rook door brand (Willems, 2017)
- > Onderzoek vervuiling en reiniging van uitrukpakken (Laitinen, 2017)
- > Onderzoek barrièrefunctie huid (Van den Eijnde, Heus, Falcone, Peppelman & Van Erp, 2018)
- > Inventarisatie handreikingen "sch(o)n(er) werken"
- > Aanvullende kennisinventarisatie.

Met een model- en literatuurstudie is bepaald welke toxische stoffen het meest voorkomen in brand en hoe ze door het lichaam kunnen worden opgenomen. Van één van de mogelijke opnameroutes in het lichaam, de huid, is experimenteel onderzocht of door het dragen van beschermende kleding de barrièrefunctie van de huid kan veranderen.

In een ander deelonderzoek is uitrukkleding geanalyseerd op de mate van vervuiling met toxische stoffen en is onderzocht hoeveel restvervuiling na reiniging over is gebleven. Ook is gekeken naar de verschillen en overeenkomsten tussen de gehanteerde handreikingen 'schoon werken' van de verschillende veiligheidsregio's.

Uit de resultaten van de model- en literatuurstudie is gebleken dat de ademhaling de belangrijkste opnameroute is voor veel van de 32 meest voorkomende toxische stoffen in rook. De huid is voor een tweetal stoffen een reële route (deze stoffen kunnen door de huid opgenomen worden), namelijk blauwzuur en de polycyclische aromatische koolwaterstof benzo(a)pyreen. Deze laatste stof is kankerverwekkend. Uit het deelonderzoek naar huideigenschappen is gebleken dat door onder andere de verhoogde vochtigheid van de huid onder invloed van het dragen van beschermende uitrukkleding, de barrièrefunctie van de huid afneemt. Het is echter niet onderzocht of dat effect heeft op de opname van benzo(a)pyreen. Wel is in eerder onderzoek aangetoond dat de kankerincidentie door de huidopname van benzo(a)pyreen bij mensen met een sterk verminderde huidbarrière vergelijkbaar is met de normale populatie. De opname van benzo(a)pyreen door de huid leidt kortom niet tot meer kanker.

Het deelonderzoek naar de vervuiling met toxische stoffen van de uitrukkleding met drie lagen heeft aangetoond dat het grootste deel van de vervuiling niet verder komt dan de middelste laag van de uitrukkleding. De voor huidopname toxische stoffen zijn niet of nauwelijks terug te vinden op de binnenste laag en leveren daarmee geen gevaar op voor het krijgen van kanker. Hoewel er geen duidelijke blootstellingsnormen gelden voor schadelijke polycyclische aromatische koolwaterstoffen, zijn er in de Europese Unie wel normen gesteld voor huidcontact met deze stoffen in *nieuwe* kleding (in het algemeen). Deze normen zijn voor enkele brandweerpakken overschreden voor de middelste laag van de onderzochte uitrukkleding, maar dat resultaat was voornamelijk toe te wijzen aan één sterk vervuild uitrukpak van een trainingscentrum.

Na reiniging van de uitrukkleding heeft de vervuiling zich gedeeltelijk verspreid over de tegelijkertijd gewassen uitrukpakken. Daarbij is gebleken dat bij een groter aantal uitrukpakken per wasbeurt er meer vervuiling in de uitrukkleding achter is gebleven. Om te voorkomen dat de relatief schone binnenste laag van de uitrukkleding ook besmet wordt tijdens het reinigingsproces, is het mogelijk een idee om in de toekomst de sterker vervuilde buitenste lagen apart van de binnenste laag te reinigen.

Op basis van de resultaten van de verschillende deelonderzoeken en de inventarisatie van de huidige maatregelen door de veiligheidsregio's kan worden geconcludeerd dat er een groot bewustzijn is binnen Brandweer Nederland dat de genomen maatregelen (zoals beschreven in de handreikingen) nodig zijn.

Brandweerpersoneel moet voorafgaand aan de brandbestrijding goed op de hoogte zijn van de gevaren van blootstelling aan toxische stoffen in rook en de nodige voorzorgsmaatregelen nemen om de blootstelling zo veel mogelijk te voorkomen. Ze moeten zich tijdens de brandbestrijdingsactiviteiten zo goed mogelijk beschermen, zodat de toxische stoffen in rook niet via de opnameroutes ademhaling en huid door het lichaam worden opgenomen. Na afloop moeten ze de vervuilde (beschermings)middelen zo snel mogelijk isoleren van zichzelf. Daarnaast moeten zij ervoor zorgen dat de middelen zo adequaat mogelijk gereinigd worden, om de kans om alsnog blootgesteld te worden aan toxische stoffen op en in de (beschermings)middelen te minimaliseren. Ten slotte moet werkplaatspersoneel dat de middelen moet reinigen, voorkomen dat zij daarbij alsnog in aanraking komen met de toxische stoffen. Dit kunnen zij doen door de juiste voorzorgsmaatregelen te nemen, zoals het dragen van de juiste beschermingsmiddelen.

Summary

Firefighters being exposed to toxic substances in smoke is a realistic hazard. Some of these toxic substances pose a health risk and can lead to occupational disorders. Therefore it is very important to know which toxic substances firefighters are exposed to and how these substances can be absorbed by the human body and form a potential health risk. In a previously performed literature study, it has been established that there is no causal relationship between exposure to toxic substances in smoke and cancer, despite the fact that in a number of studies it has been shown that among firefighters some cancers occur more often than in the rest of the population. In this research project, the central question was what should be done to minimize the exposure to toxic substances before, during and after the firefighting of firefighters, so that the chance of any (later) health damage is limited as much as possible?

In order to gain more clarity, a number of aspects relating to exposure to toxic substances in smoke were investigated in several (sub)studies. For example, a model and literature study has determined which toxic substances are most commonly found on the fire-ground and how these substances can be absorbed by the body. The permeability of the skin for toxic substances, as one of the possible absorption routes in the body, has been experimentally investigated to determine if the protective barrier function changes as a result of wearing protective clothing. In another (sub)study, the degree of contamination with toxic substances of turn-out gear is analysed and the residual contamination remaining after cleaning is investigated. Finally different circulating guidelines of the Safety Regions on proper working in the fire services have been investigated on differences and similarities.

The results of the model and literature study have shown that inhalation is the most important absorption route for many of the 32 most common toxic substances in smoke. However the skin is a propable route for two substances, namely hydrocyanic acid and the polycyclic aromatic hydrocarbon benzo(a)pyrene. This latter substance is carcinogenic. The (sub)study to the skin characteristics has shown that the barrier function of the skin is reduced e.g. the increased moisture of the skin under the influence of wearing protective turnout clothing, It has not been investigated if the decreased barrier function of the skin is of influence on the absorption of benzo(a)pyrene. However previous research has also not shown that people with a severely reduced skin barrier develop more cancer by the absorption of benzo(a)pyrene.

The (sub)study to the contamination with toxic substances from the 3-layer turnout gear has shown that most of the pollution does not pass the middle layer of the turnout gear. The substances that are toxic to skin can hardly be found on the inner layer and therefore are not of any danger. Although there are no clear exposure standards for harmful polycyclic aromatic hydrocarbons, standards have been set in the European Union for skin contact with these substances in *new* clothing. These standards have sometimes been exceeded for the middle layer of the tested turnout gear, but that result was mainly attributable to one strongly contaminated turnout suit of a trainingcentre.

After cleaning the turnout gear, the contamination has spread partly over the simultaneously washed suits. It has been found that, with a larger number of suits per wash, more contamination remains in the turnout gear. In order to prevent the relatively clean inner layer of the turnout gear from being contaminated during the cleaning process, it is possibly an idea to clean the dirty outer layers separately from the inner layer in future. Based on the

current results, further research to the complete cleaning process of turnout gear is desirable.

Based on the results of the (sub)studies and the various occupational hygiene guidelines applied by the Safety Regions in firefighting activities, it can be concluded that there is a great awareness within the Netherlands Fire Services regarding the hazards of exposure to smoke. Firefighters must be familiar with the hazards of exposure to toxic substances in smoke beforehand and take the necessary precautionary measures to prevent exposure to toxic substances in smoke as much as possible. They must protect themselves with all possible measures during the firefighting activities to prevent absorption of toxic substances in smoke by the inhalation route or the skin. Afterwards they must isolate the contaminated (protective) means as soon as possible and ensure that the resources are cleaned as adequately as possible to minimize the chance of being exposed to toxic substances on and in the (protective equipment). Personnel of laundries who are in charge of cleaning the equipment must finally prevent themselves from coming into contact with the toxic substances in the (protective) equipment by use of suitable protective means.

Inhoud

Samenvatting	3
Summary	5
Inleiding	8
1 Onderzoeksmethode	13
1.1 Inleiding.....	13
1.2 Literatuur- en modelstudie opnameroutes	13
1.3 Onderzoek vervuiling uitrukpakken.....	13
1.4 Onderzoek barrièrefunctie huid	15
1.5 Inventarisatie handreikingen “scho(o)n(er) werken”	17
1.6 Aanvullende kennisinventarisatie	17
1.6.1 Kennisevent reiniging uitrukkleding	17
2 Resultaten	19
2.1 Inleiding.....	19
2.2 Literatuur- en modelstudie opnameroutes	19
2.3 Onderzoek vervuiling uitrukpakken.....	21
2.4 Onderzoek barrièrefunctie huid	25
2.5 Inventarisatie handreikingen “scho(o)n(er) werken”	27
2.5.1 Algemeen.....	27
2.5.2 Belangrijkste constatering.....	28
2.5.3 Opmerkelijke constatering	28
2.6 Aanvullende kennisinventarisatie	28
2.6.1 Kennisevent reiniging uitrukkleding	28
3 Discussie	29
3.1 Inleiding.....	29
3.2 Ademhalingsroute	29
3.3 Huidopname en vervuiling uitrukpakken.....	29
3.3.1 Vervuiling uitrukpakken.....	30
3.3.2 Warme en natte huid	31
3.3.3 Onvoldoende afsluiting	31
3.3.4 Secundaire blootstelling.....	31
3.3.5 Reiniging uitrukkleding.....	32
3.4 Eigen invulling handreiking	33
4 Conclusies	35
4.1 Conclusies uit de deelonderzoeken.....	35
4.2 Overall conclusies.....	36
Literatuur	39
Bijlage 1 Samenvatting/abstract uitgevoerde onderzoeken	42
Bijlage 2 Wasinstructies	47
Bijlage 3 Overzichtstabel ‘Schoonwerken’	49

Inleiding

Aanleiding

Naast blootstelling aan hitte loopt brandweerpersoneel ook gevaar om bij brandbestrijding te worden blootgesteld aan toxische stoffen in rook. De gebruikte persoonlijk beschermende kleding is van oudsher in eerste instantie gericht op de bescherming tegen hoge omgevingstemperaturen, maar over de bescherming van de uitrukkleding tegen toxische stoffen in rook is nog relatief weinig bekend. De blootstelling aan toxische stoffen in rook kan op langere termijn mogelijk tot beroepsgebonden aandoeningen leiden. Daarom moet de blootstelling tot een minimum worden beperkt. Arbeidshygiëne staat momenteel dan ook hoog op de agenda van iedereen die met arbeidsomstandigheden van de brandweer bezig is. Het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) participeert in meerdere (inter)nationale gremia die bezig zijn met dit onderwerp en volgt daarmee de recente internationale ontwikkelingen.

Berichten in de pers over brandweermensen die kanker hebben gekregen, aan kanker zijn overleden of eerder kwamen te overlijden dan de gemiddelde levensverwachting van een populatie, werden gelinkt aan de blootstelling aan toxische stoffen in rook van brand. Omdat leidinggevenden van de brandweer deze berichtgeving zeer serieus namen, is in opdracht van de Raad van Brandweercommandanten van Brandweer Nederland een uitgebreide literatuurstudie uitgevoerd naar de relatie tussen blootstelling aan toxische stoffen in rook en het ontstaan van beroepsgerelateerde aandoeningen (Instituut fysieke Veiligheid, 2016; 2017). De conclusie uit deze uitgebreide studie luidde dat hoewel kanker vaker lijkt voor te komen bij brandweerpersoneel, dit niet zomaar kan worden toegeschreven aan toxische stoffen in rook.

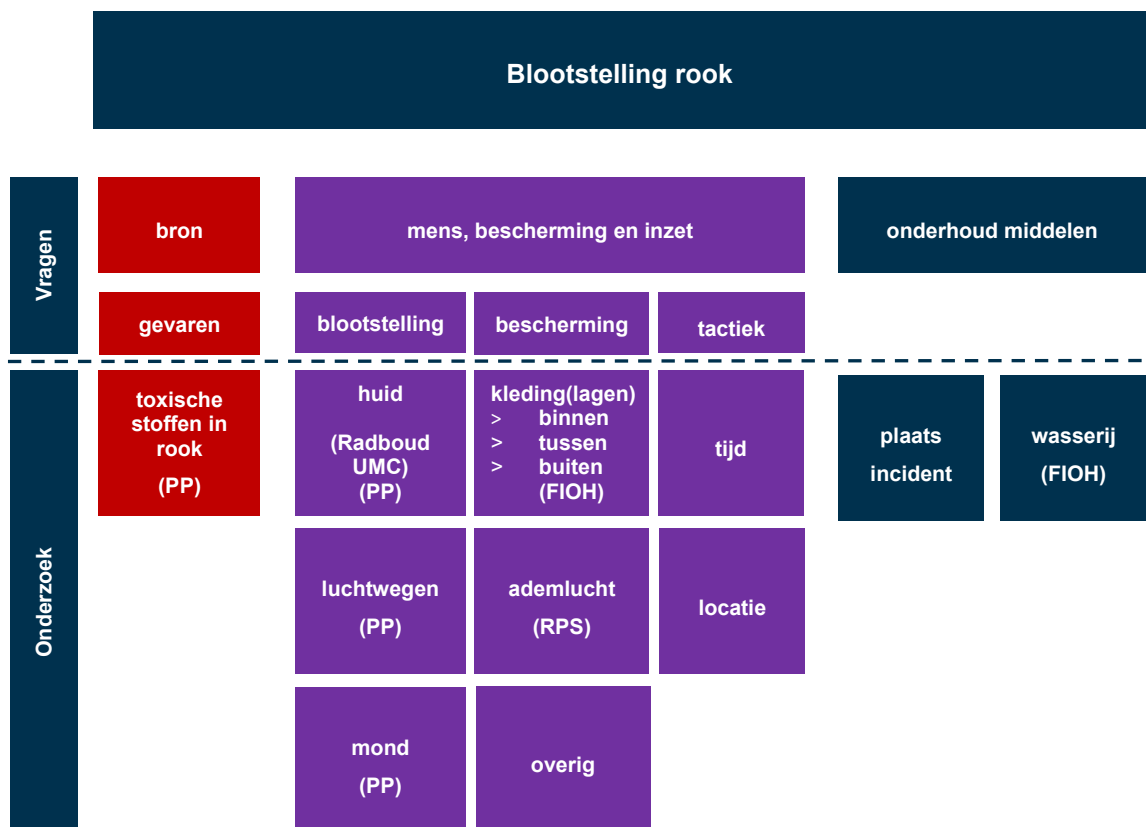
Er bestaan kennisleemten met betrekking tot vragen op het gebied van de risico's van blootstelling aan rook, de gevolgen voor de mens die wordt blootgesteld, het nut en de noodzaak van de maatregelen om blootstelling te voorkomen en het effect van de genomen maatregelen

Er is, wederom in opdracht van de Raad van Brandweercommandanten, onder regie van het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid van het Instituut Fysieke Veiligheid door meerdere externe gespecialiseerde onderzoekspartijen gestart met onderzoeken naar:

- > blootstellingsroutes in het lichaam
- > vervuiling en reiniging van onmiddellijk na een inzet ingenomen uitrukpakken, en
- > verandering van de huidbarrière als gevolg van externe belasting zoals het dragen van uitrukkleding.

In figuur 0.1 is een schematisch overzicht weergegeven van de uitgevoerde deelonderzoeken, die later in dit hoofdstuk nader worden toegelicht.¹

¹ Er is alleen (experimenteel) onderzoek uitgevoerd naar de donkergekleurde blokken in het schema en niet naar de transparante blokken in het schema.



PP = PreventPartner, RadboudUMC = afdeling dermatologie van het Radboud Universitair Medisch Centrum, FIOH = Finnish Institute of Occupational Health.

Figuur 0.1 Schematisch overzicht van de uitgevoerde deelonderzoeken

Hoofd- en deelvragen

De hoofdvraag van het onderzoek naar blootstelling aan toxische stoffen in rook luidt:

- > Wat moet er worden gedaan om de blootstelling aan toxische stoffen voorafgaande aan, tijdens en na afloop van de brandbestrijding bij brandweerpersoneel te minimaliseren, zodat de kans op eventuele (latere) gezondheidsschade zo veel mogelijk wordt beperkt?

Om bovenstaande vraag te kunnen beantwoorden zijn door de expertgroep de volgende deelvragen geprioriteerd geformuleerd.

- > Aan welke stoffen die vrijkomen bij een brand, worden brandweermensen blootgesteld?
- > Via welke routes worden toxische stoffen opgenomen in het lichaam?
- > Hoe kan brandweerpersoneel worden blootgesteld aan bovengenoemde stoffen?
- > Welke maatregelen kunnen voorafgaande aan, tijdens en na afloop van de brandbestrijding worden genomen om gezondheidsrisico's te beperken?

Deelonderzoeken

Om bovenstaande (deel)vragen te beantwoorden zijn een aantal deelonderzoeken gedefinieerd. De nadruk in deze studies is vooral gericht op stoffen die potentieel kankerverwekkend zijn voor mensen.

Literatuur- en modelstudie naar opnameroutes van toxische stoffen in rook door brand (Willems, 2017)

Het eerste onderzoek (Willems, 2017) is een literatuur- en modelstudie naar de meest voorkomende toxische stoffen in rook en naar de opnameroutes van deze stoffen in het lichaam. Dit onderzoek heeft meer duidelijkheid gegeven over:

- > welke toxische stoffen het meest voorkomen bij brand
- > hoe ze kunnen worden opgenomen in het lichaam, en
- > of huidblootstelling daarbij een reële opnameroute is.

Onderzoek vervuiling uitrukpakken (Laitinen, 2017)

Vervolgens heeft het FIOH bij binnenbrand gebruikte uitrukpakken (potentiële besmettingsbron) van brandweer Amsterdam-Amstelland onderzocht. De uitrukpakken zijn geanalyseerd op de aanwezigheid van de meest voorkomende toxische stoffen in vergelijking met een ongebruikt uitrukpak en ook is bepaald wat het effect van reiniging is.

Onderzoek barrièrefunctie huid (Van den Eijnde, Heus, Falcone, Peppelman & Van Erp, 2018)

De afdeling Dermatologie van het Radboud UMC heeft een verkennend onderzoek gedaan naar de verandering van de barrièrefunctie van de huid voor toxische stoffen, als de huid wordt afgesloten door een uitrukpak (de effecten van het dragen van bluskleiding op de huidbarrièrefunctie).

Inventarisatie handreikingen “sch(o)n(er) werken”

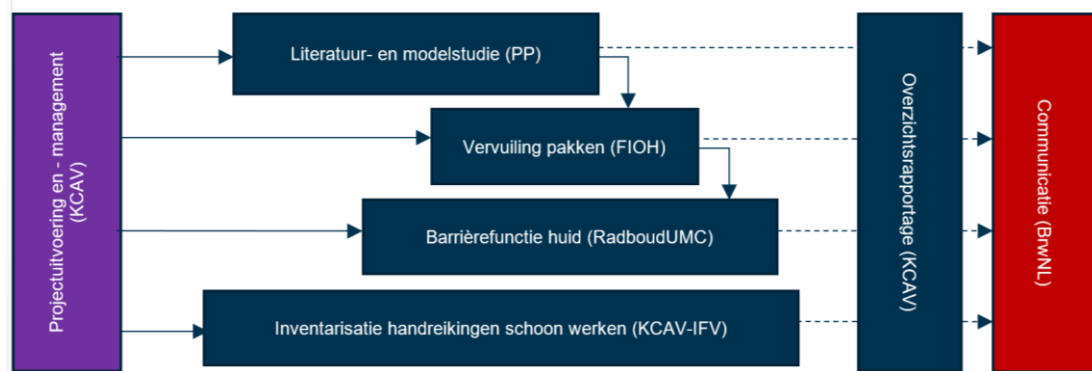
De handreikingen omtrent schoon werken van verschillende veiligheidsregio's zijn opgevraagd, om te bepalen:

- > welke handreikingen schoon werken worden toegepast in Nederland
- > of er grote afwijkingen zijn tussen de verschillende handreikingen, en
- > of de uitkomsten van de onderzoeken aanpassingen vragen op bovengenoemde handreikingen.

Aanvullende kennisinventarisatie

Een aantal zaken bleken onvoldoende geborgd in de deelonderzoeken, zoals de mate van blootstelling via de ademhaling en of het mogelijk is om te bepalen wat schoon (genoeg) is voor beschermingsmiddelen. Hiertoe zijn een aantal kwalitatieve testen uitgevoerd en is een kennisbijeenkomst georganiseerd naar reinigingsmethodieken van uitrukkleding.

Het verloop en de samenhang van de deelonderzoeken is schematisch weergegeven in onderstaande figuur (figuur 0.2).



Figuur 0.2 Structuur onderzoek naar gevaar blootstelling rook

Doel

In deze rapportage worden de resultaten van de afzonderlijke deelonderzoeken gepresenteerd en in beschouwing genomen. Het doel hiervan is om meer duidelijkheid te krijgen over de blootstelling van brandweer- en werkplaatspersoneel aan toxische stoffen voor, tijdens en na (binnen)brandbestrijding.

De uitgevoerde deelonderzoeken zijn gericht op de bij brand vrijgekomen toxische stoffen waaraan men direct of indirect blootgesteld kan worden en wat er wel of niet bekend is van deze stoffen over mogelijke opname in en transport door het lichaam en de gevolgen daarvan voor het lichaam. Hierdoor ontstaat een completer beeld van de huidig beschikbare kennis en worden delen van de hiaten in de kennis opgevuld.

Afbakening

In deze publicatie wordt een overzicht gegeven van de verschillende deelonderzoeken en aanvullende kennisinventarisaties en wordt de samenhang van de resultaten besproken. De deelonderzoeken waren gericht op het beantwoorden van eerdergenoemde vier generieke deelvragen. De resultaten moeten in die context worden gezien. Dat wil zeggen dat meer specifieke vragen mogelijk nader onderzoek behoeven.

Het onderzoeksproject heeft uitsluitend betrekking op de gezondheidsrisico's van aan brandbestrijding gerelateerde activiteiten.

Aan deze publicatie liggen vijf onderzoeken ten grondslag, met daarin onder andere weergegeven de onderzoeksmethode, de resultaten en de conclusies. Het doel van deze publicatie is expliciet niet om de verantwoording van de methodologie en alle onderzoeksresultaten van deze deelonderzoeken uitgebreid te herhalen. Deze publicatie focust dan ook op hoofdlijnen en algemene resultaten. Voor gedetailleerde (verantwoording van de) resultaten van de verschillende onderzoeken wordt verwezen naar de bijbehorende onderzoeksrapporten.

Afstemming en samenwerking

De vanuit Brandweer Nederland bijeengeroepen expertgroep² heeft een bijdrage geleverd aan het formuleren van de deelonderzoeksvragen.

Voor het realiseren van de onderzoeksdoelstelling is samengewerkt met een aantal gespecialiseerde kennisinstellingen, zoals PreventPartner, het Finnish Institute of Occupational Health (FIOH) en de afdeling Dermatologie van het Radboud UMC, die elk verantwoordelijk waren voor een deelonderzoek.

Dit rapport is mede tot stand gekomen dankzij de constructieve bijdragen van de leden van de klankbordgroep Mark Bokdam, Frans Greven, Clemens Kamp en Maurice Kemmeren. Tot slot bedankt het projectteam Bud Pronk van Brandweer Amsterdam-Amstelland voor het beschikbaar stellen van de uitrukpakken die in dit onderzoek zijn gebruikt.

Leeswijzer

De aanpak van de deelonderzoeken is beschreven in hoofdstuk 1. De resultaten en de integratie van de verschillende deelonderzoeken zijn in hoofdstuk 2 beschreven. In hoofdstuk 3, discussie, zijn de resultaten geïnterpreteerd, waarna in hoofdstuk 4 de conclusies zijn getrokken en de hoofd- en subvragen zijn beantwoord.

² Deelnemers: Ricardo Weewer, lector Brandweerkunde IFV; Clemens Kamp, Brandweer Midden en West Brabant; Eric Mol, (destijds) Brandweer Amsterdam-Amstelland; Huib Franssen, Brandweer Rotterdam-Rijnmond; Maurice Kemmeren, onderzoeker KCAV; Ronald Heus, onderzoeker KCAV.

1 Onderzoeksmethode

1.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt per deelonderzoek op hoofdlijnen de toegepaste onderzoeksmethode beschreven. Voor een gedetailleerde verantwoording van de methodologie van de verschillende onderzoeken wordt verwezen naar de bijbehorende onderzoeksrapporten.

1.2 Literatuur- en modelstudie opnameroutes

Er is een model- en literatuurstudie uitgevoerd naar de stoffen die voorkomen in rook van brand (Willems, 2017). In deze studie is onderzocht welke huidmodellen kunnen worden gebruikt om te bepalen of van bepaalde stoffen huidopname (naast andere blootstellingsroutes) een reële optie is. In dit onderzoek zijn de volgende vraagstellingen beantwoord:

- > Wat zijn de meest voorkomende toxische stoffen in rook door brand?
- > Wat zijn opnameroutes van de meest belangrijke toxische stoffen die voorkomen in rook door brand?
- > Is huidopname een reële route bij blootstelling aan toxische stoffen die voorkomen in rook door brand? Indien huidopname een reële route is:
 - > Hoe staat deze opnameroute in verhouding met andere opnameroutes (via de ademhaling en via de mond)?
 - > Wat zijn de meest kritische stoffen voor opname via de huid?

Om bovenstaande vraagstellingen te beantwoorden zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Selectie van de meest belangrijke (toxische) stoffen die voor kunnen komen in rook door brand.
2. Indeling van stoffen naar blootstellingsroute en eenmalige/herhaalde blootstelling.
3. Indeling in gevarenklassen.

Het onderzoek is uitgevoerd door een combinatie van expertsessies, literatuuronderzoek en gebruik van (huid)modellen.

1.3 Onderzoek vervuiling uitrukpakken

Een willekeurige selectie van tien gebruikte uit drie lagen opgebouwde uitrukpakken³ van brandweer Amsterdam-Amstelland is onderzocht op een aantal toxische stoffen die voorkomen in brand (Laitinen, 2017). De geanalyseerde stoffen zijn:

- > Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (16 EPA-PAKs)
- > Vluchtige organische stoffen (VOC's)
- > Semivluchtige organische stoffen (sVOC's)
- > Zuren
- > Dioxinen en furanen

³ Omdat naar schatting 80 procent van de in gebruik zijnde uitrukpakken qua opbouw van lagen en design sterk vergelijkbaar zijn met die van de veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland mogen de resultaten worden geëxtrapoleerd naar andere regio's.

> Per- en polyfluoroalkylische stoffen (PFAS's).

De selectie van de stoffen is gedaan op basis van hoe vaak ze voorkomen in rook bij brand en de mogelijke kans op gezondheidsschade, zoals vastgesteld in de studie naar blootstellingsroutes (Willems, 2017).

Er is vooraf geselecteerd⁴ waar monsters (4 cm²) uit de kleding worden genomen. Dat zijn de nek aan de binnenzijde, de rug en borst buitenste laag, middelste laag en binnenste laag van de jas (figuur 1.1)



Figuur 1.1 Monstername plaatsen

Om te bepalen of de juiste keuzes met betrekking tot de monstername zijn gemaakt, is in de eerste twee fasen⁵ van het onderzoek één gebruikt uitrukpak vergeleken met een ongebruikt uitrukpak. Dit is gedaan om in de vervolgfases van het onderzoek de overige uitrukpakken specifieker te kunnen analyseren op stoffen en locaties. In fase 3 zijn de overig vervuilde pakken op specifiekere plaatsen onderzocht (het was vooraf onbekend waar de vervuiling zich precies bevond) en in de laatste fase van het onderzoek is het effect van reinigen op de polycyclische aromatische koolwaterstoffen bepaald.

Het FIOH hanteert twee veiligheidslimieten voor huidblootstelling (langer dan 30 seconden) aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), namelijk die van de European Chemical Agency (ECHA) (Regulation no. 1272/2013) en een Duitse Norm van het Ausschuss für Produktsicherheit van de Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, de zogenaamde Geprüfte Sicherheit (GS) norm (AfPS GS 2014:01 PAK). Beide normen zijn van toepassing op veilig gebruik op de huid van nieuwe kleding. Er bestaan geen normen voor vervuiling van kleding. De norm van ECHA voor afzonderlijke PAKs is maximaal 1 mg/kg en de GS norm is maximaal 0,5 mg/kg voor afzonderlijke PAKs en een maximum van 10mg/kg voor het totaal van alle op de kleding aanwezige PAKs.

Na analyse van alle uitrukpakken zijn ze gereinigd (gewassen in een wasmachine en gedroogd in een droogkamer) volgens de bijgeleverde instructies van de leverancier (bijlage 2). Vervolgens zijn op ongeveer dezelfde plaatsen opnieuw monsters genomen, die zijn geanalyseerd om te kunnen bepalen wat het effect van reiniging is geweest. Hierbij is de efficiëntie van het reinigingsproces bepaald, met andere woorden hoeveel vervuiling er na een reinigingsbeurt nog op de uitrukkleding aanwezig is. Er is ook onderzocht wat het effect is wanneer tegelijkertijd drie uitrukpakken in de wasmachine zijn gereinigd ten opzichte van wanneer tegelijkertijd twee uitrukpakken zijn gereinigd.

⁴ Op basis van 1. de verwachte locaties waar de meeste vervuiling zich zou bevinden en 2. de expertise van de FIOH.

⁵ Zie het onderzoek van Laitinen (2017) voor een uitleg over deze fasen.

1.4 Onderzoek barrièrefunctie huid

Om te weten te komen of de huid gevoeliger wordt voor opname van toxische stoffen in rook als gevolg van zweten en temperatuurverhoging, is een verkennend onderzoek gedaan naar de barrièrefunctie van de huid (Van den Eijnde et al., 2018). In dit onderzoek met zestien proefpersonen is onderzocht wat het effect van het dragen van beschermende brandweerkleding op de barrièrefunctie van de huid van de onderarm is. In twee experimentele condities is eerst de barrièrefunctie van onbedekte huid onderzocht. De experimentele condities zijn:

- > volledig met plastic folie afgesloten huid
- > dragen van een brandweejas⁶.

Het onderzoeksprotocol bestond uit het rustig zitten op een stoel in een geconditioneerde ruimte met een luchttemperatuur van 20 tot 22 °C en een relatieve luchtvochtigheid tussen de 40 en 60 procent (Figuur 1.2).



Figuur 1.2 Experimentele onderzoeksopzet

De volgorde van de experimentele condities zijn gerandomiseerd over de linker en rechter arm van de proefpersonen.

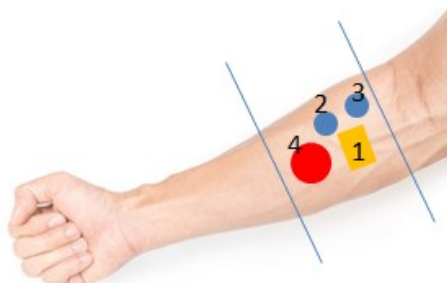
De eerste tien minuten zijn bedoeld als acclimatisatiefase. Na tien minuten zijn de eerste niet-invasieve biomedische parameters (Tabel 1.3) gemeten op de rechter onderarm en na 25 minuten zijn de controlemetingen verricht op de linker onderarm. Vervolgens zijn dertig minuten na de controlemetingen de beide armen afgesloten (occlusie), waarbij één arm in plastic folie is gewikkeld en de andere arm is afgesloten met een brandweejas. Aan het eind van de dertig minuten durende occlusiefase is het effect van de occlusie bepaald door opnieuw de metingen te verrichten. Tenslotte zijn weer 30 minuten later de metingen een laatste keer uitgevoerd om het herstelvermogen van de huid te bepalen.

⁶ Jas beschikbaar gesteld door de Veiligheidsregio Midden- en West-Brabant.

Tabel 1.3 Overzicht van de gemeten biofysische parameters

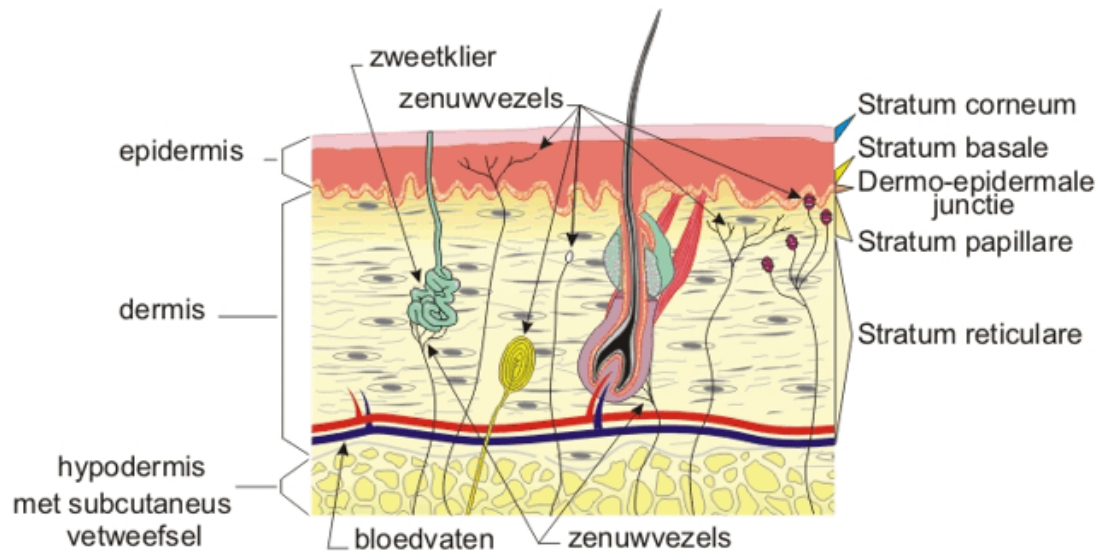
Fysische parameter	Meetinstrument	Beschrijving
Transepidermaal water verlies (TEWL)	BIOX AqualFlex, Biox Systems Ltd, England	Hoeveelheid water die de hoornlaag passeert
Huidoppervlakte water verlies (SSWL)	BIOX AqualFlex, Biox Systems Ltd, England	Hoeveelheid huidoppervlaktewater dat op de huid aanwezig is
Temperatuur en vochtigheid huid	DHT11-sensor (D-Robotics, England)	Metten van de relatieve vochtigheid en temperatuur van de afgesloten huid
Huidpermittiviteit	Epsilon Model E100, Biox Systems Ltd, England	Capacitieve meting die correleert met de hoeveelheid hydratatie van de hoornlaag en een maat is voor de barrièrefunctie van de huid
Huidmorfologie	Confocale microscopie (RCM)	Hiermee kan de dikte van de bovenste huidlagen worden bepaald

De locaties van de verschillende biofysische metingen zijn weergegeven in onderstaande figuur 1.4.



Figuur 1.4 Meetlocaties van de verschillende metingen op de onderarm:
1 = huidpermittiviteit, 2 = TEWL, 3 = SSWL, 4 = Huidmorfologie

Het verschil tussen de dikte van de hoornlaag (stratum corneum) en de opperhuid (epidermis) (figuur 1.5) van de controlemetingen na de acclimatisatieperiode en de metingen na occlusie zijn getoetst met een gepaarde t-toets. Pearson’s correlatie analyse is gebruikt om de relatie tussen de toegenomen temperatuur en relatieve vochtigheid na occlusie en transepidermaal water verlies (TEWL), huidoppervlakte waterverlies (SSWL) en huidpermittiviteit te bepalen. Tenslotte is bepaald of leeftijd en geslacht van invloed zijn op de gemeten biofysische parameters.



Figuur 1.5 Schematische weergave van de huid⁷

1.5 Inventarisatie handreikingen “scho(o)n(er) werken”

Aan alle arbocoördinatoren van de veiligheidsregio's is gevraagd de handreikingen ‘schoon werken’, die betrekking hebben op het voorkomen van primaire en secundaire besmetting met gevaarlijk stoffen in rook bij brand, op te sturen. Er is gekeken wat verschillen en overeenkomsten zijn tussen de verschillende handreikingen. In een overzichtstabel in bijlage 3 worden de belangrijkste zaken uit de verschillende handreikingen per veiligheidsregio weergegeven.

1.6 Aanvullende kennisinventarisatie

Gedurende het project is gebleken dat een aantal zaken nog onvoldoende geborgd waren in de deelonderzoeken, zoals de mate van blootstelling via de ademhaling en of het mogelijk is om te bepalen wat schoon (genoeg) is voor beschermingsmiddelen. Hiertoe zijn een aantal kwalitatieve testen uitgevoerd en is een kennisevent rondom reiniging georganiseerd, zoals hieronder beschreven.

1.6.1 Kennisevent reiniging uitrukkleding

Om te bepalen hoe uitrukkleding het beste gereinigd kan worden is in samenwerking met Cleaning Consultancy Delft (CCD) een bijeenkomst georganiseerd. In deze bijeenkomst is door een representatieve vertegenwoordiging van de spelers in de keten gebrainstormd over de beste methoden om uitrukkleding te reinigen en om te bepalen of er een norm gesteld kan worden wat schoon (genoeg) is. Aanwezig waren (inter)nationale vertegenwoordigers uit het brandweerveld, de reinigungsindustrie, wasmachineleveranciers, wasmiddelenleveranciers, leveranciers van brandweerkleding en producenten van kledingmaterialen.

Deze bijeenkomst bestond uit een algemene introductie over het veranderende brandweerveld, de eerste resultaten van de vervuiling en reiniging van brandweerkleding en een zestal panel discussies met de volgende onderwerpen.

- > Verschillende componenten van een uitrukpak.

⁷ bron: <http://users.telenet.be/zeldzame.ziekten/List.h/bac-infec-huid.htm>

- > Reinigbaarheid van uitrukpakken.
- > Verschillende reinigingsmethodieken voor uitrukpakken.
- > Risico-inventarisatie en -evaluatie en functionaliteit van uitrukpakken.
- > Ontwerp, gebruik en afstotendheid van uitrukpakken.
- > Richtlijnen en/of normen over wat schoon (genoeg) is.

De bijeenkomst is afgesloten met een samenvattende conclusie van deze dag en de mogelijkheden om in de toekomst in de keten samen te werken om de reiniging en de reinigbaarheid van uitrukkleding van de brandweer te verbeteren.

2 Resultaten

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden per deelonderzoek de belangrijkste resultaten weergegeven. In de laatste paragraaf worden deze afzonderlijke resultaten met elkaar in verband gebracht. Door de resultaten van de verschillende deelonderzoeken te integreren, wordt er meer inzicht gegeven in de gevaren van blootstelling aan toxische stoffen in rook en de mogelijk te nemen maatregelen om de risico's op het mogelijk krijgen van beroepsgerelateerde aandoeningen zo veel mogelijk te beperken.

2.2 Literatuur- en modelstudie opnameroutes

In dit onderzoek is vastgesteld dat de stoffen in onderstaande tabel (Tabel 2.1) de meest voorkomende stoffen zijn in rook bij brand. Van een aantal groepen stoffen (onder andere koolwaterstoffen) zijn markerstoffen weergegeven.

Er is onderzocht of de geselecteerde stoffen oraal (door de mond), via de ademhaling of door de huid opgenomen kunnen worden. Voor orale opname is alleen gekeken naar herhaalde blootstelling en voor ademhaling en huid naar incidentele en herhaalde blootstelling. Gebleken is dat de meeste stoffen door de ademhaling het lichaam binnenkomen.

Tabel 2.1 Overzicht van de 32 geselecteerde stoffen in rook en het gevaar voor opname in het lichaam

Stofnaam	Ademhaling: incidentele blootstelling	Ademhaling: herhaalde blootstelling	Huid: incidentele blootstelling	Huid: herhaalde blootstelling	Oraal: herhaalde blootstelling
CO - Koolmonoxide					
NO ₂ - Stikstofdioxide					
HCN - Blauwzuur					
SO ₂ - Zwaveldioxide					
HCL - Zoutzuur					
Koolwaterstoffen					
Benzeen					
Styreen					
Xyleen					
Tolueen					
Ethylbenzeen					
Hexaan					
(mono) Chloorbenzeen					
Fenol					
Aldehyden en ketonen					
Acroleïne					
Formaldehyde					
Acetaldehyde					

Isocyanaten					
TDI - 2,4-tolueen-diisocyanaat					
Methylisocyanaat					
Fenylisocyanaat					
Fosgeen					
Perfluoroisobuteen (PFIB),					
HF - Waterstoffluoride					
Ultrafijn stof/nanoparticles					
PM 2,5					
PM 10					
Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen					
Benzo[a]pyreen					
Pyreen					
Dioxinen en furanen					
TCDD					
(Tetrachlorodibenzo-dioxine)					
Furaan					
Dibenzofuraan					
Metalen					
Lood					
Fosforpentoxide					

Gevarenklasse	Ademhaling: incidentele blootstelling	Ademhaling: herhaalde blootstelling	Huid: incidentele blootstelling	Huid: herhaalde blootstelling	Oraal: herhaalde blootstelling
	Geen gevaar	Geen gevaar	Geen huidopname	Geen huidopname	Geen gevaar
	Gering gevaar	Giftig	Huidopname mogelijk	Mogelijk schadelijk	Gering gevaar
	Gevaarlijk	Schadelijk	Huidopname belangrijk	Mogelijk kanker-verwekkend	Schadelijk
	Dodelijk	Kanker-verwekkend	N.v.t. voor rook	Bewezen kanker-verwekkend	N.v.t. voor rook

Bovengenoemde gevarenklassen zijn een samenvatting van het onderzoek naar blootstellingsroutes (Willems, 2017).

Uit het onderzoek van Willems (2017) is gebleken dat huidopname een reële route is voor een beperkt aantal stoffen, maar dat deze opnameroute meestal ondergeschikt is aan de opname via de ademhaling. Van twee stoffen (blauwzuur (HCN) en fenol) is bekend dat ze bij een incidentele huidblootstelling door de huid kunnen worden opgenomen. Bij herhaalde blootstelling zijn vooral blauwzuur (HCN) en benzo(a)pyreen stoffen die door de huid kunnen worden opgenomen en een gevaar opleveren voor de gezondheid. Benzo(a)pyreen is een kankerverwekkende stof en in combinatie met gelijktijdige (huid)opname van fenol kunnen de kankerverwekkende eigenschappen nog eens worden versterkt.

Voor benzo(a)pyreen is er bij herhaalde blootstelling ook een risico op het krijgen van kanker voor de route via het spijsverteringskanaal. Datzelfde geldt ook voor dioxines en furanen.

2.3 Onderzoek vervuiling uitrukpakken

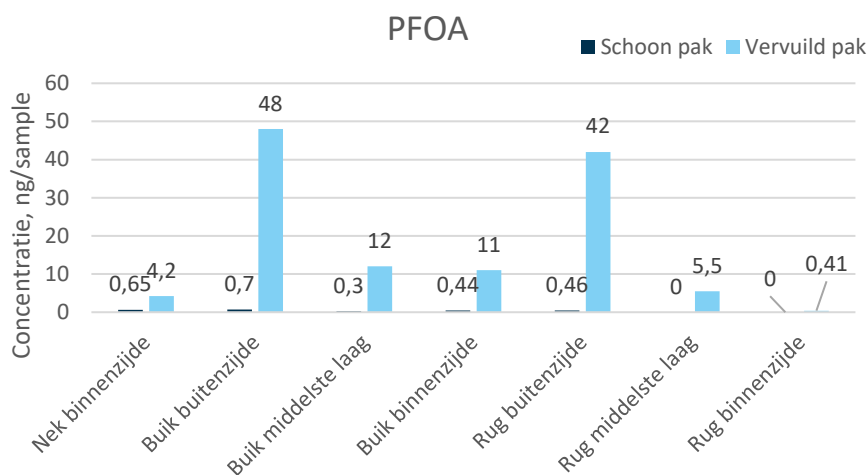
In de studie naar de vervuiling van de uit drie lagen opgebouwde uitrukpakken is onderzocht hoeveel polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs), (semi)vluchtige organische stoffen, zuren, dioxinen en furanen en per- en polyfluoralkyl stoffen op de uitrukpakken voorkomen en welke hoeveelheid na reiniging nog aanwezig is.

De resultaten van de eerste fasen van dit onderzoek hebben laten zien dat het onderzochte willekeurig gekozen vervuilde uitrukpak grotere hoeveelheden PAKs bevatte dan het schone uitrukpak. De hoogste concentraties PAKs zijn in de buitenste en middelste laag van de kleding gevonden. De concentratie benzo(a)pyreen, dat door de huid kan worden opgenomen, is bij het onderzochte vervuilde uitrukpak lager dan de door het FIOH gehanteerde normen voor nieuwe kleding (Laitinen, 2017).

De (semi)vluchtige organische stoffen zijn vooral aan de binnenzijde van de nek terug te vinden. Opvallend detail is dat de middelste laag van de buik van het schone uitrukpak hogere concentraties (semi)vluchtige organische stoffen bevat dan het vervuilde uitrukpak. Dit wordt toegeschreven aan de impregnatiebehandeling van de uitrukpakken om ze vloeistofafstotend te maken. De voor impregnatie gebruikte middelen vallen namelijk onder de (semi)vluchtige organische componenten (Laitinen, 2017). Er zijn voor zover bekend geen grenswaarden voor de aanwezigheid van (semi)vluchtige organische stoffen op materialen.

De wateroplosbare stoffen zijn vooral teruggevonden in de binnenste lagen van het vervuilde uitrukpak. In het schone uitrukpak zijn met uitzondering van nauwelijks detecteerbare hoeveelheden chloor, zwavelig zuur en salpeterzuur geen andere zuren gedetecteerd. Voor de wateroplosbare stoffen zijn geen grenswaarden bekend.

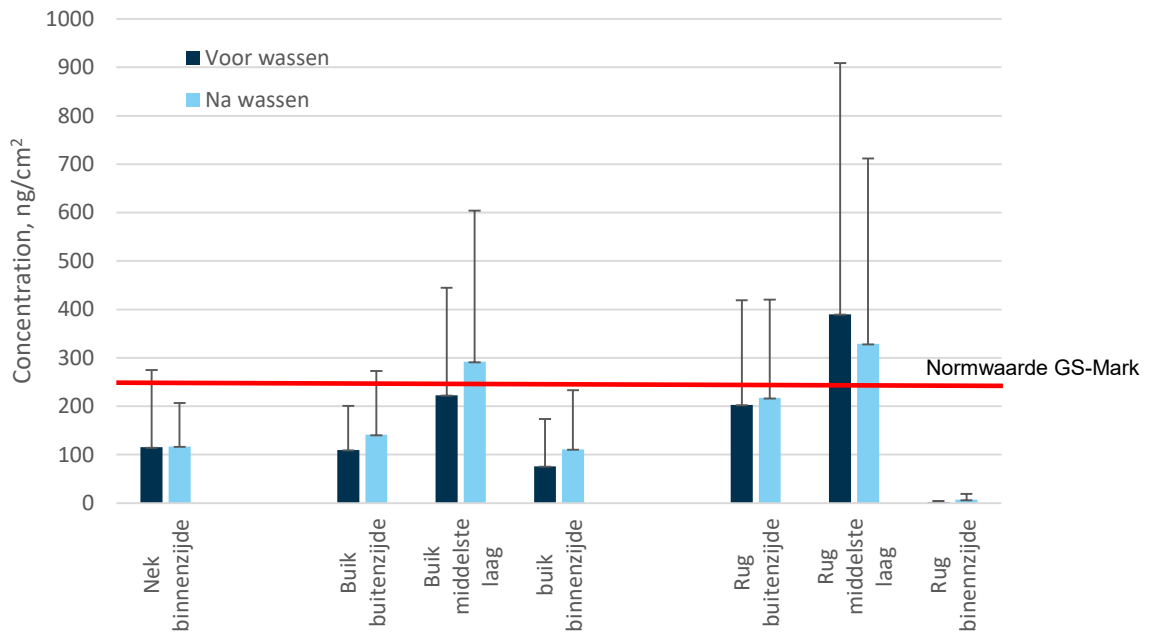
De dioxinen, furanen en per- en polyfluoralkyl stoffen zijn vooral op de buitenzijde van het vervuilde uitrukpak waargenomen. Van deze laatste stoffen is op het schone uitrukpak nauwelijks iets gevonden, op de vervuilde pakken zijn lage concentraties gevonden. Ter illustratie zijn in Figuur 2.2 de analysegegevens van perfluorooctaan zuur (PFOA) gegeven. Voor PFOA zijn in Nederland geen grenswaarden voor blootstelling vastgesteld. Alleen in Duitsland en Zwitserland geldt een grenswaarde voor PFOA, namelijk 5000 ng/m³ (inhaleerbare fractie) in de werkpleklucht voor een tijdgewogen gemiddelde (tgg) van 8 uur (Visser et al., 2016).



Figuur 2.2 De concentratie PFOA in het schone referentie uitrukpak (donkerblauw) en het willekeurig gekozen vervuilde uitrukpak (lichtblauw) (Laitinen, 2017)

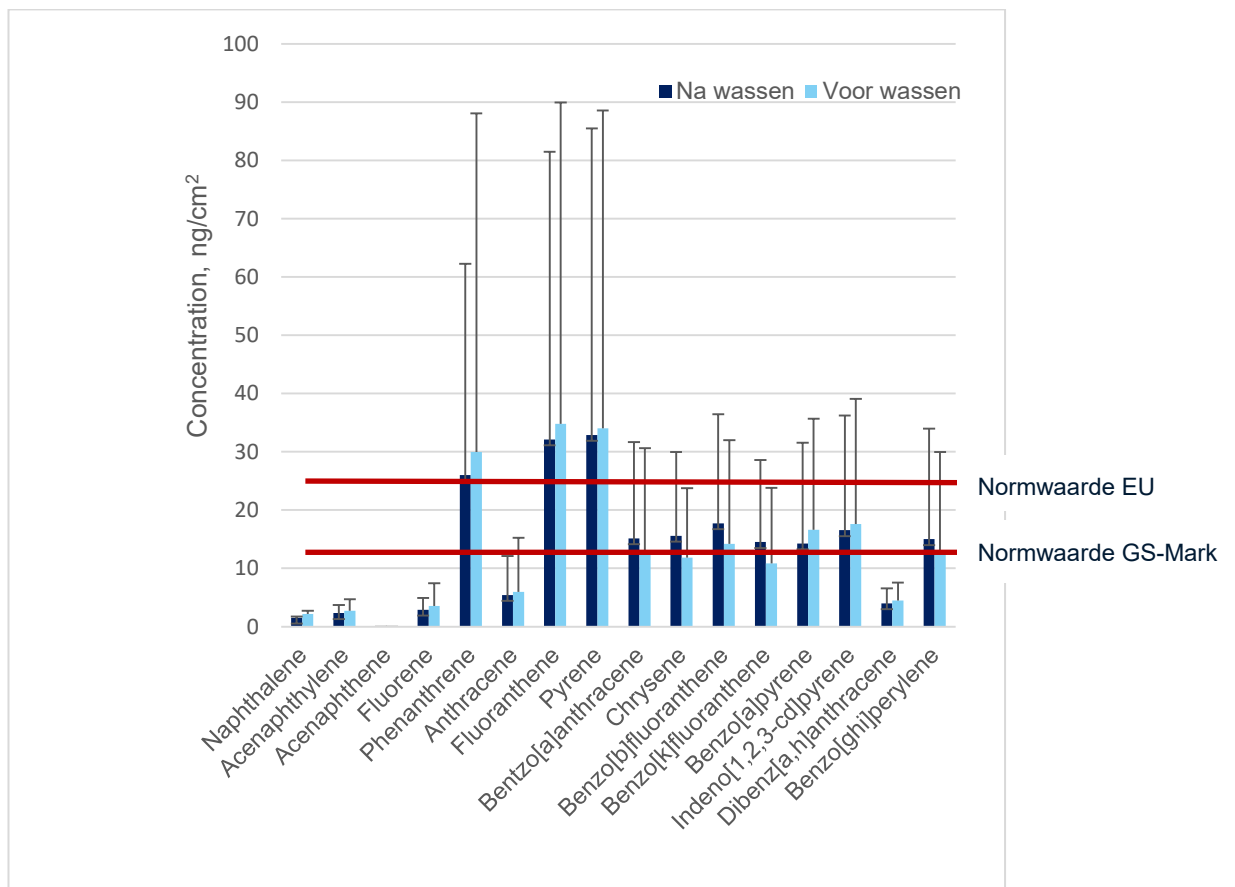
In de volgende fasen van het onderzoek zijn de overige vervuilde uitrukpakken voor (alle toxische stoffen) en na reiniging (alleen PAKs) opnieuw geanalyseerd. De reiniging van de uitrukpakken is uitgevoerd volgens de bijgeleverde instructies (zie bijlage 2). In deze fasen is nader ingezoomd op de plekken waar in de vorige fase de vervuiling is teruggevonden. Dat betekent dat monsters van de binnenzijde van de nek en alle lagen van buik en rug zijn onderzocht op PAKs. Voor het onderzoek naar (semi)vluchtige organische stoffen zijn de binnenzijde van de nek en de middelste laag van buik en rug onderzocht. Voor zuren zijn enkel de binnenste lagen van de uitrukpakken onderzocht en is blauwzuur (HCN) toegevoegd aan de te detecteren stoffen, omdat deze stof door de huid kan worden opgenomen. Monsters van de binnenzijde van de nek en de buitenzijde van de buik en borst zijn onderzocht op dioxinen, furanen en per- en polyfluoralkyl stoffen.

De analyse van de PAKs van de overige vervuilde uitrukpakken heeft een vergelijkbaar beeld opgeleverd als in de eerdere analyse op één vervuild uitrukpak. De meeste vervuiling is terug te vinden in de middelste laag van de uitrukkleding en heeft op de rug de strengere GS norm voor maximale aanvaardbare concentratie voor PAKs overschreden (Figuur 2.3).



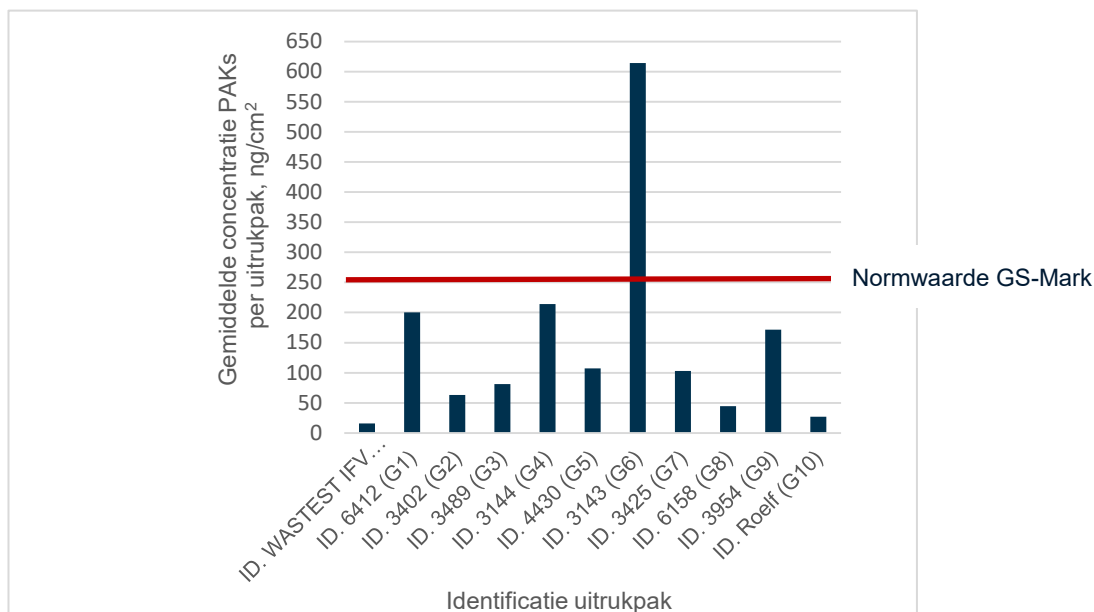
Figuur 2.3 De gemiddelde concentraties en standaard deviaties van de totale hoeveelheid PAKs op de vervuilde en gereinigde uitrustingen (Laitinen, 2017)

Het profiel van alle onderzochte PAKs is terug te vinden in Figuur 2.4. Hierbij is te zien dat in sommige gevallen de ECHA en/of conservatievere GS norm zijn overschreden. Voor het door de huid opneembare benzo(a)pyreen is enkel de GS norm overschreden. Ook na reiniging zijn de gevonden concentraties benzo(a)pyreen nog boven deze norm.



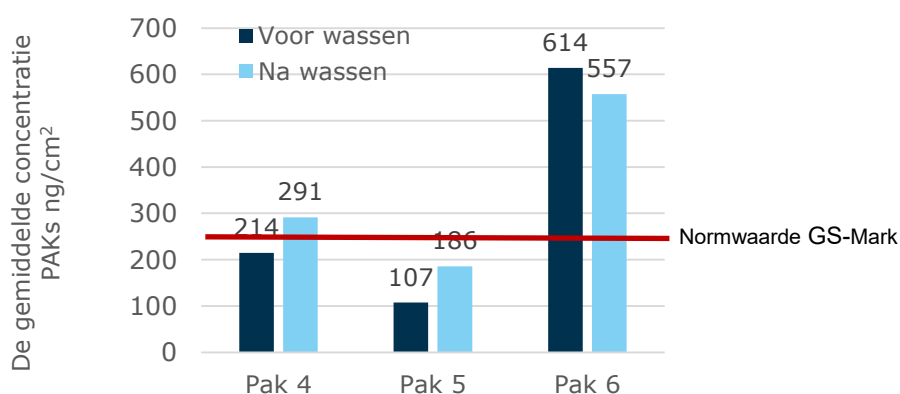
Figuur 2.4 Het gemiddelde profiel met standaard deviatie van de gedetecteerde PAKs van de vervuilde kleding voor en na wassen

Het overschrijden van de GS norm is echter volledig toe te wijzen aan één uitrukpak (figuur 2.5). Dit is een uitrukpak dat is gebruikt op het trainingscentrum BOCAS van Amsterdam-Amstelland en mogelijk relatief vaker is blootgesteld aan toxische stoffen in rook.



Figuur 2.5 De gemiddelde totale concentratie gemeten PAKs van alle afzonderlijke uitrukpakken voor reiniging

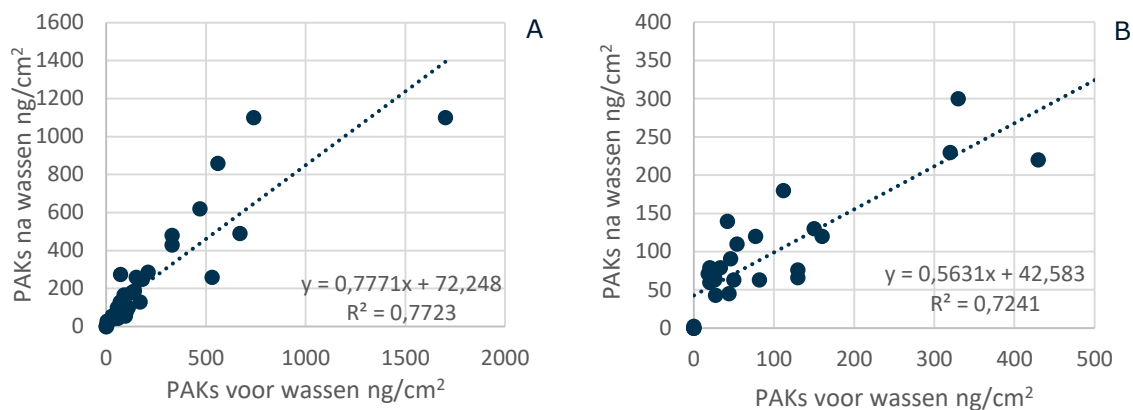
Verder is gebleken dat tijdens het wassen van vervuilde uitrukpakken de vervuiling zich over de uitrukpakken heeft verdeeld (figuur 2.6). Dit noemen we cross-contaminatie en wil zeggen dat de sterker vervuilde uitrukpakken schoner zijn geworden, maar de minder sterk vervuilde uitrukpakken vertonen juist meer vervuiling dan voor het wassen. De rode lijn geeft de GS norm voor het totaal gehalte aan PAKs weer.



Figuur 2.6 Het gemiddelde van het totaal aan PAKs in de uitrukpakken 4, 5 en 6 voor en na het wassen

Verder is de efficiëntie van het reinigen bepaald. Er zijn duidelijke verschillen gevonden tussen het tegelijkertijd reinigen van drie uitrukpakken in de wasmachine en het tegelijkertijd reinigen van twee uitrukpakken. De efficiëntie met minder uitrukpakken in de machine is hoger (figuur 2.7) en in overeenstemming met de Finse reinigingsmethode, waarbij slechts één uitrukpak in de machine wordt gereinigd. Met drie uitrukpakken is de berekende

wasefficiëntie bij ernstige vervuiling ongeveer 15 procent en met twee uitrukpakken loopt dat op naar 40 procent. Ter vergelijking: in Finland zijn wasefficiënties gemeten van 80 procent (Laitinen et al., 2016).



Figuur 2.7 De relatie tussen de PAKs voor en na wassen: in het linker plaatje (A) is de relatie te zien met drie pakken in een wasmachine en rechts (B) met twee pakken in wasmachine (Laitinen, 2017)

Voor (semi)vluchtige organische stoffen en de zuren is het beeld niet verschillend van het ene vervuilde uitrukpak dat in de eerdere fase was onderzocht (Laitinen, 2017). De (semi)vluchtige organische componenten bevinden zich voornamelijk in de middelste lagen van de uitrukkleding en de zuren zijn terug te vinden in de binnenste lagen van de uitrukkleding.

Aanvullend in deze fase van het onderzoek is de vraag of blauwzuur (HCN) terug te vinden is, omdat deze stof mogelijk door de huid is op te nemen en de zuren zich aan de binnenzijde van de uitrukkleding bevinden waar contact met de huid mogelijk is. De concentraties HCN (indien al aanwezig) zijn beneden de detectielimiet van de analysetechnieken. Dat wil zeggen dat geen HCN aan de binnenzijde van de uitrukpakken is gevonden.

De dioxinen, furanen en per- en polyfluoralkyl stoffen vertonen hetzelfde beeld als de analyse van het eerst onderzochte vervuilde uitrukpak. De lage concentraties van deze stoffen aan de buitenzijde en in de nek van de uitrukpakken zijn sterk vergelijkbaar met de lage concentraties zoals eerder gevonden bij het eerst onderzochte uitrukpak.

2.4 Onderzoek barrièrefunctie huid

Het onderzoek naar de verandering van de barrièrefunctie van de huid als gevolg van afsluiting van de huid hebben aangetoond dat er een significante toename is van het transepidermaal waterverlies (TEWL) als de huid is afgesloten met een uitrukpak. Deze toename herstelt zich weer als de uitrukjas is uitgetrokken.

Vergeleken met afsluiting met een plastic folie strak om de huid van de onderarm is gebleken dat dan het transepidermale waterverlies nog groter is, maar dat ook het huidoppervlakte waterverlies (SSWL) en de huidpermittiviteit zijn toegenomen (tabel 2.8).

Tabel 2.8 Resultaten van de TEWL, SSWL en huidpermittiviteit, dikte stratum corneum (SC) en levensvatbare epidermis inclusief stratum corneum dikte bij afsluiting met een uitrukjas en een cellofaanfolie gemeten vóór, onmiddellijk na en 30 minuten na occlusie

	Uitrukjas									
	TEWL [g m ⁻² h ⁻¹]		SSWL [g m ⁻² h ⁻¹]		Permittiviteit [-]		Stratum corneum dikte [um]		Epidermis en Stratum corneum dikte [um]	
	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.
baseline	9.61	2.37	0.061	0.029	9.22	4.02	8.20	2.92	40.68	4.16
na afsluiting 1^o meting	10.56*	3.38	0.074*	0.060	10.21	4.38	8.95	3.65	42.13	5.90
na afsluiting 2^o meting	10.05	2.95	0.054**	0.048						
na 30min herstel	9.20	2.18	0.059	0.023	8.83	3.70				

	Plastic folie									
	TEWL [g m ⁻² h ⁻¹]		SSWL [g m ⁻² h ⁻¹]		Permittiviteit [-]		Stratum corneum dikte [um]		Epidermis en Stratum corneum dikte [um]	
	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.	AVG	S.D.
baseline	9.47	2.26	0.062	0.027	8.38	3.64	9.51	3.87	43.40	5.89
na afsluiting 1^o meting	15.35*	3.26	0.101*	0.063	34.76*	12.48	8.63	3.17	42.20	4.93
na afsluiting 2^o meting	12.31***	2.68	0.055***	0.026						
na 30min herstel	9.18	2.29	0.066	0.043	8.85	3.27				

* Gepaarde t-test significant verschillend ten opzichte van baseline meting ($p \leq 0,05$)

** Gepaarde t-test significant verschillend ten opzichte van 1e meting ($p \leq 0,05$)

De toegenomen TEWL kan duiden op een afsluiteffect van de huid. Dit effect is sterker wanneer de huid door plastic folie is afgesloten dan wanneer de huid is afgesloten met een uitrukjas. Bij afsluiting met een uitrukjas is de huidtemperatuur hoger dan met plastic folie, terwijl in dat laatste geval de relatieve vochtigheid juist weer hoger is. Er is echter alleen een significante correlatie van deze temperatuurs- en vochtigheidseffecten voor de permittiviteit van de huid en niet voor de parameters TEWL en de SSWL en ook alleen wanneer de huid met plastic folie is afgesloten (Tabel 2.9).

Tabel 2.9 Pearson's correlatie coëfficiënten voor TEWL, SSWL en permittiviteit onmiddellijk na afsluiting met een uitrukjas en folie bij toegenomen relatieve vochtigheid (ΔRVH) en toegenomen huidtemperatuur (ΔT) als resultaat van de afsluiting

	TEWL		SSWL		Permittiviteit	
	uitrukjas	folie	uitrukjas	folie	uitrukjas	folie
ΔRVH [%]	0.118	0.420	0.404	0.371	0.229	0.542*
ΔT [°C]	-0.120	-0.039	-0.420	-0.509	-0.494	-0.557*

* *Significante correlatie ($p \leq 0,05$)*

Een toegenomen relatieve vochtigheid heeft een positieve correlatie met de permittiviteit van de huid. Dat betekent dat wanneer de relatieve vochtigheid toeneemt ook de permittiviteit toeneemt. De toegenomen permittiviteit duidt mogelijk op een vermindering van de barrièrefunctie van de huid. Voor temperatuur geldt overigens het omgekeerde. Een hogere temperatuur leidt juist tot een lagere permittiviteit van de huid.

Na dertig minuten hersteltijd zijn alle waarden weer teruggekeerd op hun oorspronkelijke waarden (zonder afsluiting) en is de barrièrefunctie van de huid weer volledig in tact. Dit duidt op een goed herstelvermogen van de huid bij een eenmalige afsluiting. De metingen hebben geen verschillen opgeleverd in huiddikte metingen als gevolg van afsluiting van de huid.

Als tenslotte gekeken wordt naar het effect van leeftijd en geslacht dan correleert een hogere leeftijd met hogere TEWL waarden en ook hebben mannen significant hogere TEWL waarden.

2.5 Inventarisatie handreikingen “scho(o)n(er) werken”

2.5.1 Algemeen

Er hebben 16 van de 25 veiligheidsregio's gereageerd. De resultaten zijn samengevat in een tabel in bijlage 3. Opvallend is dat de handreikingen van de regio's zeer verschillend zijn qua uitvoering, terwijl de risico's van blootstelling aan rook en roet voor alle regio's identiek zijn. De huidige bestaande landelijke handreiking van Brandweer Nederland (2015) laat nu nog ruimte voor vrije invulling. Vandaar dat er regionale verschillen zijn. Wel zijn de gehanteerde handreikingen van de veiligheidsregio's eenduidig over dat brandweerpersoneel minimaal 3 minuten de ademlucht moet ophouden na de inzet, om niet blootgesteld te worden aan de gevaren van uitdampen. De vraag is alleen waar de limiet van 3 minuten vandaan komt, omdat de grootste hoeveelheid toxische stoffen in de uitrukkleding pas na ca. 60 minuten is uitgedampd (Horn et al., 2016). Door bijna alle regio's wordt geadviseerd om na het afzetten van het ademluchttoestel een FFP3 masker te dragen om te voorkomen dat roetdeeltjes worden ingeademd. Dat betekent dat wel is nagedacht om blootstelling met toxische stoffen zo veel mogelijk te voorkomen. De belangrijkste overeenkomst is dat elke regio maatregelen neemt om blootstelling aan toxische stoffen in rook en roet te beperken.

2.5.2 Belangrijkste constatering⁸

- > Handreikingen zijn verschenen tussen 2015 en 2018.
- > Luiken, ramen en deuren Tankautospuit gesloten houden (AA, LN, RR, Tw, ZW, Ze, ZHZ).
- > Schone kleding klaarleggen op kazerne (AA, Dr, Fr, GZ, IJs, LN, Tw, ZW).
- > Afspoelen uitrukkleding na een inzet (AA, BN, Fr, GZ, IJs, RR, ZW, Ze, ZHZ, MWB).
- > Uitrुकkleding in waszakken/tassen (AA, BN, Dr, Fr, GZ, IJs, LN, RR, Tw, ZHZ, MWB).
- > Een enkele regio heeft nitril handschoenen onder blushandschoenen (Dr) en andere regio's gebruiken nitril handschoenen na de inzet (AA, BN, Fr, GZ, IJs, LN, RR, Tw, Ze, ZHZ, Gr, MWB, NOG). Ook latex handschoenen worden soms gebruikt (ZW).

2.5.3 Opmerkelijke constatering⁸

- > Zelf (thuis) wassen van onderkleding (Tw, BN, ZHZ).
- > Gebruik van ontkenningen in handreiking (ZHZ).
- > Onderscheid in mate van vervuiling (licht vervuild, vervuild en sterk vervuild) (Ze).
- > Terugrijden in TS met natte (afgespoelde) bluskleding aan (Ze).

2.6 Aanvullende kennisinventarisatie

2.6.1 Kennisevent reiniging uitrukkleding

Tijdens de kennisdag over reiniging van brandweerkleding is duidelijk geworden dat de verschillende spelers in de keten onvoldoende in gezamenlijkheid naar het product (reiniging van) uitrukkleding voor de brandweer kijken.

Ook is het duidelijk dat normen, zoals de brandveiligheid van uitrukkleding, heel duidelijk gesteld kunnen worden. Men weet immers wanneer huidverbranding ontstaat. Normen voor besmetting met toxische stoffen uit rook zijn veel lastiger vast te stellen, omdat niet altijd duidelijk is welke stoffen zich in de uitrukkleding bevinden. Maar ook is het onvoldoende bekend of en in welke hoeveelheden de toxische stoffen opgenomen worden door het lichaam van de gebruiker van de uitrukkleding en of ze dan tot (beroepsgebonden) aandoeningen kunnen leiden. En zo ja, op welk termijn en/of dergelijke aandoeningen dan toe te wijzen zijn aan die toxische stoffen. Het is kortom heel lastig om normen te stellen of kleding schoon (genoeg) is na reiniging. Een andere optie is om niet van elk kledingstuk te bepalen of het schoon is na reiniging, maar de mogelijkheid te onderzoeken of het reinigingsproces zelf gekwalificeerd kan worden. Onderzoek naar reiniging van beschermende kleding zal in 2018 worden opgepakt.

⁸ AA=Amsterdam Amstelland; BN=Brabant Noord; Dr=Drenthe; Fr=Fryslân; GZ=Gelderland Zuid; IJs=Ijsselland; LN= Limburg Noord; RR=Rotterdam Rijnmond; Tw=Twente; ZHZ=Zuid Holland Zuid; MWB=Midden en west Brabant; Ze=Zeeland; Gr=Groningen; NOG=Noordoost Gelderland

3 Discussie

3.1 Inleiding

De deelonderzoeken hebben meer duidelijkheid verschaft in de gevaren van primaire (tijdens brandbestrijding) en secundaire (met vervuilde middelen of ruimten) blootstelling van brandweerpersoneel aan rook door branden. In dit hoofdstuk worden de resultaten uit de verschillende deelonderzoeken en de aanvullende kennisinventarisatie geïntegreerd.

3.2 Ademhalingsroute

Repressieve brandweermensen worden bij brandbestrijdingsactiviteiten blootgesteld aan veel toxische stoffen in rook. In de literatuur- en modelstudie (Willems, 2017) zijn 32 toxische stoffen geselecteerd die een potentieel risico zijn om opgenomen te worden in het menselijke lichaam. Voor deze 32 meest voorkomende toxische stoffen in rook, is de ademhalingsroute de belangrijkste blootstellingsroute. Deze stoffen komen als gevolg van branden in een zodanige mate voor in rook, dat ze daardoor ook een risico zijn voor mensen om (beroepsgebonden) aandoeningen – zoals luchtwegaandoeningen (bijvoorbeeld astma) (Greven, 2011), maar ook kanker – te ontwikkelen (Guidotti, 2016). De meeste van deze stoffen vormen vooral een risico als ze worden ingeademd. Het gaat dan om: koolmonoxide, stikstofdioxide, blauwzuur, zwaveldioxide, zoutzuur, waterstoffluoride, fosgeen, enkele koolwaterstoffen (benzeen, styreen en fenol), polycyclische aromatische koolwaterstoffen, aldehyden en ketonen, isocyanaten, furaan en fosforpentoxide (Willems, 2017). Slechts enkele van de hiervoor genoemde stoffen komen voor op de lijst van Sociale Zaken en Werkgelegenheid van stoffen met kankerverwekkende eigenschappen (Staatscourant, 2018), namelijk sommige PAKs (zoals benzo(a)pyreen), benzeen, furaan en formaldehyde.

De meeste van de voor inademing toxische stoffen zijn pas risicovol wanneer geen onafhankelijke adembescherming gedragen wordt. Om die reden wordt daarom door de meeste veiligheidsregio's aangeraden om na een binneninzet nog minimaal 3 minuten de adembescherming te dragen. Na een binneninzet is het ook de bedoeling om zich ter plaatse te ontdoen van de vervuilde uitrukkleding. Een mogelijk knelpunt daarbij is de lange uitdamp tijd (tot wel 60 minuten) van de uitrukkleding (Fent et al., 2017), waardoor brandweerpersoneel alsnog toxische stoffen kan inademen. Veel veiligheidsregio's (8) raden daarom ook aan om na het afhangen van het ademluchttoestel een (FFP3) masker op te zetten. Echter, dit voorkomt alleen inademing van de deeltjes en laat gassen wel door. Een incident in Duiven in 2017 heeft overigens aangetoond dat ademhalingsbescherming niet altijd voorkomt dat (toxische) stoffen onder het ademluchtmasker komen.

3.3 Huidopname en vervuiling uitrukkleding

Willems (2017) heeft tevens gevonden dat slechts een tweetal toxische stoffen (blauwzuur en benzo(a)pyreen), die regelmatig terug te vinden zijn in rook, risicovol zijn voor opname door de huid.

3.3.1 Vervuiling uitrukpakken

Voorkomen moet worden dat blauwzuur en benzo(a)pyreen in contact met de huid komen. Van één van deze stoffen, benzo(a)pyreen, is bekend dat het een kankerverwekkende stof is. De Europese Unie heeft middels de European Chemicals Agency (ECHA) daar grenswaarden aan gesteld, voor zover het nieuwe kleding⁹ betreft. Het Duitse Ausschuss für Produktsicherheit van de Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin heeft zelfs een twee keer zo strenge eis gesteld voor blootstelling aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen, zoals benzo(a)pyreen¹⁰. De gevonden concentraties benzo(a)pyreen in de onderzochte gebruikte en vervuilde uitrukkleding heeft alleen deze laatste strengere eis overschreden. Dit kan worden verklaard doordat er één sterk vervuild uitrukpak van een trainingscentrum is meegenomen in het onderzoek en kunnen de huidige gemiddelde resultaten niet als maatgevend genomen worden voor de mate van vervuiling van de uitrukpakken in Nederland. Ook geeft dit resultaat aan dat er goed gekeken moet worden naar de vervuiling van de uitrukpakken van trainingscentra.

De door bovengenoemde organisaties gestelde normen gelden alleen voor *nieuwe* kleding, terwijl er geen normen zijn voor gebruikte (vervuilde) kleding. Hoewel niet als zodanig vermeld gaan de normen uit van contact met een gezonde huid onder neutrale omstandigheden. Opsluiting van de huid, zoals dat met beschermende kleding gebeurt, leidt tot een tijdelijke vermindering van de barrièrefunctie van de huid (Van den Eijnde et al., 2018), waardoor opname van stoffen als benzo(a)pyreen door de huid mogelijk gemakkelijker wordt. Dat laatste is echter vanwege ethische aspecten niet onderzocht.

Tijdens brandbestrijding is het per definitie niet toegestaan dat blote huid onbeschermd in contact met de omgeving is. Dus alleen als de bovengenoemde stoffen doordringen tot de binnenste laag van de persoonlijke bescherming kan huidcontact ontstaan. In het onderzoek naar de vervuiling van de uitrukkleding is gebleken dat de PAKs (waaronder benzo(a)pyreen) tot de middelste laag komen en nauwelijks tot niet tot de binnenste kleding laag doordringen. Blauwzuur is zelfs in het geheel niet gedetecteerd in de uitrukkleding. Dat betekent dat het gevaar voor huidcontact zeer klein is als de uitrukpakken uit een drie-laags systeem bestaan.

Ook is in het deelonderzoek naar de mate van vervuiling van de uitrukkleding (Laitinen, 2017) gebleken dat de in lagen opgebouwde uitrukkleding grotendeels vóórkomt dat benzo(a)pyreen met de huid van de gebruiker in contact kan komen. De vervuiling komt namelijk nauwelijks verder dan de middelste kledinglaag. Het is daarom sterk de vraag of huidopname van het kankerverwekkend benzo(a)pyreen voor de gebruiker van de uitrukkleding een groot risico is.

De resultaten van het deelonderzoek naar de vervuiling van de uitrukkleding zijn in lijn met een studie door Wingfors et al. (2017), die tijdens een binneninzet de protectiefactor (PF) van brandweerkleding heeft berekend door de concentraties PAKs buiten de kleding en aan de binnenzijde van de kleding te meten. De berekende PF voor alle gemeten PAKs was 146 en voor benzo(a)pyreen 120. Dat wil zeggen dat de concentratie benzo(a)pyreen onder de kleding 120 keer lager is dan buiten de kleding en het risico voor huidopname ook beperkt is. Wingfors et al. (2017) hebben gesteld dat de kleding door de lagenopbouw een goede bescherming biedt tegen toxische stoffen in rook. Echter, de metingen van Wingfors et al.

⁹ Bij gebrek aan normen voor de maximale waarden voor vervuiling met toxische stoffen zijn ter vergelijking de bestaande normen van nieuwe producten gegeven.

¹⁰ Overigens wil het niet zeggen dat wanneer blootstelling beneden de bovengenoemde grenswaarden blijft, er geen kanker kan ontstaan.

(2017) zijn niet één op één te vergelijken met onze resultaten, omdat in ons onderzoek (Laitinen, 2017) de daadwerkelijke vervuiling van de uitrukkleding is gemeten.

3.3.2 Warme en natte huid

Er is ook onderzocht of andere factoren van invloed zijn op de primaire opname van toxische stoffen in het lichaam, zoals een warme en natte huid als gevolg van het dragen van uitrukkleding. Onder andere Wingfors et al. (2017) hebben beweerd dat hete en vochtige omstandigheden leiden tot een sterkere huidopname van toxische stoffen, wat zou betekenen dat de huidbarrièrefunctie is verminderd onder dergelijke omstandigheden. Ook in een recente studie van Stec et al. (2018) wordt gesuggereerd dat huidopname de belangrijkste opnameroute is voor PAKs. Zij baseren zich echter op veronderstellingen en hebben geen metingen uitgevoerd. In één van de deelonderzoeken is wel aangetoond dat de barrièrefunctie van de huid vermindert als gevolg van het dragen van uitrukkleding (Van den Eijnde et al., 2018), waardoor de huid mogelijk gemakkelijker benzo(a)pyreen zou kunnen opnemen. Echter, grootschalig onderzoek (Roelofzen, 2013) naar patiënten met eczeem, waarbij de huidbarrière grotendeels is verdwenen, werd als behandelmethode teerzalf met benzo(a)pyreen gebruikt (van Rooij, 1997). Langdurig gebruik van teerzalf leidde niet tot meer kankergevallen onder deze groep patiënten (Roelofzen, 2013). Daarnaast heeft het onderzoek van Van den Eijnde et al. (2018) aangetoond dat de huidbarrière zich snel herstelde, zodat het niet de verwachting is dat een tijdelijke geringe vermindering van de huidbarrièrefunctie leidt tot een gevaarlijk verhoogde opname van toxische stoffen in het lichaam.

3.3.3 Onvoldoende afsluiting

Eventuele blootstelling kan wel plaatsvinden door luchtstroming via onvoldoende afsluiting (openingen) in de persoonlijk beschermende uitrusting. Deze openingen zijn mogelijk waar verschillende uitrustingsstukken op elkaar aansluiten en de interfaces niet optimaal zijn.

Een deel van de PAKs zal door ventilatie in de openingen van de kleding onder de kleding komen, maar dat wil nog niet zeggen dat ze ook hechten aan de kleding. Een deel gaat namelijk ook weer via pompwerking naar buiten door diezelfde openingen (Havenith et al., 1988).

De gevonden relatief hoge concentraties (semi)vluchtige organische stoffen aan de binnenkant van de kraag zijn mogelijk het gevolg van een slechte aansluiting met de overige persoonlijke beschermingsmiddelen. Dat betekent dat ontwerp en compatibiliteit van de verschillende persoonlijke beschermingsmiddelen een aandachtspunt is bij het voorkomen van blootstelling aan toxische stoffen in rook. In de internationale normeringswereld is compatibiliteit van beschermingsmiddelen als belangrijk aandachtspunt onderkent en er wordt nu gewerkt aan een internationale norm (ISO¹¹) op dit gebied.

3.3.4 Secundaire blootstelling

Naast de primaire blootstelling kan natuurlijk ook secundaire blootstelling plaatsvinden wanneer het uitrukpak na een inzet wordt uitgetrokken of wanneer medewerkers in de werkplaats de vervuilde uitrukpakken moeten reinigen.

Het is daarom belangrijk dat blootstelling aan toxische stoffen ook wordt voorkomen tijdens het uitrekken van het uitrukpak. Dat wil zeggen dat handschoenen en adembeschermingsmiddelen moeten worden gedragen als het uitrukpak wordt uitgetrokken en in een afsluitbare zak wordt gestopt. Wingfors et al. (2017) hebben vermeld dat brandweerpersoneel na een inzet, voordat de adembescherming wordt afgezet, als eerste

¹¹ ISO international standardisation organisation.

het vervuilde uitrukpak en eventueel andere vervuilde (beschermings)middelen ter plaatse moeten uittrekken om verdere blootstelling met toxische stoffen te voorkomen.

In de werkplaatsen waar de uitrukpakken gereinigd worden, kunnen de medewerkers van de werkplaatsen ook in contact komen met de (te) hoge concentraties benzo(a)pyreen op de buitenlaag van de uitrukkleding. Het is daarom belangrijk dat ook deze medewerkers hun huid en ademhalingswegen voldoende beschermen tegen mogelijk zogenoemde 'secundaire' blootstelling aan toxische stoffen op de vervuilde uitrukkleding. De kans op secundaire blootstelling voor deze medewerkers is aanzienlijk lager indien de beschermingsmiddelen in gesloten (oplosbare) zakken worden aangeboden aan de werkplaatsen. Op dit moment loopt er onderzoek naar de mate van vervuiling met toxische stoffen uit rook in de werkplaatsen. De eerste resultaten van dat onderzoek geven vooralsnog geen aanleiding om aanvullende maatregelen te treffen (Kamp, 2018).

De vervuiling met dioxines en furanen van de onderzochte uitrukkleding is zo gering dat deze nauwelijks een gevaar voor de gezondheid opleveren. Bovendien is voor dioxines en furanen de orale route de belangrijkste route voor opname.¹² Het is niet voor de hand liggend dat deze route voor brandweerpersoneel aannemelijk is, als de normale hygiëne maatregelen in acht worden genomen.

3.3.5 Reiniging uitrukkleding

Het onderzoek naar de vervuiling van de uitrukpakken heeft aangetoond dat de beschermende kleding goed beschermd tegen toxische stoffen afkomstig van rook, omdat de meeste vervuiling in de kleding niet verder komt dan de middelste laag van de uitrukkleding (Laitinen, 2017). Anders wordt het wanneer de kleding wordt gewassen. De vervuiling verspreidt zich dan over de verschillende uitrukpakken in de wasmachine, waarbij ook de binnenste laag enigszins besmet raakt (Laitinen, 2018). Echter, de meest ernstig vervuilde middelste laag heeft voor benzo(a)pyreen de ECHA norm voor nieuwe kleding niet overschreden en dus zal uitsmering van de vervuiling over de lagen altijd leiden tot waarden beneden de door ECHA gestelde norm.

Verder heeft het onderzoek naar de reiniging van de uitrukkleding aangetoond dat wanneer drie uitrukpakken tegelijkertijd worden gewassen, de vervuiling uitgesmeerd wordt over de verschillende pakken, maar dat uitrukkleding niet echt veel schoner is geworden (Laitinen, 2017). Belangrijk is dat het onderzoek naar de effectiviteit van de reinigingsprocedure van de uitrukpakken heeft aangetoond dat het vuil zich verdeelt over de uitrukpakken (Laitinen, 2017) en dat de toxische stoffen zich ook over de verschillende lagen verdelen (Laitinen, 2018). Na reinigen van de uitrukpakken blijkt dat er nog restvervuiling achterblijft. Nadat een gereinigd uitrukpak opnieuw wordt gebruikt kan vervuiling zich langzaam maar zeker gaan ophopen in de uitrukkleding (accumulatie van vervuiling) (Laitinen, 2018). Hoewel reiniging niet optimaal is, worden de grenzen voor de afzonderlijke PAKs zoals gesteld door ECHA, maar ook de strengere eisen van het Ausschuss für Produktsicherheit meestal niet overschreden.

Toch lijkt het beter te zijn om minder pakken per wasbeurt in de wasmachine te doen, want twee pakken per wasbeurt heeft geleid tot een hogere wasefficiëntie dan met drie. Dat is geheel in lijn met eerder onderzoek in Finland, waar met één pak per wasbeurt wasefficiënties tot wel 80 procent¹³ zijn gehaald. De mogelijke oorzaak voor de lagere wasefficiëntie is het aantal uitrukpakken per wasbeurt, maar volgens de specificaties van de leverancier kan deze machine tot 20 kg worden beladen en zou drie uitrukpakken

¹² Zie ook [de website](#) van het RIVM.

¹³ Het was- en droogproces (andere wasmiddelen en hogere droogtemperatuur) in Finland is niet exact gelijk aan het reinigingsproces in Nederland.

tegelijkertijd geen probleem mogen zijn. Andere mogelijke oorzaken van de lagere wasefficiëntie zijn dat:

- > de uitrukpakken die met drie tegelijk in de wasmachine zijn gegaan, ernstiger vervuild waren in vergelijking met de andere uitrukpakken,
 - > de uitrukpakken lang (bijna een jaar) in een afgesloten zak hebben gezeten,
 - > de verschillende monsters (voor en na reiniging) vooraf niet dezelfde vervuiling hadden.
- Hoewel de monsters zo veel mogelijk op dezelfde plaats uit de uitrukkleding zijn gehaald, is het natuurlijk mogelijk dat de vervuiling van beide monsters niet exact gelijk is geweest en dat daardoor verschillen zijn ontstaan.

Om te voorkomen dat de binnenlaag van de beschermende uitrukkleding door crosscontaminatie in het reinigingsproces wordt vervuild, moet nog worden onderzocht of het mogelijk is de verschillende lagen afzonderlijk te reinigen. Met name het hele reinigingsproces van uitrukpakken verdient nader onderzoek, omdat er nog teveel onduidelijkheden zijn.

Om het reinigingsproces van uitrukpakken objectief te kunnen onderzoeken, is een norm nodig om te bepalen wat schoon (genoeg) is, maar zo'n norm bestaat nog niet. Mogelijk dat de huidige normen voor nieuwe kleding hierbij het uitgangspunt kunnen vormen. Een andere optie is dat de kwaliteit van het reinigingsproces objectief wordt vastgesteld en (steekproefsgewijs) wordt getoetst. Een kennisbijeenkomst over reiniging van uitrukkleding, waarbij de reinigingsindustrie ruimschoots vertegenwoordigd was, heeft hierover nog geen duidelijkheid kunnen verschaffen.

Het door verschillende veiligheidsregio's toegepaste concept om pakken af te spoelen/sproeien en borstelen met water (en zeep) is een beproefd middel om contaminatie met PAKs te voorkomen volgens Fent et al. (2017). Ongeveer 85 procent van de vervuiling van de buitenlaag kun je daarmee al verwijderen. Water en zeep is wel efficiënter dan alleen water, omdat reinigen een combinatie is van het gebruik van water, schoonmaakmiddel en mechanische wrijving (zo is gebleken tijdens de kennisbijeenkomst reiniging uitrukkleding). Verder is het dragen van schone kleding van belang om opname van in rook voorkomende stoffen via de huid te beperken. In een onderzoek naar de effecten van het dragen van schone en vervuilde kleding met nicotine (een vluchtig organische stof) bleek dat schone kleding een betere bescherming bood dan vervuilde kleding (Bekö et al., 2017). In datzelfde onderzoek leek ook onmiddellijk douchen huidopname van nicotine te beperken. Hoewel de blootstelling in bovengenoemd onderzoek (Bekö et al., 2017) niet direct brand gerelateerd is, is onmiddellijk douchen na een inzet een probaat middel om opname van toxische stoffen door de huid te voorkomen. In een reeds lopend onderzoek naar gezondheidsmonitoring van brandweerpersoneel zal worden meegenomen of bovenstaande maatregelen de gezondheidstoestand van brandweerpersoneel in positieve zin beïnvloedt.

3.4 Eigen invulling handreiking

Verder blijkt dat veel veiligheidsregio's zich de afgelopen jaren bewust zijn geworden van de gevaren van blootstelling aan rook. Veel veiligheidsregio's hebben nu ook een handreiking hoe men om moet gaan met blootstelling aan rook en aan met rook vervuilde (beschermings)middelen. Er zijn momenteel wel verschillen met betrekking tot de invulling van de handreikingen tussen de veiligheidsregio's, maar als men goede redenen heeft om een eigen invulling te geven aan de handreikingen moet dat mogelijk zijn (gemotiveerd afwijken). Veel veiligheidsregio's zijn nu dan ook bewust bezig met het scho(o)n(er) werken.

Harrison et al. (2018) hebben in een Amerikaanse studie aangetoond dat de houding van brandweerpersoneel positief is veranderd, maar dat nog niet alle maatregelen standaard worden toegepast. Het douchen na afloop wordt over het algemeen wel standaard gedaan en dat beperkt de opname van de vervuiling via de huid (Bekö et al., 2017). Ook is het wassen van de (vuile) handen een voorwaarde om te voorkomen dat toxische stoffen mogelijk via het spijsverteringskanaal het lichaam binnendringen (hand mond contact). Vervolgstappen zouden zijn dat men de huidige nationale handreiking (Brandweer Nederland, 2015) verder operationaliseert met de huidige kennis en opneemt in de les- en leerstof voor de brandweeropleidingen.

4 Conclusies

De resultaten van het onderzoek naar de gevaren van blootstelling aan rook hebben tot een aantal belangrijke conclusies geleid, waarmee meer duidelijkheid is gekomen over de risico's voor brandweermensen wanneer zij aan rook door brand worden blootgesteld. De belangrijkste conclusies en aanbevelingen uit de verschillende deelonderzoeken worden in dit hoofdstuk weergegeven. Daarnaast zullen in de hoofdstuk antwoorden worden gegeven op de vooraf gestelde vragen van dit onderzoek.

4.1 Conclusies uit de deelonderzoeken

Het model en literatuuronderzoek leidt tot de volgende conclusies.

- > Bij eenmalige blootstelling aan 32 van de meest voorkomende stoffen in rook door brand vindt vooral opname via de luchtwegen plaats. Deze blootstelling heeft dan vooral direct effect op de luchtwegen zelf (onder andere astma) en enkele stoffen die invloed hebben op het zuurstoftransport en de celademhaling. Deze stoffen zijn echter niet direct aan het ontwikkelen van kanker gelinkt.
- > Bij eenmalige huidblootstelling kan blauwzuur tot nadelige gezondheidseffecten leiden, maar het gaat dan om specifieke incidenten waarbij blauwzuur is vrijgekomen en niet om 'reguliere' branden.
- > Bij herhaalde blootstelling aan toxische stoffen in rook via de ademhalingswegen, is bekend dat het kan leiden tot luchtwegaandoeningen als astma. Echter, ook andere gezondheidsschade als hart- en vaatziekten en kanker behoren tot de mogelijke gevolgen. Het (op de juiste manier) dragen van passende adembeschermingsmiddelen is dan ook zeer belangrijk, zolang blootstelling aan rook een risico is. Roken en blootstelling aan uitlaatgassen kunnen de effecten op de gezondheid verergeren.
- > Herhaalde huidblootstelling aan de polycyclische aromatische koolwaterstof benzo(a)pyreen kan mogelijk huidkanker en andere vormen van kanker veroorzaken. Gelijktijdige blootstelling aan formaldehyde en fenol kan dit effect versterken.
- > Voor herhaalde huidblootstelling aan blauwzuur geldt hetzelfde als voor eenmalige blootstelling.
- > Via herhaald hand-mond contact zijn blootstelling aan benzo(a)pyreen en dioxine in rook het grootste risico vanwege hun kankerverwekkende eigenschappen, maar goed wassen na afloop van een brandincident minimaliseert dat risico.

De resultaten van de onderzoeken naar de vervuiling en reiniging van uitrukkleding (van de veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland) geven de volgende conclusies.

- > In zijn algemeenheid wordt vervuiling van vaste deeltjes vooral in de buitenste laag van de uitrukkleding teruggevonden, damp- en gasvormige vervuiling vooral in de middelste laag (membraan) en de wateroplosbare stoffen (zuren) worden ook aan de binnenzijde waargenomen.
- > Veel van de vervuiling werd ook aan de binnenzijde van de kraag van de uitrukkleding gevonden en is mogelijk het gevolg van slechte aansluiting met de overige beschermingsmiddelen.

- > Vervuilde uitrukpakken bevatten aanzienlijk meer polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAKs) in vergelijking met een nieuw uitrukpak, maar die bevinden zich vooral in de middelste lagen van de kleding.
- > Hoewel niet van toepassing op gebruikte vervuilde uitrukkleding zijn de bestaande normen (ECHA en AfPS) voor nieuwe kleding voor sommige PAKs overschreden. Deze overschrijding was echter geheel te wijten aan één uitrukpak van een trainingscentrum.
- > Andere vervuiling zoals (semi)vluchtige organische stoffen komen ook voor in de middelste lagen vervuilde uitrukkleding. Voor één van de componenten bleek de concentratie vervuiling juist hoger in het schone uitrukpak. Dat laatste is mogelijk het gevolg van de nabehandeling met impregneermiddelen, die een dergelijke stof bevatten.
- > Dioxinen en furanen worden in alle lagen van de uitrukkleding teruggevonden, maar hebben ook de hoogste concentraties in de buitenlagen van de uitrukkleding.
- > Reiniging van uitrukkleding volgens de bijgeleverde wasinstructies van de veiligheidsregio Amsterdam-Amstelland zorgde voor een verspreiding van de vervuiling over de verschillende uitrukpakken in de wasmachine.
- > De wasefficiëntie met twee pakken in een wasmachine was hoger dan met drie pakken en aanzienlijk lager dan in Finland, waar slechts één uitrukpak tegelijk in de wasmachine wordt gereinigd.
- > De resultaten van dit onderzoeksproject zijn alleen van toepassing op uitrukpakken met een EN469 certificaat die uit drie lagen zijn opgebouwd.

Op basis van het onderzoek naar de verandering van de barrièrefunctie van de huid voor (toxische) stoffen als gevolg van afsluiting van de huid kunnen de volgende conclusies worden getrokken.

- > Het trans epidermaal waterverlies (TEWL) en het waterverlies van de huidoppervlakte namen toe als gevolg van afsluiting. Dit effect is sterker als de huid volledig wordt afgesloten met plastic folie, dan wanneer een uitrukjas wordt gedragen.
- > De permittiviteit van de huid neemt toe als de huid volledig wordt afgesloten met plastic folie, maar dit gebeurde niet bij het gebruik van een uitrukjas.
- > Een toename van zowel het waterverlies als de permittiviteit wijzen op een afname van de barrièrefunctie van de huid.

4.2 Overall conclusies

Het geheel van de verschillende deelonderzoeken heeft bijgedragen om de hoofdvraag van dit onderzoeksproject gedeeltelijk te beantwoorden. De deelvraag aan welke stoffen brandweermensen worden blootgesteld kan niet zo maar worden beantwoord, omdat elke brand anders is. In de model- en literatuurstudie is wel aangegeven wat de 32 belangrijkste stoffen zijn waaraan brandweermensen worden blootgesteld en die als markerstoffen kunnen worden gezien.

Op de deelvraag over de opnameroutes voor deze toxische stoffen is de ademhaling als belangrijkste opnameroute genoemd. Een tweetal stoffen, blauwzuur en benzo(a)pyreen, vormen echter een risico bij opname door de huid. Nader onderzoek naar de vermindering van de barrièrefunctie van de huid heeft aangetoond dat het risico op het krijgen van kanker bij opname van het kankerverwekkende benzo(a)pyreen echter niet groter is geworden voor brandweerpersoneel.

Op de deelvraag hoe brandweerpersoneel kan worden blootgesteld aan deze toxische stoffen, is gebleken dat dit primair tijdens de incidentbestrijding is. Maar omdat er toxische stoffen zijn die ophopen in de beschermende kleding, kan bij het ontdoen van de beschermingsmiddelen alsnog blootstelling plaatsvinden via ademhalingswegen of huid. Ook

werkplaatsmedewerkers kunnen worden blootgesteld aan toxische stoffen die zich op de beschermingsmiddelen bevinden. Omdat het huidige onderzoek heeft aangetoond dat de vervuiling niet volledig is verwijderd na reiniging, bestaat de kans dat mensen ten onrechte denken dat de gereinigde beschermingsmiddelen geen gevaar opleveren voor blootstelling aan toxische stoffen.

De handreikingen 'schoon werken' hebben antwoorden gegeven op de laatste deelvraag over welke maatregelen voor, tijdens en na brandbestrijdingsactiviteiten worden genomen. Vooraf moet er vooral voor gezorgd worden dat persoonlijke beschermingsmiddelen in orde zijn, dat er douchespullen zijn om na afloop van een incident zichzelf te wassen en dat er schone kleding is om aan te trekken na een inzet. Tijdens een inzet moeten er goed passende beschermingsmiddelen gedragen worden, die goed op elkaar aansluiten. Na afloop moet repressief brandweerpersoneel zich zo snel mogelijk ontdoen van de bij voorkeur met water en zeep afgespoelde (beschermings)middelen. Tijdens deze schoonmaakhandelingen moet contact met de toxische stoffen op de vervuilde middelen zo veel mogelijk worden voorkomen door ze zo snel mogelijk te isoleren van de omgeving en adem- en huidbescherming te dragen.

Op de hoofdvraag van dit onderzoek 'Wat moet er worden gedaan om de blootstelling aan toxische stoffen voorafgaande aan, tijdens en na afloop van de brandbestrijding bij brandweerpersoneel te minimaliseren, zodat de kans op eventuele (latere) gezondheidsschade zo veel mogelijk wordt beperkt?' hebben de deelvragen deels een antwoord gegeven. Brandweerpersoneel moet voorafgaand aan de brandbestrijding goed op de hoogte zijn van de gevaren van blootstelling aan toxische stoffen in rook en de nodige voorzorgsmaatregelen nemen om de blootstelling zo veel mogelijk te voorkomen. Ze moeten tijdens de brandbestrijdingsactiviteiten zich zo goed mogelijk beschermen, zodat de toxische stoffen in rook niet via de opnameroutes ademhaling en huid door het lichaam worden opgenomen. Na afloop moeten ze de vervuilde (beschermings)middelen zo snel mogelijk isoleren van zichzelf en zorgdragen dat de middelen zo adequaat mogelijk gereinigd worden. Dit om de kans om alsnog blootgesteld te worden aan toxische stoffen op en in de (beschermings)middelen te minimaliseren.

Op basis van de verschillende deelonderzoeken kunnen de volgende overall conclusies worden getrokken.

- > Rook bevat toxische stoffen waarvan sommige kankerverwekkend zijn.
- > De meeste toxische stoffen worden door de ademhalingswegen opgenomen.
- > De polycyclische aromatische koolwaterstof (PAK) benzo(a)pyreen kan door de huid worden opgenomen.
- > Vervuilde uitrukkleding bevat naast andere (door de ademhaling op te nemen) PAKs ook het door de huid opneembare benzo(a)pyreen, dat zich vooral in de middelste laag van de kleding bevindt.
- > De vervuiling van de uitrukkleding blijft in het algemeen onder de huidblootstellingsnormen voor nieuwe kleding.
- > De resultaten naar de vervuiling en reiniging van uitrukkleding geldt voor uitrukkleding die uit drie lagen zijn opgebouwd en mogen niet worden geëxtrapoleerd naar andere beschermende kleding voor brandbestrijding.
- > Er zijn tot dusver geen aanwijzingen dat door een verminderde barrièrefunctie van de huid benzo(a)pyreen tot een toename aan kankergevallen leidt.
- > De wasefficiëntie van de uitrukkleding in dit onderzoek was in het gunstigste geval 40 procent.
- > Sterk vervuilde uitrukkleding kan minder sterk vervuilde uitrukkleding die gelijktijdig wordt gewassen vervuilen.

- > Hoewel er een landelijke richtlijn schoon werken bestaat, hebben de veiligheidsregio's daar hun eigen invulling aan geven en is er geen duidelijke uniformiteit.

Literatuur

- AfPS GS 2014:01 PAK (2014). *Prüfung und Bewertung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) bei der Zuerkennung des GS-Zeichens*. Opgehaald van Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin:
https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaefsfuehrung-von-Ausschuessen/AfPS/pdf/AfPS-GS-2014-01-PAK.pdf?__blob=publicationFile&v=4
- Bekö, G., Morrison, G., Weschler, C.J., Koch, H., Pälme, C., et al. (2018). *Dermal uptake of nicotine from air and clothing: Experimental verification*, *Indoor Air* 28(2):247-257.
- Brandweer Nederland (2015). *Schoon werken bij brand Een landelijke handreiking om voor, tijdens en na brand schoner te werken* (versie 1.0, 7 december 2015). Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- DIN 58610 (2014). *Respiratory protective devices – full face masks connected with firefighters head protection for use as a part of a respiratory protective device – requirements and tests*. Deutsches Institut für Normung
- Eijnde, W. van den, Heus, R., Falcone, D., Peppelman, M. & Erp, P. van (2018). *Skin barrier impairment due to the occlusive effect of firefighter clothing*. Nijmegen: Radboud University Nijmegen Medical Centre, Department of Dermatology.
- Fent, K.W., Alexander, B., Roberts, J., Robertson, S., Toennis, C., et al. (2017). Contamination of firefighter personal protective equipment and skin and the effectiveness of decontamination procedures. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 14(10), 801-814.
- Greven, F. (2011). *Respiratory effects of fire smoke exposure in firefighters and the general Population* (masterthesis). Utrecht: UU-IRAS.
- Guidotti, T. (2016). *Health Risks and Fair Compensation in the Fire Service*. Switzerland: Springer.
- Havenith, G., Heus, R. & Lotens, W.A. (1988), Clothing ventilation, vapour resistance and permeability index: changes due to posture, movement and wind. *Ergonomics*, 33(8), 989-1005.
- Harrison, T.R., Wendorf Muhamad, J., Yang, F., Morgan, S.E., Talavera, et al. (2018). Firefighter attitudes, norms, beliefs, barriers, and behaviors toward post-fire decontamination processes in an era of increased cancer risk. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 15, 279-284.
- Horn, G.P., Kerber, S., Fent, K.W., Fernhall, B. & Smith, D.L. (2016). *Cardiovascular & Chemical Exposure Risks in Modern Firefighting, Interim Report. EMW-2013-FP-00766*. U.S. Department of Homeland Security - Federal Emergency Management Agency Assistance to Firefighters Grants (AFG) Program Illinois Fire Service Institute – IFSI Research, University of Illinois at Urbana-Champaign.

- IARC. (2010). *IARC (2010). Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans VOLUME 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork*. Lyon: WHO.
- Instituut Fysieke Veiligheid (2015). *Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer: een literatuurreview*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- Instituut Fysieke Veiligheid (2016). *Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer (deel 2): aanvulling op literatuurreview*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- Kamp, C. (2018). Persoonlijke mededeling Kennisbijeenkomst reiniging uitrukkleding (2018).
- Laitinen, J., Lindholm, H., Aatamila, M., Hyttinen, S. & Karisola, P. (2016). *Can Skelefteå-mådel reduce firefighters' exposure in operative work. Report to Finnisch Work Environemnt Fund and Fire Protection Fund*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Laitinen, J. (2017). *Determination of the fire residues from firefighting garments (IFV2016-EO-31), REPORT TYHYG-2017-353079*. Helsinki: Finnish Institute of Occupational Health.
- Laitinen, J. (2018). Persoonlijke mededeling.
- NEN-EN 136 (1998). *Ademhalingsbeschermingsmiddelen - Volgelaatmaskers - Eisen, beproevingsmethoden, merken*.
- Peter, J.W. (2017). *Onderzoek ademluchtapparatuur Brandweer Veiligheidsregio Gelderland Zuid. Rapport RDS RAH16.0119*.
- Regulation no. 1272/2013 (2013). *Amending Annex XVII to Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council on the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH) as regards polycyclic aromatic hydrocarbons Text with EEA relevance*.
- Roelofzen, J.H.J. (2013). *Risk of cancer after coal tar treatment* (masterthesis). Nijmegen: Radboud University.
- Rooij, J.G.M. van (1997). *Benzo(a)pyreen, Chemische Feitelikheden 22* (Een herziening van Chemische Feitelijkheid nr. 006 (maart 1983)). Nijmegen: IndusTox Consult.
- Staatscourant (2018). SZW-lijst van kankerverwekkende stoffen en processen, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. *Staatscourant*, 21, 2 januari 2018.
- Stec, A.A., Dickens, K.E., Salden, M. et.al. (2018). Occupational Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Scientific reports*, 8, 1-8.
- Ugelvig Petersen, K.K., Pedersen, J. E., Bonde, J. P., Ebbehøj, N. E., & Hansen, J. (2017). Long-term follow-up for cancer incidence in a cohort of Danish firefighters. *Occupational and Environmental Medicine*, oemed-2017-104660. <https://doi.org/10.1136/oemed-2017-104660>.

Visser, M.J. , Burg, W. ter, & Muller, J.J.A. (2016). *Historisch overzicht van openbare informatie over de gezondheidseffecten, classificatie en normstelling voor PFOA en DMAC toegespitst op blootstelling van werknemers*. Bilthoven: RIVM.

Willems, J. (2017). *Literatuur- en modelstudie naar opnameroutes van toxische stoffen in rook door brand*. PreventPartner.

Wingfors, H., Rattfelt Nyholm, J., Magnusson, R. & Hammar Wijkmark, C. (2017). Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. *Annals of Work Exposures and Health*, 61, 1–11.

Bijlage 1

Samenvatting/abstract uitgevoerde onderzoeken

Literatuur- en modelstudie naar opnameroutes van toxische stoffen in rook door brand

Samenvatting

Het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) heeft het Expertisecentrum Toxische Stoffen van PreventPartner gevraagd om inzichtelijk te maken wat de meest voorkomende stoffen zijn die vrijkomen bij een brand, welke effecten deze stoffen kunnen geven in het lichaam en welke opnameroutes daarbij relevant zijn. Een achterliggende vraag van de brandweer om dit onderzoek te laten uitvoeren is of de maatregelen, die nu worden genomen om risico's te minimaliseren, effectief zijn.

Dit onderzoek richt zich alleen op de potentiële gevaren van stoffen die voorkomen in rook door brand. De potentiële gevaren van de stoffen in rook door brand zeggen echter nog niets over het daadwerkelijke risico van deze stoffen in brandsituaties.

Om de vraagstellingen van het onderzoek te beantwoorden zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Selectie van de meest belangrijke (gevaarlijke) stoffen die voor kunnen komen in rook door brand.
2. Indeling van stoffen naar blootstellingsroute (via de luchtwegen, de huid en de mond) en eenmalige/herhaalde blootstelling.
3. Indeling van de stoffen in gevarenklassen.

Het onderzoek is uitgevoerd door een combinatie van expertsessies, literatuuronderzoek en gebruik van modellen. 32 van de meest voorkomende stoffen in rook zijn beoordeeld. Hiertoe zijn stoffen per blootstellingsroute in gevarenklassen ingedeeld. Het gaat hierbij om een grofmazige benadering.

Geconcludeerd wordt dat bij eenmalige (hoge) blootstelling inademing de belangrijkste opnameroute is. De kans op effecten door genoemde stoffen die optreden bij eenmalige (hoge) blootstelling via de huid wordt gezien als klein. Er is slechts een beperkt aantal stoffen die door de huid kunnen worden opgenomen en die bij eenmalige (hoge) blootstelling de potentie hebben om effecten te veroorzaken.

Ook bij herhaalde blootstelling aan stoffen in rook door brand lijkt de inademing de belangrijkste opnameroute voor meeste stoffen. De opnameroute via de huid is slechts voor een beperkt aantal stoffen van belang, maar is wel een reële route voor deze stoffen.

Derhalve dient huidopname zeker te worden meegenomen in toekomstige risicobeoordelingen. De opnameroute via de mond wordt gezien als de minst relevante route gezien, omdat opname via de mond alleen indirect zal plaatsvinden via hand-mond contact in relatief kleine hoeveelheden.

Wat betreft de verhouding tussen gevaren bij inademing en huid kan worden gesteld dat de opname van rook via inademing het grootste gevaar met zich meebrengt. Het risico op onverwachts/accidenteel inademen van rook ontstaat als bijvoorbeeld het masker te vroeg

wordt afgedaan, als het masker niet goed aansluit op het gezicht en/of wanneer men onbeschermd op onvoldoende afstand van de brand staat.

Geadviseerd wordt om nog beter te borgen dat inademing van rook wordt voorkomen, om hand-mond contact en huidcontact met stoffen nog verder te reduceren en om te monitoren of genomen maatregelen effectief zijn.

Tevens is geadviseerd om vervolgonderzoek uit te voeren om een goed beeld te krijgen over het daadwerkelijk risico van stoffen in rook door brand door de daadwerkelijke blootstelling te combineren met de potentiële gevaren van stoffen.

Determination of the fire residues from firefighting garments (IFV2016-EO-31)

Abstract

The goal of the study was to find out, what kind of chemicals can be found from firefighting garments after normal overhaul. Institute for Safety delivered ten contaminated and one clean firefighting garments to Finland. Finnish Institute of Occupational Health was responsible pretreatment of the samples from the firefighting garments and the analyzing them for volatile organic compounds (VOCs), semi volatile organic compounds (SVOCs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and water soluble ions. National Institute for Health and Welfare in Finland took care of the analysis of PFAS- and PCDD/PCDF-analyses. A sub-contractor of the Finnish

Institute of Occupational Health was responsible for cyanide –analyses. Diversey Finland Ltd took care of the washing procedure of the garments. The garments were washed at the brand new Finnish fire brigade in Turku according to the instructions given by IFV.

The total concentrations of PAHs in contaminated garment 1 differed from the concentration measured from a clean garment 0. Also the analyzed average profile of detected individual PAHs was totally different in clean garment 0 vs. contaminated garment 1. The total concentration of semi volatile organic compounds were higher in contaminated garment 1 in generally, however from the middle layers of clean garment 0 was analyzed higher concentrations than from contaminated garment 1.

The explanation for that might be an impregnation procedure used for the protection of clean garment 0. The above mentioned phenomenon was also found in the results of volatile organic compounds. In clean garment 0, the concentration of 4-tertbutylcyclohexylacetate and C16-C18 alkyl benzenes were higher than in contaminated garment 1. These chemical agents might originate from the impregnation liquid. According to the results it seemed that PAHs, VOCs and SVOCs accumulated in the middle layers of tested garments. Watersoluble ions seemed to accumulate on the inner layers of the tested garment 1.

The measured concentration of PCDD/PCDF compounds differed clearly in contaminated garment 1 when compared to clean garments 0. It seemed that they accumulated in the upper layers of tested garments. Also the analyzed concentration of PFAS -compounds differed in contaminated garment 1 and in clean garment 0. It seemed that they also accumulated in the upper layers of tested garments.

The extent of contamination level in the garments was estimated by calculating the average concentration of PAHs at different location in the garments. The highest contamination levels were measured from garments G1, G4, G6 and G9. The average concentration of PAHs in these garments were 11 to 39 –fold higher than level measured in clean garment 0. The

second highest contamination levels were measured from garments G3, G5 and G7. The average concentration of PAHs in these garments were 5.2 to 6.8-fold higher than level measured in clean garment.

The lowest contamination levels were measured from garments G2, G8 and G10. Their contamination level were 1.7 to 4-fold higher than level measured in clean garment. The highest average concentrations of PAHs were analyzed from the middle layers of the back and stomach in garments 2-10. Some of the measured concentrations of benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene and benzo[b]fluoranthene exceeded the level for restriction of selling products by ECHA. The German AfPS (Committee for product Safety) has published requirements for evaluating PAHs from products and testing them for the GS Mark Certifications. Almost all of the measured PAHs concentrations of individual PAHs exceeded that value in garments 2-10. AfPS have also published a limit value of 10 mg/kg for the sum of PAHs. Some of the samples from inner neck, middle stomach, upper back and inner back exceeded that value in garments 2-10. Measured average total concentration of PAHs (110+91 ng/cm²) were lower in the upper layer of stomach in Dutch garments 2-10 compared to measured average corresponding value (350+180 ng/cm²) in Finnish firefighter's garment. Also the analyzed profile of PAHs was different in Finnish study compared to the current study.

The highest concentration of TVOCs were analyzed from middle stomach. The most common VOCs were mixture of aliphatic hydrocarbons, phenol, C12-C13-alcohols, benzoic acid, benzyl alcohol, 2-ethyl-1-hexanol, phenoxypropanol, decanal, hexadecane and geranylacetone in garments 2-10. The spectrum of the compounds differed from the results measured from Finnish fire brigades after rescue tasks. The most volatile organic compounds had already evaporated from the tested garments prior to analysis due to long storage time of garments 2-10 in plastic bags before analyzing. The highest concentration of TSVOCs were analyzed from inner neck and the most common SVOCs were various alcohols, carboxylic acids, esters, hydrocarbons and glycol compounds in garments 2-10.

The highest concentrations of water-soluble acids were measured from inner neck in garments 2-10. The highest water soluble residues reflected exposure to hydrochloric acid originating for example from the burning of PVC-plastic. The measured concentration of nitric acid were lower in contaminated Dutch garments 2-10, when compared to corresponding samples from Finnish firefighter's garment, but the results were of the same level in clean garments.

The highest concentration of PCDD/PCDF and PFAS were analyzed from stomach in garments 2-10. The most common PCDDs/PCDFs were OCDD, OCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD and 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF. The highest concentration of PFAS were analyzed from stomach, and the most common PFAS-compounds being PFOA, PFDA and PFDoA in garments 2-10.

The average concentration of PAHs in the garments 2-10 after the washing procedure reflected poor washing efficiency. It seemed that PAHs transfer from more contaminated garments to the less contaminated garments during washing procedure. Comparison between washes showed that washing of three garment simultaneously resulted in a lower washing efficiency than washing of two garment simultaneously. The results of the washing efficiency estimates in current study were lower than in Finnish study, where washing efficiencies were over 80 %. The washing time and temperature were similar in both procedures, but washing agents and the drying method

were different. In additions in the Finnish study was only one garment washed at a time and only upper layers of the garment were studied. As a drying method in Finnish study drum spinning for 90 minutes was used while in the current study the garments were dried in a dryer cabinet. These factors might have impact to the final washing efficiency. Also longer storage time of garments in the current study compared to Finnish study might also have effect on these results.

According to the results, vaporous contaminants seemed to absorb to the firefighting garments and they were ready to evaporate to the firefighters' breathing zone after smoke diving task. Also firefighting garments contained particular compounds, which also were ready to enter to the firefighters' body through the respiratory and dermal exposure routes. Also contamination of the skin and hands were possible reflecting oral exposure risk from hands to mouth. The worst thing was to find significant concentration of PAH-compounds from the garments after currently used washing procedure. Some of the concentrations exceeded the reference limit value given by GSMark and EU.

From firefighters' point of view it is crucial to ensure that washing efficiency of the garments is much better in future than in current study. It is essential to test factors which effect on washing efficiency. For example how many garments is sensible to wash simultaneously. The results of current study reflects that if garments are very contaminated they should wash alone to prevent cross-contamination of the garments during washing procedure. Another point is to decrease the storage time of the garments as short as possible after contamination before washing. The third factor might be the drying procedure of the garments. Drum drying has been performed better washing efficiencies than drying cabinet. If washing efficiency still is very low after these improvements, other possible ways such as ozone treatment of the garment or liquid carbon dioxide-method should combine current procedure or the current washing procedure should replace by these new methods.

When washing procedure is good enough and fulfil at least the minimum level of the reference values, in addition of that also attention have to be paid to the handling of contaminated garments. For example in training condition, firefighters have to smoke dive many times and they have to wait the next training session. During the break the contaminated garment have to take off to prevent unnecessary exposure to vapors evaporating from garments to firefighters' breathing zone. Due to high measured concentrations from inner layers of the garment, it is necessary to reduce dermal exposure by using long sleeved and legged technical underwear to prevent direct skin contact to the garment. Neck has been proved to be vulnerable for dermal exposure in many studies. For the prevention of that, the ergonomic and adjustable collar combined with the use of hood, can decrease exposure significantly. Also particulate and vaporous contaminants try to enter inside to the garment through the sleeves and legs. To prevent that, some sort of cuffs combined with special closures in sleeves and legs are needed in garments. Hand exposure is possible to reduce very efficiently with under gloves made from cotton or leather.

After rescue task already at the fire site all contaminated firefighting garments have to take off and packed to the self-melting bags, wearing under gloves and breathing protectors (lighter) on until then all contaminated equipment have been packed. Transportation of contaminated firefighting garments in self-melting bags have to performed in other location than in crew cabin to prevent firefighters' exposure during transportation to the fire brigade. It also reduce firefighters' exposure

during maintenance of garments, because they can transfer the closed bags directly to the washing machine without opening them. Also replacing contaminated garments to clean ones already at fire site, prevent the contamination of the fire truck.

The maintenance of firefighting garments, compressed air breathing apparatus and other firefighting equipment might exposed firefighters heavily, because the contamination level of these equipment varies a lot. Because of the variation of contamination, it is essential to connect recommendation of firefighters' personal protection level and cleaning technology of the firefighting equipment in maintenance to the fire class in which equipment are contaminated. That improve the management of exposure in various maintenance situations.

Skin barrier impairment due to the occlusive effect of firefighter clothing

Abstract

Introduction: At fire scenes, firefighters are exposed to various potentially harmful substances. The toxicological or even carcinogenic effect due to the contact with hazardous substances in smoke during firefighting operations gets a lot of attention in relation to the potentially increased incidence of cancer among firemen. Even though wearing suitable Personal Protective Equipment, post firefighting studies showed increased biomarkers of carcinogenic combustion products in their bodies. This suggests that besides inhalation skin contamination and the mechanism of dermal absorption can be a possible risk to be reckoned. It is known that occlusion increases the risk of dermal absorption. In this perspective, skin barrier impairment due to the occlusive effect of clothing could be an indirect risk factor responsible for enhanced penetration of the hazardous substances. Until now, the occlusive effect of firefighter clothing has never been studied. The objective of this study is to investigate whether skin barrier impairment occurs during the occlusion due to firemen clothing

Methodology: In this study, the skin barrier of 16 healthy human volunteers is investigated *in vivo* by comparing the occlusive effect of cellophane foil and a firefighter jacket. The total time of occlusion is 30 minutes. The barrier function is evaluated by measuring the Trans Epidermal Water Loss, the Surface Skin Water Loss and the skin permittivity at three time intervals before, immediately after and 30 minutes after occlusion. Also reflectance confocal microscopy is applied to study the skin morphology. A paired comparison is performed between the physical parameters at the different time intervals.

Results: The occluded environment due to the firefighter jacket compared to cellophane foil is significantly more increased in temperature but less increased in humidity.

No significant differences in skin layer thicknesses of the stratum corneum and the viable epidermis were found due to both types of occlusions in this study.

All physical parameters are significantly increased immediately after occlusion with a cellophane foil material. Only the Trans Epidermal Water Loss (TEWL) values immediately after wearing a firefighter coat is significantly increased. All physical parameters are return to normal 30 minutes after occlusion meaning that the skin barrier is fully restored.

Conclusion: The significant increased TEWL is an indication of an occluding effect of wearing a firefighter coat and resulting skin impairment. Although this study is performed with human healthy volunteers, the developed methodology and outcome will be of value for future studies with firefighters. The preliminary results are important for manufactures and there development of innovates less occlusive clothing concepts.

Bijlage 2

Wasinstructies

Instruction for washing turn-out gear with normal contamination

- > The normal contaminated turn-out gear will be rinsed and put in a transparent bag before it is delivered.
- > The turn-out gear will be unpacked and registered, the pockets will be checked and emptied. The zippers will stay open and the Velcro is closed.
- > The turn-out gear will be washed on 60 degrees Celsius with maintenance of impregnation.
- > Per washing machine maximal 5 turn-out gears of Amsterdam-Amstelland and maximal 3 turn-out gears of Zaanstreek Waterland
- > For small washing machines do not put in more than 3 turn-out gears.
- > Drying of the turn-out gear will happen in a dry-room with 32 degrees Celsius and with dehumidifiers.
- > The turn-out pants will be hanged on 2 hangers from the trousers on to the wall mounts
- > The turn-out coats will be hanged on a hanger with open Velcro. The cuffs of the sleeves will be pulled outwards.
- > After the drying procedure, the garment will be checked on: seams, cracks, membrane, zippers and reflective strips.
- > If necessary the clothing will be repaired. In case of bigger damage, the turn-out gear will be send to the supplier.
- > If reparation is not possible, the turn-out gear will be disapproved, destroyed and removed from the system.
- > Turn-out gear registration, fold the gear and make it ready for transportation

Bijlage 3

Overzichtstabel 'Schoonwerken'

Acties & middelen	(aanvullende) arbeidsmiddelen	Acties voor inzet	Actie tijdens inzet	Acties na inzet	Acties logistiek
VR					
Amsterdam-Amstelland	<p>Om de procedure te kunnen toepassen verschaft de dienst naast de bestaande Persoonlijke Beschermingsmiddelen (PBM's) repressieve medewerkers met arbeidshygiëne PBM's:</p> <ul style="list-style-type: none"> > 3 sets onderkleding: een set bestaat uit een lange broek, longsleeve shirt en balaclava > Gele wastassen om vervuilde uitrukpakken in te doen > Omkleedtassen per medewerker op voertuig, deze bevatten een 	<ul style="list-style-type: none"> > Schone onderkleding uitrukgereed klaarleggen bij aanvang dienst of uitruk. > Omkleedtas compleet en paraat. > Trek eigen kleding of kazernekleding uit en onderkleding aan onder je uitrukkleding bij een brandmelding. Of neem je onderkleding & uitrukpak mee bij het verlaten van de kazerne. 	<ul style="list-style-type: none"> > Eigen verantwoordelijkheid voor schone PBM's, > Mens en middelen uit de rook > Houd deuren, ramen en luiken van de voertuigen gesloten. > Beschermende uitrusting goed sluiten; nekflap over uitrukpak en uitrukpak over de schoenen. > Geen sigaretten /tabak in je pak (ivm rookopname) 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Afspoelen > Omkleedtas pakken, openritsen en klaarleggen. > Werkhandschoenen uit en nitril handschoenen aan. > Masker, helm en balaclava afzetten. > Afhangen. > Mondkapje opzetten. > Uitrukpak uittrekken. Ook onderkleding uittrekken 	<ul style="list-style-type: none"> > onderkleding apart van joggingpak laten wassen

- trainingspak, waszak, paar nitril handschoenen, mondkapje, label.
- > Een tent om op straat om te kleden

ivm secundaire vervuiling huid.

- > Op opgevouwen tas gaan staan.
- > Schoon shirt / joggingpak aan, laarzen weer aan.

Hollands-Midden

niets (regionaals)

- | | | | |
|--|---------------------------------|--|---|
| <p>Brabant Noord</p> <ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen onder uitrukhandschoenen > Verpakkingsmaterialen: <ul style="list-style-type: none"> > waszak voor uitrukpak > waszak voor nekflappen > zak voor ademluchtmasker > zak voor persoonlijke materialen (bril, sleutels, telefoon, etc.) > Lotion doekjes en garagezeep > Schone overkleding (overalls) > Reiniging-spray en doekjes
Vervuilde materialen zoals portofoon, WBC, ademluchttoestel, etc. kunnen met spray en reinigingsdoekjes worden schoongemaakt. > Vuilniszakken voor afval | <p>> Uit de rook blijven</p> | <ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Afspoelen > Overkleding beschikbaar > Schoon terug naar kazerne > Vervuilde materialen naar logistiek centrum > Melding in TOP desk | <ul style="list-style-type: none"> > Onderkleding zelf thuis wassen |
|--|---------------------------------|--|---|

> Instructiekaart voorgestelde werkwijze

Drenthe	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > Zeep > Wasdoekjes > Oplosbare waszakken > Speciale waszakken > Vuilniszakken 	<ul style="list-style-type: none"> > Geen rook- en etenswaren in je pak (ivm rookopname) > Kazernekleding blauw als onderkleding beschikbaar > Schone onderkleding op de post leggen 	<ul style="list-style-type: none"> > Alleen BV hoes om ademluchtcilinder > Nitril handschoenen onder blushandschoenen 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Mondkapje op > Draag nitril handschoenen > Beschermende kleding in oplosbare waszakken > Onderkleding in speciale waszakken > Reinig alle overige materialen > Spoel voertuig af 	<ul style="list-style-type: none"> > Schone nekflap aan helm > Vuile kleding laten wassen > Onderkleding laten wassen of thuis wassen
Fryslân	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > Mondkapje > Doekjes > Zakken > Schone (vervangende) kleding 	<ul style="list-style-type: none"> > Zorg voor schone pbm's 	<ul style="list-style-type: none"> > Blijf uit de rook > Geen eten en drinken 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Gebruik een mondkapje en handschoenen > Reinig de vuile materialen > Spoel de kleding en pbm's af > Doe de kleding in de daarvoor bestemde zakken > Reinig overige spullen en voertuig > Vervoer verontreinigde materialen gescheiden van mensen 	

<p>Gelderland Zuid</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Een 'kratje arbeidshygiëne' met: <ul style="list-style-type: none"> > nitril handschoenen, > latex handschoenen, > waszakken, > mondkapjes, > reinigingsdoekjes, > labels, etc. > Een Storz-koppeling waar zowel een kraantje als een Gardena tuinslang met spuitpistool aan gekoppeld kan worden. > Een zeepdispensor en handdoekdispensor. 	<ul style="list-style-type: none"> > Schoon setje kleding klaarleggen 	<p>niets</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Gebruik FFP3 mondkapje > Afspoelen pak en laarzen > Was blushandschoenen met water en zeep > Trek nitril handschoenen aan > Reinig materialen > Plaats schone nekflap > Beschermende kleding in waszakken en naar logistiek > Onderkleding uit en thuis wassen > Handschoenen laten drogen > Nitril handschoenen en mondkapje weggoaien > Gebruikt trainingspak laten reinigen
<p>IJsselland</p>	<ul style="list-style-type: none"> > FFP3 mondkapje > Nitril handschoenen > Waszakken > Arbeidshygiëne joggingspak (tussen regels door) > Tent (tussen regels door) 	<ul style="list-style-type: none"> > Schone pbm's gereed hebben 	<p>niets</p>	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog minimaal 3 minuten ademlucht > Gebruik nitril handschoenen > Gebruik een schoon FFP3 mondkapje > Bluspak vernevelen > Reinig materialen > Beschermende kleding in waszakken

					<ul style="list-style-type: none"> > Trek arbeidshygiëne joggingspak aan > afzuiginstallatie op voertuig aansluiten
Limburg Noord	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > Plastic zakken > Vervangende kleding (koud weer) 	<ul style="list-style-type: none"> > Kleding en douchespullen klaarleggen 	<ul style="list-style-type: none"> > Houd voertuig schoon > Houd luiken en ramen voertuig dicht 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Volledig afsproeien > Nitril handschoenen aantrekken > Vervuild materiaal reinigen > Kleding in waszak > Waszakken achter luik, niet in voertuig > Ademluchtflessen inclusief plastic zak in beugels 	<ul style="list-style-type: none"> > Vuile kleding en dienstkleding zelf thuis wassen > Ademluchtplaats medewerker draagt vuilwerkschort, mondkapje en nitrilhandschoenen > Nekflap aanbrengen op schone helm
Rotterdam-Rijnmond	<ul style="list-style-type: none"> > Zeep > P3 masker > Nitril handschoenen > Plastic zakken > Reinigingsdoekjes > Zeep > Blauwe overall 		<ul style="list-style-type: none"> > Houd voertuig en luiken zo veel mogelijk gesloten > Pas op voor stoomvorming bij een nat bluspak/onder pak. 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Gebruik daarna P3 masker > Nitril handschoenen gebruiken > Spoel pak en overige pbm's af en borstel met water en zeep > Helper draagt minimaal mondkapje > Reinig vervuild materiaal 	<ul style="list-style-type: none"> > Ademlucht en nekflap wisselen

					> Afzuiginstallatie op voertuig aansluiten
Twente	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > Cleaning-kit > Wikkelzak 	<ul style="list-style-type: none"> > Reservekleding en douchespullen klaarkeggen 	<ul style="list-style-type: none"> > Houd voertuigen zo veel mogelijk gesloten, ramen, portieren, maar OOK de luiken! 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Trek na inzet handschoenen uit en nitrilhandschoenen aan > Reinig materialen > Kleding in wikkelzakken 	
Zaanstad Waterland	<ul style="list-style-type: none"> > Latex handschoenen > P3 masker 	<ul style="list-style-type: none"> > Schone reservekleding klaarleggen > Voorkom gezichtsbehering 	<ul style="list-style-type: none"> > Houd ramen en deuren van voertuig gesloten 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Pak en PBM's afspoelen > Spoel materiaal af > Gebruik stofmaskers (P3) en latex handschoenen 	
Zeeland	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > P3 masker > (garage)zeep > hygiëne kist (washandjes en schoonmaakdoekjes) 		<ul style="list-style-type: none"> > Sluit ramen, luiken en portieren van het voertuig. 	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > laat bluskleding uitdampen met elektrische overdruk ventilator. > Bluskleding, helm, ademlucht en laarzen afborstelen (licht vervuild) en afspoelen met sproeistraal. > Gebruik nitrilhandschoenen en mondkapje voor 	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen gebruiken > Licht vervuilde bluskleding in kazerne laten uitdampen (vaak wassen is slecht voor kleding) > Vervuilde bluskleding binnenste buiten keren > Bluskleding in rode kliko

						<ul style="list-style-type: none"> schoonmaak werkzaamheden > In natte bluskleiding terug naar kazerne > Besmette kleding (asbest, toxische stoffen, radioactieve stoffen mest) ter plaatse uittrekken 		
Zuid Holland Zuid	<ul style="list-style-type: none"> > Nitril handschoenen > Mondkapje > Zeep en natte (reinigings)doekjes > Plastic zakken 	>	Reservekleiding klaarleggen op kazerne	>	Houd het voertuig en luiken zoveel als mogelijk gesloten	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Draag mondkapje na afkoppelen ademlucht, chauffeur/ pompbedienaar draagt altijd mondkapje. > Gebruik nitril handschoenen > Spoel pak en overige PBM's af > Verwijder cilinderhoes > Reinig materiaal 	>	Vervuilde onderkleding thuis wassen
Groningen	<ul style="list-style-type: none"> > Gele waszakken > Nitril handschoenen > P3 masker 					<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht 		
	>					>		
Midden en West Brabant	<ul style="list-style-type: none"> > Gele waszakken > Nitril handschoenen > Wegwerpwashand 	>	niets	>	niets	<ul style="list-style-type: none"> > Draag nog 3 minuten ademlucht > Draag FP3 masker na afkoppelen ademlucht 	>	Uitrukpakken in zak in wasbak

- > Spoel pak en overige middelen af. Gebruik bij ademluchttoestel ook zeep en borstel
- > Trek bluskleding uit en trek trainingspak over onderkleding
- > Reinig blushandschoenen met water en zeep en laat ze drogen
- > Wissel van blushandschoenen
- > Na afloop douchen
- > Zorg dat verbruiksmiddelen worden aangevuld
- > Overige middelen in daarvoor bestemde bakken
- > Vervuilde onderkleding en trainingspak laten wassen

Noord Oost
Gelderland

- > FP3 masker
- > nitril handschoenen

- > Geen sigaretten in bluskleding

- > Draag FP3 masker na afkoppelen ademlucht
- > Gebruik nitrilhandschoenen
- > Reinig TS

- > Douchen na afloop