

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



Datum rapportage	10 Mei 2017
Projectleider en contactpersoon	drs. ing. Jolanda Willems MBA, gecertificeerd toxicoloog en arbeidshygiënist (Coöperatie PreventPartner), Jolanda.willems@preventpartner.nl
Uitvoering onderzoek	drs. ing. Jolanda Willems MBA, gecertificeerd toxicoloog en arbeidshygiënist (Coöperatie PreventPartner) drs. Ellen Wissink, gecertificeerd arbeidshygiënist (Coöperatie PreventPartner) dr. Remko Houba, arbeidshygiënist en onderzoeker (IRAS, NKAL en Coöperatie PreventPartner) dr. Frans Greven, geregistreerd toxicoloog-onderzoeker, GAGS, GGD Groningen
Opdrachtgever	Dit onderzoek werd verricht door Coöperatie PreventPartner in opdracht van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV). Contactpersoon IFV: drs. Ronald Heus

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.

Inhoud

Samenvatting.....	2
1.1 Aanleiding onderzoek.....	4
1.2 Doelstelling en vraagstelling.....	4
1.3 Afbakening onderzoek.....	5
1.4 Leeswijzer	5
2 Werkwijze van het onderzoek.....	7
2.1 Selectie stoffen.....	7
2.2 Indeling van stoffen naar blootstellingsroute en eenmalige/herhaalde blootstelling	7
2.2.1 Selectie op basis van H-zinnen	9
2.2.2 Indeling in gevarenklassen	9
2.2.3 Indelingsmethodiek.....	11
2.2.4 Effecten	15
3 Resultaat.....	16
3.1 Selectie van stoffen	16
3.2 Top 32 stoffen met gevaar per opnameroute.....	18
3.3 Eenmalige blootstelling	19
3.3.1 Via inademing.....	19
3.3.2 Via de huid.....	21
3.4 Herhaalde blootstelling	22
3.4.1 Via inademing.....	22
3.4.2 Via de huid.....	25
3.4.3 Via de mond.....	27
4 Discussie en beschouwing.....	28
5 Conclusies.....	30
6 Aanbevelingen.....	32
Literatuur en geraadpleegde bronnen	34
Bijlage 1 Uitvoering en bijeenkomsten	36
Bijlage 2 Achtergrondinformatie gevaren van stoffen en H-zinnen	37
Bijlage 3 Control banding.....	40
Bijlage 4 Toxidromen	44
Bijlage 5 Overzicht relevante fysische eigenschappen	45
Bijlage 6 Alarmeringsgrenswaarden (AGW).....	47

1 Inleiding

1.1 Aanleiding onderzoek

In 2015 heeft het Kenniscentrum Arbeidsveiligheid (KCAV) een literatuuroverzicht opgesteld over de risico's die brandweermensen lopen op het ontwikkelen van kanker wanneer zij worden blootgesteld aan rook tijdens brandbestrijdingsactiviteiten en welke stoffen in rook kankerverwekkend (zouden kunnen) zijn^{1,2}. Hierbij is een aantal leemten geconstateerd in de kennis over blootstelling aan stoffen in rook door brand voor Nederlands brandweerpersoneel.

Het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) heeft derhalve het Expertisecentrum Toxische Stoffen van PreventPartner gevraagd om inzichtelijk te maken wat de meest voorkomende stoffen zijn die vrijkomen bij een brand, welke effecten ze kunnen geven in het lichaam en welke opnameroutes daarbij vooral 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. Om deze vragen te beantwoorden dient breder te worden gekeken dan alleen kankerverwekkende stoffen. Uit literatuur is bekend dat stoffen in rook ook andere gezondheidseffecten kunnen veroorzaken. Daarom zijn stoffen niet uitsluitend beoordeeld op kankerverwekkende eigenschappen maar ook op andere gezondheidseffecten.

Bij branden komt een breed scala aan stoffen vrij. Dat kunnen zowel onverbrande producten zijn – bijvoorbeeld organische vloeistoffen die door de hitte van de brand verdampen en zich in gasvorm met de rookpluim mee verspreiden – als reactieproducten, zoals koolmonoxide, roetdeeltjes en PAK's (polycyclische aromatische koolwaterstoffen) die ontstaan in het brandproces. De groep reactieproducten vormt meestal de meerderheid. De vorming van verbrandingsproducten hangt af van de materialen in de brand en de omstandigheden; zuurstoftoevoer, temperatuur, invloed van gebouw, weersomstandigheden, etcetera. Al deze factoren hebben invloed op de bronsterkte (dat is de hoeveelheid van een stof die per tijdseenheid vrijkomt) van de gevormde componenten. Brand is een complex proces en de omstandigheden zijn over het algemeen niet constant. Daardoor kan de bronsterkte van een component sterk variëren in de tijd. Ook zijn er verschillende typen branden of stadia waarin een brand kan verkeren³.

Dit onderzoek maakt onderdeel uit van een onderzoeksprogramma waarin nog twee andere onderzoeken lopen. In het ene onderzoek wordt de vervuiling, doorlaatbaarheid en reinigbaarheid van brandweerkleding onderzocht. Het andere onderzoek richt zich op de invloed van belasting op de huidbarrièrefunctie en de mate waarin blootstelling aan stoffen via huidopname mogelijk is bij het uitoefenen van brandweertaken.

1.2 Doelstelling en vraagstelling

In dit onderzoek worden de volgende vraagstellingen beantwoord:

- 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?

Omdat de brandweer bij het bestrijden van branden in principe altijd ademhalingsbescherming draagt, lijkt huidopname een belangrijke blootstellingsroute aan stoffen in rook door brand. Uit literatuur weten we echter, dat brandweermensen ondanks het dragen van de ademhalingsbescherming toch via inademing aan stoffen in rook kunnen worden blootgesteld^{4,5,6}. Het is niet uitgesloten dat blootstelling plaatsvindt door bijvoorbeeld lekkage van het masker of het te snel afdoen van het masker. Om deze redenen is de inhalatoire opnameroute (opname via inademing) meegenomen in dit onderzoek.

Ook opname via de mond is een mogelijke opnameroute, doordat er soms gegeten, gedronken en gerookt wordt tijdens of direct na een inzet. Derhalve is deze blootstellingsroute ook meegenomen in het onderzoek. Door hand-mond contact kunnen er ongemerkt stoffen worden opgenomen in het lichaam. Dit kan op verschillende manieren⁷:

- door inslikken van stof dat neerslaat in het mond- en neusgebied en ingeslikt wordt met het slijm;
- door te drinken (bijvoorbeeld via de beker);
- via eten en roken met ongewassen handen die door contact met stoffen zijn en dan als bron fungeren;
- via nagelbijten en neuspeuteren;
- via het abusievelijk inslikken van schadelijke vloeistoffen of vaste stoffen (komt slechts incidenteel voor).

1.3 Afbakening onderzoek

De begrippen gevaar en risico worden nogal eens door elkaar heen gebruikt. Het is echter van belang om hierin onderscheid aan te brengen. Met “gevaren” worden de intrinsieke eigenschappen van stoffen bedoeld, zoals de giftigheid en een aantal fysieke factoren zoals wateroplosbaarheid, molecuulgrootte en dergelijke. Het gaat bij het *gevaar* om de potentie die stoffen hebben om gezondheidsschade te veroorzaken.

Dit rapport richt zich op de potentiële gevaren van stoffen, en dan specifiek van stoffen die voorkomen in rook door brand. Deze gevaren zijn bekeken per opnameroute (via de luchtwegen (inademing), de huid en de mond). De potentiële gevaren van de stoffen in rook door brand zeggen echter nog niets over het daadwerkelijke *risico* van deze stoffen in brandsituaties. Het daadwerkelijke risico hangt af van veel meer factoren, waaronder de blootstellingsduur aan de stoffen, de blootstellingshoeveelheid en de effectiviteit van de genomen beschermende maatregelen. Dit onderzoek omvat geen uitgebreide analyse van deze factoren.

Dit rapport richt zich ook niet op gevaren/risico's van specifieke toxische stoffen die vrij kunnen komen in branden bij BRZO-bedrijven of andere bedrijven/voertuigen waar specifieke stoffen aanwezig zijn. Deze scenario's zijn opgenomen in de rampenbestrijdingsplannen. Het gaat bij dit onderzoek om stoffen die voorkomen in rook bij reguliere branden.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt de werkwijze van het onderzoek toegelicht. Hoofdstuk 3 geeft de resultaten weer van de beoordeling van de gevaren per opnameroute van de meest voorkomende stoffen in

rook door brand. In Hoofdstuk 4 zijn de discussie en beschouwing opgenomen. Hoofdstuk 5 bevat de conclusies van het onderzoek en in hoofdstuk 6 zijn aanbevelingen opgenomen.

2 Werkwijze van het onderzoek

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 en eenmalige/herhaalde blootstelling.
3. Indeling in gevarenklassen.

Het onderzoek is uitgevoerd door een combinatie van expertsessies, literatuuronderzoek en gebruik van modellen. Een overzicht van de diverse expertsessies is opgenomen in Bijlage 1.

2.1 Selectie stoffen

Op basis van literatuuronderzoek^{3,8,9} is nagegaan wie in de afgelopen jaren onderzoek heeft verricht aan stoffen in rook door brand in Nederland. Deze onderzoeksinstanties zijn benaderd met de vraag of ze via een expertsessie bij willen dragen aan de selectie van de belangrijkste stoffen die voorkomen in rook door brand. Tijdens de expertsessie zijn de uitgevoerde onderzoeken beoordeeld en op basis van de uitkomsten is een lijst van de meest voorkomende stoffen in rook door brand opgesteld (zie §3.1).

2.2 Indeling van stoffen naar blootstellingsroute en eenmalige/herhaalde blootstelling

Als volgende stap in het onderzoek zijn gegevens verzameld over de geselecteerde stoffen, waaronder:

- Unieke nummer van een stof, het zogenaamde CAS-nummer.
- Fysische eigenschappen, zoals kookpunt, wateroplosbaarheid.
- Waarschuwingzinnen, zogenaamde Hazard-zinnen (H-zinnen)^{10,11}. De H-zinnen zijn bepaald op basis van een aantal eigenschappen van een stof, op basis waarvan een stof wordt ingedeeld in een gevarenklasse.
- Een eventuele H-notatie van stoffen. Een H-notatie is een waarschuwingzin die wordt meegegeven aan stoffen om te waarschuwen dat huidopname een belangrijke opnameroute kan zijn.
- Grenswaarden (zowel voor eenmalige blootstelling als voor herhaalde blootstelling).

In Bijlage 2 is een overzicht opgenomen van de betekenis van alle H-zinnen en een algemene beschrijving over toxiciteit van stoffen.

Vervolgens is op basis van de aan de stoffen toegewezen H-zinnen beoordeeld of de stoffen een gevaar kunnen vormen via de verschillende blootstellingsroutes (via de ademhaling, via de huid en via de mond). In Figuur 1 is een overzicht gegeven voor de eerste indeling van stoffen^{10,11}. De keuze voor de indeling wordt in de volgende paragrafen toegelicht. Voor stoffen waarvoor geen H-zinnen beschikbaar zijn - bijvoorbeeld stoffracties - is de beoordeling uitgevoerd op basis van literatuur.

Figuur 1: Eerste gevaarsindeling van stoffen die voorkomen in rook door brand



2.2.1 Selectie op basis van H-zinnen

Bij de indeling in Figuur 1 is per blootstellingroute onderscheid gemaakt in eenmalige blootstelling en herhaalde blootstelling.

Bij de inschatting van gevaren bij **eenmalige** blootstelling is ervan uitgegaan dat brandweermensen door een incident duidelijk merkbaar zijn blootgesteld aan rook. Voor inademing worden bij de beoordeling in dit geval de zogenaamde interventiewaarden meegenomen als extra check op de gekozen indeling.

Bij eenmalige blootstelling aan stoffen in rook door brand is de opnameroute via de mond niet meegenomen in de beoordeling, omdat in de literatuur geen directe effecten zijn gerapporteerd bij opname via de mond bij eenmalige blootstelling.

Zoals reeds genoemd in de inleiding is er bij de beoordeling van **herhaalde** blootstelling van uitgegaan dat brandweermannen - ondanks dat zij in de regel beschermd zijn tegen rook door middel van ademhalingsbescherming - toch via inademing herhaaldelijk blootgesteld kunnen worden aan stoffen in rook door brand.

Bij herhaalde blootstelling is de opname via de mond wel meegenomen, omdat er door hand-mond contact tijdens eten, drinken en roken wel degelijk blootstelling aan stoffen kan plaatsvinden via deze route.

2.2.2 Indeling in gevarenklassen

Vervolgens is een gestructureerd beoordelingsschema opgesteld, geordend in vier groepen per opnameroute: rood, oranje, geel of groen, waarbij rood staat voor het grootste gevaar en groen voor een gering of afwezig gevaar.

Dit wordt ook wel aangeduid met de term 'control banding'. Control banding is een grofmazige methode om op een relatief snelle en overzichtelijke wijze stoffen in te delen in gevarenklassen, zodat op basis hiervan inzicht kan worden verkregen welke stoffen het grootste en het minst grote gevaar opleveren per blootstellingsweg. Het gebruik van control banding is bij de beoordeling van gevaarlijke stoffen een gebruikelijke methodiek. Deze methodiek wordt bijvoorbeeld toegepast in de modellen COSHH en Stoffenmanager^{12,13}.

Omdat het een specifieke situatie betreft - namelijk blootstelling bij de brandweer aan stoffen in rook bij reguliere branden - is er in de control banding een gevaarsindeling gemaakt die specifiek is voor deze situatie. Hierbij zijn stoffen niet alleen ingedeeld op basis van de gevaarszinnen maar zijn ook de volgende zaken meegewogen:

- de potentie van opname van stoffen in het lichaam;
- concentratie(range) van een stof in de rook in combinatie met de opnamepotentie.

Hierbij zijn de volgende keuzes gemaakt:

- Bij de **inademing** is voor eenmalige, incidentele blootstelling uitgegaan van de 'worst case' situatie. Dat betekent dat voor stoffen die in rook bij brand aanwezig zijn, is uitgegaan van 100% opname in het lichaam. Bij herhaalde blootstelling is meegewogen dat in principe met ademhalingsbescherming wordt gewerkt, maar dat (ongemerkt) blootstelling kan plaatsvinden bijvoorbeeld door lekkage van het masker;

- Bij de **huid** is meegewogen of een stof via de huid kan worden opgenomen. Daarnaast wordt meegewogen, dat stoffen niet rechtstreeks op de huid komen (hiermee wordt bedoeld rechtstreeks contact met vloeistof), maar indirect via rook. Hierdoor is er sprake van kleinere hoeveelheden dan bij direct contact met een (vloeistof)stof.
- Bij de **mond** is de opnamepotentie meegewogen. Opname via de mond ligt niet voor de hand, maar kan plaatsvinden door hand-mond contact. Er is hierbij altijd sprake van kleine hoeveelheden. Derhalve is alleen een beoordeling uitgevoerd voor herhaalde blootstelling. Er zijn in de literatuur geen aanwijzingen gevonden dat opname via de mond een gevaar/risico kan vormen bij eenmalige (hoge) blootstelling aan rook door brand.

Belangrijk is om nogmaals te benadrukken dat het daadwerkelijke risico van de stoffen onder andere afhangt van de concentratie van de stoffen in de rook en de blootstellingsduur, welke kunnen variëren per brand/locatie.

Een meer uitgebreide toelichting op de keuzes, die zijn gemaakt tijdens het toepassen van de indeling van de stoffen, is opgenomen in Bijlage 3.

Gevaarsindeling en huidopname

Bij bepaalde stoffen kan huidblootstelling en – opname bijdragen aan de totale interne toxische belasting. Het proces van huidopname/huidabsorptie is een complex geheel dat opgedeeld wordt in drie onderdelen. Als eerste is er de penetratie, de overgang van de stof in de toestand waarin deze met de huid in aanraking komt naar de hoornlaag (de buitenste laag van de huid). De tweede stap is de diffusie door de hoornlaag. De derde stap is het transport door het onderliggende weefsel naar de kleine bloedvaten, waar de stof wordt opgenomen in het bloed.

De uiteindelijke hoeveelheid stof die wordt geabsorbeerd, wordt bepaald door de permeatiesnelheid, de grootte van het contactoppervlak, de duur van de blootstelling, de eigenschappen van een stof (molecuul grootte, wateroplosbaarheid), de toedieningsvorm, de omstandigheden waaronder de huidblootstelling plaatsvindt en de kwaliteit van de huid¹⁴. De aggregatietoestand van de stof is daarbij erg belangrijk. Stoffen moeten eerst zijn opgelost, willen ze snel de huid penetreren.

Tijdens dit onderzoek is enerzijds door middel van literatuuronderzoek bekeken of opname van stoffen via de huid kan voorkomen bij de geselecteerde stoffen en of de stoffen potentieel kunnen bijdragen aan de totale interne toxische belasting. Anderzijds is via een model gekeken of de huidopname een relevante factor is ten opzichte van de opname via de inademing.

Literatuuronderzoek

Binnen het literatuuronderzoek is naast een selectie van Hazard-zinnen (H-zinnen) bekeken of de stoffen een huidnotatie (H-notatie) hebben. Een huidnotatie wordt toegekend, wanneer bij een stof onder bepaalde condities de bijdrage via de huid aan de totale toxische belasting groter kan zijn dan via andere vormen van blootstelling¹⁵. De huidnotatie geeft aan dat er voor een stof een potentieel gevaar is voor huidopname en dat de stof vervolgens elders in het lichaam effecten kan veroorzaken (de zogenaamde systemische effecten). De huidnotatie zegt nog niets over het daadwerkelijke risico van de huidblootstelling en huidopname. Dit risico is afhankelijk van vele factoren op de werkplek, waaronder de blootstellingsduur, de blootstellingswijze en bijvoorbeeld de aanwezigheid van andere stoffen - in het bijzonder irriterende, sensibiliserende of bijtende stoffen.

Model

Door middel van een expertmeeting is bepaald welk model het beste gebruikt kan worden voor de beoordeling van de mate van opname door de huid in vergelijking met de opname via inademing. Hierbij kwam IH Skinperm¹⁶ als best bruikbare instrument naar voren.

In tegenstelling tot andere beschikbare instrumenten (zoals de ECETOC-TRA Worker tool – huidmodule en RiskOfDerm), richt IH SkinPerm zich op de schatting van de daadwerkelijke opname van stoffen door de huid, de hoeveelheid die systemisch (in het lichaam) beschikbaar komt¹⁸. Een eventuele verdamping van de stof tijdens de besmetting en het proces van huidopname worden verdisconteerd in de schatting.

Het IH SkinPerm model geeft een schatting van het belang van de opname via de huid ten opzichte van de opname via de inademing. Dit wordt uitgedrukt als de “dermale/respiratoire opname ratio”.

Een kanttekening die gemaakt moet worden is dat IH SkinPerm binnen dit huidige onderzoek alleen kan worden ingezet om stoffen in te delen op basis van potentie voor huidopname. Een exacte schatting van de huidopname per stof kan niet worden gemaakt, omdat bij de brandweer specifieke factoren zijn die de huidopname van een stof sterk kunnen beïnvloeden. Dit is met name het geval wanneer stoffen onder een pak komen en daar ingesloten worden (occlusie). De condities onder een pak (warmte, zweet dat een waterlaagje op de huid vormt, etc.) kunnen een andere volgorde van prioriteit voor de huidopname aangeven, omdat dan bijvoorbeeld wateroplosbaarheid van belang kan zijn. De gekozen benadering in dit onderzoek kijkt dus niet naar exacte huidopname van de stoffen, maar gaat uit van de huidopname ten opzichte van de opname via inademing (inhalatoire opname) bij een gegeven luchtconcentratie.

2.2.3 Indelingsmethodiek

Voor de indeling van de stoffen bij rook door brand is, zoals in paragraaf 2.2. beschreven, control banding toegepast.

De indeling van deze control banding is voorgelegd aan de Expertgroep (zie Bijlage 1). In Tabellen 1 t/m 5 is de control banding weergegeven. In Bijlage 3 wordt extra verantwoording gegeven voor deze indeling.

Naast de control banding is voor alle stoffen een literatuuronderzoek uitgevoerd, waarbij gekeken is naar de beschreven gevaren van de stoffen en gerapporteerde praktijkcasussen. Hierbij is gebruik gemaakt van informatie in de toxicologische database Cheminfo¹⁹.

IH SkinPerm¹⁶

IH SkinPerm is een Excel applicatie voor het inschatten van huidabsorptie. IH SkinPerm is een werkproduct van de AIHA Exposure Assessment Strategies Committee (EASC) en de Dermal Project Team (DPT) in samenwerking met Wil ten Berg, auteur van het originele SkinPerm model.

Om tot een schatting van de huidopname (huidpermeatie) te komen zijn in het model slechts een beperkt aantal fysisch-chemische eigenschappen van de stof nodig, zoals het molecuulgewicht, de wateroplosbaarheid, de octanol-water partitie coëfficiënt en de dampspanning.

Deze stoffeigenschappen zijn geselecteerd uit de bijgevoegde stoffendatabase van IH SkinPerm of zijn indien niet aanwezig in de literatuur opgezocht¹⁷.

Voor alle stoffen is eenzelfde blootstellingssituatie gekozen om zo een goede vergelijking te kunnen maken tussen de stoffen. Zie Bijlage 5 voor verdere uitleg van de berekening.

Enmalige blootstelling

Tabel 1: opname via inademing, effecten bij eenmalige blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Klasse	Gevaar:
	Grenswaarde AGW* $\geq 1000 \text{ mg/m}^3$ of geen relevante H-zinnen
	Grenswaarde AGW $\geq 100 - < 1000 \text{ mg/m}^3$ (AGW-waarde is leidend boven H-zinnen) of H332 (schadelijk bij inademing) of Indien inhalatoire opname: H371, H335, H336
	Grenswaarde AGW $> 25 - < 100 \text{ mg/m}^3$ (AGW-waarde is leidend boven H-zinnen) of H331 (giftig bij inademing), EUH071 (bijtend voor luchtwegen) of Indien inhalatoire opname: H370
	Grenswaarde AGW $< 25 \text{ mg/m}^3$ (AGW-waarde is leidend boven H-zinnen) of H330 (dodelijk bij inademing) Of H334 (in literatuur toetsen dat dit geldt voor eenmalige blootstelling)

*) AGW: Alarmeringsgrenswaarde - de luchtconcentratie waarboven onherstelbare of andere ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden, of waarbij door blootstelling aan de stof personen minder goed in staat zijn zichzelf in veiligheid te brengen. De gebruikte interventiewaarden zijn afgeleid voor een blootstellingsduur van één uur ²⁰.

Tabel 2: opname via de huid, effecten bij eenmalige blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Klasse	Gevaar
	Geen of geringe huidopname, inhalatoire opname is belangrijkste factor of Geen H-notatie en geen schadelijke effecten omschreven in literatuur door huidopname, of Huidopname belangrijke of grootste factor t.o.v. inhalatoire opname in combinatie met H312 (schadelijk bij contact met de huid), of H314, H315
	Huidopname belangrijke of grootste factor t.o.v. inhalatoire opname in combinatie met: H311 (giftig bij contact met de huid) of H371
	Huidopname belangrijke of grootste factor t.o.v. inhalatoire opname in combinatie met: H310 (dodelijk bij contact met de huid), of H370
	N.v.t. voor de stoffen in rook

Voor zowel huid als inademing wordt H360 meegenomen, om uitspraak te kunnen doen over de invloed van stoffen op de vruchtbaarheid (reprotoxiciteit).

Herhaalde blootstelling

Tabel 3: opname via inademing, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Gevarenklasse	Gevaar:
	Geen H-zinnen aanwezig, of H332 (<i>schadelijk bij inademing</i>) Indien opname via de inademing (inhalatoire opname): H335 (<i>irritatie</i>), H336 (<i>slaperigheid</i>)
	H331 (<i>giftig bij inademing</i>) H373 (<i>kan schade veroorzaken aan organen</i>) (indien effect op longen en/of inhalatoire opname) EU071 (<i>bijtend voor luchtwegen</i> , indien effect ook is beschreven voor langdurige blootstelling) H361F
	H330 (<i>dodelijk bij inademing</i>) H372 (<i>veroorzaakt schade aan organen</i>) (indien effect op longen en/of inhalatoire opname) H334 (<i>allergie, astmasymptomen</i>) H341, (verdacht mutageen) H351 (verdacht kankerverwekkend) H360F (<i>invloed op vruchtbaarheid</i>) (of verdacht kankerverwekkende of mutagene-stof in literatuur)
	H340 (<i>mutageen</i>) H350 (<i>kankerverwekkend</i>) (of bewezen kankerverwekkende of mutagene-stof in literatuur)

Tabel 4: opname via de mond, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Gevarenklasse	Gevaar
	Geen H-zinnen of H302 in stofvorm (<i>schadelijk bij inslikken</i>)
	H301 in stofvorm (<i>giftig bij inslikken</i>) H351 indien mogelijk kankerverwekkend voor spijsverteringskanaal zelf Indien opname spijsverteringskanaal: H341, H351, H360F (<i>invloed op vruchtbaarheid</i>) (of mogelijk CMR-stof in literatuur), H373
	H300 in stofvorm (<i>dodelijk bij inslikken</i>) H350 indien kankerverwekkend voor spijsverteringskanaal zelf Indien opname spijsverteringskanaal: H340 (<i>mutageen</i>), H350 (<i>kankerverwekkend</i>), (of bewezen CM-stof in literatuur), H372
	N.v.t. voor de stoffen in rook

Tabel 5: opname via de huid, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Gevarenklasse	Gevaar			Direct effect op de huid
	Huidopname belangrijke of grootste factor t.o.v. inhalatoire opname*),	Huidopname relevante factor t.o.v. inhalatoire opname, maar niet dominant*)	Inhalatoire opname is belangrijkste factor, huidopname is gering, maar aanwezig*)	
	in combinatie met H312,	in combinatie met H311, H312 of H373		
	in combinatie met H311 (<i>giftig bij contact met de huid</i>), H361F of H373 (indien relevant voor huid),	in combinatie met H310 (<i>dodelijk bij contact met de huid</i>), H372 (<i>veroorzaakt schade aan organen</i> - indien relevant voor huid), H341, H351 of H360F (<i>invloed op vruchtbaarheid</i>) OF mogelijk, kanker- verwekkende, mutagene of voortplanting vergiftige stof in literatuur.	in combinatie met H340 (mutageen), H350 kankerverwekkend) OF bewezen kankerverwekkende of mutagene stof in literatuur.	H317 (<i>huidallergie</i>)
	- in combinatie met H310 (<i>dodelijk bij contact met de huid</i>), H372 (<i>veroorzaakt schade aan organen</i> - indien relevant voor huid), H341, H351, H360F (<i>invloed op vruchtbaarheid</i>) OF mogelijk kankerverwekkende, mutagene of voortplanting vergiftige stof in literatuur	in combinatie met H340 (mutageen), H350 (kankerverwekkend) OF bewezen kankerverwekkende of mutagene stof in literatuur		
	- in combinatie met H340 (mutageen), H350 (kanker- verwekkend) OF bewezen kankerverwekkende, mutagene of voortplanting vergiftige stof in literatuur)			H350 Kankerverwekkend voor de huid zelf

*) model, literatuur en/of H notatie

2.2.4 Effecten

Tenslotte zijn per stof(groep) zijn de belangrijkste effecten beschreven. Hiervoor is de volgende aanpak gebruikt:

- Effecten bij eenmalige blootstelling (ademhaling en huid) zijn grofweg ingedeeld in vijf verschillende groepen (zogenaamde toxidromen²¹), zoals direct bijtend effect op de longen, direct effect op de celademhaling, en/of direct effect op centraal zenuwstelsel. Voor het effect op de longen is tevens gekeken naar de wateroplosbaarheid van de stof. Wateroplosbare stoffen hebben een effectgebied boven in de longen, terwijl niet of weinig oplosbare stoffen tot ver in de longblaasjes kunnen doordringen (zie ook Bijlage 4).
- Effecten bij herhaalde blootstelling zijn in kaart gebracht met behulp van de beschikbare informatie uit Cheminfo¹⁹, eventueel aangevuld met specifieke literatuur^{22, 23}.

3 Resultaat

3.1 Selectie van stoffen

In 2007 hebben Mennen en Van Belle⁹ een overzicht gemaakt van de belangrijkste schadelijke componenten die vrijkomen bij een brand voor de Nederlandse situatie. Dat overzicht is gebaseerd op meetgegevens van de Milieuongevallendienst (MOD) bij ruim vijftig branden en op gegevens uit een beperkte literatuurstudie naar emissiefactoren, bepaald op basis van verbrandingsexperimenten en meetgegevens van branden. Hierbij is een overzicht gemaakt van de meest schadelijke componenten die voorkomen in rook bij branden met verschillende soorten materialen (bijvoorbeeld kunststoffen, rubber, hout, olie, chemicaliën en afval). Er is tevens, door middel van een kwalitatieve schaal, de orde van grootte van de emissie weergegeven.

In 2009 is dit overzicht geactualiseerd en uitgebreid op basis van informatie verkregen via werkbezoeken, het raadplegen van experts en literatuuronderzoek³.

Om te komen tot een selectie van de belangrijkste schadelijke componenten die voorkomen in rook door reguliere branden zijn deze onderzoeken als basis gebruikt. Van alle stoffen die gerapporteerd zijn door Mennen, zijn in een expert sessie de belangrijkste stoffen geselecteerd.

In Tabel 6 is een overzicht gegeven van de 32 geselecteerde stoffen. Voor een aantal stoffen geldt dat ze als groep stoffen in rook door brand kunnen voorkomen, zoals de polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's). Van deze groepen zijn zogenaamde markerstoffen gekozen; één stof met de meest gevaarlijke eigenschappen. In Bijlage 5 is als achtergrondinformatie een overzicht opgenomen van de meest belangrijke fysische eigenschappen van deze stoffen.

Naast specifieke stoffen zijn ook stofdeeltjes in het algemeen opgenomen. Deze zijn verdeeld op basis van grootte. De grootte van stofdeeltjes is belangrijk, omdat deze bepaalt op welke plek de deeltjes in de luchtwegen terecht komen en/of ze ook door het lichaam kunnen worden opgenomen. Hiervoor is de volgende indeling aangehouden:

- PM 10 → deeltjes kleiner dan $< 10 \mu\text{m}$; Deze deeltjes komen met name in de bovenste luchtwegen terecht.
- PM 2,5 → deeltjes kleiner dan $< 2,5 \mu\text{m}$; Deze deeltjes kunnen tot in de longblaasjes doordringen.
- Ultrafijn (nanodeeltjes) → deeltje kleiner dan $0,1 \mu\text{m}$ (in lengte of breedte); Deze dringen tot de longblaasjes door en kunnen ook worden opgenomen in het lichaam.

Tabel 6: Overzicht van de 32 geselecteerde stoffen

Stoffen	Stoffen, die gelden als marker stoffen voor een hele groep
<ul style="list-style-type: none"> • CO - Koolmonoxide • NO₂ - Stikstofdioxide • HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur) • SO₂ - Zwaveldioxide • HCL - Waterstofchloride (Zoutzuur) • Fosgeen • Perfluoroisobuteen (PFIB) • HF - Waterstoffluoride • Fosforpentoxide <p data-bbox="201 622 651 712"><i>Een aparte groep die benoemd is zijn stofdeeltjes in het algemeen op basis van hun grootte:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ultrafijn stof/ nanoparticles • PM 2,5 • PM 10 	<p data-bbox="715 282 911 309">Koolwaterstoffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benzeen • Styreen • Xyleen • Toluëen • Ethylbenzeen • Hexaan • (mono) Chloorbenzeen • Fenol <p data-bbox="715 622 1198 649">Polycyclische aromatische koolwaterstoffen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benzo[a]pyreen • Pyreen <p data-bbox="715 752 970 779">Aldehyden en ketonen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Acroleïne • Formaldehyde • Aceetaldehyde <p data-bbox="715 920 855 947">Isocyanaten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TDI - 2,4-toluëendi-isocyaan • Methyilisocyaan • Fenylisocyaan <p data-bbox="715 1088 943 1115">Dioxinen en furanen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine) • Furaan • Dibenzofuraan <p data-bbox="715 1256 815 1283">Metalen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lood

3.2 Top 32 stoffen met gevaar per opnameroute

Op basis van de beoordelingsmethodiek zoals beschreven in hoofdstuk 2, is per stof en per blootstellingsroute de volgende gevaarsindeling gemaakt.

Tabel 7: Top 32 stoffen in rook door brand met gevaarsindeling per opnameroute

Naam	Inademing - eenmalige blootstelling	Inademing - herhaalde blootstelling	Huid - eenmalige blootstelling (opname)	Huid - herhaalde blootstelling	Mond - herhaalde blootstelling
CO - Koolmonoxide	Orange	Yellow	Green	Green	Green
NO ₂ - Stikstofdioxide	Red	Orange	Green	Green	Green
HCN - Blauwzuur	Red	Orange	Orange	Orange	Green
SO ₂ - Zwaveldioxide	Red	Yellow	Green	Green	Green
HCL - Zoutzuur	Orange	Green	Green	Green	Green
<i>Koolwaterstoffen</i>					
- Benzeen	Green	Red	Green	Yellow	Green
- Styreen	Yellow	Orange	Green	Green	Green
- Xyleen	Green	Yellow	Green	Green	Green
- Toluene	Green	Yellow	Green	Green	Green
- Ethylbenzeen	Green	Yellow	Green	Green	Green
- Hexaan	Green	Yellow	Green	Green	Green
- (mono) Chloorbenzeen	Yellow	Green	Green	Green	Green
- Fenol	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow
<i>Aldehyden en ketonen</i>					
- Acroleïne	Red	Yellow	Green	Green	Green
- Formaldehyde	Red	Red	Green	Green	Green
- Aceetaldehyde	Yellow	Orange	Green	Green	Green
<i>Isocyanaten</i>					
- TDI - 2,4-toluendi- isocyanaat	Red	Orange	Green	Yellow	Green
- Methylisocyanaat	Red	Orange	Green	Yellow	Yellow
- Fenylisocyanaat	Red	Orange	Green	Yellow	Green
Fosgeen	Red	Orange	Green	Green	Green
Perfluoroisobuteen (PFIB), HF - Waterstoffluoride	Red	Orange	Green	Green	Green
Ultrafijn stof/ nanoparticles	Green	Orange	Green	Green	Green
PM 2,5	Green	Yellow	Green	Green	Green
PM 10	Green	Green	Green	Green	Green
<i>PAK</i>					
- Benzo[a]pyreen	Green	Red	Green	Red	Orange
- Pyreen	Green	Green	Green	Green	Green
<i>Dioxinen en furanen</i>					
- TCDD (Tetrachlorodibenzodioxine)	Green	Yellow	Green	Green	Orange
- Furaan	Orange	Red	Green	Yellow	Orange
- Dibenzofuraan	Green	Green	Green	Green	Green
<i>Metalen</i>					
- Lood	Green	Yellow	Green	Green	Yellow
Fosforpentoxide	Orange	Green	Green	Green	Green

3.3 Eenmalige blootstelling

Bij eenmalige blootstelling aan stoffen in rook door brand kunnen gezondheidseffecten ontstaan. Hieronder wordt per opnameroute weergegeven wat de resultaten zijn van de gevaarsindeling van de stoffen.

3.3.1 Via inademing

De meest kritische stoffen bij eenmalige (hoge) blootstelling aan stoffen in rook door brand zijn de stoffen die invloed hebben op de ademhaling (de zogenaamde asfyxantia) en de sterk irriterende stoffen. Daarnaast is er nog een restgroep met stoffen die effecten hebben op het zenuwstelsel. Over kankerverwekkende stoffen ontstaan vaak vragen na eenmalige blootstelling. Derhalve wordt in dit hoofdstuk ook een toelichting gegeven op dit risico.

Voor de volledigheid zijn bij eenmalige blootstelling via de inademing de alarmeringswaardes van de geselecteerde stoffen opgenomen in Bijlage 6. Deze waardes zijn meegewogen bij de indeling in de verschillende gevarenklassen.

Effecten op zuurstoftransport en/of celademhaling – Asfyxantia

Er zijn een aantal stoffen die rechtstreeks en gemakkelijk door de longen in het lichaam worden opgenomen. Eenmaal opgenomen hebben ze een rechtstreeks effect op zuurstoftransport in het lichaam en/of op de ademhaling van cellen, waardoor ze uiterst giftig zijn. Blauwzuur geldt als de stof met de grootste gevaren. Er vindt geen stapeling plaats van deze stoffen in het lichaam. Een overzicht van de betreffende stoffen is opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 8: Effecten op zuurstoftransport en/of celademhaling bij eenmalige (hoge) blootstelling

Naam	Inademing - eenmalige blootstelling	Effecten
CO - Koolmonoxide		Worden opgenomen door de longen in het lichaam. Koolmonoxide heeft invloed op het zuurstoftransport en waterstofcyanide heeft met name invloed op de celademhaling.
HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur)		Beide stoffen veroorzaken bij relatief lage dosis o.a. hoofdpijn en zijn bij hogere concentraties dodelijk. (Belangrijkste effect bij eenmalige hoge blootstelling: op hart vaatstelsel en zenuwstelsel) <i>HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur) wordt ook door de huid opgenomen, dit geldt niet voor koolmonoxide</i>

Sterk irriterende/bijtende effecten

Stoffen met een sterk irriterende/bijtende werking hebben een direct effect op de luchtwegen. De mate van oplosbaarheid bepaalt op welke plek in de luchtwegen de eerste schade optreedt. Bij eenmalige (hoge) blootstelling bestaat er een risico op verstikking. Dit kan doordat bovenste luchtwegen zwellen, maar ook doordat er schade ontstaat ter hoogte van de longblaasjes (o.a. longoedeem). Dit laatste kan ook enkele uren tot een dag ná de blootstelling later optreden. Het effect is dat er zodanige invloed op de ademhalingswegen ontstaat dat gevolgen groot kunnen zijn.

Van de 32 geselecteerde stoffen hebben de stoffen in Tabel 9 een bijtende werking bij eenmalige - hoge - blootstelling. Hierbij moet worden aangetekend dat het effect uiteindelijk wordt bepaald door een combinatie van de dosis (concentratie in de lucht) en de toxiciteit.

Verder kunnen een aantal stoffen in rook astma veroorzaken, ook bij eenmalige (hoge) blootstelling. In de literatuur worden casussen beschreven waarbij mensen een blijvende astma krijgen, door eenmalige blootstelling aan (sterk) irriterende stoffen (zogenaamde RADS (Reactive Airways Dysfunction Syndrome)²⁴. In onderstaande tabel is een overzicht opgenomen van de betreffende stoffen.

Tabel 9: Effect van irriterende/bijtende stoffen bij eenmalige (hoge) blootstelling

Naam	Inademing - eenmalige blootstelling	Effecten
NO ₂ - Stikstofdioxide		Bijtende werking op (met name lage) luchtwegen, kan ernstige longschade veroorzaken met invloed op ademhaling, ook kans op ontstaan van astma na eenmalige blootstelling (Reactive Airways Dysfunction Syndrome (RADS). Kan verstikking veroorzaken door ontstaan van longoedeem.
Fosgeen		
Perfluoroisobutene (PFIB),		
SO ₂ - Zwaveldioxide		Bijtend effect met name op bovenste luchtwegen, kan verstikking veroorzaken door zwelling van met name bovenste luchtwegen. <i>Bij hoge concentraties ook kans op longoedeem.</i>
HCL - Zoutzuur		
Acroleïne		
Formaldehyde		
Aceetaldehyde		Ontstaan van astma na eenmalige blootstelling (Reactive Airways Dysfunction Syndrome (RADS) ²⁴ .
Fosforpentoxide		
TDI - 2,4-tolueendi-isocyaan		Hoge blootstelling aan isocyanaten kan eveneens longontsteking veroorzaken en naast RADS een immunologische beroepsastma opwekken.
Methylisocyaan		
Fenylisocyaan		
HF - Waterstoffluoride		Bijtend effect op luchtwegen, heeft tevens invloed op calciumgehalte in bloed, kan ook astmatische reactie veroorzaken (belangrijkste effect bij acute blootstelling: op luchtwegen, hart vaatstelsel en zenuwstelsel). Ontstaan van astma na eenmalige blootstelling (Reactive Airways Dysfunction Syndrome (RADS) ^{24,25}

Een stof met hoge gevaarpotentie is HF - Waterstoffluoride. Deze stof heeft niet alleen effect op de longen, maar wordt ook opgenomen in het lichaam waar het de calciumhuishouding beïnvloedt. Dit effect wordt met name gezien wanneer er specifiek waterstoffluoride aanwezig is in de brandhaard (bijvoorbeeld bedrijven met Waterstoffluoride in de opslag).

Effecten op het zenuwstelsel

Er is nog een restgroep met stoffen die invloed kunnen hebben op het zenuwstelsel bij een eenmalige (hoge) blootstelling. Het effect van deze stoffen zal naar verwachting echter niet op de voorgrond staan. Deze stoffen komen in rook door brand met name voor in combinatie met bovengenoemde sterk irriterende stoffen en/of asfyxantia. Deze effecten zullen naar verwachting dan ook overheersend zijn.

Het betreft de volgende stoffen:

Tabel 10: Effecten op zenuwstelsel bij eenmalige (hoge) blootstelling

Naam	Inademing - eenmalige blootstelling
Styreen	
Fenol	
Furaan	
(mono) Chloorbenzeen	

(Verdacht) kankerverwekkende stoffen

Voor een aantal stoffen is er een CRP (Cancer Risk Potency) waarde bekend²⁰, waarmee het risico van kankerverwekkende stoffen bij eenmalige blootstelling gekwantificeerd kan worden. Eenmalige blootstelling aan kankerverwekkende stoffen heeft echter doorgaans weinig invloed op het geaccepteerde risico*).

Er zijn CRP-waardes**) bekend voor:

- Benzeen – 2800 mg/m³
- Formaldehyde - 1752 mg/m³
- Aceetaldehyde- 9900 mg/m³

Voor Formaldehyde en Aceetaldehyde geldt dat de CRP-waarde ver boven de levensbedreigende waarde ligt van respectievelijk 69 mg/m³ (1 uur) en 1500 mg/m³ (1 uur).

Voor Benzeen is de CRP-waarde 2800 mg/m³ (1 uur) vrijwel gelijk aan alarmeringswaarde (2600 mg/m³), maar deze ligt onder de levensbedreigende waarde van 13.000 mg/m³²⁰. De kans dat de CRP-waarde wordt bereikt bij eenmalige blootstelling aan Benzeen in rook door brand is zeer laag. Ook bij benzeen geldt dat deze stof in rook door brand met name voorkomt in combinatie met sterk irriterende stoffen en/of asfyxantia. Deze effecten zullen naar verwachting dan ook overheersend zijn.

*) Voor de meeste kankerverwekkende en mutagene stoffen geldt dat er geen veilige ondergrens bepaald kan worden. Bij deze stoffen is gekozen voor een grenswaarde met een streefrisico van 4×10^{-5} voor 40 jaar beroepsmatige blootstelling en een verbodrisico dat een factor 100 hoger ligt.

**) Alle gebruikte interventiewaarden (CRP, AGW, LBW) zijn afgeleid voor een blootstellingsduur van één uur²⁰

(Verdacht) reprotoxische stoffen

Er zijn een drietal stoffen die invloed hebben op de vruchtbaarheid in het algemeen: Benzo[a]pyreen, Lood en Hexaan. Er is ingeschat dat een eenmalige blootstelling geen blijvende effecten heeft op de vruchtbaarheid. Daarnaast zijn er een aantal stoffen die een negatieve invloed kunnen hebben op de ontwikkeling van het ongeboren kind: Koolmonoxide, Styreen, Tolueen, Methylisocyanat, Lood en Benzo[a]pyreen. Hoe groot dit risico is, is afhankelijk van de dosis die in het lichaam wordt opgenomen en de ontwikkelingsfase van het ongeboren kind. Deze vraag wordt niet binnen dit onderzoek beantwoord, maar is wel essentieel voor een uitspraak of er daadwerkelijk schade is bij eenmalige blootstelling aan deze stoffen in rook door brand.

3.3.2 Via de huid

Er zijn twee stoffen die bij eenmalige blootstelling een gevaar kunnen vormen door huidopname, namelijk HCN (Blauwzuur) en Fenol.

Tabel 11: Overzicht stoffen die effecten kunnen veroorzaken via de huid bij eenmalige (hoge) blootstelling

Naam	Inademing - eenmalige blootstelling	H-notatie	Huidopname genoemd in literatuur
HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur)		ja	Ja, zeer snelle huidopname
Fenol		ja	Ja, snelle opname

Beide stoffen worden snel opgenomen door de huid, ook bij blootstelling in rook door brand. In Cheminfo¹⁹ zijn twee casussen beschreven van brandweermannen met symptomen van een cyanidevergiftiging - terwijl ademhalingsbescherming werd gedragen - waarbij wordt aangenomen dat er blootstelling door de huid heeft plaatsgevonden. In beide gevallen ging het om een bijzondere situatie, namelijk het vrijkomen van cyanidegas. Er is geen informatie over huidopname van HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur) bij rook door brand. Voor de beschrijving van de effecten wordt verwezen naar de beschrijving in §3.3.1 - Inademing.

3.4 Herhaalde blootstelling

Bij herhaalde blootstelling aan stoffen in rook door brand zijn er scenario's :

- Een stof verlaat snel het lichaam, maar door herhaalde blootstelling wordt de kans groter op bepaalde effecten zoals kanker, astma;
- Een stof stapelt in lichaam en geeft mede daardoor een extra lange blootstelling. Dit effect komt voor bij een gering aantal stoffen (TCDD, lood en waterstoffluoride).

De meeste stoffen in rook door brand verdwijnen snel na blootstelling.

3.4.1 Via inademing

Bij herhaalde inademing van rook kan er blootstelling aan stoffen ontstaan die op basis van hun effect in de volgende groepen kunnen worden ingedeeld:

- (verdacht) kankerverwekkende en mutagene stoffen, direct in de longen of op andere plekken in het lichaam;
- Stoffen die (chronische) luchtwegklachten kunnen veroorzaken zoals astma, hogere gevoeligheid voor longontstekingen, overgevoelighedsreacties;
- Stoffen die door de longen worden opgenomen en elders in het lichaam een toxisch effect veroorzaken.

(Verdacht) kankerverwekkende en mutagene stoffen

Er zijn verschillende stoffen die bij herhaalde blootstelling het risico op kanker verhogen of genetische schade kunnen veroorzaken (mutagene stoffen). Benzeen, Benzo[a]pyreen en Formaldehyde zijn kankerverwekkend voor de mens (H340). Furaan en Benzo[a]pyreen kunnen genetische schade veroorzaken (H350 mutageen). Hierbij dient te worden opgemerkt dat Benzo[a]pyreen deel uitmaakt van de groep stoffen die ook wel wordt aangemerkt als polycyclische

aromatische koolwaterstoffen (PAK's). Deze groep bevat naast Benzo[a]pyreen nog meer kankerverwekkende stoffen.

In Tabel 12 is een overzicht gegeven van de onderzochte stoffen die (verdacht) kankerverwekkende eigenschappen hebben of het vermogen om genetische schade te veroorzaken.

Tabel 12: Overzicht belangrijkste kankerverwekkende en mutagene stoffen in rook door brand

Naam	Inademing - herhaalde blootstelling	Kankerverwekkend volgens H-zinnen	Mutageen, volgens H-zinnen	Register CMR Nederland 2016
Benzeen		Kan kanker veroorzaken	Kan genetische schade veroorzaken	Kankerverwekkend Mutageen
Formaldehyde		Kan kanker veroorzaken	Verdacht van het veroorzaken van genetische schade	Kankerverwekkend
Aceetaldehyde		Verdacht van het veroorzaken van kanker	Nee	Kankerverwekkend
Fenol		Nee	Verdacht van het veroorzaken van genetische schade	Nee
Furaan		Kan kanker veroorzaken	Verdacht van het veroorzaken van genetische schade	Kankerverwekkend
TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine)		Nee	Nee	Kankerverwekkend, veilige ondergrens
TDI - 2,4-tolueendi-isocynaat		Verdacht van het veroorzaken van kanker	Nee	Nee
Benzo[a]pyreen (PAK)		Kan kanker veroorzaken	Kan genetische schade veroorzaken	Kankerverwekkend Mutageen

TCDD (behorend tot de groep dioxinen) is kankerverwekkend, maar in tegenstelling tot veel andere kankerverwekkende stoffen kent TCDD een veilige ondergrens.

Formaldehyde heeft een versterkend effect op het kankerverwekkend vermogen van andere stoffen¹⁹.

(Verdacht) reprotoxische stoffen

Zoals reeds gemeld bij §3.3.1 zijn er een aantal stoffen die de vruchtbaarheid en de ontwikkeling van het ongeboren kind kunnen beïnvloeden (Lood, Benzo[a]pyreen en Hexaan). Deze effecten kunnen mogelijk optreden bij herhaalde blootstelling.

(Chronische) luchtwegeffecten

Er zijn verschillende stoffen die bij herhaalde blootstelling mogelijk een effect hebben op luchtwegen, met name op de ontwikkeling van astma en verhoogde gevoeligheid voor longontstekingen. Een overzicht van deze stoffen is opgenomen in Tabel 13.

Tabel 13: Effecten op luchtwegen bij herhaalde blootstelling

Naam	Inademing - herhaalde blootstelling	Effect
NO ₂ - Stikstofdioxide		Ontstekingen en verminderde longfunctie bij langdurige blootstelling
SO ₂ - Zwaveldioxide		Aandoening longen, astma/COPD; niet bewezen
Acroleïne		Kans op aandoening van slijmvliezen van de bovenste luchtwegen, altijd eerst irritatie bovenste luchtwegen
Formaldehyde		Astma, irritatie bovenste luchtwegen
TDI - 2,4-tolueendi-isocynaat		Astma
Methylisocynaat		Astma
Fenylisocynaat		Astma, chronische ontstekingen van neus t/m longen, longfibrose
Fosgeen		Verhoogde gevoeligheid voor longontsteking bij langdurige blootstelling
Perfluoroisobutene (PFIB),		Verhoogde gevoeligheid voor longontsteking bij langdurige blootstelling
HF - Waterstoffluoride		Ernstige schade aan luchtwegen
Ultrafijn stof/ nanoparticles		(Hartvaatziekten en) longziekten ^{26,27}
PM 2,5		(Hartvaatziekten en) longziekten ²⁶

Effecten op het zenuwstelsel - oplosmiddelen

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van stoffen die via de longen opgenomen kunnen worden in het lichaam en die een effect hebben op het zenuwstelsel.

Tabel 14: Stoffen die effect hebben op het zenuwstelsel bij herhaalde blootstelling

Naam	Inademing herhaalde blootstelling	Effect zenuwstelsel
Benzeen		Centraal zenuwstelsel
Styreen		Centraal zenuwstelsel
Xyleen		Centraal zenuwstelsel
Tolueen		Centraal zenuwstelsel
Fenol		Centraal zenuwstelsel, lever en nieren
Hexaan		Perifeer zenuwstelsel.

Overige effecten

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van stoffen die via de longen worden opgenomen in het lichaam en elders andere toxicologische effecten kunnen geven.

Tabel 15: Stoffen die bij herhaalde blootstelling verschillende effecten op het lichaam kunnen hebben

Naam	Inademing - herhaalde blootstelling	Effect
CO - Koolmonoxide		Asfyxiant (systemisch), Parkinsonachtige verschijnselen, psychische problemen
NO ₂ - Stikstofdioxide		Bloedschade (methemoglobinemie), bij langdurige blootstelling (bijv. luchtverontreiniging)
HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur)		Asfyxiant (systemisch), bloedarmoede, schildklierfunctiestoornissen, en aspecifieke klachten zoals hoofdpijn
Ultrafijn stof/ nanoparticles		Effect op hartvaatziekten ^{26,27,28,29,30, 31}
PM2,5		Effect op hartvaatziekten ²⁶

Naam	Inademing - herhaalde blootstelling	Effect
> TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine)		Zeer giftige stof (veroorzaakt o.a. chlooracne. TCDD is de meest giftige stof in deze groep dioxines*). TCDD lijkt vooral via eten (hand-mond contact) het lichaam te bereiken. Er zijn ook geen grenswaarden voor de luchtconcentratie.

*) 'Dioxine' is een verzamelnaam voor een aantal chemisch verwante verbindingen. Er zijn 75 gechloroerde dibenzo-p-dioxinen (PCDD's) en 135 dibenzofuranen (PCDF's). Deze 210 gechloroerde verwante verbindingen worden congenere genoemd. Ten gevolge van een lange eliminatie-halveringstijd zijn van deze 210 gechloroerde verbindingen de concentraties van de 17 2,3,7,8-chloorgesubstitueerde dioxinen en -furanen bij zoogdieren in de lever en het vetweefsel hoger dan in andere organen en weefsels. Deze 17 verbindingen tonen toxische effecten bij extreem lage doses in vergelijking met de overige dioxinen en furanen en men noemt deze daarom de toxische congenere. TCDD is de meest giftige stof in deze groep.

3.4.2 Via de huid

Op basis van de gevarenclassen (H zinnen) en literatuuronderzoek is bepaald welke van de 32 geselecteerde stoffen mogelijk via de huid in het lichaam kunnen worden opgenomen. Dit zijn 22 stoffen. Voor deze 22 stoffen met behulp van IH SkinPerm bepaald in hoeverre huidopname een belangrijke factor is ten opzichte van de inhalatoire blootstelling. Een overzicht hiervan is opgenomen in onderstaande tabel.

Tabel 16: Indeling van stoffen op basis van de verhouding tussen opname via de huid en opname via ademhaling.

Dermale/respiratoire opname ratio	Uitleg	Indeling stoffen
> 2	Huidopname belangrijke of grootste factor t.o.v. inhalatoire opname	HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur) Fenol
> 1-2	Huidopname relevante factor t.o.v. inhalatoire opname, maar niet dominant	Fenylisocyanaat Pyreen Benzo[a]pyreen
> 0,1 - 1	Inhalatoire opname is belangrijkste factor, huidopname is geringe, maar aanwezige factor	Dibenzofuraan TDI Styreen
> 0,01 - 0,1	Inhalatoire opname is belangrijkste factor, huidopname is geringe factor	Tolueen Xyleen Ethylbenzeen Furaan Benzeen
≤ 0,01	Inhalatoire opname is belangrijkste factor, huidopname is zeer gering/niet relevant	Acroleïne Formaldehyde (waarde voor vloeistof – niet voor gas) Methylisocyanaat Fosgeen PFIB HF - Waterstoffluoride TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine) Hexaan

Het feit of huidopname een relevante factor is (t.o.v. inademing) en de potentie om effecten te veroorzaken in het lichaam heeft geleid tot een verder gevarenklasse indeling van deze 22 stoffen.

In tabel 17 is een overzicht gegeven van stoffen die bij herhaalde blootstelling aan rook door brand mogelijk relevant zijn door huidopname of het veroorzaken van huidallergie/huidkanker. In tabel 18 zijn stoffen opgenomen die ingedeeld zijn in de categorie 'groen' op basis van hun H-zinnen en/of

literatuur. Deze stoffen worden niet als relevant geacht voor huidopname bij blootstelling aan rook veroorzaakt door brand.

Tabel 17: Gevaarsindeling van stoffen op basis van gevaarseigenschappen en de mate waarin ze door de huid kunnen worden opgenomen.

Naam	Huid - herhaalde blootstelling	H-notatie	Huidopname genoemd in literatuur	Belang huidopname t.o.v. inhalatoire opname (Skinperm)	Effect
HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur)		ja	Ja, zeer snelle huidopname	Belangrijk	Asfyxiant (systemisch), bloedarmoede, schildklierfunctiestoornissen, en aspecifieke klachten zoals hoofdpijn.
Benzeen		ja	Ja, maar geringe huidopname	Geringe factor	Kankerverwekkend en mutageen
Fenol		ja	Ja, snelle huidopname	Belangrijk	Fenol kan kankerverwekkende eigenschappen van andere stoffen (zoals Benzo(a)pyreen (PAK) - die huidkanker veroorzaakt) versterken (synergetische werking)
TDI - 2,4-tolueendi-isocyanaat		nee	nee	Gering, maar aanwezig	Huidallergie
Methylisocyanaat		nee	Ja, mate onbekend	Zeer gering/niet relevant	Huidallergie
Fenylisocyanaat		nee	nee	Relevant, niet dominant	Huidallergie
Benzo[a]pyreen (PAK)		nee	Ja, zeer snelle huidopname	Relevant, niet dominant	Kankerverwekkend, zowel na opname door de huid als ook direct veroorzaker van huidkanker
Furaan		nee	Ja, maar gering	Geringe factor	Kankerverwekkend

Bij herhaalde blootstelling aan stoffen in rook door brand vormen vooral stofvormige componenten een potentieel gevaar. Met name bij Benzo[a]pyreen (PAK) is er een gevaar op huidkanker. Deze stof wordt snel opgenomen via de huid.

Ook HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur) wordt zeer snel door de huid opgenomen. Afhankelijk van de dosis kan het op verschillende plaatsen in het lichaam klachten veroorzaken.

Benzeen en Furaan zijn potentieel gevaarlijke stoffen aangezien deze respectievelijk bewezen kankerverwekkend en mutageen zijn. De opname door de huid is echter gering. Benzeen heeft wel een huidnotatie, maar in de literatuur wordt aangegeven dat absorptie door de huid meestal laag is door de snelle verdamping van benzeen^{19,16}.

Er is ook een reële kans dat sommige stoffen die gelijktijdig in brand voorkomen elkaars effect versterken. Dierstudies suggereren dat Formaldehyde het effect van andere kankerverwekkende stoffen versterkt en allergische ontstekingsreactie op allergenen bevordert of versterkt¹⁹. Ook bij Fenol wordt aangegeven dat het kankerverwekkende eigenschappen van andere stoffen kan versterken. Daarnaast kan het op verschillende plaatsen in het lichaam schade veroorzaken (o.a. lever en nieren). Fenol wordt relatief snel door de huid opgenomen.

Tabel 18: Stoffen die een H-notatie hebben of waarbij huidopname wordt vermeld in literatuur, maar die ingedeeld zijn in de laagste gevarenklasse.

Naam	Huid - herhaalde blootstelling	H-notatie	Huidopname genoemd in literatuur	Belang huidopname t.o.v. inhalatoire opname (SkinPerm) ¹⁶	Opmerking
Styreen		nee	ja	Geringe, maar aanwezig	Styreen wordt opgenomen door de huid, huidopname wordt echter niet als relevante bron gezien voor werknemers.
Xyleen		ja	ja	Geringe factor	Xyleen kan worden opgenomen door de huid (zowel vloeistof als damp), maar niet in die mate als via inhalatie (er zijn geen significante effecten te verwachten via deze route).
Tolueen		nee	ja	Geringe factor	Wel snelle opname, doch pas effecten bij hoge concentraties
Ethylbenzeen		ja	ja	Geringe factor	Ethylbenzeen wordt in relatief kleine hoeveelheden opgenomen door de huid. Er worden geen schadelijke effecten verwacht door huidopname.
Acroleïne		nee	ja	Zeer gering/niet relevant	Directe effecten (bijtend) zullen eerst optreden. In Cheminfo geen aanwijzingen dat huidopname plaatsvindt ¹⁹ . In chemiekaartenboek geen beschrijving van systemische effecten
Pyreen		Nee	ja	Relevant, niet dominant	Geen effecten bekend

3.4.3 Via de mond

Op basis van literatuur worden effecten via de mond niet logisch geacht bij gassen. Verder zijn er veel relatief laag toxische stoffen, ervan uitgaande dat er alleen sprake is van hand-mond contact.

Er zijn drie mogelijk risicovolle stoffen/stofgroepen, waarvan twee op basis van hun potentie om kanker te kunnen veroorzaken:

- Een aantal Polycyclische Aromatische Koolwaterstoffen (PAK), met Benzo[a]pyreen als een van de belangrijkste;
- Een aantal dioxines; TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine) is de meest giftige, deze stof veroorzaakt chlooracne en is ook kankerverwekkend;
- Lood – heeft vooral effect op de vruchtbaarheid van de man.

4 Discussie en beschouwing

Rook is gecombineerde blootstelling

Bij rook door brand komen veel verschillende stoffen vrij. Sommige van deze stoffen hebben dezelfde werking of effect op het lichaam, waardoor de effecten van deze stoffen als het ware bij elkaar opgeteld moeten worden (zogenaamde additieve werking). Dit geldt bijvoorbeeld voor asfyxantia en oplosmiddelen. Bij de interpretatie van de gevaren van de verschillende stoffen is in dit onderzoek gekeken naar de afzonderlijke stoffen en is geen rekening gehouden met gecombineerde blootstelling.

Het kan ook zijn dat stoffen elkaars werking versterken (zogenaamde synergetische werking). Voorbeelden hiervan zijn Fenol en Formaldehyde. Deze stoffen kunnen kankerverwekkende eigenschappen van andere stoffen (zoals Benzo[a]pyreen (PAK)) versterken. De synergetische werking van verschillende stoffen is echter vaak niet bekend. Bij de interpretatie van de gevaren van stoffen in dit onderzoek is deze werking dan ook niet meegenomen, maar hooguit als opmerking toegevoegd wanneer in de literatuur specifiek een synergetische werking is genoemd.

Rook en gezondheidseffecten in het algemeen

In dit onderzoek zijn de gezondheidseffecten van de afzonderlijke stoffen in rook bekeken vanuit een theoretisch kader. Uit de literatuur is echter reeds bekend dat blootstelling aan rook gezondheidsklachten kan veroorzaken. Zo rapporteerde F. Greven in 2011⁶ een toename van luchtwegklachten na een inhalatie-incident, maar ook een toename van de kans op luchtwegklachten met een toename van het aantal uitrukken. Tevens zijn effecten groter bij mensen met aanleg voor astmatische aandoeningen (atopie) en heeft onderzoek aangetoond dat bij de brandweer meer astma voorkomt dan bij de gewone bevolking^{6,32}.

Deze bevindingen zijn in lijn met de uitkomsten van dit onderzoek. Er zijn namelijk specifiek een aantal stoffen in rook door brand aanwijsbaar, die bij inademing (inhalatoire blootstelling) chronische luchtwegklachten kunnen veroorzaken. Daarnaast ondersteunen deze bevindingen ook de eerdere opmerking van de onvolledige werking van de gebruikte ademhalingsbescherming.

Rook en andere bronnen in omgeving

Bij het bestrijden van brand kan naast rook ook blootstelling optreden aan andere verbrandingsgassen, veroorzaakt door aggregaten, dieselveertuigen en/of sigarettenrook. Deze andere verbrandingsgassen bevatten deels dezelfde schadelijke stoffen die ook in rook door brand voorkomen. Zowel dieseluitlaatgassen als sigarettenrook zijn bewezen kankerverwekkend en kunnen tevens klachten aan de luchtwegen veroorzaken.

Deze blootstellingen aan andere bronnen zijn niet los te zien van blootstellingen aan rook door brand als het gaat om de gevaarsindicatie en risicobeoordeling. Deze bronnen zijn niet meegenomen in het uitgevoerde onderzoek, maar ze kunnen wel invloed hebben op het uitvoeren van risicoanalyses en het nemen van maatregelen.

Specifieke stoffen bij bedrijven

Zoals eerder genoemd kunnen er specifieke gevaren/risico's ontstaan wanneer branden moeten worden geblust in situaties waarin specifieke gevaarlijke stoffen aanwezig zijn, zoals bijvoorbeeld in bepaalde BRZO-bedrijven. Deze gevaren/risico's zijn niet meegenomen in dit onderzoek en zouden moeten worden meegenomen binnen rampenbestrijdingsplannen van de desbetreffende bedrijven.

Omdat dit in de praktijk nog lang niet altijd het geval is, kan dit worden aangemerkt als een extra en nog onvoldoende gecontroleerd risico voor de brandweer.

5 Conclusies

Er zijn aan het begin van dit rapport een aantal vraagstellingen geformuleerd. Deze worden hieronder achtereenvolgens beantwoord.

Wat zijn de opnameroutes van de meest belangrijke toxische stoffen die voorkomen in rook door brand?

Eenmalige blootstelling

Bij eenmalige blootstelling is opname via de inademing de belangrijkste route. De kans op effecten die optreden bij eenmalige (hoge) blootstelling via de huid wordt gezien als klein.

- Inademing

Het grootste gevaar bij eenmalige blootstelling aan rook vormt een relatief grote groep stoffen die een direct negatief effect hebben op de luchtwegen en enkele stoffen die invloed hebben op het zuurstoftransport of de celademhaling.

- Huid

Er zijn 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. Het gaat hierbij met name om HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur). In de literatuur zijn echter geen effecten beschreven door huidopname van HCN veroorzaakt tijdens reguliere branden, maar alleen in situaties waarbij specifiek blauwzuur vrijkwam.

Herhaalde blootstelling

Ook bij herhaalde blootstelling aan stoffen in rook door brand lijkt de inademing de belangrijkste opnameroute voor meerdere stoffen. De opnameroute via de huid is slechts voor een beperkt aantal stoffen van belang.

- Inademing

Meerdere stoffen in rook kunnen, bij herhaalde blootstelling, astma veroorzaken. Eerder onderzoek heeft aangetoond dat bij de brandweer meer astma voorkomt dan in de gewone bevolking en dat de kans toeneemt met het aantal uitrukken⁴. Dit duidt erop dat er wel degelijk blootstelling plaatsvindt via ademhaling, ondanks het gebruik van ademhalingsbescherming.

Er zijn daarnaast behoorlijk wat stoffen die bij intermitterende blootstelling andere gezondheidsschade kunnen veroorzaken zoals kanker, hart- en vaatziekten, effecten op zenuwstelsel en dergelijke. Of deze effecten daadwerkelijk optreden is afhankelijk van de mate van blootstelling aan rook (en eventueel andere bronnen in de omgeving zoals sigarettenrook en dieselluitlaatgassen).

- Huid

Bij herhaalde huidblootstelling aan stoffen in rook door brand zijn specifieke componenten in stof van belang. Het gaat hierbij met name om Benzo[a]pyreen (PAK), dat huidkanker kan veroorzaken en snel opgenomen wordt via de huid. Gelijktijdige blootstelling aan Fenol versnelt de huidopname van Benzo[a]pyreen (PAK) in het lichaam en gelijktijdige blootstelling aan formaldehyde kan mogelijk de kankerverwekkende eigenschappen versterken. Daarnaast zijn

Benzeen en Furaan potentieel gevaarlijke stoffen, aangezien benzeen bewezen kankerverwekkend is voor de mens en furaan mutagene eigenschappen heeft. De opname door de huid is bij deze stoffen echter gering.

HCN – Waterstofcyanide (Blauwzuur) wordt snel opgenomen door de huid en kan afhankelijk van de dosis op verschillende plaatsen in het lichaam inwerken. Tot slot zijn er een aantal stoffen in rook die een huidallergie kunnen veroorzaken, zoals Isocyanaten.

- **Opname via de mond**

Via hand-mond contact zijn er drie stoffen die op basis van hun eigenschappen een gevaar kunnen vormen, namelijk Benzo[a]pyreen (PAK) en TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine) door kankerverwekkende eigenschappen en Lood door reprotoxische eigenschappen (negatief effect voor mannelijke vruchtbaarheid).

Is huidopname een reële route bij blootstelling aan toxische stoffen die voorkomen in rook door brand?

Huidopname is een reële route voor een zeer beperkt aantal stoffen. Derhalve dient huidblootstelling zeker te worden meegenomen in toekomstige risicobeoordelingen.

Hoe staat deze opnameroute in verhouding met andere opnameroutes (via de ademhaling en via de mond)?

Wat betreft de verhouding tussen gevaren bij inademing en huidblootstelling kan worden gesteld dat bij blootstelling aan stoffen bij rook door brand de opname via inademing het grootste gevaar met zich meebrengt. Het risico op inademen is aanwezig, wanneer bijvoorbeeld als het masker te vroeg wordt afgedaan, het masker niet goed aansluit op het gezicht en/of wanneer men onbeschermd op onvoldoende afstand van de brand staat. Hierbij dient opgemerkt te worden dat ook blootstelling kan plaatsvinden via inademing van andere bronnen waarbij verbrandingsprocessen plaatsvinden, zoals sigaretten of verbranding van diesel (o.a. relevant voor de pompbediener).

Wat zijn de meest kritische stoffen voor opname via de huid?

Het gevaar door huidopname en huideffecten is vooral aanwezig bij herhaalde blootstelling. De meest kritische stof voor opname via de huid is Benzo[a]pyreen (PAK). Gelijktijdige blootstelling aan Fenol versnelt de huidopname van Benzo[a]pyreen (PAK) in het lichaam. PAK is een belangrijke component omdat deze bij alle branden voorkomt.

Benzeen en Furaan zijn ook kritische stoffen, gezien hun kankerverwekkende eigenschappen, maar deze stoffen worden minder snel opgenomen dan Benzo[a]pyreen.

6 Aanbevelingen

Naar aanleiding van de resultaten van het onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

1. Inademing van stoffen

Omdat inademing van stoffen het grootste gevaar vormt, is blijvende aandacht voor het voorkomen van inademing van rook belangrijk.

Geadviseerd wordt om nog beter te borgen dat inademing van rook wordt voorkomen. Dit kan door:

- Het uitvoeren van nader onderzoek om de momenten waarop rook kan worden ingeademd nog beter in kaart te brengen, zoals bij het te snel afzetten van ademhalingsbescherming, onverwachts draaien van de wind. Op basis van bevindingen kunnen mogelijk nog meer maatregelen worden genomen om onnodige blootstelling te voorkomen.
- Versterken van bewustwordingsproces van de brandweer wanneer blootstelling aan rook plaats kan vinden, bijvoorbeeld door de blootstelling bij verschillende werkmethoden letterlijk zichtbaar te maken door middel van visualisatiemethoden (zoals Pimex*). Aanbevolen wordt dit te koppelen aan een goede voorlichtingscampagne.
- Het invoeren van de zogenaamde 'fittest' voor iedereen die ademhalingsbescherming draagt, zodat het masker altijd goed aansluit op het gezicht.

**) PIMEX, voluit Picture Mix Exposure, is een methode om het effect van werkmethoden en werkplekomstandigheden op de blootstelling aan gevaarlijke stoffen, nano-deeltjes, fysieke inspanning en geluid, te meten en tegelijkertijd in één videoscherm laten zien*

2. Van gevaar naar risico

Dit onderzoek heeft zich met name gefocust op gevaren en gevaarspotentie van meest belangrijke 32 stoffen in rook. Om meer te weten te komen over het daadwerkelijk risico van deze stoffen in rook door brand is vervolgonderzoek nodig naar de daadwerkelijke blootstelling en opname in het lichaam. De eerste stap hierbij is om de beschikbare literatuur over de concentratieranges van deze stoffen in rook en de uitkomsten van dit onderzoek naast elkaar te leggen. Op deze wijze kunnen de meest kritische stoffen worden bepaald en uitspraken worden gedaan over het risico op gezondheidseffecten.

Aan de hand hiervan kan tevens worden bepaald of deze kritische stoffen op dit moment al worden gemeten of dat er aanpassing nodig is.

3. Huidblootstelling en huidopname

Net als voor inademing geldt dat voor de huid in kaart dient te worden gebracht, wanneer er tijdens de repressie huidblootstelling is en wanneer eventueel huidopname plaatsvindt.

De uitkomsten van dit onderzoek staan niet op zichzelf en zullen moeten worden gecombineerd met de twee onderzoeken naar vervuiling, doorlaatbaarheid en reinigbaarheid van beschermende brandweerkleding en belasting van de huid. Als blijkt dat de brandweerkleding bepaalde stoffen toch doorlaat, is het van belang om voor de stoffen met huidopname te bepalen hoeveel er tijdens de repressie daadwerkelijk opgenomen kan worden.

Indien de pakken doorlaatbaar zijn is het mogelijk dat stoffen tussen het pak en de huid opgesloten kunnen raken (occlusie). Deze factor heeft invloed op de hoeveelheid en

karakteristiek van de huidopname en zal meegewogen moeten worden in de schatting van de huidopname.

Welke verdere maatregelen/onderzoeken er nodig zijn of welke adviezen kunnen worden gegeven hangt mede samen met de uitkomsten van de overige twee onderzoeken.

4. Hand-mond contact en huidcontact voorkomen
Aanbevolen wordt om de reeds gemaakte hygiëneregels en afspraken over eten/drinken/roken tijdens en na bluswerkzaamheden om hand-mond contact en huidcontact te voorkomen te versterken. Een overweging is om hier ook voorlichting te geven met ondersteuning van visualisatiemethoden.
5. Monitoring
Te overwegen valt om, na het doorvoeren van maatregelen, te monitoren of deze maatregelen afdoende zijn. Het inzetten van biologische monitoring, waarbij wordt gemeten of stoffen ook daadwerkelijk in het lichaam worden opgenomen, zou hiervoor als optie nader kunnen worden bekeken.
6. Bijzondere stoffen
Dit rapport heeft alleen stoffen beoordeeld, die het meeste voorkomen in rook door brand. Bij het blussen van branden bij bedrijven/transportmiddelen kunnen hele andere stoffen het grootste risico vormen. Geadviseerd wordt om binnen rampenbestrijdingsplannen hiervan een beoordeling te maken.

Literatuur en geraadpleegde bronnen

- 1) IFV, Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de Brandweer; een literatuurreview, Versie: 2.0, 03 november 2015
- 2) IFV, Onderzoek naar rook als beroepsrisico bij de brandweer; deel 2, aanvulling op literatuurreview, Versie: 1.0, 12 oktober 2016
- 3) Mennen M.G. , Kooi E.S., Heezen P.A.M., van Munster G., Barreveld H.L., Verspreiding van stoffen bij branden: een verkennende studie, RIVM- Rapport 609022031/2009, RIVM, Bilthoven 2009
- 4) Brandt-Rauf PW, Fallon LF, Jr., Tarantini T, Idema C, Andrews L. Health hazards of fire fighters: exposure assessment. Br J Ind Med; 45(9):606-612. 1988
- 5) Burgess JL, Nanson CJ, Bolstad-Johnson DM, Gerkin R, Hysong TA, Lantz RC et al. Adverse respiratory effects following overhaul in firefighters. J Occup Environ Med; 43(5):467-473. 2001
- 6) Greven, F, Respiratory effects of fire smoke exposure in firefighters and the general population; Thesis. Utrecht UU-IRAS 2011
- 7) Diemel, et al. Dossier Algemeen Stoffenbeleid, 2009
- 8) Blomqvist P., Andersson P., Simonson M., van den Berg M, Canton R.F., Institute for Risk Assessment Sciences (IRAS), Review of Fire Emissions from Products with and without BFRs and the Hazard of Exposure for Fire Fighters and Clean-up Crews, SP Report 2007:74 (version 2 updated 2011-09-28)
- 9) Mennen, M.G. en Belle, N.J.C. van , Emissies van schadelijke stoffen bij branden. RIVM-rapport nr. 609021051. RIVM, Bilthoven 2007
- 10) Chemiekaarten 2017, gegevens voor veilig Werken met chemicalien, Sdu 2017
- 11) <https://echa.europa.eu/nl/home> geraadpleegd tussen jan-april 2017
- 12) www.stoffenmanager.nl
- 13) <http://www.hse.gov.uk/coshh/essentials/>
- 14) Alphen W.J.T. van et al., Handboek Arbeidshygiëne, Kluwer 2011
- 15) Normering van huidblootstelling op de werkplek, Gezondheidsraad Health Council of the Netherlands 2002
- 16) Alphen W.J.T. van et al., Arbeid en gezondheid 2016, Vakmedianet, Alphen aan den Rijn, 2016
- 17) IH SkinPerm: <https://www.aiha.org/get-involved/VolunteerGroups/Pages/Exposure-Assessment-Strategies-Committee.aspx> (geraadpleegd februari-april 2017)
- 18) Chemspider: <http://www.chemspider.com/> (geraadpleegd februari-april 2017)
- 19) Cheminfo, <http://ccinfoweb.ccohs.ca/cheminfo/search.html> geraadpleegd in maart 2017
- 20) RIVM, interventiewaarden 2016, http://www.rivm.nl/rvs/Normen/Rampen_en_incidenten/Interventiewaarden (geraadpleegd maart 2017)
- 21) Walter F.G., Schauben J.L, Klein R., Thomas R.G. Advanced Hazmat Life Support provider manual, The University of Arizona 2015
- 22) Wakefield J.C. A toxicological review of the products of combustion, HPA Chemical hazards and poisons division, Oxfordshire, UK 2010
- 23) VFDB, richtlinie Schädstoffe bei Brande, March 2005
- 24) Brooks S.M , Malo J., Gautrin D., Irritant-induced asthma and reactive airways dysfunction syndrome, Taylor & Francis Group, LLC 2013

- 25) Franzblau A., Sahakian N., Asthma following household exposure to hydrofluoric acid, *Am J Ind Med.* 44(3):321-4 .2003
- 26) World Health Organization, Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project, 2013
- 27) Hoek G. et al, Concentration Response Functions for Ultrafine Particles and All-Cause Mortality and Hospital Admissions: Results of a European Expert Panel Elicitation, *Environ. Sci. Technol*, November 5, 2009
- 28) Broekhuizen P., Process-generated nanoparticles, ignored and uncomfortable sources of workplace exposure to nanoparticles Pieter van Broekhuizen, IVAM UvA, SENN2015 – International Congress on Safety of Engineered Nanoparticles and Nanotechnologies Helsinki, Finland; 12-15 April 2015
- 29) Prakash Y.S., Matalon S., Nanoparticles and the lung: friend or foe?, *American Journal of Physiology - Lung Cellular and Molecular Physiology* Published 1 March 2014 Vol. 306 no. 5, L393-L396 DOI: 10.1152/ajplung.00013.2014
- 30) European Agency for health and safety at work, Workplace exposure to nanoparticles, 2009
- 31) Zelfinspectie instrument I-SZW, registratie tabel, (geraadpleegd maart 2017)
- 32) Greven F.E., Rooyackers J.M., Kerstjens H.A., Heederik D.J. Respiratory symptoms in firefighters. *Am J Ind Med* 2011

Bijlage 1 Uitvoering en bijeenkomsten

Het project is uitgevoerd in de periode november 2016 – april 2017. Het is uitgevoerd door:

- drs. ing. Jolanda Willems MBA*), gecertificeerd toxicoloog en arbeidshygiënist, Coöperatie PreventPartner – projectleider;
- dr. Remko Houba*), arbeidshygiënist en onderzoeker, IRAS, NKAL en Coöperatie PreventPartner;
- dr. Frans Greven*), geregistreerd toxicoloog-onderzoeker, GAGS, GGD Groningen, met specifiek aandachtsgebied: selectie stoffen bij branden en de relatie rookblootstelling – gezondheidseffecten;
- drs. Ellen Wissink, gecertificeerd arbeidshygiënist (Coöperatie PreventPartner), met specifiek aandachtsgebied: huid(modellen).

De volgende deskundigen zijn betrokken bij dit onderzoek (Expertgroep):

- drs. Ronald Heus*), IFV – opdrachtgever;
- ir. Peter Bos, RIVM, vanwege zijn specifieke kennis over huidopname; Toetsing van control banding;
- dr. Wouter Fransman, TNO, vanwege zijn specifieke kennis over huidopname;
- dr. Koen Desmet, Kapitein Brandweerzone Centrum, SCK-CEN Academy Gent/Gastprofessor Universiteit Antwerpen - voormalig onderzoeker naar stoffen in rook afkomstig van branden;
- dr. Marcel Mennen, RIVM, kennis over stoffen in rook;

Voor de projectmatige en inhoudelijke uitvoering van het onderzoek is een projectgroep samengesteld. De leden van de projectgroep zijn aangegeven met *).

Voor het onderzoek zijn de volgende bijeenkomsten gehouden:

Tabel 19: Overzicht bijeenkomsten onderzoek

Soort bijeenkomst	Deelnemers	Resultaat bijeenkomst	Datum
Startbijeenkomst	Projectgroep	Detailopzet project, voorbereiding bijeenkomsten	December 2016
Expertsessie huidopname	E. Wissink, P. Bos, J. Willems, W. Fransman, R. Heus	Vaststelling van toe te passen methodiek voor huidblootstelling/-opname en toetsing van control banding van voor de gezondheid meest kritische stoffen in rook door brand	18-1-2017
Expertsessie rook	K. Desmet, M. Mennen, F. Greven + projectgroep	Selectie van de voor de gezondheid meest kritische stoffen in rook door brand	19-1-2017
Inventarisatie blootstelling bij brand	Ervaringsdeskundigen vanuit brandweer + projectgroep	Eerste ruwe inventarisatie gemaakt met diverse stakeholders in het veld, door middel van een eenmalige bijeenkomst, om worst case situaties en de gemiddelde blootstelling per brand in kaart te brengen	
Bespreking uitkomsten met veiligheidscommissie brandweer	J. Willems, F. Greven R. Heus	Bespreking van aanbevelingen uit rapportage	20-4- 2017

Bijlage 2 Achtergrondinformatie gevaren van stoffen en H-zinnen

Het ontstaan van effecten door toxische stoffen verschilt van stof tot stof. Belangrijke aspecten van de toxische werking zijn:

- Directe optredende effecten versus verlaat optredende effecten - De meeste stoffen geven direct na toediening een effect, terwijl kankerverwekkende stoffen zich pas na een lange latentietijd openbaren.
- Reversibele (omkeerbare) versus irreversibele (onomkeerbare) effecten.
- Lokale effecten versus systemische effecten - Lokale effecten ontstaan op de plaats van contact, zoals huid, ogen of luchtwegen. Systemische effecten ontstaan ergens in het lichaam na transport van de stof. De plaats waar het effect zich openbaart is het doelorgaan ('target').

Een andere indeling van toxische stoffen is naar de aard van symptomen en de plaats van effect. Het gaat dan om de volgende klassieke indeling van toxische stoffen, die terug te zien is in de Hazard-zinnen:

- Irritantia en corrosieve stoffen: Irritantia zijn stoffen met een prikkelende werking op slijmvliezen van voornamelijk ogen en luchtwegen. Corrosieve stoffen hebben een sterkere inwerking op de slijmvliezen en huid.
- Asfyxantia (respiratievergiftigen): Dit zijn stoffen die de beschikbaarheid van zuurstof verminderen, door interactie op verschillende niveaus.
- Narcotica (bedwelmende of slaapwekkende stoffen).
- Systeem-toxische stoffen (orgaantoxische stoffen, bijvoorbeeld niertoxisch of neurotoxisch).
- Overige effecten (carcinogeen, reproductietoxisch, allergeen).

Is een toxisch effect vastgesteld, dan is het belangrijk te kijken naar het verband tussen de dosis (of concentratie) en het effect. De dosis-effectrelatie geeft het verband tussen de dosis de mate van effect. De dosis-responsrelatie geeft het verband tussen de dosis en het aantal personen van een groep dat reageert:

- Acute toxiciteit: de dosis-responsrelatie is vastgesteld bij kortdurende blootstelling (eenmalige toediening)
- Chronische toxiciteit: effecten ontstaan na een lange periode van blootstelling aan een stof

Stoffen worden geclassificeerd volgens de zogenaamde CLP-richtlijnen. Naast een gevarensymbool, krijgen ze ook waarschuwingssinnen, de zogenaamde H-zinnen. Een overzicht van de (voor dit onderzoek) relevante H-zinnen is gegeven in Tabel 20 op de volgende pagina.

Tabel 20: Overzicht relevante H-zinnen

Code	Van toepassing op	Tekst
H300	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 1 en 2	"dodelijk bij inslikken."
H301	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 3	"Giftig bij inslikken."
H302	Acute orale toxiciteit, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij inslikken."
H304	Aspiratiegevaar, gevarencategorie 1	"Kan dodelijk zijn als de stof bij inslikken in de luchtwegen terecht komt."
H310	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 1 en 2	"Dodelijk bij contact met de huid."
H311	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 3	"Giftig bij contact met de huid."
H312	Acute dermale toxiciteit, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij contact met de huid."
H314	Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 1A, 1B en 1C	"Veroorzaakt ernstige brandwonden en oogletsel."
H315	Huidcorrosie/-irritatie, gevarencategorie 2	"Veroorzaakt huidirritatie."
H317	Huidsensibilisatie, gevarencategorie 1	"Kan een allergische huidreactie veroorzaken."
H319	Veroorzaakt ernstige oogirritatie	
H330	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 1 en 2	"Dodelijk bij inademing."
H331	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 3	"Giftig bij inademing."
H332	Acute toxiciteit bij inademing, gevarencategorie 4	"Schadelijk bij inademing."
H334	Sensibilisatie van de luchtwegen, gevarencategorie 1	"Kan bij inademing allergie- of astmasymptomen of ademhalingsmoeilijkheden veroorzaken."
H335	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 3, irritatie van de luchtwegen	"Kan irritatie van de luchtwegen veroorzaken."
H336	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 3, narcotische werking	"Kan slaperigheid of duizeligheid veroorzaken."
H340	Mutageniteit in geslachtscellen, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan genetische schade veroorzaken <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H341	Mutageniteit in geslachtscellen, gevarencategorie 2	"Verdacht van het veroorzaken van genetische schade <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H350	Kankerverwekkendheid, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan kanker veroorzaken <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H351	Kankerverwekkendheid, gevarencategorie 2	"Verdacht van het veroorzaken van kanker <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."

Code	Van toepassing op	Tekst
H360	Voortplantingstoxiciteit, gevarencategorie 1A en 1B	"Kan de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden <specifiek effect vermelden indien bekend><blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H361	Voortplantingstoxiciteit, gevarencategorie 2	"Kan mogelijk de vruchtbaarheid of het ongeboren kind schaden <specifiek effect vermelden indien bekend> <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H362	Voortplantingstoxiciteit, aanvullende categorie, effecten op en via lactatie	"Kan schadelijk zijn via de borstvoeding."
H370	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 1	"Veroorzaakt schade aan organen <of alle betrokken organen vermelden indien bekend><blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H371	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij eenmalige blootstelling, gevarencategorie 2	"Kan schade aan organen <of alle betrokken organen vermelden indien bekend> veroorzaken <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H372	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij herhaalde blootstelling, gevarencategorie 1	"Veroorzaakt schade aan organen <of alle betrokken organen vermelden indien bekend> bij langdurige of herhaalde blootstelling <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
H373	Specifieke doelorgaantoxiciteit bij herhaalde blootstelling, gevarencategorie 2	"Kan schade aan organen <of alle betrokken organen vermelden indien bekend> veroorzaken bij langdurige of herhaalde blootstelling <blootstellingsroute vermelden indien afdoende bewezen is dat het gevaar bij andere blootstellingsroutes niet aanwezig is>."
EUH071		"Bijtend voor de luchtwegen."

Bijlage 3 Control banding

In de control banding is per blootstellingroute een gevaarsindeling gemaakt, waarbij onderscheid is gemaakt in eenmalige blootstelling en herhaalde blootstelling. In de rapportage zijn de tabellen opgenomen waarin een overzicht gegeven is op welke wijze stoffen zijn ingedeeld in gevarenklassen. Voor de indeling zijn een aantal overwegingen gemaakt. Voor de volledigheid en transparantie zijn deze overwegingen weergegeven in deze bijlage.

3.1 Eenmalige blootstelling

Bij de indeling van de eenmalige blootstelling is ervan uitgegaan dat brandweermensen door een incident duidelijk - hoog - zijn blootgesteld aan rook door brand.

De indeling in gevaren is uitgevoerd op basis van de H-zinnen en/of de alarmeringsgrenswaarden (AGW), met extra toets op effecten vanuit de toxicologische database Cheminfo. Een Alarmeringsgrenswaarde (AGW) is de luchtconcentratie waarboven onherstelbare of andere ernstige gezondheidseffecten kunnen optreden, of waarbij door blootstelling aan de stof personen minder goed in staat zijn zichzelf in veiligheid te brengen. Een overzicht van de AGW van de beoordeelde stoffen is opgenomen in Bijlage 6.

In het onderzoek is ervan uitgegaan dat eenmalige blootstelling geen blijvend effect heeft op de vruchtbaarheid.

Opname via inademing, effecten bij eenmalige blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Toelichting op gemaakte keuzes:

- Kankerverwekkendheid en mutageniteit zijn niet van toepassing bij eenmalige blootstelling aan stoffen in rook door brand. Eenmalige blootstelling aan CMR-stoffen heeft namelijk weinig tot geen invloed op het geaccepteerde eigen risico.

Opname via de huid, effecten bij eenmalige blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Toelichting op gemaakte keuzes:

- Bij blootstelling aan rook door brand is er geen directe aanraking van de huid met de zuivere stof, maar met roet/stofdeeltjes/gecondenseerde deeltjes (en dus altijd onderdeel van mengsels en derhalve lagere concentraties). Stofeigenschappen worden daarom qua gevaar één schaal lager ingedeeld dan de indeling in gevarenklasse van I-SZW (Zelfinspectie instrument I-SZW). Een ander argument is dat de blootstelling bij de brandweer intermitterend en niet continue is.
- Directe effecten op de huid (zoals bijtende werking) worden bij stoffen in rook door brand niet gerapporteerd. Om die reden zijn alle stoffen met bijtende/irriterende effecten op de huid ingedeeld in de laagste gevarenklasse.
- Kankerverwekkendheid en mutageniteit zijn niet van toepassing bij eenmalige blootstelling aan stoffen in rook door brand. Eenmalige blootstelling aan CMR-stoffen heeft weinig tot geen invloed op het geaccepteerde eigen risico.

3.2 Herhaalde blootstelling

Opname via inademing, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Toelichting op gemaakte keuzes:

- Bij de beoordeling van herhaalde blootstelling via inademing is ervan uitgegaan dat brandweermannen in de regel beschermd zijn tegen rook door middel van ademhalingsbescherming. Er kan echter (ongemerkt) herhaalde blootstelling optreden, bijvoorbeeld als er het masker te vroeg wordt afgedaan, als masker niet goed aansluit op het gezicht en/of wanneer men onbeschermd op onvoldoende afstand van de brand staat.
- Bij de beoordeling is gecorrigeerd voor het dragen van ademhalingsbescherming door stoffen in één gevarenklasse lager in te delen dan gebruikelijk wordt gedaan bij de control banding modellen²⁵. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat al deze stoffen een drempelwaarde kennen voor deze effecten. Dit geldt bijvoorbeeld voor H330 (zeer giftig via inademing). Deze H-zin staat bij alle control banding systemen in 'rood', maar worden in dit onderzoek in 'oranje' ingedeeld. H261F staat bij alle control banding systemen in 'oranje', maar worden in dit onderzoek in 'geel' ingedeeld. Een uitzondering is gemaakt voor kankerverwekkende en mutagene stoffen, omdat bij deze stoffen in de regel geen sprake is van een veilige dosis (zogenaamd stochastische werking) en derhalve wordt gerekend met een geaccepteerd risico.
- Voor de allergene stoffen is er in de regel geen veilige dosis te benoemen. Echter omdat de gevolgen minder groot zijn dan bij kankerverwekkende en mutagene stoffen zijn de stoffen die allergie kunnen veroorzaken (H334) ingedeeld in gevarenklasse 'oranje'.
- Reprotoxische stoffen die (mogelijk) invloed hebben op het ongeboren kind en stoffen die schadelijk kunnen zijn bij de borstvoeding (H362) zijn niet meegenomen in de control banding (H360D/H361D/H362).

Opname via de huid, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Toelichting op gemaakte keuzes:

- Bij herhaalde blootstelling via de huid aan stoffen in rook door brand is er geen directe aanraking van de huid met zuivere stof, maar met roet/stofdeeltjes/gecondenseerde deeltjes (en dus altijd onderdeel van mengsels en derhalve lagere concentraties). Daarnaast is de huidblootstelling bij de brandweer intermitterend en niet continue. Derhalve worden stoffeigenschappen qua gevaar één schaal lager ingedeeld dan de indeling in gevarenklasse van I-SZW (Zelfinspectie instrument I-SZW, zie Tabel 3 in deze bijlage), met uitzondering van stoffen met stochastische werking (mutageen en kankerverwekkend).
- Reprotoxische stoffen die (mogelijk) invloed hebben op het ongeboren kind en stoffen die schadelijk kunnen zijn bij de borstvoeding (H362) zijn niet meegenomen in de control banding (H360D/H361D/H362).

Opname via de mond, effecten bij herhaalde blootstelling aan rook (lokale en systemische effecten)

Toelichting op gemaakte keuzes:

- Gezien de relatief kleine hoeveelheden die via hand-mond contact door blootstelling aan stoffen in rook door brand kunnen worden opgenomen zijn effecten als chemische longontsteking (door braken e.d.) ingedeeld in gevarenklasse 'groen'.
- Bij blootstelling aan stoffen in rook door brand is er geen sprake van 'drinken van vloeistoffen en/of eten van stoffen'. Derhalve wordt de rode gevarenklasse bij blootstelling aan stoffen in rook door brand niet toegepast. Het is wel mogelijk dat blootstelling via de mond kan optreden

doordat er (met name na de repressie) gegeten, gedronken en gerookt wordt, in combinatie met slechte hygiëne. Het gaat hierbij dan om inname van relatief kleine hoeveelheden van de stof.

- Reprotoxische stoffen die (mogelijk) invloed hebben op het ongeboren kind en stoffen die schadelijk kunnen zijn bij de borstvoeding (H362) zijn niet meegenomen in de control banding (H360D/H361D/H362).

Tabel 21 Zelfinspectie instrument I-SZW, registratietabel²⁷

Gezondheidsgerelateerde H-zinnen		Gezondheidsrisico (GR)			
Kankerverwekkend	Schadelijk	Giftig (vergiftig)	Dodelijk (zeer vergiftig)	Irriterend	Brandwonden
351 H	332 M	331 H	330 HH	319 M	314 HH
350 HH	312 M	311 H	310 HH	335 M	
350i HH	302 M	301 M	300 H	315 M	
Mutageen					
340 HH					
341 H					
Reprotoxisch					
360F HH					
360D HH					
361f H					
361d H					
362 M					
Sensibiliserend					
334 HH					
317 H					
				Overige	
				EU071 H	
				370 HH	
				372 HH	
				318 HH	
				373 H	
				304 H	
				336 M	
				371 H	
				Overige H-zinnen of R-zinnen L	

Risico	Score
L= Laag	0
M= Middel	2
H= Hoog	5
HH= Zeer hoog	10

Bijlage 4 Toxidromen

Om acute effecten van stoffen snel te herkennen en in te delen wordt er in de praktijk gewerkt met zogenaamde toxidromen (HAZMAT). Van deze aanpak is gebruik gemaakt bij de beschrijving van de acute effecten.

Stoffen die acute effecten kunnen veroorzaken worden grofweg ingedeeld in vijf groepen/toxidromen:

- Koolwaterstoffen en gehalogeneerde koolwaterstoffen;
- Bijtende stoffen;
- Verstikkings/asfyxiantia;
- Cholinerge stoffen;
- Irritantia;

Wat betreft de irritantia wordt gekeken naar wateroplosbaarheid om het effect in te schatten (zie tabel 22).

Tabel 22: toelichting op indeling van irritante gassen op basis van oplosbaarheid en de te verwachten effecten.

Omschrijving type stof	Effecten bij hoge blootstelling
I Goede wateroplosbaarheid, werking in hogere luchtwegen <i>Bijv. chloor, zoutzuur, ammoniak, zwaveldioxide</i>	<u>Acuut</u> - de bovenste luchtwegen: Hoesten, keelpijn, brandend gevoel achter het borstbeen, pijn bij doorzuchten. Bij hoge blootstelling kans op zwelling van de stembanden en/of de luchtpijp met acuut verstikkingsgevaar. Kans op verstikking door diepe longschade (longoedeem) enkele uren na blootstelling. - <i>ogen: tranenvloed brandende pijnlijke ogen.</i>
II Matige wateroplosbaarheid, werking in lagere luchtwegen en longblaasjes <i>Bijv. Stikstofoxiden, fosgeen, ozon, fijnverdeelde olienevel</i>	ARDS (acute respiratory distress syndrome) met ernstige restschade voor de longen. Klachten openbaren zich met uren vertraging. Benauwdheid, cyanose, verstoorde gaswisseling. Geen effecten op circulatie.
III Slechte wateroplosbaarheid, geen effect in de longen maar systemische werking na opname <i>Bijvoorbeeld Koolmonoxide, cyaniden, Dichloormethaan, Organische oplosmiddelen</i>	Ernstige diverse effecten, afhankelijk van de stof.

Bijlage 5 Overzicht relevante fysische eigenschappen

Tabel 23: Overzicht relevante fysische eigenschappen

Naam	Formule	CAS-nummer	Alle H-zinnen ^{8,9}	LogKow ²⁷	relatieve molecuulmassa (MW in g/mol) ²⁷	H-notatie	Dermaal/ Respiratoire opname ratio*
CO - Koolmonoxide	CO	630-08-0	360D-331-372	1,78	28	nee	Niet berekend
NO ₂ - Stikstofdioxide	NO ₂	10102-44-0	330-314-EUH071	0,06	46	nee	Niet berekend
HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur)	HCN	74-90-8	300-310-330 (20 % in water)	-0,69	27	ja	2,94
SO ₂ - Zwaveldioxide	SO ₂	7446-09-5	331-314 (als drukhouder)	-2,20	64	nee	Niet berekend
HCL - Waterstofchloride (Zoutzuur)	HCl	7647-01-0	314-335	0,54	36,5	nee	0,00
Benzeen	C ₆ H ₆	71-43-2	350-340-372-304-319-315	1,99	78,1	ja	0,08
Styreen	C ₈ H ₈	100-42-5	361d-372-332-304-319-335-315	2,89	104,2	nee	0,15
Xyleen	C ₈ H ₁₀	1330-20-7	312 332 304 373 319 335 315	3,09	106,1	ja	0,06
Tolueen	C ₇ H ₈	108-88-3	361d, 304, 373, 319, 315, 336	2,54	92,1	nee	0,07
Ethybenzeen	C ₈ H ₁₀	100-41-4	332, 304, 373,	3,03	106,2	ja	0,06
Acroleïne	C ₃ H ₄ O	107-02-8	311-300-314-euh071	0,19	56,1	nee	0,00
Formaldehyde (als gas)	CH ₂ O	50-00-0	Vloeistof, gas is niet geëtiketteerd door EU 300-341-330-311-314-335-317	0,35	30	nee	0,00 Vloeistof
Aceetaldehyde	C ₂ H ₄ O	75-07-0	319-335-351	-0,17	44,1	nee	0,00
Fenol	C ₆ H ₆ O	108-95-2	341-301-311-331-373-314	1,51	94,1	ja	2,07
Furaan	C ₄ H ₄ O	110-00-9	302, 315, 332, 341, 350, 373	1,36	68,1	nee	0,10
Dibenzofuraan	C ₁₂ H ₈ O	132-64-9		4,05	168,2	nee	0,53
TDI - 2,4-tolueendi-isocyaan	C ₉ H ₆ N ₂ O ₂	584-84-9	315-317-319-330-334-335-351	3,74	174,2	nee	0,96
Methylisocyaan	C ₂ H ₃ NO	624-83-9	301-311-315-318-317-330-335-334-361d	0,79	57,1	nee	0,00
Fenylisocyaan	C ₇ H ₅ NO	103-71-9	302-314-317-330-334	2,59	119,1	nee	1,83
(mono) Chloorbenzeen	C ₆ H ₅ Cl	108-90-7	332-315	2,64	112,6	nee	Niet berekend
Fosgeen	COCl ₂	75-44-5	314 -330	-0,71	98,9	nee	0,00
Perfluoroisobutene (PFIB),	C ₄ F ₈	382-21-8	330-370 ⁹	3,03	200	nee	0,01
HF - Waterstoffluoride	HF	7664-39-3	300-310-330-314	0,23	20,01	nee	0,00
Ultrafijn stof/ nanoparticles(?)	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	nee	Niet berekend
PM 2,5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Niet berekend

Naam	Formule	CAS-nummer	Alle H-zinnen ^{8,9}	LogKow ²⁷	relatieve molecuulmassa (MW in g/mol) ²⁷	H-notatie	Dermaal/ Respiratoire opname ratio*
PM 10	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	Niet berekend
Benzo[a]pyreen	C20H12	50-32-8	317-340-350-360fd ⁹	5,99	252,3	ja	1,26
Pyreen	C16H10	129-00-0	Geen ⁹	4,93	202,2	nee	1,36
TCDD (2,3,7,8-Tetrachlorodibenzodioxine)	C12H4Cl4O2	1746-01-6	300-319 ⁹	6,92	322	nee	0,00
Lood	Pb	7439-92-1	360df (als poeder)-372	0.73	207,2	nee	Niet berekend
Fosforpentoxide	P2O5	1314-56-3	314	-2.69	142	nee	Niet berekend
Hexaan	C6H14	110-54-3	315-304-336-373-361f	3,29	86.2	nee	0,00

*) De berekening van de Dermaal/Respiratoire opname ratio is uitgevoerd in SkinPerm²⁶. Hierbij is voor alle stoffen hetzelfde scenario gekozen en zijn dezelfde blootstellingsparameters ingevoerd, om een goede vergelijking te kunnen maken tussen de stoffen. Deze invoergegevens zijn zodanig gekozen dat ze het dichtst bij de brandweerpraktijk liggen en zijn afgestemd met de expertgroep. De volgende invoergegevens zijn gebruikt:

Scenario: 'Vapor to skin'

Timing parameters:

- Start of deposition: 0 hr
- Duration of deposition: 4 hr
- End time observation: 12 hr

Overige parameters:

- Affected skin area: 15.000cm²
- Air concentration: 0,001 mg/m³
- Thickness of stagnant air: 3 cm
- Calculation intervals/hour: 10.000
- Report intervals/hour: 10

Stoffen waarbij huidopname in de literatuur is uitgesloten, zijn niet meegenomen in de berekening. Alleen voor Aceetaldehyde en HCL – 2 stoffen waarvan in de literatuur gevonden is dat er geen huidopname is⁸ - zijn ter controle berekeningen uitgevoerd.

Bijlage 6 Alarmeringsgrenswaarden (AGW)

In onderstaande tabel zijn voor de meest kritische stoffen de alarmeringsgrenswaarden (AGW) opgenomen. Hiermee kan een indruk verkregen worden hoe de stoffen wat betreft de dosis-effect relatie zich tot elkaar verhouden.¹⁸:

Tabel 24 Overzicht alarmering grenswaarden

Stof	Interventiewaarde AGW in mg/m ³ (1 uur)
Asfyxantia	
CO - Koolmonoxide	97
NO ₂ - Stikstofdioxide	24
HCN - Waterstofcyanide (Blauwzuur)	6,7
Bijtende stoffen	
SO ₂ - Zwaveldioxide	5
HCL - Waterstofchloride (Zoutzuur)	50
Acroleïne	0,23
Formaldehyde	17
Aceetaldehyde	500
Fosgeen	1,2
Perfluoroisobuteen (PFIB),	niet bekend
HF - Waterstoffluoride	20
Overig	
Benzeen	2.600
Styreen	540
Xyleen	3900
Tolueen	2100
Ethylbenzeen	4900
Fenol	90
Furaan	88
Dibenzofuraan	niet bekend
TDI - 2,4-tolueendi-isocyaan	0.6
Methylisocyaan	0,48
Fenylisocyaan	AEGL2 0,048
Chloorbenzeen	1000
Fosforpentoxide	10
Hexaan	10000