



BRANDWEER

Brandweeracademie

Rookverspreiding in woongebouwen

Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een
woongebouw met inpandige gangen



Instituut Fysieke Veiligheid
Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
www.ifv.nl
info@ifv.nl
026 355 24 00

Colofon

Brandweeracademie (2020). *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met in pandige gangen*. Arnhem: IFV

Oprachtgever: Brandweer Nederland
Contactpersoon: drs. H. Hazebroek MCPm en ing. L. de Witte
Titel: Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met in pandige gangen.
Datum: 16 september 2020
Status: Definitief
Auteurs: ing. J. Ebus, T. Geertsema BBA, V. Jansen MSc, M. Leene BBA, ing. R. van Liempd, M. Polman MSc, ing. L. de Witte, L. Wolfs BBA
Projectleiders: drs. H. Hazebroek MCPm en ing. L. de Witte
Review: dr. ir. N. Rosmuller, dr. ing. M. Kobes MIFireE en ir. P. Poppe
Eindverantwoordelijk: ing. R. Hagen MPA

Samenvatting

Aanleiding

De laatste jaren wordt de brandweer steeds vaker geconfronteerd met branden in woongebouwen waarbij sprake is van een relatief beperkte brand, maar een grote rookverspreiding. Een type woongebouw dat opvalt in de praktijkcasussen omtrent rookverspreiding is het woongebouw met inpandige gangen (corridors). Bij dit type woongebouw kan de rook zich namelijk door de inpandige gang verspreiden naar andere woningen en kan de vluchtroute, die via deze inpandige gang loopt, voor personen in veel woningen direct worden belemmerd.

Rookverspreiding is dus een breed gesignaleerd probleem dat fundamentele vragen oproept over de gevolgen voor de brandveiligheid, in het bijzonder voor kwetsbare groepen waaronder ouderen. Het beperken van rookverspreiding en de effecten daarvan lijkt daarom noodzakelijk. Het is echter niet duidelijk welke risicobeheersende maatregelen in de praktijk bij kunnen dragen aan een (aanzienlijk) minder snelle en minder omvangrijke rookverspreiding. Ook is niet duidelijk wat het effect is van inzet(on)mogelijkheden voor redding / evacuatie en brandbestrijding op de snelle en omvangrijke rookverspreiding. Het doel van dit onderzoek is daarom het in kaart brengen van het effect van rookverspreiding in relatie tot risicobeheersende maatregelen en vormen van brandbestrijding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand in een woongebouw met inpandige gangen.

De hoofdvraag van dit onderzoek is:

Wat is het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen en hoe kan rookverspreiding beperkt worden?

Het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand is onderzocht met behulp van praktijkexperimenten (19 testen) in een woongebouw met inpandige gangen.

Onderzoeksresultaten

(Zichtbare) rookverspreiding in de praktijk

Rookverspreiding buiten de brandruimte heeft bij alle testen plaatsgevonden via diverse horizontale en verticale (sub)routes. Hierbij gaat het om zowel horizontale als verticale rookverspreiding naar verschillende ruimten in het woongebouw. Dit betekent dat er bij een brand in slechts een deel van één bank in één ruimte op meerdere plaatsen in het woongebouw een risicovolle situatie ontstaat.

In dit onderzoek heeft er meer rookverspreiding horizontaal plaatsgevonden dan verticaal. Hoewel er bij veel testen op andere verdiepingen rookverspreiding is geconstateerd, zijn de visueel waargenomen hoeveelheden en gemeten concentraties gassen lager dan op de

verdieping van de brand. Daarnaast is de verticale rookverspreiding minder consistent dan de horizontale rookverspreiding en verloopt de rookverspreiding tijdens de inzetfase grilliger dan tijdens de vluchtfase. Het lijkt erop dat naast de brandweerinzet, meer variabelen en factoren de rookverspreiding beïnvloeden.

Rookverspreiding in het algemeen vindt hoofdzakelijk plaats via (open) deuren, ventilatiekanalen en wandcontactdozen. Horizontale rookverspreiding vindt vooral plaats via deuren: de meeste rookverspreiding is zichtbaar bij openstaande deuren of bij het openen van deuren. Verticale rookverspreiding geschiedt vooral via ventilatiekanalen en wandcontactdozen.

Iedere opening tussen ruimten heeft rookverspreiding tot gevolg, waarbij een grote opening voor snellere en grotere hoeveelheden rookverspreiding zorgt. De (mate van) rookverspreiding wordt beïnvloed door de onderstaande factoren.

- > De samenstelling van het brandobject: organische of synthetische brandstof. Een organische brandstof zorgt voor veel minder rookproductie dan een synthetische brandstof.
- > Het openen dan wel gesloten houden van deuren is van invloed op de verspreiding van grote hoeveelheden rook. Een gesloten deur beperkt de rookverspreiding.
- > Andere openingen en doorvoeren in de scheidingsconstructie zijn beperkter van invloed op de verspreiding van rook. Hoe kleiner de opening of doorvoer, hoe minder de rookverspreiding.
- > De aanwezigheid van een mobiele watermist en/of rookwerende scheiding heeft een gunstige invloed op het beperken van de verspreiding van rook.
- > De specifieke locatie van de brandruimte is van invloed op de verticale rookverspreiding.
- > De brandweerinzet heeft invloed op de verdere verspreiding van rook door het openen van deuren en gebruik van ventilatoren.

Rook bestaat uit vaste, vloeibare en gasvormige deeltjes. Veelal verspreiden deze zich gezamenlijk en is er op dezelfde plek sprake van zichtbare rook (roetdeeltjes en vloeistofdeeltjes) en onzichtbare rookgassen. Soms verspreiden gassen en deeltjes zich echter verschillend en moet geconstateerd worden dat in diverse ruimten geen of nauwelijks zichtbare rook aanwezig was, terwijl er in die ruimte wél koolstofmonoxide (CO) is gemeten. Ook de omgekeerde situatie is op een aantal plekken geconstateerd: zichtbaar aanwezige rook, maar geen gemeten CO.

Geconcludeerd wordt dat rook zich snel door het woongebouw verspreidt en dat rookverspreiding een onvoorspelbaar fenomeen is, in het bijzonder op grotere afstand van de brandruimte. In combinatie met het gegeven dat niet alle rook zichtbaar is, maakt dit rookverspreiding moeilijk in te schatten als het gaat om de omvang en ernst van de situatie.

Vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Het voorkomen van slachtoffers bij brand wordt bepaald door de mogelijkheid voor aanwezige personen om veilig te kunnen vluchten of de brand te overleven totdat ze gered worden. In een brandsituatie is het namelijk van belang dat de beschikbare tijd (ASET) groter is dan de benodigde tijd (RSET). Bepalend voor de beschikbare tijd voor vluchten en overleven, zijn de condities waaraan personen in de betrokken ruimten worden blootgesteld en de kwetsbaarheid van personen voor deze condities.

De condities die de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in geval van brand beïnvloeden zijn:

- > irriterende en verstikkende gassen
- > warmte
- > zicht.

Deze brandcondities kunnen leiden tot belemmerde vluchtmogelijkheden, een levensbedreigende situatie of zelfs een fatale situatie (zie onderstaande figuur).



Schema van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van slachtoffers bij brand

De grenswaarden die de overgang vormen tussen de onderscheiden situaties kunnen op basis van verschillende standaarden worden vastgesteld. In de methodes in deze standaarden gaat het veelal om de verhouding tussen een concentratie of een dosis en de limiet voor die concentratie of dosis waarbij de vlucht- en overlevingsmogelijkheden worden bedreigd. In de grenswaarden tussen de situaties kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende groepen (subpopulaties) die ieder een eigen gevoeligheidsfactor (sf) hebben voor irriterende en verstikkende gassen, warmte en zicht. In dit rapport zijn de groepen 'algemeen', 'kwetsbaar' en 'zeer kwetsbaar' onderscheiden.

Het effect van rookverspreiding op vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Een bank in brand zorgt binnen 4 tot 7 minuten voor een fatale situatie in de brandruimte. In de gang naast de brandruimte wordt vrijwel direct na het openen van de deur van de brandruimte ($t = 5$ minuten) een situatie bereikt waarin vluchten voor personen in andere woningen ernstig wordt belemmerd, doordat de gang zich binnen seconden met rook vult en het zicht minimaal wordt. Er worden in de gang zodanig hoge concentraties verstikkende en irriterende gassen gemeten, dat er een levensbedreigende situatie ontstaat, in het bijzonder voor (zeer) kwetsbare groepen.

Personen in de overige woningen langs dezelfde gang zitten 'vast' in hun woning nadat de deur van de brandruimte geopend is (geweest). Vanuit de gang kan de rook zich verder verspreiden naar deze overige woningen en andere gangen op dezelfde verdieping. In deze woningen (waar geen brand is), kan een fatale situatie ontstaan door rook die de woning binnenkomt, met name voor (zeer) kwetsbare groepen. De rookverspreiding naar andere gangen zal vooral optreden als de deuren tussen deze gangen (kort) worden geopend, bijvoorbeeld door personen die het gebouw ontvluchten of in de gang willen kijken wat er aan de hand is. Op die manier kan ook voor personen in andere woningen verderop in het gebouw een belemmerde ontvluchting ontstaan.

Ook naar de overige verdiepingen vindt rookverspreiding plaats. Hoewel deze rookverspreiding volgens de gehanteerde analysemethodiek niet leidt tot een belemmerde ontvluchting, zijn er wel verhoogde CO-concentraties gemeten op deze verdiepingen.

Het effect van (aanvullende) risicobeheersende maatregelen op vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Een inventaris van organisch materiaal in plaats van synthetisch materiaal (een bank met schuimvulling) blijkt de grootste beperking van de rookproductie en daarmee van de rookverspreiding op te leveren. Hierdoor is deze maatregel het meest effectief in het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen in alle ruimten. Desondanks leidt een brand in meubilair van organisch materiaal voor alle groepen na enige tijd (6 tot 14 minuten) tot een belemmerde ontvluchting in de gang als de deur van de brandruimte open staat.

Een mobiele watermist is eveneens een effectieve maatregel voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Als de deur van de brandruimte na het vluchten open blijft staan, is de verbetering in vergelijking zonder een mobiele watermist groter voor de algemene groep dan voor de (zeer) kwetsbare groep. Als de deur na het vluchten weer wordt gesloten, is er sprake van een verbetering voor alle groepen.

Het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten als maatregel levert geen of nauwelijks verbetering op van de vluchtmogelijkheden. In de gang is na het openen van de deur sprake van een belemmerde ontvluchting voor alle groepen. De maatregel levert wel verbetering op van de overlevingsmogelijkheden in de overige niet aan de brandruimte grenzende woningen met een gesloten deur. Voor alle groepen is in de niet aan de brandruimte grenzende woningen sprake van een overleefbare situatie gedurende de eerste 20 minuten. In woningen grenzend aan de brandruimte of woningen met een geopende deur is dit niet het geval.

Het toepassen van een specifieke rookwerende scheiding levert in vergelijking met het gesloten houden van de deur van de brandruimte niet of nauwelijks een verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op. Tijdens het vluchten is het openen van de deur van de brandruimte gedurende 30 seconden een bepalende factor in het verslechteren van de omstandigheden in de gang en de aan de gang grenzende woningen. Een rookwerende scheiding als maatregel is effectiever als deuren tijdens de gehele brand gesloten blijven. Een aandachtspunt is daarnaast dat de druk in de brandruimte fors kan toenemen, zowel vóór het openen van de deur (tot meer dan 300 pascal), als na het sluiten daarvan (tot meer dan 1000 pascal). Dit kan leiden tot rookverspreiding via andere routes.

Geconstateerd is, dat geen van de geteste (aanvullende) risicobeheersende maatregelen zelfstandig in staat is om in alle situaties voldoende verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden te bieden voor alle groepen. Veelal wordt met een individuele maatregel vooral een verbetering bereikt voor de algemene groep, terwijl voor de (zeer) kwetsbare groep maar weinig of niets verbetert.

In aanvulling op de beoordeling van individuele maatregelen is bepaald in welke mate combinaties van maatregelen tot een verbetering van vlucht- en overlevingsmogelijkheden leiden. Deze staan hieronder in volgorde van effectiviteit opgesomd.

- 1) Een inventaris van organisch materiaal in combinatie met een gesloten deur.
- 2) Een mobiele watermist in combinatie met een gesloten deur of een mobiele watermist in combinatie met een rookwerende scheiding en een gesloten deur.
- 3) Een gesloten deur in combinatie met een rookwerende scheiding.

Geconcludeerd wordt dat een combinatie van een bron- en effectmaatregel voldoende effectief is voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen (opties 1 en 2 uit bovenstaande opsomming). Een individuele effectmaatregel of een combinatie van effectmaatregelen is niet voldoende om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van (zeer) kwetsbare groepen te verbeteren.

De inzetactie van de brandweer

Voor de start van de brandweerinzet is in veel gevallen al sprake van een belemmerde ontvluchting op de eerste verdieping, waardoor zelfstandig vluchten vaak niet meer mogelijk is. In diverse woningen zijn of ontstaan levensbedreigende omstandigheden. Een brandweerinzet (redden en blussen) is noodzakelijk voor de veiligheid van de bedreigde personen in het woongebouw.

Voor aanvang van de brandweerinzet heeft er tijdens alle testen al rookverspreiding plaatsgevonden buiten de brandruimte. Deze omstandigheid dient daarom de uitgangspositie te zijn voor de brandweerinzet. De omvang en ernst daarvan zijn echter moeilijk vast te stellen door de complexiteit van het gebouw, de grilligheid van de rookverspreiding en het feit dat geen zichtbare rook níet wil zeggen dat er geen sprake is van een onveilige situatie voor de aanwezige personen. De enige manier om vast te stellen welke woningen, gangen en vluchtroutes veilig zijn, is door het doen van een uitgebreide verkenning en meting in het woongebouw.

Naast het bestrijden van de brand moet het doel van de brandweerinzet zijn om verdere rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken. Het bij aankomst van de brandweer open of gesloten zijn van de deur van de brandruimte is bepalend voor de keuze van de inzetactie om deze doelstellingen te behalen. Wanneer de deur naar de brandruimte openstaat bij aankomst van de brandweer, blijkt blussen voor redding het meest optimaal te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Wanneer de deur naar de brandruimte echter dicht zit, blijkt redding voor blussen het meest zinvol te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Iedere actie van de brandweer veroorzaakt echter verdere rookverspreiding, zowel horizontaal als verticaal. Het lopen door met rook gevulde gangen, het openen en sluiten van deuren en blusacties veroorzaken in bepaalde mate allemaal rookverspreiding naar aangrenzende ruimten. Mechanisch ventileren heeft een dominante invloed en is in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook, en dan met name van CO₂, naar meerdere ruimten en verdiepingen.

Risicobeheersende maatregelen in combinatie met een gesloten deur van de brandruimte zorgen naast een vermindering van rookverspreiding door het gebouw tijdens de vluchtfase óók voor verminderde rookverspreiding door de brandweerinzet tijdens de inzetfase.

Generaliseerbaarheid van de resultaten

Het doel van dit onderzoek is het in brede zin in kaart brengen van het effect van rookverspreiding in relatie tot risicobeheersende maatregelen en vormen van brandbestrijding op vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand in een woongebouw met inpandige gangen. Daarom is het van belang om aandacht te besteden aan de mate van generaliseerbaarheid – oftewel de externe validiteit – van het praktijkonderzoek. De externe validiteit van het onderzoek wordt gevormd door:

- > Ecologische validiteit: de mate waarin de onderzoeksresultaten uit een onderzoek overeenkomen met de alledaagse praktijk.
- > Generaliseerbaarheid van de steekproef: is de steekproef representatief voor de populatie?
- > Betekenisvaliditeit: de mate waarin een begrip meet wat er onder dat begrip moet worden verstaan / wat de betekenis van dat begrip is (betekenisexclusiviteit).

Geconcludeerd wordt dat de generaliseerbaarheid van de steekproef niet hoog is, maar dat de ecologische validiteit en de betekenisvaliditeit van het onderzoek wél hoog zijn. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat de bevindingen niet voldoende generaliseerbaar zijn naar andere woongebouwen met inpandige gangen. Een kanttekening die hierbij moet worden gemaakt, is dat praktijkincidenten laten zien dat lokale omstandigheden tot een afwijkend patroon van rookverspreiding leiden.

Hoewel de resultaten van dit onderzoek op hoofdlijnen inzicht geven in maatregelen die de meeste of minste invloed op rookverspreiding hebben, zijn zij, waarschijnlijk met uitzondering van galerijflats met besloten galerijen, niet zomaar generaliseerbaar naar andere bouwtypen. Elementen uit het onderzoek zijn wel bruikbaar om vragen ten aanzien van brandveiligheid in andere typen gebouwen zoals portiekflats te beantwoorden. Hierbij kan gedacht worden aan het effect van open of gesloten deuren, rookverspreidingsroutes en de werking van risicobeheersende maatregelen.

Beantwoording van de hoofdvraag

Wat is het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen en hoe kan rookverspreiding beperkt worden?

Zoals de praktijk laat zien, is rookverspreiding buiten de brandruimte de standaard en zeker niet de uitzondering. Tijdens dit onderzoek vond rookverspreiding naar de rest van het gebouw al na 2 minuten na het ontstaan van de brand plaats door kieren, naden en doorvoeren. Deze rookverspreiding werd versneld door het (kortdurend) openen van de deur van de brandruimte en vond vrijwel gelijktijdig horizontaal en verticaal plaats. Dit betekent dat een incident zich ook bij een beperkte brand op meerdere plaatsen in het woongebouw ontwikkelt.

De rookverspreiding in het woongebouw blijkt invloed te hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op de volgende locaties:

- > *Gang grenzend aan de woning waar de brand is*
De vluchtmogelijkheden voor personen in woningen grenzend aan de gang worden vrijwel direct na het openen van de deur van de brandruimte (t = 5 minuten) ernstig

belemmerd doordat de gang zich binnen seconden met rook vult. In de gang is sprake van zodanig weinig zicht en zodanige hoge concentraties verstikkende en irriterende gassen dat een fatale situatie ontstaat.

> *Overige woningen grenzend aan de gang*

Personen in de overige woningen langs dezelfde gang zitten 'vast' in hun woning wanneer of nadat de deur van de brandruimte geopend is (geweest). Ook in deze overige woningen (waar geen brand is), kan een fatale situatie ontstaan door rook die de woningen binnenkomt. Dit geldt in het bijzonder voor (zeer) kwetsbare personen.

> *Rest van gebouw*

Het effect op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden naar andere bouwdelen en verdiepingen van het gebouw blijkt in dit onderzoek beperkt te zijn. Dit betekent echter niet dat er geen sprake is van rookverspreiding naar andere bouwdelen en verdiepingen. Op diverse plaatsen zijn namelijk verhoogde CO-concentraties gemeten, die tot gezondheidsschade kunnen leiden als mensen er langdurig aan worden blootgesteld. In geval van een incident zijn dergelijke omstandigheden aanleiding om over te gaan tot ontruiming van (grote delen van) het gebouw.

Alleen een combinatie van bron- en effectmaatregelen is effectief in het voldoende verbeteren van vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen. De combinatie van het beperken van synthetisch materiaal (met name schuimen) in de inventaris en het sluiten van de deuren is het meest effectief in het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Een mobiele watermist in combinatie met het sluiten van de deuren is ook effectief. Een effectmaatregel op zichzelf zoals het sluiten van de deur of een rookwerende scheiding is niet voldoende om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van (zeer) kwetsbare groepen te verbeteren.

Het doel van de brandweerinzet moet zijn om, naast het bestrijden van de brand, verdere rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken. Het open of gesloten zijn van de deur van de brandruimte is bepalend voor de keuze van de inzetactie om deze doelstellingen te behalen. Wanneer bij aankomst van de brandweer de deur naar de brandruimte openstaat, blijkt blussen voor redden het meest optimaal te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Wanneer de deur naar de brandruimte bij aankomst van de brandweer dicht zit, blijkt daarentegen redden voor blussen het gunstigst te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Iedere actie van de brandweer veroorzaakt echter verdere rookverspreiding, zowel horizontaal als verticaal. Het lopen door met rook gevulde gangen, het openen en sluiten van deuren en blusacties veroorzaken allemaal een bepaalde mate van rookverspreiding naar aangrenzende ruimten. Mechanisch ventileren is een dominante actie en in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook, en dan met name CO, naar verschillende ruimten en verdiepingen.

Voorwoord

Met dit rapport worden de resultaten gepresenteerd van de praktijkexperimenten naar rookverspreiding in een woongebouw met inpandige gangen. Al snel nadat de Brandweeracademie van het IFV in 2015 het onderzoek *Het kan verkeren* naar brandontwikkeling en overleefbaarheid in grondgebonden woningen had afgerond, ontstond de wens om min of meer eenzelfde onderzoek te doen naar brandveiligheid in gestapelde woningen. De praktijk leerde ons immers al dat rookverspreiding daar een steeds groter probleem vormde en het ontruimen van grote delen van een woongebouw bij een relatief kleine brand steeds meer regel dan uitzondering werd.

Na een lange zoektocht naar financiering en een geschikt gebouw om de experimenten uit te kunnen voeren, zijn na een voorbereiding van een half jaar in de zomer van 2019 de experimenten uitgevoerd in een voormalig woonzorgcomplex in de gemeente Oudewater. De negentien uitgevoerde testen leverden vele duizenden meetgegevens en honderden uren aan videomateriaal op. De analyse en conclusies na verwerking van al deze gegevens zijn in dit rapport vastgelegd. De bijlagen worden apart gepubliceerd op de website van het IFV. Ook de brondata zullen openbaar gemaakt worden zodat andere (inter)nationale onderzoeksinstituten er gebruik van kunnen maken.

Wat we bij aanvang van dit onderzoek nog niet wisten, was dat het wereldwijd uniek zou zijn in omvang en diepgang. Dat unieke karakter was echter geen voordeel tijdens de voorbereiding, uitvoering en analyse van de experimenten. Het onderzoeksteam van de Brandweeracademie stond er vaak alleen voor. Veel (internationale) collega's dachten mee, maar het antwoord was vaak dat zij dit ook nog nooit gedaan hadden. Veel is dus zelf uitgedacht, gemaakt en uitgeprobeerd. En dat is gelukt. Maar niet alleen het onderzoeksteam van de Brandweeracademie heeft voor het welslagen van deze experimenten gezorgd. Zonder de steun van de internationale klankbordgroep, de gemeente Oudewater, de Veiligheidsregio Utrecht, woningcorporatie De Woningraat en vele brandweercollega's uit het land hadden we dit nooit kunnen doen. Wij danken hen allen, en in het bijzonder de brandweerpost Oudewater, voor hun medewerking.

Het onderzoek heeft opgeleverd waar we van tevoren op hoopten: betere kennis van rookverspreiding en vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij branden in woongebouwen, op basis waarvan we de effectiviteit van risicobeheersende maatregelen en de wijze van brandbestrijding kunnen toetsen, onderbouwen en verbeteren. Maar deze nieuwe kennis moet uiteraard geïmplementeerd worden om een werkelijk betere brandveiligheid te realiseren. De onderzoekers hebben hun werk gedaan. Het is nu aan de wetgever, beleidsmakers en aan de Nederlandse brandweer om deze kennis te implementeren.

René Hagen
Lector Brandpreventie

Inhoud

Samenvatting	3
Aanleiding.....	3
Onderzoeksresultaten.....	3
(Zichtbare) rookverspreiding in de praktijk.....	3
Vlucht- en overlevingsmogelijkheden	4
Het effect van (aanvullende) risicobeheersende maatregelen op vlucht- en overlevingsmogelijkheden	6
De inzetactie van de brandweer.....	7
Generaliseerbaarheid van de resultaten.....	8
Beantwoording van de hoofdvraag	8
Voorwoord	10
Inleiding	18
Aanleiding.....	18
Probleemstelling en doel.....	19
Hoofd- en deelvragen.....	20
Afbakening	21
Afstemming en samenwerking.....	22
Leeswijzer	23
1 Theoretisch kader	27
1.1 Woongebouw met inpandige gangen	27
1.2 Rookverspreiding bij woningbranden.....	30
1.2.1 Brandoorzaken en brandontwikkeling.....	31
1.2.2 Rookontwikkeling	31
1.2.3 Rookverspreiding	32
1.3 Vluchten bij brand en rook	33
1.3.1 Detectie en alarmering.....	33
1.3.2 Menselijk gedrag.....	34
1.3.3 Risicogroepen	34
1.3.4 Condities voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.....	35
1.3.5 Grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden	37
1.4 Brandweerinzet (interventie).....	39
1.4.1 De operationele tijd van de brandweer	39
1.4.2 Inzettactie	40
1.4.3 Ontruiming	41
1.4.4 Ventileren	42
1.5 Vergelijkbaar eerder onderzoek.....	43
1.5.1 Algemeen (praktijk)onderzoek naar branden in woningen en woongebouwen.....	43
1.5.2 Onderzoeken naar risicobeheersende maatregelen	44
1.5.3 Onderzoeken naar de brandweerinzet	45
1.5.4 Casuïstiek en simulaties	45
1.6 Samenvatting en keuzes	46

2	Onderzoeksopzet	49
2.1	Algemene opzet	49
2.2	Testlocatie	49
2.2.1	Selectie van de testlocatie	49
2.2.2	Indeling van de testlocatie	50
2.2.3	Preparatie van de testlocatie	53
2.3	Vooronderzoek	53
2.3.1	Simulaties	53
2.3.2	Pre-test	54
2.3.3	Lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek	54
2.4	Praktijkexperimenten	55
2.4.1	Uitgangspositie	55
2.4.2	Variabelen in relatie tot ontvluchting	58
2.4.3	Variabelen in relatie tot de brandweerinzet	61
2.4.4	Overzicht van de testen en variabelen	63
2.4.5	Meetopstelling	64
2.5	Data-analyse	68
2.5.1	Rookverspreiding in het woongebouw	68
2.5.2	Vlucht- en overlevingsmogelijkheden	69
2.5.3	Effecten van risicobeheersende maatregelen	71
2.5.4	De inzetactiek van de brandweer	72
2.6	De kwaliteit van het onderzoek	74
2.6.1	Uniformiteit van de testcondities	74
2.6.2	Betrouwbaarheid	75
2.6.3	Interne en externe validiteit	76
3	Rookverspreiding: routes en factoren	79
3.1	Inleiding	79
3.2	Leeswijzer	79
3.2.1	Legenda bij de resultaten	81
3.2.2	Toelichting op de presentatie van de resultaten	82
3.3	Een overzicht van de rookverspreidingsroutes	82
3.4	Rookverspreiding op de eerste verdieping	84
3.4.1	Rookverspreidingsroute A	84
3.4.2	Rookverspreidingsroutes B en E	85
3.4.3	Rookverspreidingsroutes C en F	86
3.4.4	Rookverspreidingsroute D	87
3.4.5	Rookverspreidingsroutes G en H	87
3.4.6	Verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook	89
3.4.7	Samenvatting	91
3.5	Rookverspreiding naar de overige verdiepingen	92
3.5.1	Rookverspreidingsroutes I en J	92
3.5.2	Rookverspreidingsroutes K en L	93
3.5.3	Rookverspreidingsroute M	95
3.5.4	Verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook	95
3.5.5	Samenvatting	98
3.6	Factoren die een rol spelen bij rookverspreiding	98
3.6.1	Inleiding	98
3.6.2	Het brandobject	98

3.6.3	Het openen en sluiten van deuren.....	99
3.6.4	Mobiele watermist en rookwerende scheiding.....	101
3.6.5	De locatie van de brandruimte.....	103
3.6.6	De brandweerinzet.....	104
3.6.7	Openingen.....	105
3.6.8	Doorvoeringen.....	105
3.6.9	Overige factoren.....	106
3.7	Overkoepelende samenvatting.....	107
4	Vlucht- en overlevingsmogelijkheden.....	110
4.1	Inleiding.....	110
4.2	Leeswijzer bij de resultaten.....	111
4.2.1	Legenda bij de resultaten.....	112
4.2.2	Toelichting op de presentatie van de resultaten.....	113
4.2.3	Verschillen tussen 'gelijke' testen.....	114
4.3	Testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht).....	115
4.3.1	Resultaten van variant 0 (deur open).....	116
4.3.2	Analyse van variant 0 (deur open).....	118
4.3.3	Resultaten van variant 1 (deur dicht).....	120
4.3.4	Analyse van variant 1 (deur dicht).....	123
4.4	Testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie).....	125
4.4.1	Resultaten van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) en de vergelijking met variant 0 (deur open).....	125
4.4.2	Analyse van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie).....	128
4.4.3	Analyse van de vergelijking van variant 8 met variant 0.....	129
4.5	Overkoepelende analyse.....	130
5	Risicobeheersende maatregelen.....	132
5.1	Inleiding.....	132
5.2	Testen van variant 1 (deur dicht).....	132
5.2.1	Resultaten van variant 1 (deur dicht) en de vergelijking met variant 0 (deur open).....	133
5.2.2	Analyse van de vergelijking van variant 1 met variant 0.....	135
5.3	Testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht).....	136
5.3.1	Resultaten van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht).....	136
5.3.2	Analyse van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht).....	139
5.3.3	Analyse van de vergelijking van variant 5 met variant 1.....	140
5.4	Testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en variant 3 (mobiele watermist en deur dicht).....	142
5.4.1	Resultaten van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en de vergelijking met variant 0 (deur open).....	143
5.4.2	Analyse van variant 2 (mobiele watermist en deur open).....	145
5.4.3	Analyse van de vergelijking van variant 2 met variant 0.....	146
5.4.4	Resultaten van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht).....	147
5.4.5	Analyse van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht).....	150
5.4.6	Analyse van de vergelijking van variant 3 met variant 1.....	151
5.5	Testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) ..	152

5.5.1	Resultaten van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht).....	153
5.5.2	Analyse van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht).....	155
5.5.3	Analyse van de vergelijking van variant 4 met variant 1.....	156
5.6	Testen van variant 6 (organische vuurlast en deur open en variant 7 (organische vuurlast en deur dicht).....	157
5.6.1	Resultaten van variant 6 (organische vuurlast en deur open) en de vergelijking met variant 0 (deur open).....	158
5.6.2	Analyse van variant 6 (organische vuurlast en deur open).....	160
5.6.3	Analyse van de vergelijking van variant 6 met variant 0.....	161
5.6.4	Resultaten van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht).....	162
5.6.5	Analyse van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht).....	164
5.6.6	Analyse van de vergelijking van variant 7 met variant 1.....	164
5.7	Samenvatting van de effecten van de risicobeheersende maatregelen.....	165
5.8	Overkoepelende analyse van de risicobeheersende maatregelen.....	168
6	De inzetactie van de brandweer.....	178
6.1	Inleiding.....	178
6.2	Leeswijzer bij de resultaten.....	179
6.2.1	Legenda.....	180
6.2.2	Tactieken.....	181
6.2.3	Toelichting bij de presentatie van de resultaten.....	182
6.3	Randomverkenning.....	183
6.3.1	Resultaten.....	183
6.3.2	Analyse.....	185
6.4	Wel of niet inzetten?.....	186
6.4.1	Resultaten.....	186
6.4.2	Analyse.....	187
6.5	De noodzaak van redding en evacuatie.....	188
6.5.1	Resultaten: temperatuur, straling en zichtlengte.....	188
6.5.2	Resultaten: situatie per groep bij aankomst van de brandweer.....	189
6.5.3	Resultaten: noodzaak en mogelijkheid tot redding en evacuatie.....	189
6.5.4	Analyse van de noodzaak en mogelijkheid tot redding en evacuatie bij de start van de inzet.....	192
6.5.5	Analyse van de noodzaak en mogelijkheid tot redding tijdens de inzet.....	192
6.6	Eerst redden of blussen?.....	194
6.6.1	Resultaten van variant 0 (deur open).....	194
6.6.2	Resultaten van variant 1 (deur dicht).....	196
6.6.3	Analyse: offensief versus defensief inzetten.....	198
6.7	De effecten van de acties van de brandweer.....	200
6.7.1	Resultaten.....	200
6.7.2	Analyse van de acties van de brandweer.....	206
6.7.3	Analyse van de invloed van ventileren.....	207
6.7.4	Analyse van de invloed van de inzet op evacuatie routes.....	210
6.8	Overige resultaten.....	210
6.8.1	Naverkenning.....	210

6.8.2	Zichtbare rook ≠ koolstofmonoxide	211
6.8.3	Lokale verschillen	211
6.9	Samenvatting	211
7	Generaliseerbaarheid	214
7.1	Inleiding.....	214
7.2	Generaliseerbaarheid van de steekproef	214
7.3	Ecologische validiteit	215
7.4	Conclusie	218
8	Conclusie.....	220
8.1	Beantwoording van de deelvragen	220
8.1.1	Hoe kunnen vlucht- en overlevingsmogelijkheden gedefinieerd worden?	220
8.1.2	Welk brandverloop en welke rookverspreiding mogen in het woongebouw verwacht worden op basis van simulaties?	221
8.1.3	Hoe vindt in de praktijk rookverspreiding plaats bij brand in het woongebouw en welke factoren bepalen deze rookverspreiding?	222
8.1.4	Welk effect heeft de geconstateerde rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid?	223
8.1.5	In hoeverre zijn aanwezige en toekomstige rookwerende scheidingen, een mobiel watermiststelsel en meubilair van organisch materiaal effectief in het verbeteren van vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties in kwetsbaarheid bij brand?	224
8.1.6	Welke inzetactie van de brandweer leidt bij brand in het woongebouw tot de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden?	225
8.1.7	In hoeverre zijn de resultaten generaliseerbaar naar woongebouwen met inpandige gangen?	226
8.2	Beantwoording van de hoofdvraag	226
9	Discussie	230
9.1	Interpretatie van de resultaten	230
9.1.1	Rookverspreiding	230
9.1.2	Vlucht- en overlevingsmogelijkheden	231
9.1.3	Brandweerinzet	232
9.2	Beperkingen van het onderzoek	232
9.2.1	Algemene beperkingen	232
9.2.2	Primaire keuzes bij het maken van de onderzoeksopzet	233
9.2.3	Secundaire keuzes bij het maken van de onderzoeksopzet	233
9.2.4	Conclusie ten aanzien van de beperkingen van dit onderzoek	237
9.3	Vervolgonderzoek	237
10	Duiding.....	239
10.1	Inleiding.....	239
10.2	Betekenis voor de brandpreventie en de regelgeving	239
10.2.1	Nieuwe eisen in het Besluit Bouwwerken Leefomgeving	239
10.2.2	Luchtdicht bouwen	240
10.2.3	Dweilen met de kraan open	241
10.2.4	Eigen verantwoordelijkheid achter de voordeur	241

10.2.5 Kwetsbaarheid van de voorzieningen	241
10.2.6 Vluchten of blijven zitten	242
10.3 Betekenis voor de incidentbestrijding	242
10.3.1 Rookverspreiding in relatie tot incidentbestrijding	242
10.3.2 Meten is weten	243
10.3.3 De inzetactiek	243
10.3.4 Ontruimen / evacueren	244
10.3.5 Ventileren	244
10.4 Tot slot	245
Verklarende woordenlijst	246
Literatuurlijst	248



Inleiding

De eerste tankautospuiter van de brandweer komt om 05.34 uur aan bij de cafetaria en de erboven gelegen seniorenflat, ogenblikkelijk gevolgd door een hoogwerker en een tweede tankautospuiter. Ondanks de duisternis wordt direct veel rook waargenomen bij het hoofdtrappenhuis van de seniorenflat. Verschillende bewoners van de appartementen proberen de aandacht van de brandweer te trekken (roepen, zwaaien met zaklampen en doeken). Ook komen berichten binnen dat bewoners met de meldkamer (112) bellen, omdat zowel hun woning als de galerij onder de rook staat en zij niet uit hun appartement kunnen.

Citaat uit *Brand in De Notenhout* (Brandweeracademie, 2015a, p. 22).

Aanleiding

De laatste jaren wordt de brandweer steeds vaker geconfronteerd met branden in woongebouwen waarbij sprake is van een relatief beperkte brand, maar een grote hoeveelheid rookverspreiding. De Brandweeracademie en Brandweer Nederland hebben in 2017 het volgende hierover geconstateerd:

Bij veel casussen zien we dat rookverspreiding een belangrijke rol heeft gespeeld in de ontwikkeling van het incident, de aanpak en de bijbehorende dilemma's. Maar de belangrijkste constatering is dat de rookverspreiding veel groter is dan we op basis van huidige kennis en ervaring verwachten (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, p. 8).

Ook bij branden in andere typen gebouwen vindt veelal rookverspreiding plaats; in die gebouwen is er echter minder sprake van aanwezige personen die – al of niet slapend – door rook bedreigd kunnen worden.¹

Een type woongebouw dat opvalt in de praktijkcasussen omtrent rookverspreiding is het woongebouw met inpandige gangen (corridors). Bij dit type woongebouw kan de rook zich namelijk door de inpandige gang verspreiden naar andere woningen en kan de vluchtroute, die via deze inpandige gang loopt, voor personen in veel woningen direct worden bedreigd. Dit is niet het geval bij woongebouwen zonder inpandige gangen, zoals galerijflats met een open galerij.

Uit deze praktijkcasussen blijkt dat met name bij branden in woongebouwen met inpandige gangen forse risico's bestaan op het gebied van brandveiligheid en rookverspreiding. Het lijkt erop dat relatief kleine branden veel rook produceren die zich in het gebouw verspreidt, bij bewoners soms inhalatietrauma's veroorzaakt en gedeeltelijke of totale ontruiming van

¹ Met uitzondering van logies- en celgebouwen.

het gebouw steeds vaker noodzakelijk maakt. Dit ontruimen levert niet alleen grote problemen op voor (kwetsbare) bewoners, maar ook voor de brandweer. Gezien het toenemende aantal zelfstandig wonende kwetsbare personen, die vaak door de brandweer gered moeten worden, ziet zij zich voor een haast onmogelijke opdracht staan.

De Rijksoverheid², Brandweer Nederland, de Brandweeracademie van het Instituut Fysieke Veiligheid (IFV) en de veiligheidsregio's hebben als doel om slachtoffers bij brand zoveel mogelijk te voorkomen en beperken, en de impact van branden terug te dringen. Om de brandveiligheid gericht te kunnen vergroten, is daarom de afgelopen jaren literatuur- en casuïstiekonderzoek uitgevoerd naar rookverspreiding en de impact hiervan op algemene en kwetsbare bewoners van woongebouwen. Dit heeft – onder andere – geleid tot de volgende rapporten:

- > *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren* (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017).
- > *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid* (Brandweeracademie & Nederlandse Brandwonden Stichting, 2015a, 2015b, 2015c).
- > *Branden in seniorencomplexen: regelgeving en praktijk* (Brandweeracademie, 2016a)
- > *Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area* (Hagen et al., 2017).

In vervolg op dit reeds uitgevoerde literatuur- en casuïstiekonderzoek is experimenteel onderzoek naar de feitelijke rookverspreiding bij branden in woongebouwen met inpandige gangen van cruciaal belang – en dit rapport is daar de weerslag van. Voor dit (experimenteel)onderzoek heeft er een nauwe samenwerking plaatsgevonden tussen de Brandweeracademie, Brandweer Nederland en de Veiligheidsregio Utrecht in een grootschalig praktijkonderzoek in een voormalig woonzorgcomplex met inpandige gangen in de gemeente Oudewater.

Probleemstelling en doel

Bij brand in woningen en woongebouwen vallen in Nederland jaarlijks gemiddeld 43 doden (Brandweeracademie, 2018a) en tussen de 800 en 900 gewonden (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2012). De verwachting is dat het aantal slachtoffers bij brand de komende jaren zal toenemen door de vergrijzing en het toenemende aantal zelfstandig wonende kwetsbare personen (Brandweeracademie & Nederlandse Brandwonden Stichting, 2015a). Vluchten bij brand is voor deze groepen namelijk vaak niet mogelijk door een combinatie van rookverspreiding en mentale en/of fysieke beperkingen.

De snelle verspreiding van (giftige) rook is de belangrijkste oorzaak voor slachtoffers bij brand in gebouwen (Purser & McAllister, 2016). Een belangrijke observatie ten aanzien van rookverspreiding is dat de huidige branden met synthetische materialen als brandstof tot wel tien keer meer rook produceren dan branden uit het verleden met organisch materiaal als brandstof (Babrauskas, 2016). Daarnaast blijkt uit de praktijk dat er regelmatig branden plaatsvinden in woongebouwen met inpandige gangen, waarbij sprake is van rookontwikkeling die sneller verloopt dan verondersteld wordt in de bouwregelgeving³ en

² In dezen vertegenwoordigd door het ministerie van Justitie en Veiligheid.

³ In dit onderzoeksrapport wordt met bouwregelgeving bedoeld op alle verschillende wetten en regelgeving die direct of indirect ten doel hebben om de brandveiligheid van gebouwen te bevorderen, zoals: het Bouwbesluit 2012, de Regeling bouwproducten, Eurocodes, de Crisis- en herstelwet., AMVB's, NEN-normen, de Woningwet et cetera.

waarbij sprake is van snelle en omvangrijke rookverspreiding buiten de woning waarin de brand is ontstaan. Door deze verspreiding van rook raken vluchtroutes geblokkeerd en kan een onveilige situatie ontstaan in andere woningen. Hierdoor kunnen bewoners niet altijd in veiligheid wachten in hun eigen woning tot de vluchtroute weer beschikbaar is of tot ze gered worden door de brandweer (stay-in-place principe⁴).

De brandweer wordt vervolgens ter plaatste geconfronteerd met een omvangrijk en acuut incident waarbij sprake is van dilemma's bij de keuze voor een bestrijdingstactiek, omdat er nog weinig informatie bekend is over de effecten van de inzet(mogelijkheden) van de brandweer op de rookverspreiding. Voorbeelden hiervan zijn branden in Rotterdam (het Lichtpunt, 2014, 17 gewonden), Nijmegen (de Notenhout, 2015, 4 doden en 12 gewonden), Diemen (studentenflat, 2017, 1 dode en 4 gewonden) en Zwolle (seniorenflat, 2020, 10 gewonden).

Rookverspreiding is dus een veel gesignaleerd probleem dat fundamentele vragen oproept over de gevolgen ervan voor de brandveiligheid. Het beperken van rookverspreiding en de effecten daarvan lijkt daarom noodzakelijk. Het is echter niet duidelijk welke risicobeheersende maatregelen in de praktijk bij kunnen dragen aan een (aanzienlijk) minder snelle en minder omvangrijke rookverspreiding. Ook is niet duidelijk wat het effect is van inzet(on)mogelijkheden voor redding / evacuatie en brandbestrijding op de snelle en omvangrijke rookverspreiding. Het doel van dit onderzoek is daarom het in kaart brengen van het effect van rookverspreiding in relatie tot risicobeheersende maatregelen en vormen van brandbestrijding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand in een woongebouw met inpandige gangen.

In praktijkexperimenten wordt onderzocht wat de werkelijke effecten zijn van risicobeheersende maatregelen in combinatie met veranderende bouwwijzen, inventarissen en huishoudens / bewoners op de rookverspreiding en het brandverloop. Op basis van de uitkomsten van deze praktijkexperimenten kunnen onderbouwde beleidsuitgangspunten worden geformuleerd voor het waarborgen van de brandveiligheid in woongebouwen met inpandige gangen en de tactiek van het brandweeroptreden bij incidenten in deze woongebouwen. Het beoogde resultaat van dit onderzoek is dus het verkrijgen van inzicht in:

- > rookverspreiding en vlucht- en overlevingsmogelijkheden in een woongebouw met inpandige gangen bij brand en brandbestrijding
- > de effecten van risicobeheersende maatregelen in combinatie met veranderende bouwwijzen, inventarissen en huishoudens / bewoners.

Hoofd- en deelvragen

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

Wat is het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen en hoe kan rookverspreiding beperkt worden?

De bovenstaande hoofdvraag leidt tot de volgende deelvragen:

- > Hoe kunnen vlucht- en overlevingsmogelijkheden gedefinieerd worden?

⁴ Ook wel 'stay put' of 'shelter in place' genoemd.

- > Welk brandverloop en welke rookverspreiding mogen in het woongebouw verwacht worden op basis van simulaties?
- > Hoe vindt in de praktijk rookverspreiding plaats bij brand in het woongebouw en welke factoren bepalen deze rookverspreiding?
- > Welk effect heeft de geconstateerde rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid?
- > In hoeverre zijn huidige en toekomstige rookwerende scheidingen, een mobiel watermiststelsel en meubilair van organisch materiaal effectief in het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid bij brand?
- > Welke inzetacties van de brandweer leidt bij brand in het woongebouw tot de meeste optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden?
- > In hoeverre zijn de resultaten generaliseerbaar naar woongebouwen met inpandige gangen?

Daar waar in de bovenstaande deelvragen gesproken wordt over 'het woongebouw' wordt het voor de testen geselecteerde woongebouw met inpandige gangen bedoeld.

Afbakening

In het onderzoek *Het kan verkeren* (Brandweeracademie, 2015c) is vastgesteld dat een groot aantal factoren van invloed is op brandontwikkeling. Daarom is het niet mogelijk om alle varianten en factoren tijdens praktijkonderzoek voldoende te onderzoeken en moeten er keuzes worden gemaakt ten aanzien van de opzet en uitvoering. In deze paragraaf wordt beschreven wat wél in het onderzoek is meegenomen en ook wat nadrukkelijk níet is meegenomen.

Omdat er, zoals hierboven beschreven, regelmatig branden plaatsvinden in woongebouwen met inpandige gangen, is de keuze gemaakt om onderzoek uit te voeren in een dergelijk woongebouw. Er bestaan echter veel verschillende uitvoeringen van woongebouwen met inpandige gangen, met onder andere verschillen in:

- > de indeling van het gebouw qua vluchtroutes
- > de grootte en indeling van iedere afzonderlijke woning
- > de wijze waarop leidingschachten et cetera vorm gegeven zijn
- > de uitvoering van specifieke brand- en rookwerende voorzieningen.

De opzet van dit onderzoek is om uiteindelijk algemeen geldige uitspraken te kunnen doen over rookverspreiding in woongebouwen met inpandige gangen. Daarom is een woongebouw gezocht dat voldoet aan zoveel mogelijk kenmerken van gebouwen van dat type. Onderzoek uitvoeren in iedere variant van een woongebouw met inpandige gangen is uiteraard niet haalbaar.

Er is gebruikgemaakt van een bestaand woongebouw. De huidige staat van dit woongebouw is vastgesteld als 'niveau bestaande bouw'. Daarnaast zijn een aantal technische aanpassingen gedaan om het testen van de risicobeheersende maatregelen mogelijk te maken. Deze aanpassingen zijn gebaseerd op het huidige en voor de nabije toekomst verwachte niveau van veiligheid wat betreft rookwerendheid in de bouwregelgeving.

Vanuit ethisch oogpunt is het natuurlijk niet wenselijk om personen daadwerkelijk bloot te stellen aan rook en brand. Om de effecten van brand op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden te onderzoeken, is daarom gebruikgemaakt van theoretische grenswaarden die gelden voor verschillende groepen van bewoners, te weten: a) de algemene populatie met een gemiddelde kwetsbaarheid voor brand, b) een kwetsbare populatie en c) een zeer kwetsbare populatie.

Ten aanzien van de brandweerinzet zijn ook keuzes gemaakt om de variabelen vast te stellen die het meest bepalend zijn bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen. Besloten is om hierbij aan te sluiten op de meest elementaire keuze die de eerst aankomende bevelvoerder moet maken als hij / zij geconfronteerd wordt met een brand in een woongebouw: moet de prioriteit liggen bij het blussen van de brand of bij het ontruimen van het gebouw?

Ongeacht de keuze die de bevelvoerder maakt, dient het gebouw (na het blussen van de brand) geventileerd te worden. Het ventileren (rookvrij maken) van het gebouw maakt daarom ook deel uit van het onderzoek. Overige afwegingen in het kader van de tactiek en techniek maken geen deel uit van het onderzoek.

De keuzes ten aanzien van de uitvoering van het onderzoek worden nader toegelicht in hoofdstuk 2.

Afstemming en samenwerking

Praktijkonderzoek met de nadruk op het verzamelen van data met betrekking tot rookverspreiding in een groot woongebouw met inpandige gangen is complex, vergt veel expertise en ondersteuning en is bovendien maatschappelijk gevoelig vanwege potentiële omgevingseffecten door rookoverlast, logistieke (voertuig)bewegingen en media-aandacht. Daarom is bij de verschillende onderdelen van dit onderzoek een groot aantal organisaties betrokken; deze staan hieronder genoemd.

Praktijkonderzoek

Bij de uitvoering van het praktijkdeel van het onderzoek zijn betrokken:

- > Veiligheidsregio Utrecht, met in het bijzonder de post Oudewater.
De Veiligheidsregio Utrecht is als partner in het onderzoek gestapt en heeft het onderzoek maximaal gefaciliteerd tijdens de voorbereiding en uitvoering op de locatie in Oudewater. Het faciliteren heeft vorm gekregen door het voorzien in eten en drinken, het beschikbaar stellen van medewerkers voor de inzet- en/of veiligheidsploeg, het regelen van adembescherming en arbeidshygiëne, het ondersteunen van het communicatieproces en het beschikbaar stellen van ruimte voor de VIP-bijeenkomst. De brandweerpost Oudewater heeft hierin een bijzondere rol opgepakt door buitengewoon flexibel en hulpvaardig het onderzoeksteam te ondersteunen.
- > Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM).
De Milieu Ongevallen Dienst van het RIVM is uitgenodigd om vanuit zijn expertise in het doen van metingen naar rook en schadelijke stoffen bij te dragen aan de onderzoeksofstelling, en heeft daarnaast ook zelf metingen uitgevoerd. Deze metingen hebben een dubbele waarde: in de eerste plaats wordt nadere verdieping verkregen doordat het RIVM meer gassen kan meten dan met eigen apparatuur mogelijk is. In de

tweede plaats, omdat de metingen van RIVM en Brandweeracademie kunnen worden vergeleken.

- > Woningcorporatie De Woningraat.
De corporatie heeft op verzoek van de Brandweeracademie testlocatie de Schuylenburcht beschikbaar gesteld voor het onderzoek, en daarnaast diverse noodzakelijke voorbereidende maatregelen uitgevoerd.
- > De gemeente Oudewater.
De gemeente is als bevoegd gezag betrokken bij de vergunningverlening voor de praktijkexperimenten, maar ook bij de informatievoorziening van omwonenden en de organisatie van de VIP-bijeenkomst.

Ten aanzien van de toepassing van meetapparatuur is afstemming gezocht met onderzoekers van het UL Firefighter Safety Research Institute en met de leveranciers: Dräger, Testo en National Instruments.

Klankbordgroep

Er is een internationale klankbordgroep ingesteld met vertegenwoordiging van deskundigen en belanghebbenden op het gebied van rookverspreiding. De taak van de klankbordgroep was driedelig.

- > Kritisch meedenken over de opzet, mogelijkheden en beperkingen van het onderzoek.
- > De onderzoeksgroep alert houden om een tunnelvisie bij het analyseren van gegevens te voorkomen.
- > Assisteren bij de interpretatie en duiding van de resultaten voor zowel risicobeheersing als incidentbestrijding.

Leeswijzer

Dit rapport is opgebouwd aan de hand van de onderzoeksvragen. Hoofdstuk 1 gaat in op de huidige theoretische basis rond het thema rookverspreiding. Dit hoofdstuk bevat de belangrijkste informatie waarmee uiteindelijk antwoord gegeven kan worden op de eerste deelvraag 'Hoe kunnen vlucht- en overlevingsmogelijkheden gedefinieerd worden?' Hiertoe worden op basis van eerder onderzoek de meest relevante factoren besproken, inclusief de wetenschappelijke kaders die op basis hiervan geformuleerd zijn. Daarbij kan gedacht worden aan eerder onderzoek naar rookverspreiding, vlucht- en overlevingsmogelijkheden en interventie bij brand.

Hoofdstuk 2 behandelt de wijze waarop het onderzoek naar rookverspreiding is opgezet. De algehele opzet en de testlocatie worden besproken, waarna het vooronderzoek⁵ en de gemaakte keuzes met betrekking tot de praktijkexperimenten aan de orde komen. Tot slot bevat hoofdstuk 2 een weergave van de opzet voor de data-analyse, alsmede een paragraaf waarin de kwaliteit van het onderzoek in termen van uniformiteit, betrouwbaarheid en interne en externe validiteit wordt beschreven.

Hoofdstuk 3 beschrijft de rookverspreiding tijdens de praktijkexperimenten in de Schuylenburcht. Met deze beschrijving kan de derde deelvraag 'Hoe vindt in de praktijk

⁵ Hierbij wordt kort ingegaan op de tweede deelvraag 'Welk brandverloop en welke rookverspreiding mogen bij het woongebouw verwacht worden op basis van simulaties? Een uitgebreide beantwoording van deze deelvraag is weergegeven in bijlage 6.

rookverspreiding plaats bij brand in het woongebouw en welke factoren bepalen deze rookverspreiding?’ beantwoord worden. Allereerst wordt ingegaan op het ontstaan van rook (tijdens de testen), waarna voor de gang, de overige ruimten op de eerste verdieping en de overige verdiepingen de verspreiding van rook wordt beschreven.

Waar hoofdstuk 3 de feitelijke verspreiding van rook beschrijft, wordt dit in hoofdstuk 4 aan de hand van het theoretisch kader geduid in termen van de (maximale) vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor (hypothetisch) algemene, kwetsbare en zeer kwetsbare bewoners van de Schuylenburcht. Dit leidt tot de basis voor het beantwoorden van de vierde deelvraag ‘Welk effect heeft de geconstateerde rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid bij brand?’ Dit betreft dan de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor bewoners van het woongebouw *in de huidige toestand*. Hierbij wordt met name ingegaan op het effect op de rookverspreiding van een open dan wel gesloten deur van de brandruimte, alsmede het effect van maximale ventilatie door het openen van de balkondeur.

In hoofdstuk 5 worden de onderzoeksresultaten beschreven die verkregen zijn om de vijfde deelvraag te kunnen beantwoorden: ‘In hoeverre zijn huidige en toekomstige rookwerende scheidingen, een mobiel watermistsysteem en meubilair van organisch materiaal effectief in het verbeteren van vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid bij brand?’ Hierbij worden diverse *potentiële* risicobeheersende maatregelen – het versterken van de rookwerende scheiding, het aanbrengen van een mobiel watermistsysteem en het omzetten van de vuurlast van synthetisch naar organisch – vergeleken met de *bestaande* risicobeheersende maatregelen in de Schuylenburcht.

Hoofdstuk 6 gaat in op de onderzoeksresultaten die behoren bij het beantwoorden van de zesde deelvraag ‘Welke inzetactie van de brandweer leidt bij brand in het woongebouw tot de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden?’ Hierbij wordt ingegaan op de kernvraag ‘eerst redden of blussen?’, gezien in het licht van het effect van de brandweerinzet op de rookverspreiding. Hierbij wordt ook de waargenomen relevante interactie tussen de risicobeheersende maatregelen en de brandweerinzet toegelicht, alsmede de invloed van ventileren (na de brandweerinzet) op de rookverspreiding en het effect daarvan op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

De hierboven beschreven onderzoeksresultaten richten zich specifiek op de rookverspreiding die is ontstaan in één gebouw (de Schuylenburcht) bij een gestandaardiseerd brandscenario waarin slechts een beperkt aantal variabelen betrokken kon worden. Deze omstandigheden roepen direct de vraag op in hoeverre de resultaten generaliseerbaar zijn voor woongebouwen met inpandige gangen – de zevende en laatste deelvraag. Er zijn immers veel verschillende woongebouwen met ieder een eigen indeling, constructie, rookwerendheid, bewoners en inrichting. In hoofdstuk 0 wordt daarom een verkenning gedaan naar de generaliseerbaarheid van de onderzoeksresultaten.

Naar aanleiding van de beschreven onderzoeksresultaten in de voorgaande hoofdstukken worden in hoofdstuk 8 conclusies getrokken ten aanzien van de hoofd- en deelvragen.

In hoofdstuk 9 wordt een discussie gevoerd over de interpretatie van de resultaten en over de mogelijkheden en beperkingen van het onderzoek. Voorts worden hier implicaties voor het onderzoeksgebied besproken en suggesties gedaan voor vervolgonderzoek.

Hoofdstuk 10 heeft binnen dit rapport een 'status aparte': in dit slothoofdstuk wordt door de lector Brandpreventie (René Hagen) en de lector Brandweerkunde (Ricardo Weewer) een duiding gegeven van de onderzoeksresultaten over rookverspreiding, specifiek betrokken op hun beider vakgebied.

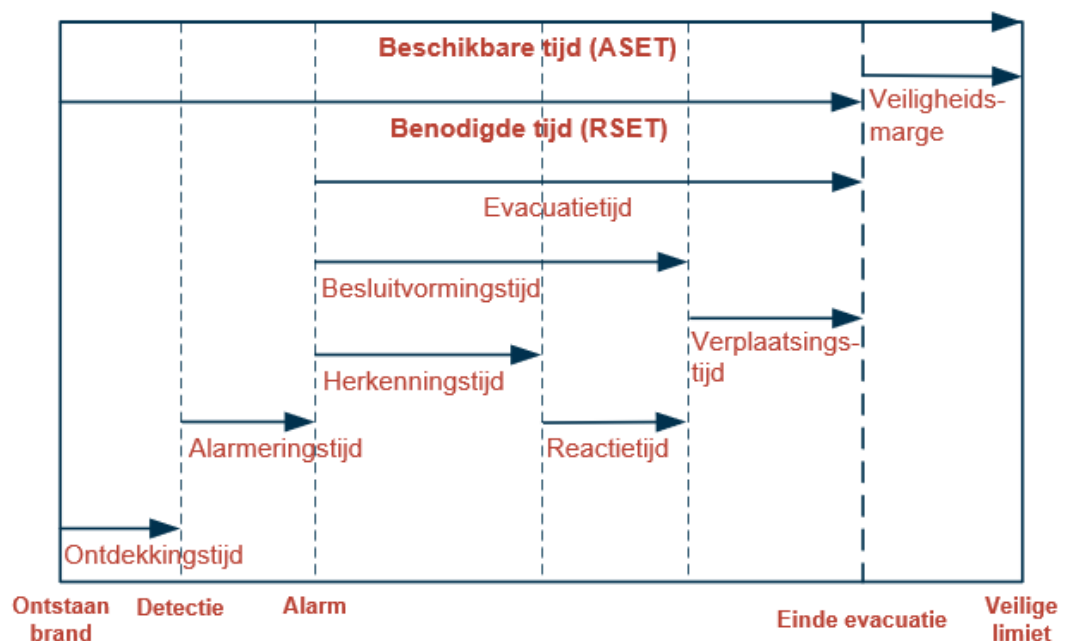
Een aantal termen die in dit onderzoeksrapport worden gebruikt, behoeven een nadere toelichting. Daarom zijn deze opgenomen in een verklarende woordenlijst aan het eind van dit rapport.

De onderliggende data van dit onderzoek zijn ontzettend omvangrijk; zowel van het beeldmateriaal als van de meetdata zijn er enorme hoeveelheden informatie beschikbaar. De meest cruciale onderdelen hiervan zijn als bijlage in een apart document opgenomen. De overige data zullen in de maanden na publicatie van dit rapport in delen online beschikbaar worden gesteld voor onderzoekers en overige geïnteresseerden.



1 Theoretisch kader

In dit onderzoek wordt gekeken naar het effect op de beschikbare tijd voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden van rookverspreiding in relatie tot risicobeheersende maatregelen en brandbestrijding. In een brandsituatie is het namelijk van belang dat de beschikbare tijd (ASET⁶) groter is dan de benodigde tijd (RSET⁷) (Instituut Fysieke Veiligheid, 2017). Hierbij loopt de ASET tot het moment dat veilig vluchten nog net mogelijk is en de RSET tot het moment dat een veilige plaats is bereikt (zie figuur 1.1). Omdat de benodigde tijd situatie- en plaatsgebonden is en afhankelijk van het individu, is in dit onderzoek alleen gekeken naar de beschikbare tijd.



Figuur 1.1 ASET en RSET

De beschikbare tijd is afhankelijk van een aantal factoren die te maken hebben met het gebouw, de brandontwikkeling en rookverspreiding, grenswaarden voor vluchten en overleving, en interventie. De belangrijkste factoren die van invloed zijn op de beschikbare tijd en die relevant zijn voor dit onderzoek worden in de volgende paragrafen besproken.

1.1 Woongebouw met inpandige gangen

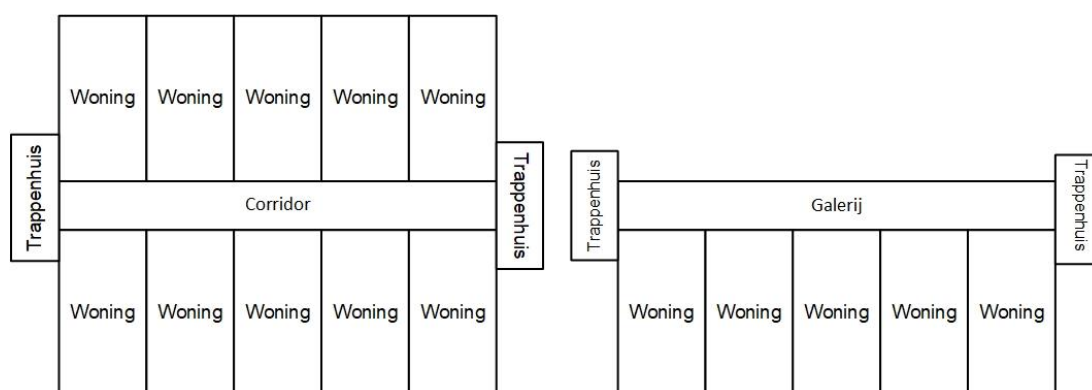
Woongebouwen met inpandige gangen (corridors) komen – in tegenstelling tot woongebouwen zonder inpandige gangen – relatief vaak voor in praktijkcasussen omtrent rookverspreiding. Om deze reden is in dit onderzoek voor dit type woongebouw gekozen als

⁶ ASET = Available Safe Escape Time.

⁷ RSET = Required Safe Escape Time.

testlocatie. Een woongebouw⁸ met inpandige gangen kenmerkt zich door centraal gelegen gangen waarop aan beide kanten woningtoegangsdeuren openen (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012b). Deze gangen eindigen over het algemeen aan beide kanten in een trappenhuis, waarlangs het gebouw verlaten kan worden (zie figuur 1.2). Dit betekent dat in geval van brand de bewoners na het verlaten van de eigen woning het gebouw moeten ontvluchten via inpandige en gemeenschappelijke (extra beschermde) vluchtroutes. Omdat deze vluchtroutes snel worden bedreigd door rook (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017), kent dit type woongebouw een groter risico op problemen op het gebied van brandveiligheid en vluchtveiligheid door rookverspreiding dan bijvoorbeeld een woongebouw met open galerijen.

Het aandeel woongebouwen met inpandige gangen in de Nederlandse woningvoorraad is niet bekend; dit type woongebouw wordt in de statistieken niet als aparte categorie meegenomen. Wel is vanuit het onderzoek naar reddingen bij woningbranden van 2016 tot en met 2018 bekend dat de meeste reddingen – mede noodzakelijk door rookverspreiding – plaatsvinden in appartementencomplexen of flatgebouwen (Brandweeracademie, 2020b). Het lijkt erop dat dergelijke woongebouwen de grootste problemen met rookverspreiding en vluchtveiligheid kennen. Woongebouwen met inpandige gangen komen in verschillende vormen voor, zoals met appartementen voor regulier gebruik, serviceflats, woonzorgcomplexen en studentenhuizen. Een woongebouwtype dat wat betreft gebouwkenmerken sterke overeenkomsten heeft met woongebouwen met inpandige gangen, is een galerijflat met een besloten galerij. Dit type woongebouw bestaat uit besloten galerijen met aan één kant woningen en aan (over het algemeen) beide uiteinden een trappenhuis (zie figuur 1.2). Het type bewoners en huishoudens van woongebouwen met inpandige gangen is divers: van jongvolwassenen tot ouderen en van alleenstaanden tot gezinnen.



Figuur 1.2 Indeling van een woongebouw met inpandige gangen (links) en een galerijflat met besloten galerij (rechts)

In het Bouwbesluit 2012 zijn verschillende brandveiligheidsvoorschriften opgenomen voor gebouwen met als doel om slachtoffers en branduitbreiding naar een ander perceel te voorkomen (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012a). Wat betreft de brandontwikkeling geldt daarbij als algemeen uitgangspunt een tijdspanne van maximaal 15 minuten na het ontstaan van de brand voor ontdekking en alarmering, van maximaal 15

⁸ De definitie van 'woongebouw' die wordt gehanteerd in het Bouwbesluit 2012 is: "gebouw of gedeelte daarvan met uitsluitend woonfuncties of nevenfuncties daarvan, waarin meer dan een woonfunctie ligt die is aangewezen op een gemeenschappelijke verkeersroute" (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012a).

minuten na alarmering voor zelfstandig vluchten en van maximaal 60 minuten na het ontstaan van de brand voor het redden van de laatste personen door de brandweer. Uitgangspunt van de voorschriften van het Bouwbesluit 2012 is dat bewoners voor aankomst van de brandweer zelfstandig een veilige plaats kunnen bereiken. De voorschriften die volgens het Bouwbesluit 2012 gelden voor vluchtveiligheid zijn afhankelijk van het type gebruiksfunctie. Voor het huidige onderzoek zijn de voorschriften voor een woonfunctie (woongebouw) van toepassing.

Algemeen voor een woongebouw geldt dat de bouwconstructie van het gebouw en van een vluchtroute bij brand enige tijd beschermd moeten zijn tegen bezwijken, zodat personen tijd hebben om te vluchten en de brandweer het gebouw kan ontruimen en doorzoeken (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012a). Daarnaast is elke woning een afzonderlijk (beschermd sub)brandcompartiment, hetgeen betekent dat de woning brandwerend moet zijn afgescheiden van andere woningen en van de (extra beschermde) vluchtroute. De (gecorrigeerde loop)afstand tussen een punt op een voor personen bestemde vloer en de uitgang van de woning mag bij nieuwbouw niet meer dan 30 meter en bij bestaande bouw niet meer dan 45 meter bedragen. De toegangsdeuren van de woningen die grenzen aan een corridor hoeven volgens het Bouwbesluit 2012 niet zelfsluitend te zijn⁹, de deuren in de corridor en de toegangsdeuren tot het woongebouw wel. Verder moet bij nieuwbouw van woonfuncties in elke ruimte waardoor wordt gevlucht vanaf de uitgang van een verblijfsruimte tot de uitgang van de woning een rookmelder worden geplaatst die is aangesloten op het lichtnet. Vanaf 1 juli 2022 geldt deze verplichting ook voor bestaande bouw (Rijksoverheid, 2020).

Een corridor in een nieuw te bouwen woongebouw is volgens het Bouwbesluit 2012 een extra beschermde vluchtroute.¹⁰ Vanuit deze vluchtroute kan in beide richtingen een onafhankelijke vluchtroute, namelijk het trappenhuis, worden bereikt. Het Bouwbesluit 2012 geeft WBDBO-eisen¹¹ die resulteren in een bepaalde mate van brandwerendheid: voor nieuwbouw geldt tussen woningen een WBDBO-eis van tenminste 60 minuten (met een reductiemogelijkheid tot 30 minuten) en tussen woning en gang een WBDBO-eis van 30 minuten; voor bestaande bouw geldt voor beide een WBDBO-eis van 20 minuten. Op dit moment zijn er nog geen specifieke eisen voor rookdoorgang. Het Besluit Bouwwerken Leefomgevingen (BBL) dat naar verwachting op 1 januari 2022 in werking zal treden, geeft wel voorschriften voor de weerstand tegen rookdoorgang tussen ruimten. De rookwerendheid van een scheiding (Ra of R200 criterium) tussen ruimten is afhankelijk van de rooklekkage (Sa of S200 criterium) van de verschillende componenten in deze scheiding (bijvoorbeeld kieren en naden rondom deuren, doorvoeringen, aansluitingen en ventilatiekanalen). Voor woningtoegangsdeuren die grenzen aan een corridor geldt dan bijvoorbeeld het criterium S200 volgens NEN 6075. Dit betekent dat na inwerkingtreding van deze voorschriften aanvullende maatregelen nodig zijn, zoals rookafdichting ter beperking van de verspreiding van zowel koude als warme rook.

Vanwege de WBDBO-eisen moeten ter plaatse van scheidingsconstructies en doorvoeringen tussen woningen onderling en tussen woningen en gangen maatregelen

⁹ Naar verwachting geldt het voorschrift voor zelfsluitendheid voor nieuwbouw per 1 juli 2020 ook voor woningtoegangsdeuren die grenzen aan een corridor.

¹⁰ Voor bestaande bouw is de terminologie voor een vluchtroute afwijkend ten opzichte van die voor nieuwbouw. Zo kennen de voorschriften voor bestaande bouw bijvoorbeeld een 'beschermde route', een begrip dat bij nieuwbouw niet voorkomt.

¹¹ WBDBO is de weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag: de minimale tijd die een brand nodig heeft om zich van de ene naar de andere ruimte uit te breiden (Tromp & van Mierlo, 2013).

worden genomen die branduitbreiding tegengaan. Impliciet is de beperking van rookverspreiding ook onderdeel van WDBDO (volgens NEN 6075 komt een WDBDO van 20 minuten overeen met een WRD¹² van 30 minuten). Echter, sommige maatregelen, zoals deuren met een opschuimende band, thermisch geactiveerde brandkleppen of krimpmantchetten, hebben elementen die pas sluiten of gaan afdichten als er enige tijd warme rook langs komt. Koude rook wordt hierdoor niet of beperkt tegengehouden.

Belangrijke verbindingen in woongebouwen zijn deuren, kieren, ventilatiekanalen en diverse doorvoeringen van installaties. Deuren vormen verbindingen tussen brandcompartimenten en gangen en kunnen kieren bevatten of geopend worden. De ventilatie van een gebouw kan zowel mechanisch als natuurlijk zijn uitgevoerd en plaatsvinden via de gevel en/of schachten. Daarnaast kan er sprake zijn van gedeelde schachten voor meerdere woningen en kunnen er verbindingen zijn tussen woningen door diverse installaties zoals elektra, water en cv-ketels. Elektra en water kunnen bijvoorbeeld via een mantelbuis naar de meterkast van verschillende woningen boven elkaar lopen en zich vervolgens verspreiden binnen de woning. Verder kunnen woongebouwen een gedeelde centrale verwarmingsinstallatie bevatten, waarbij er één ruimte is met centrale verwarmingsketels waarvandaan het warme water zich verspreidt naar meerdere woningen. Deze verbindingen kunnen leiden tot extra rookverspreiding tussen woningen onderling, tussen woningen en gangen en tussen verdiepingen.

1.2 Rookverspreiding bij woningbranden

Uit onderzoek naar reddingen bij brand (Brandweeracademie, 2020b), fatale woningbranden (Brandweeracademie, 2018a) en trends om van te leren (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, 2019) blijkt dat de toename van rookverspreiding in woongebouwen een groeiend probleem is. Bij de meeste reddingen door de brandweer blijft de brand beperkt tot het voorwerp van ontstaan of de ruimte waarin de brand is ontstaan. De rook verspreidt zich echter meestal tot buiten de ruimte van ontstaan of over meerdere verdiepingen. Als de vluchtroute geblokkeerd is – meestal door rookverspreiding – dan blijkt meer dan de helft van de geredde personen afkomstig te zijn uit buurwoningen en niet uit de woning / ruimte waarin de brand is ontstaan. Daarnaast is rookinhalatie de meest voorkomende oorzaak van letsel (Brandweeracademie, 2020b). Bij fatale woningbranden is in een groot deel van de gevallen sprake van rookverspreiding over meerdere ruimten en/of verdiepingen (Brandweeracademie, 2018a). Doorgaans is bij aankomst van de brandweer sprake van rookverspreiding over meerdere verdiepingen of verder. In *Trends om van te leren* deel 1 en 2 wordt eenzelfde constatering gedaan: de rookverspreiding is vaak groter dan (de brandweer) verwacht en speelt een belangrijke rol in de ontwikkeling en de aanpak en bijbehorende dilemma's van een incident (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, 2019). Verder blijkt uit internationaal onderzoek dat rookverspreiding vanuit de brandruimte naar andere delen van een gebouw de belangrijkste oorzaak is van slachtoffers (doden en gewonden) bij brand in gebouwen (Purser & McAllister, 2016).

Om beter inzicht te krijgen in de te verwachten brandontwikkeling en rookverspreiding worden in de volgende paragrafen beide onderwerpen nader belicht.

¹² WRD is de weerstand tegen rookdoorgang.

1.2.1 Brandoorzaken en brandontwikkeling

Op basis van gegevens uit twaalf veiligheidsregio's kan gesteld worden dat de drie belangrijkste oorzaken van woningbranden bestaan uit koken, stoken en brand in elektrische apparaten (Brandweer Rotterdam-Rijnmond, 2019). Stoken en koken zijn de belangrijkste brandoorzaken bij ouderen tussen de 60 en 80 jaar. Bij ouderen boven de 80 jaar is koken de belangrijkste oorzaak. Branden die veel impact hebben, zijn fatale woningbranden. De meest voorkomende brandoorzaak bij deze branden is roken. In veel gevallen (ongeveer de helft) is sprake van brand in matrassen of gestoffeerd meubilair, met een snelle brandontwikkeling en hevige rookontwikkeling tot gevolg. Roken als brandoorzaak van een woningbrand komt in slechts vijf procent van de gevallen voor (Brandweer Rotterdam-Rijnmond, 2019), maar leidt in combinatie met brand in een matras of gestoffeerd meubilair wel vaak tot ernstig letsel (Brandweeracademie, 2018a).

De snelle brand- en rookontwikkeling bij brand in matrassen en gestoffeerd meubilair wordt met name veroorzaakt door de gebruikte vulling. Tot de jaren zeventig van de vorige eeuw werden gestoffeerde meubelen gemaakt van traditionele materialen, bijvoorbeeld hout (voor het frame), stalen veren, opvulmateriaal bestaande uit watten van katoen en een bekleding van een natuurlijke vezel (zoals wol of katoen). Vanaf de jaren zeventig werd het overheersende opvulmateriaal echter polyurethaanschuim en varieerde de bekleding van thermoplastische kunststoffen tot natuurlijke vezels (Babrauskas, 2016). Het piek brandvermogen van deze modernere gestoffeerde meubels bleek een stuk hoger te zijn (rond de 3 megawatt) dan dat van traditionele meubels (minder dan 1 megawatt). Op dit moment is een vulling op basis van polyurethaanschuim (kunststoffen) nog steeds het meest gebruikelijk, hoewel het uiterlijk en de uitvoering van gestoffeerd meubilair aan verandering onderhevig zijn.

Uit onderzoek naar brandgedrag van gestoffeerd meubilair en matrassen in de woonomgeving komt naar voren dat een moderne inrichting bij brand meer energie en rook produceert dan een traditionele. Bewoners hebben bij brand in een ruimte met modern meubilair daardoor aanzienlijk minder tijd om te vluchten (Brandweeracademie, 2015c, 2016b; Fire Service Academy, 2017; Kerber, 2010). Bij brand in een ruimte met een moderne inrichting kan bij de aanwezigheid van voldoende zuurstof aanzienlijk sneller een flashover optreden dan in een ruimte met een traditionele inrichting. Daarnaast blijkt dat branden in de praktijk zijn veranderd en snel ondergeventileerd¹³ raken door zuurstofgebrek (Brandweeracademie, 2015c, 2016b; Kerber, 2010). Door zuurstofgebrek en/of een gebrek aan brandstof blijft de brand veelal beperkt tot het object van ontstaan en produceert relatief veel rook. De veranderingen in de materialen die gebruikt worden in gestoffeerd meubilair sinds de jaren zeventig hebben dus ook geleid tot veranderingen in brandgedrag en bijbehorende rookproductie.

1.2.2 Rookontwikkeling

Rook kan omschreven worden als het totale volume waarin zich lucht en zwevende vaste, vloeibare en gasvormige verbrandingsproducten bevinden: een mengsel van roetdeeltjes, vloeistofdruppels (zoals van water) en gassen. De gassen in de rook kunnen bestaan uit ontledingsgassen, verbrandingsgassen en omgevingslucht (Tromp & van Mierlo, 2013). Bij (modern) gestoffeerd meubilair en matrassen gaat het hierbij hoofdzakelijk om koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO₂), waterstofcyanide (HCN), waterstofchloride (HCL), stikstofoxiden (NO_x) en waterstofbromide (HBr) (Sundström, 1996).

¹³ Een brand die al voor de flashover ventilatiegecontroleerd wordt.

De rookproductie is mede afhankelijk van het materiaal dat brandt (Kerber, 2010). In tabel 1.1 is een vergelijking van de rookproductie in een goed geventileerde situatie tussen traditionele en synthetische materialen opgenomen. Synthetische materialen kunnen twee tot acht keer meer CO en negen tot vijftien keer meer roet produceren per gram verbrande brandstof (Society of Fire Protection Engineers, 2016, p. 3466).

Tabel 1.1 Vergelijking van de rookproductie door traditionele en synthetische materialen

Materiaal		Hoeveelheid CO, Y_{CO} [g/g]	Hoeveelheid roet, Y_s [g/g]
Synthetisch	Flexibel polyurethaan schuim (GM21)	0,01	0,131
	Flexibel polyurethaan schuim (GM23)	0,031	0,227
Traditioneel	Hout (rode eik)	0,004	0,015
	Hout (vuren)	0,005	-

Naast het type materiaal is de rookproductie ook afhankelijk van de wijze van verbranding, die op haar beurt weer afhankelijk is van de temperatuur en het zuurstofpercentage. Bij hoge temperaturen en hoge zuurstofconcentraties kan de rookproductie beperkt blijven (we spreken dan van een volledige verbranding). Bij een te lage temperatuur en/of lage zuurstofconcentraties kan er sprake zijn van een onvolledige verbranding en een grotere rookproductie. Een zuurstoftekort leidt bijvoorbeeld tot een sterke toename van de concentratie CO, een afname van de concentratie CO₂ en een toename van de productie van roetdeeltjes (Tromp & van Mierlo, 2013).

De omvang van het rookvolume wordt enerzijds bepaald door de rookproductie (brandhaard) en anderzijds door de ingemengde omgevingslucht. Dichtbij de brandhaard is de rook heet en optisch dicht, maar gering in volume. Tijdens het verspreiden van de rook (stromen) wordt omgevingslucht ingemengd in de rook. Door deze inmenging koelt de rook af, is de rook optisch minder dicht en neemt in volume toe. Daarnaast koelt de rook af aan wanden, plafonds en andere objecten waarlangs hij stroomt. Wanneer de rook significant warmer is dan de omgevingslucht, vormt hij een rooklaag boven in een ruimte. In een brandruimte is dit zeker in het beginstadium zichtbaar als afzonderlijke laag boven een rookvrije laag. Bij verdere afkoeling aan bijvoorbeeld wanden en plafonds of door inmenging van koude lucht kan de rook dermate afkoelen dat een opgemengde situatie ontstaat. In dat geval is er geen sprake meer van een rooklaag en rookvrije laag (Tromp & van Mierlo, 2013).

1.2.3 Rookverspreiding

Rook kan zich door gebouwen verspreiden door geforceerde luchtstromen (wind en ventilatiesystemen), normale luchtstromen (een schoorsteeneffect) en luchtstromen veroorzaakt door de brandhaard (Jacoby, LeBlanc, Tubbs, & Woodward, 2016). Deze luchtstromen treden op onder invloed van drukverschillen, die kunnen worden veroorzaakt door:

- > temperatuurverschillen tussen de rook en de omgevingslucht
- > het schoorsteeneffect
- > winddruk

- > een expansie van gassen door opwarming
- > de aanwezigheid en de werking van ventilatiesystemen.

In gebouwen treden drukverschillen veelal op tussen verschillende ruimten. Lucht stroomt van de ruimte met hoge druk naar die met lage druk als er een drukverschil over een opening is tussen dergelijke ruimten. Het drukverschil, de grootte van de opening en de vorm van de opening bepalen de hoeveelheid lucht (of rook) die door een opening stroomt (Tromp & van Mierlo, 2013).

Bij een brand in een ruimte zijn twee processen bepalend voor de uitstroom van gassen door openingen. Als gevolg van de expansie van gassen door opwarming wordt de lucht in de brandruimte door alle beschikbare openingen geduwd. Tegelijkertijd stijgt de verwarmde lucht, met rook, in een pluim naar het plafond. Wanneer de hete rooklaag laag genoeg komt om de bovenkant van een opening te raken, stroomt er rook door de opening. Naarmate de brand groeit, zal het temperatuurverschil tussen de rook en de omgevingslucht toenemen. Dit temperatuurverschil wordt maatgevend voor de uitzetting van gassen. De druk op vloerniveau van de brandruimte daalt onder de atmosferische druk, waardoor er verse lucht onder in de opening de brandruimte kan instromen. Er ontstaat een drukverschil over de hoogte van de opening. Bovenin de opening is sprake van overdruk (uitstroom van rook) en onderin is sprake van onderdruk (instroom van verse lucht) (Tanaka, 2016). Bij rookverspreiding in een gebouw met meerdere ruimten is de drukopbouw in elke ruimte bepalend. Naarmate de rook zich verder verspreidt, zal ook de drukopbouw in de ruimten wijzigen. Dichterbij de brandruimte zal er in ruimten en tussen ruimten sprake zijn van temperatuurverschillen en dus van drukverschillen. Verder verwijderd van de brandruimte zullen de temperatuurverschillen kleiner zijn en zullen heersende drukverschillen (schoorsteeneffect, winddruk, drukverschillen door ventilatiesystemen) bepalend zijn voor de rookverspreiding.

1.3 Vluchten bij brand en rook

Zoals in paragraaf 1.1 is genoemd, is het uitgangspunt voor brandveiligheid in woongebouwen dat aanwezige personen zelfstandig kunnen vluchten (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012a). Uit onderzoek naar reddingen bij woningbranden blijkt echter dat personen veelvuldig gered moeten worden (zo zijn circa 800 personen gered door de brandweer bij 245 incidenten in de periode van 2016 tot en met 2018). Een groot deel van deze geredde personen was mobiel en dus in principe in staat om zelfstandig te vluchten (Brandweeracademie, 2020b). Blijkbaar spelen er dus meer factoren een rol in het vluchtproces dan alleen fysiek mobiel zijn. In deze paragraaf worden deze factoren besproken, zoals detectie en alarmering en menselijk gedrag. Daarnaast wordt gekeken naar risicogroepen bij brand, de gevolgen van blootstelling aan brandcondities en methoden om op basis van deze condities grenswaarden te bepalen voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

1.3.1 Detectie en alarmering

Voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in een woongebouw is het van belang dat een brand snel gedetecteerd wordt. Een brand kan op verschillende manieren worden ontdekt. Uit onderzoek naar reddingen bij woningbranden is gebleken dat wanneer personen een brand hebben ontdekt, dit in de meeste gevallen gebeurd is op basis van de

eigen waarneming, of door waarschuwing van buren of omstanders (43 procent); in beperkte mate zijn zij gewaarschuwd door rookmelders (7 procent) (Brandweeracademie, 2020b). De meest gebruikte uitvoering hiervan is een optische rookmelder (Society of Fire Protection Engineers, 2016). Onderzoek uit 2014 naar de aanwezigheid van rookmelders heeft laten zien dat in de meeste woningen (70%) een rookmelder aanwezig is, maar dat deze niet in alle gevallen functioneert (Brandweeracademie, 2015b). Door intensieve voorlichting door de Brandweer en Brandwondenstichting is de aanwezigheid van rookmelders gestegen (meer dan 70%) (Zoonen, 2020). Na 1 juli 2022 worden rookmelders verplicht (Rijksoverheid, 2020), waardoor hun aanwezigheid in de woonomgeving nog verder zal toenemen.

In het handboek *Basis voor brandveiligheid* (Instituut Fysieke Veiligheid, 2017) zijn op basis van een modelmatige benadering van de brandveiligheidsvoorzieningen en -maatregelen in woongebouwen uitgangspunten geformuleerd voor onder andere het tijdspad van ontvluchting. Voor zelfredzame personen in een woning met één of meerdere rookmelders in de vluchtroute geldt dat een brand wordt ontdekt binnen drie minuten na ontstaan en dat vervolgens één minuut nodig is voor ontvluchting van de woning.

1.3.2 Menselijk gedrag

Uit meerdere onderzoeken is gebleken dat personen zich niet direct bewust zijn van de gevaren van brand en rook en de ontwikkelingssnelheid hiervan ook vaak onderschatten (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra, 2008; Tromp & van Mierlo, 2013). Personen reageren daardoor niet direct op waarschuwingen door bijvoorbeeld een brandalarm; de noodzaak van een snelle ontvluchting wordt niet gezien en reactietijden kunnen hoog oplopen. Daarnaast zijn personen in de beginfase van de brand vaak geneigd om eerst de brand zelf te bestrijden, anderen te waarschuwen en belangrijke eigendommen te verzamelen, voordat acties worden ondernomen gericht op bescherming of ontvluchting / evacuatie (Wales, Thompson, Hulse, & Galea, 2015). Wanneer personen tijdens hun slaap worden gewaarschuwd voor brand, hebben ze nog meer tijd nodig om zich voor te bereiden op vluchten of evacuatie (bijvoorbeeld omdat ze zichzelf aankleden of anderen hiermee helpen) (Kuligowski, 2016). Op het moment dat er wordt gevlucht, wordt vaak gekozen voor een bekende route, ook als deze vol staat met rook. Verder kunnen bepaalde handelingen van personen tijdens het vluchtproces van invloed zijn op de brand- en rookontwikkeling. Voorbeelden hiervan zijn het openen of sluiten van deuren of pogingen om de brand te bestrijden (Kuligowski, 2016).

1.3.3 Risicogroepen

Er zijn grote verschillen in de kans om slachtoffer te worden van een woningbrand. Eén groep die in dezen duidelijk naar voren komt als risicogroep, is de groep ouderen (Brandweeracademie, 2019a; Instituut Fysieke Veiligheid & Nederlandse Brandwonden Stichting, 2016). Hoewel ouderen (60+) een relatief kleine kans hebben op een brand in hun woning, hebben zij wel een relatief grote kans om als gevolg van een woningbrand te overlijden. Onderzoek naar woningbranden in Nederland heeft laten zien dat de meeste slachtoffers van fatale woningbranden 61 jaar of ouder zijn, terwijl de meeste slachtoffers die zijn gered door de brandweer en de brand hebben overleefd tussen de 21 en 40 jaar oud zijn (Brandweeracademie, 2018a, 2020b). Daarnaast zijn slachtoffers van een fatale woningbrand vaak alleenstaand of alleen thuis op het moment dat er brand uitbreekt, en is er doorgaans sprake van beperkingen in hun zelfredzaamheid. Dit is in lijn met wat er te vinden is in de literatuur over risicogroepen en brandveiligheid: ouderen zijn vooral kwetsbaarder voor brand door fysieke en mentale beperkingen en alleenstaanden door een lagere kans op

het ontdekken van de brand en de afwezigheid van andere zelfredzame personen (Brandweeracademie, 2019a). Het lijkt er dus op dat de mate van zelfredzaamheid – en niet zozeer de leeftijd – van personen een belangrijke rol speelt in de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

1.3.4 Conditie voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

De condities waaraan personen in geval van brand in een gebouw worden blootgesteld, hebben een grote invloed op hun vlucht- en overlevingsmogelijkheden (ISO 13571, 2012; Purser & McAllister, 2016). Deze brandcondities zijn:

- > toxische (rook)gassen, onder te verdelen in twee typen:
 - irriterende of prikkelende gassen
 - verstikkende of asfyxiërende gassen
- > warmte, onder te verdelen in vier typen:
 - stralingswarmte direct afkomstig van de brand
 - stralingswarmte afkomstig van de warme rooklaag
 - geleidingswarmte afkomstig van opgewarmde objecten
 - convectiewarmte door contact met de warme rook
- > visuele beperkingen ten gevolge van de rook (zicht).

Hieronder wordt de invloed besproken van bovenstaande brandcondities op vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Toxische rookgassen

Eén van de meest voorkomende oorzaken van verwondingen of dodelijke slachtoffers bij brand is blootstelling aan toxische gassen in de rook (Purser & McAllister, 2016). Deze rook is niet alleen aanwezig in de brandruimte, maar kan zich ook verspreiden naar de (mogelijke) vluchtroute of naar andere ruimten in het gebouw. De belangrijkste toxische rookgassen zijn onder te verdelen in twee typen: de irriterende of prikkelende gassen en de verstikkende of asfyxiërende gassen.

Bij irriterende gassen is met name sprake van irritatie van de ogen en bovenste luchtwegen, ook wel sensorische irritatie genoemd (Purser & McAllister, 2016). Dit irriterende effect is vaak direct merkbaar en verslechtert niet met langere blootstelling.¹⁴ Daarom is bij irriterende gassen de concentratie van belang. Er kan bij irriterende gassen onderscheid gemaakt worden tussen verschillende verbindingen op basis van de wateroplosbaarheid. Dit onderscheid staat uitgelegd in het rapport *Gebrand op inzicht* (Brandweeracademie, 2015b). De meest voorkomende irriterende gassen die bij brand vrij kunnen komen en invloed kunnen hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen die eraan worden blootgesteld, zijn waterstofchloride (HCl), waterstofbromide (HBr), waterstoffluoride (HF), zwaveldioxide (SO₂), stikstofoxiden (NO₂, NO, NO_x), acroleïne (CH₂CHO) en formaldehyde (HCHO) (ISO 13571, 2012; Purser & McAllister, 2016).

Verstikkende gassen zijn gassen die – als ze worden ingeademd – geen directe luchtweg- of longbeschadiging teweegbrengen, maar in combinatie met een hoger zuurstofverbruik tijdens het vluchten leiden tot ademhalingsproblemen (Meulenbelt, de Vries, & Joore, 1996). Daarnaast worden deze gassen door het lichaam geabsorbeerd, wat resulteert in een

¹⁴ Langere blootstelling zou uren of zelfs dagen later wel kunnen leiden tot serieuze longirritatie. Dit heeft echter geen directe invloed op de tijd die personen hebben om zichzelf in veiligheid te brengen en wordt daarom hier niet meegenomen (ISO 13571, 2012).

vermindering van de zuurstofvoorziening in het lichaam, ook wel hypoxie genoemd. Dit kan leiden tot bewustzijnsverlies en uiteindelijk fataal zijn (ISO 13571, 2012). Het effect van verstikkende gassen is niet direct zichtbaar. Vaak is er sprake van een plotselinge overgang van milde naar ernstige effecten, die hardnekkig zijn. Daarom is bij verstikkende gassen de dosis van belang: de concentratie en de duur van de blootstelling. Op het moment dat de dosis toeneemt, neemt ook de ernst van de effecten toe. Acute blootstelling aan een hogere dosis is dan ook verraderlijk: op het moment dat de effecten, zoals verwardheid, duizeligheid, of bewustzijnsverlies, worden bemerkt, kunnen de blootgestelde personen vaak geen actie meer ondernemen (Purser & McAllister, 2016). De belangrijkste verstikkende gassen die een significante invloed hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden zijn koolstofmonoxide (CO) en waterstofcyanide (HCN) (ISO 13571, 2012; Purser & McAllister, 2016).

CO wordt over het algemeen gezien als één van de belangrijkste parameters die van invloed zijn op de mogelijkheden tot vluchten en overleven (Purser & McAllister, 2016). Dit verstikkende gas is namelijk altijd en vaak in hoge concentraties aanwezig bij brand.¹⁵ Blootstelling aan CO is dan ook de belangrijkste oorzaak van dodelijke slachtoffers bij brand. Een goede indicator van de schadelijke effecten van blootstelling aan CO is het percentage carboxyhemoglobine (%COHb), oftewel de dosis CO in het bloed (Purser & McAllister, 2016). CO vormt namelijk een binding met hemoglobine in het bloed, carboxyhemoglobine (COHb), en verlaagt op die manier de zuurstofvoorziening in het lichaam. De effecten van het percentage COHb in het bloed volgens het Nationaal Vergiftigingen Informatie Centrum (NVIC) staan weergegeven in het rapport *Het kan verkeren* (Brandweeracademie, 2015c).

HCN komt altijd in bepaalde mate vrij als stikstofhoudende materialen betrokken zijn bij brand (Purser & McAllister, 2016). Vooral bij ondergeventileerde branden zullen hoge concentraties HCN aangetroffen worden. De uiteindelijk effecten van blootstelling aan HCN zijn dezelfde als van blootstelling aan CO; het werkingsmechanisme is echter anders. HCN vormt namelijk niet alleen een binding in het bloed, maar verspreidt zich ook snel naar de hersenen. De effecten van HCN treden dan ook kort na blootstelling op en zijn direct ernstig. Daarnaast is HCN ongeveer vijftwintig keer toxischer dan CO (ISO 13571, 2012).

Naast CO en HCN kunnen ook lage concentraties zuurstof (O₂ minder dan 15 procent) en hoge concentraties koolstofdioxide (CO₂ meer dan 5 procent) verstikkende effecten hebben (Purser & McAllister, 2016). Door een brand wordt zuurstof uit de ruimte verbruikt, waardoor een gebrek aan zuurstof in de ademlucht van de aanwezige personen het gevolg is. Dit zuurstofgebrek kan leiden tot bewustzijnsverlies op het moment dat de zuurstofvoorziening naar de hersenen onder een kritieke waarde komt, en kan daarom levensbedreigend zijn (Purser & McAllister, 2016). In het rapport *Gebrand op inzicht* (Brandweeracademie, 2015b) staat een overzicht van de verschillende gezondheidseffecten van lage zuurstofpercentages. CO₂ komt net als CO altijd vrij bij brand, maar is niet toxisch bij concentraties tot 5 procent. Inademen van CO₂ kan echter wel de ademhaling versnellen en uiteindelijk leiden tot hyperventilatie. Deze hyperventilatie kan resulteren in een verhoogde opname van andere toxische gassen die vrijkomen (Purser & McAllister, 2016).

¹⁵ Hoewel het bij een CO-intoxicatie gaat om de dosis die iemand heeft ingeademd, is er ook informatie bekend over de lichamelijke effecten van CO bij verschillende concentraties. Een overzicht hiervan staat weergegeven in het rapport *Gebrand op inzicht* (Brandweeracademie, 2015b).

Warmte

Tijdens een brand kunnen personen blootgesteld worden aan stralingswarmte (van de brand zelf, de warme rooklaag of opgewarmde voorwerpen) of aan convectiewarmte (via warme rook). Deze blootstelling kan leiden tot drie verschillende fysieke gevolgen en daarmee invloed hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden:

- > hyperthermie
- > brandwonden op het lichaam (huid)
- > brandwonden in de luchtwegen.

Hyperthermie is een graduele verhoging van de lichaamstemperatuur als gevolg van een langdurige blootstelling aan warmte (Purser & McAllister, 2016). Het gaat hierbij om een blootstelling van 15 minuten of meer aan temperaturen die te laag zijn om brandwonden te veroorzaken (minder dan 121 graden Celsius voor droge lucht en minder dan 80 graden Celsius voor verzadigde lucht). Wanneer de lichaamstemperatuur hoger is dan 40 graden Celsius, is er risico op bewustzijnsverlies. Een lichaamstemperatuur hoger dan 42,5 graden Celsius kan fataal zijn.

Brandwonden kunnen het gevolg zijn van blootstelling aan zowel stralingswarmte als convectiewarmte. De grenswaarde voor blootstelling van de huid aan stralingswarmte is ongeveer 2,5 kilowatt per vierkante meter (ISO 13571, 2012; Purser & McAllister, 2016). De grens voor blootstelling aan convectiewarmte van onbeschermdde huid ligt ongeveer op 120 graden Celsius. Boven deze grens ervaren personen vaak binnen een paar minuten aanzienlijke pijn en kunnen er brandwonden ontstaan. Brandwonden in de luchtwegen komen zelden voor in afwezigheid van brandwonden op de huid, waardoor de grenswaarden voor brandwonden op de huid over het algemeen lager zijn dan de grenswaarden voor brandwonden op de luchtwegen (Purser & McAllister, 2016).

Zicht

Na het ontstaan van brand wordt de rook die in een ruimte hangt steeds dichter (door roetdeeltjes), wat het zicht van de aanwezige personen vermindert. Dit zorgt voor desoriëntatie, een verminderde loopsnelheid en een slechtere zichtbaarheid van vluchtroutes, waardoor vluchten en evacueren worden bemoeilijkt (Hadjisophocleous & Mehaffey, 2016). Visuele beperking ten gevolge van rook is dan ook voornamelijk van invloed op de vluchtmogelijkheden van personen.

1.3.5 Grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Bovengenoemde brandcondities kunnen leiden tot belemmerde vluchtmogelijkheden en een levensbedreigende of zelfs een fatale situatie voor personen die eraan worden blootgesteld (zie figuur 1.3). Om te kunnen bepalen wanneer deze drie situaties zich voordoen, zijn in verschillende internationale standaarden grenswaarden¹⁶ vastgelegd.

¹⁶ Hierbij is het belangrijk zich ervan bewust te zijn dat deze waarden aan verandering onderhevig zijn door nieuwe wetenschappelijke inzichten.



Figuur 1.3 Schema vlucht- en overlevingsmogelijkheden van slachtoffers bij brand

Volgens de ISO norm (ISO 13571, 2012) en het SFPE-handboek (Purser & McAllister, 2016) zijn de onderstaande methodes van belang voor het bepalen van het moment waarop de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen worden bedreigd.

- > De Fractional Effective Concentration (FEC) of Fractional Irritant Concentration (FIC). Dit is de verhouding tussen de concentratie van een bepaalde stof en de concentratie die de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bedreigt.
- > De Fractional Effective Dose (FED) of Fractional Lethal Dose (FLD). Dit is de verhouding tussen de dosis – de concentratie en duur van de blootstelling – van een bepaalde stof en de dosis die de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bedreigt.

Om te kunnen bepalen vanaf welke FED-/FLD- of FEC-/FIC-waarde blootgestelde personen niet meer veilig kunnen vluchten of overleven, is een gevoeligheidsfactor (sf) vastgesteld (ISO 13571, 2012). Deze gevoeligheidsfactor is afhankelijk van de kwetsbaarheid van de personen en de brandcondities waaraan zij zijn blootgesteld. De grootste subpopulaties die gevoeliger dan gemiddeld kunnen zijn voor blootstelling aan brandcondities zijn zeer jonge personen (zuigelingen en jonge kinderen), ouderen, en personen met longaandoeningen. Zuigelingen en jonge kinderen zijn door de – in verhouding tot hun lichaamsgewicht – grotere hoeveelheid ingeademde lucht per minuut gevoeliger voor verstikkende gassen. Daarnaast hebben zij vaak een dunnere huid, waardoor ze eerder brandwonden kunnen oplopen. Ook ouderen, met name die met cardiovasculaire problemen, zijn gevoeliger voor verstikkende gassen en kunnen eerder brandwonden oplopen door een dunnere huid. Personen met longaandoeningen zoals astma en chronische obstructieve longziekte (COPD), zijn gevoeliger voor irriterende gassen, zelfs bij slechts een korte blootstelling daaraan (ISO 13571, 2012). In de ISO-norm en het SFPE-handboek komt de waarde $sf = 1$ per definitie overeen met de mediaan van de verdeling (gemiddelde populatie), wat betekent dat 50 procent van de populatie minder vatbaar is en 50 procent vatbaarder is. Daarnaast worden gevoeligheidsfactoren genoemd die rekening houden met de kwetsbaarheid van personen, namelijk een waarde van $sf = 0,3$ voor de kwetsbare populatie (11,4 procent) en een waarde van $sf = 0,1$ voor de zeer kwetsbare populatie (1,1 procent) (ISO 13571, 2012; Purser & McAllister, 2016).

De Acute Exposure Guidelines (AEG) gaan bij verschillende blootstelduren (10 minuten, 30 minuten, 1 uur, 4 uur en 8 uur) uit van drie niveaus van grenswaarden:

- > AEG-1: het ervaren van ongemak, irritatie of bepaalde asymptotische niet-sensorische effecten. Er is geen blijvend effect na beëindiging van de blootstelling.
- > AEG-2: het ervaren van onomkeerbare of andere ernstige en langdurige nadelige gevolgen voor de gezondheid of een verminderd vermogen om te vluchten.

- > AEGL-3: het ervaren van levensbedreigende gevolgen voor de gezondheid of terecht komen in een fatale situatie.

De AEGL-waarden worden uitgedrukt in concentraties waarboven gezondheidseffecten kunnen optreden, afhankelijk van de gekozen blootstellingsduur en het gekozen niveau (National Research Council, 2001). Deze waarden representeren de grenswaarden voor de gemiddelde populatie, inclusief de kwetsbare groepen daarbinnen. De AEGL is een richtlijn specifiek voor gassen.

Op basis van een vergelijking van de ISO-norm, het SFPE-handboek en AEGL (zie bijlage 1) is gebleken dat het SFPE-handboek de meest volledige en actuele richtlijn is om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden te bepalen. Daarom is ervoor gekozen om in dit onderzoek de SFPE-richtlijn aan te houden. Een overzicht van de brandcondities, de bijbehorende methode en gevoeligheidsfactor voor belemmerende ontvluchting, een levensbedreigende situatie en een fatale situatie staat weergegeven in tabel 1.2.

Tabel 1.2 Overzicht van grenswaarden volgens het SFPE-handboek

Brandconditie	Methode	Belemmerend	Levensbedreigend	Fataal
Irriterende gassen	FIC FLD	sf * 1	sf * 5	sf * 1
Verstikkende gassen	FED _{IN}		sf * 1	sf * 2
Warmte	FED _{heat}	sf * 1	sf * 8	sf * 12
Zicht	FEC _{smoke}	sf * 1		

1.4 Brandweerinzet (interventie)

Binnen dit onderzoek wordt specifiek gekeken naar de invloed van de brandweerinzet als externe hulpverlening op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van aanwezige personen in een woongebouw met inpandige gangen. De doelstelling en mogelijkheden voor externe hulpverlening worden door meerdere factoren bepaald. Voorbeelden zijn het risico op instortingsgevaar en het bezwijken van brandwerende constructies, de mate van zelfredzaamheid van personen en het ontstaan van brandfenomenen zoals overslag of rookgasexplosies (Brandweeracademie, 2014b). Belangrijke onderdelen van de brandweerinzet met betrekking tot dit onderzoek zijn de operationele tijd van de brandweer, de inzet tactiek, de ontruiming en het ventileren.

1.4.1 De operationele tijd van de brandweer

Om te kunnen vaststellen op welk moment een inzet start, is het van belang te bepalen wat de operationele tijd van de brandweer is. De operationele tijd is gedefinieerd als de tijd van het ontstaan van de brand tot aan het moment dat de brandweer kan starten met de initiële actie (Herpen & Witte, 2015). Een schematische weergave van operationele tijd is te zien in figuur 1.4. De operationele tijd van de brandweer is een product van diverse parameters zoals detectie en alarmering door rookmelders, de opkomsttijd van vrijwilligers versus

gekazerneerde beroepskrachten, de informatie die vooraf en tijdens de uitvraag verkregen wordt et cetera.



Figuur 1.4 De operationele tijd van de brandweer

Na alarmering moet de brandweer volgens de wettelijke normen voor opkomsttijd bij brand in gebouwen met een woonfunctie binnen 5 tot 8 minuten aanwezig zijn (Rijksoverheid, 2017). Voor de bevelvoerder is het van belang zoveel mogelijk relevante informatie te verzamelen, zowel ter plaatse als vooraf op weg naar het incident. Deze informatie helpt de bevelvoerder bij het maken van keuzes tijdens de inzet. Relevante vormen van informatie zijn bijvoorbeeld:

- > een digitale bereikbaarheidskaart: een overzichtskaart met alle brandpreventieve- en repressieve voorzieningen van het gebouw
- > een aanvalskaart: een overzichtskaart met toegangen, aanvalsroutes, risico's, gevaarlijke stoffen et cetera
- > een indicatie waar de brand zich bevindt, of er nog personen binnen zijn in de woning en of de ontruiming van het gebouw reeds is gestart.

1.4.2 Inzettactiek

Binnen de Nederlandse brandweer wordt tijdens een inzet sinds enige tijd gewerkt volgens de basisprincipes van brandbestrijding (Brandweeracademie, 2020a). Volgens deze principes is één van de eerste vragen die moet worden beantwoord de vraag waar de brand zich bevindt. Een indicatie daarvan kan informatie vanuit de melding, de bewoners of – indien aanwezig¹⁷ – de eerst aangesproken melder van de brandmeldinstallatie zijn. Daarnaast wordt een rondomverkenning van buitenaf met behulp van een warmtebeeldcamera (WBC) uitgevoerd. Hierbij wordt gezocht naar warmte of rookverschijnselen die aan de buitenzijde zichtbaar zijn. De buitenverkenning levert input op voor de keuze voor een kwadrant, tactiek, aanvalsweg en eventuele opschaling.

Voor het ondersteunen van de besluitvorming tijdens incidenten maakt de brandweer gebruik van het kwadrantenmodel (Brandweeracademie, 2014c). Elk kwadrant kent zijn eigen doelstellingen en de daarbij horende inzetmogelijkheden. Voor de keuze voor een kwadrant bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen is het eerst van belang om te weten of er al een interventie is gepleegd door interne hulpverlening (de bedrijfshulpverlening, BHV), zoals de brand onder controle houden of de omgeving

¹⁷ In de meeste woongebouwen, met uitzondering van specifieke woonfuncties met zorg, is echter geen brandmeldinstallatie aanwezig.

ontruimen. In de meeste woongebouwen, met uitzondering van woonfuncties met zorg, is echter geen BHV aanwezig. Vervolgens is het voor de kwadrantkeuze van belang om te weten of er personen gered moeten worden, of er sprake is van (potentiële) branduitbreiding en of de brand geblust kan worden. Op basis van deze informatie kan er bij een brand in een woongebouwen met inpandige gangen gekozen worden uit de onderstaande drie kwadranten.

- > Offensieve binnenzet: een inzet binnen het brandcompartiment waarbij er wordt ingezet op blussing en redding. Pas na blussing wordt ingezet op de evacuatie van overige bewoners.
- > Defensieve binnenzet: een inzet buiten het brandcompartiment waarbij wordt ingezet op het voorkomen van uitbreiding naar andere brandcompartimenten en het evacueren van bewoners in woningen die in de nabijheid van de brandruimte liggen.
- > Offensieve buiteninzet: een inzet gericht op het van buiten het gebouw bestrijden van de brand, om hiermee de condities in het brandcompartiment te verbeteren. Dit kwadrant wordt vaak gekozen wanneer er sprake is van een uitslaande brand.

Voor een inzet bij woongebouwen waarin zich nog personen bevinden, staat een bevelvoerder voor een keuze: krijgt redding (evacuatie) of blussing de prioriteit in de inzet? Vakliteratuur laat zien dat veelal de voorkeur wordt gegeven aan blussing (Brandweeracademie, 2014c, p. 33; Lambert, 2012). De gedachte hierachter is, dat bij blussing de 'motor' wordt stil gelegd en zo de productie van rookgassen en een stijging van de temperatuur worden gestopt. Het is echter ook bekend dat deze keuze vaak niet strookt met brandpreventieve concepten binnen gebouwen (Brandweer Nederland, 2012; Instituut Fysieke Veiligheid, 2017). Voorbeelden hiervan zijn het doorbreken van brand- en rookwerende scheidingswanden met slangen. Daarnaast blijkt uit praktijkincidenten dat brandbestrijding kan zorgen voor het verslechteren van de situatie in de vluchtroutes (Brandweeracademie, 2014a, 2015a; Moore-Bick, 2019). Er worden in de les- en leerstof voor brandweermensen of in literatuur over inzet tactieken geen handvatten of vuistregels beschreven waarmee een keuze tussen een offensieve of defensieve tactiek gemaakt kan worden.

In de huidige les- en leerstof en in diverse publicaties (Brandweeracademie-IFV, 2019a, 2019b; Brandweeracademie, 2014c, 2020a) is veel geschreven over brandbestrijding, kwadrantkeuze en de basisprincipes voor brandbestrijding. Ook wordt er veel aandacht geschonken aan de bestrijding van branden bij seniorenwoningen, in hoogbouw en waar niet-zelfredzame personen bij zijn betrokken (Brandweeracademie, 2016a; Instituut Fysieke Veiligheid, 2017; Madrzykowski & Kerber, 2010; Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra, 2008). Er wordt echter vrijwel geen specifieke aandacht geschonken aan rookverspreiding en een daarbij passende repressieve aanpak gebaseerd op gebouw-, brand-, mens-, omgevings- en interventiekenmerken.

1.4.3 Ontruiming

Ontruiming van één of meerdere woningen kan een interventiestrategie zijn om de risico's voor bewoners te beperken. De beslissing tussen het wel of niet ontruimen van een woning (of verdieping of gebouw) is voor de brandweer afhankelijk van de mate van dreiging die van de situatie uitgaat. Voor de brandweer is de ondergrens voor het ontruimen van een woning de aanwezigheid van zichtbare rook in de woning en/of een gemeten concentratie van 25 ppm CO. Dit laatste komt overeen met de maximale aanvaardbare concentratie (MAC) voor 8 uur verblijftijd voor de algemene groep.

Bij het uitvoeren van de ontruiming van een woongebouw kan worden gekozen om dit op meerdere niveaus te doen, afhankelijk van de situatie in het gebouw ten tijde van interne of externe hulpverlening. Hierbij kan worden gedacht aan het ontruimen van een of meerdere woningen, van een (sub)brandcompartiment, een verdieping of een gebouwdeel (Nederlands Instituut voor Bedrijfshulpverlening, 2019).

Er bestaan meerdere ontruimingsstrategieën die afhankelijk van de situatie en kenmerken van het incident kunnen worden gekozen (Ronchi & Nilsson, 2013).

- > Totale gebouwontruiming: alle bewoners uit het gehele gebouw komen (min of meer) tegelijk naar buiten. Dit kan zelfstandig of onder begeleiding van interne en/of externe hulpverlening gebeuren.
- > Gefaseerde gebouwontruiming: er wordt een prioriteit aangebracht op basis van de meest kritieke of bedreigde verdiepingen, compartimenten of gebouwdelen. De bewoners uit deze delen van het gebouw komen als eerste uit het gebouw naar buiten, daarna pas de overige bewoners. Dit kan zelfstandig of onder begeleiding van interne en/of externe hulpverlening gebeuren.
- > Stay-in-place: bewoners blijven in hun eigen woning / (sub)compartiment. Interne en/of externe hulpverlening brengt eerst het incident onder controle en gaat daarna pas starten met de ontruiming. Bewoners wachten totdat hulpverleners hen komen ophalen.
- > Vertraagde gebouwontruiming: bewoners worden uit hun woning of (sub)brandcompartiment naar een veilige ruimte gebracht ('refuge area') in een ander compartiment of vluchten hier zelf naartoe. Hier wachten ze totdat het incident onder controle is of totdat ze door interne en/of externe hulpverlening naar een andere plek worden gebracht.

Iedere strategie kent voor- en nadelen, waarbij de mensfactor van de bewoners vaak de beperkende factor vormt. Niet altijd worden onder (tijds)druk, stress of paniek aanwijzingen van de interne en/of externe hulpverlening opgevolgd. Dit is vooral het geval wanneer er sprake is van rookverspreiding naar een woning of gang waardoor gevlucht moet worden. Het is daarom zaak te anticiperen op verwachte gedragingen, niet uit te gaan van een exacte opvolging van aanwijzingen tijdens de ontruiming en rekening te houden met relatief lange ontruimingstijden in woongebouwen (Ronchi & Nilsson, 2013).

1.4.4 Ventileren

Er zijn voor de brandweer meerdere redenen om tijdens of na een brand te ventileren. Zo worden het zicht verbeterd, de hitte verminderd en de overlevingskans voor slachtoffers groter dankzij het afnemen van gasconcentraties (Zevotek, 2015). Tegelijkertijd wordt echter door het ventileren zuurstof aangevoerd, waardoor een brandhaard zich (verder) kan ontwikkelen. Binnen de basisprincipes wordt daarom gesteld dat het zaak is zo min mogelijk zuurstof aan te voeren bij gebouwbranden, totdat de brandhaarden onder controle zijn (Brandweeracademie, 2018b).

Er zijn diverse manieren van ventileren mogelijk (Lambert, 2015).

- > Natuurlijk ventileren: het ventileren van een gebouw(deel) door gebruik te maken van de stroming die ontstaat door druk- en temperatuurverschillen veroorzaakt door de brand.
- > Mechanisch ventileren (overdrukventilatie, PPV¹⁸): het ventileren van een gebouw(deel) door een geforceerde stroming (overdruk) te creëren met behulp van een ventilator.

¹⁸ Positive pressure ventilation, een andere benaming voor overdrukventilatie.

- > Hydraulisch ventileren: het creëren van stroming door uit een (gevel)opening te spuiten met een sproeistraal (kegel). De venturi-werking van een straalpijp zorgt hierbij voor een drukverschil, waardoor omgevingslucht en rookgassen worden meegezogen in de spuitrichting (Weinschenk, Stakes, & Zevotek, 2017).

Bij ventileren is het van belang dat er een stromingsprofiel (ook wel 'flowpath') wordt gecreëerd. Hierbij moet er worden gezorgd voor een in- en uitstroomopening, een zo kort mogelijke route en een juiste verhouding tussen de in- en uitstroomopening. Hoe langer het flowpath en/of hoe meer volume dit bevat, hoe minder effectief het ventileren. Daarnaast moet er altijd rekening worden gehouden met de heersende windrichting: de instroomopening bevindt zich idealiter altijd aan de winddrukzijde.

1.5 Vergelijkbaar eerder onderzoek

In deze paragraaf wordt beschreven welke onderzoeken eerder zijn verricht die direct of indirect waardevolle informatie hebben opgeleverd over rookverspreiding. Op die manier is beoogd de meerwaarde van dit onderzoek zo groot mogelijk te maken. Er wordt vanwege de vele onderzoeken die reeds zijn gedaan geen uitputtend overzicht gegeven; enkel relevante onderzoeken worden behandeld.

1.5.1 Algemeen (praktijk)onderzoek naar branden in woningen en woongebouwen

Evaluaties van praktijkincidenten hebben laten zien dat rookverspreiding in de praktijk groter is dan op basis van de theorie werd gedacht (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017). Rook verspreidt zich in een gebouw via allerlei routes. Zo zijn kanalen, (lift)schachten, ventilatiesystemen en (ondeugdelijke) bouwkundige brandpreventieve voorzieningen veelvoorkomende verspreidingsroutes van rook. Verder kan de inzet van de brandweer zorgen voor rookverspreiding. Rookverspreiding speelt dan ook een belangrijke rol in de ontwikkeling van het incident, de aanpak daarvan en de bijbehorende dilemma's. Een grootschalige ontruiming vraagt om veel capaciteit van de brandweer. Een belangrijk dilemma bij een grote hoeveelheid rookverspreiding is of de brandweer eerst moet blussen of eerst moet ontruimen / redden. Welke van de twee opties de voorkeur verdient, verschilt per incident.

Op het gebied van brand in woningen zijn reeds eerder praktijkexperimenten uitgevoerd. Zo heeft de Brandweeracademie in 2014 onderzoek gedaan naar brandontwikkeling en overleefbaarheid bij woningbranden (Brandweeracademie, 2015c). Hierbij is onder meer gezien dat een brand in een woning zich snel ontwikkelt en dan vaak gesmoord raakt door een gebrek aan zuurstof. Deze gesmoorde brand kan echter snel weer oplaaien door een nieuwe toevoer van zuurstof, bijvoorbeeld bij een binnenaanval van de brandweer, en zorgt voor risico's voor de brandweer. Tijdens deze praktijkexperimenten is ook gekeken naar tijden voor overleefbaarheid in verschillende situaties in woningen. Het is gebleken dat een dichte deur tussen de brandruimte en de overige ruimten in de woning de overleefbaarheid buiten de brandruimte aanzienlijk verbetert. De testen zijn uitgevoerd in een rijtjeswoning en geven daarmee geen inzicht in de rookverspreiding binnen een woongebouw.

Underwriters Laboratories heeft praktijkonderzoek gedaan naar de invloed van een moderne inrichting op woningbranden en de impact daarvan op de tactieken van de brandweer voor

ventilatie (Kerber, 2010). Tijdens dit onderzoek is waargenomen dat een brand in een woning met een moderne inrichting een hoger brandvermogen heeft en meer rook produceert dan een brand in een woning met een ouderwetse inrichting. Er is ook geconstateerd dat branden waarbij moderne meubels betrokken zijn, vaak ondergeventileerd zijn. Een gesloten deur tussen de brandruimte en een andere ruimte vergroot de overlevingskansen in die andere ruimte. Ook dit onderzoek geeft inzicht in (de situatie tijdens een) brand in woningen, maar niet in (die bij) brand in woongebouwen.

Exova WarringtonFireGent NV en de Universiteit Gent hebben een onderzoek met praktijkexperimenten gedaan naar de effectiviteit van verschillende brandveiligheidsmaatregelen in woonzorgcentra (Exova WarringtonFireGent NV & Universiteit Gent, 2016). Met een bank als brandobject is gekeken naar een aantal verschillende maatregelen, zoals extra rookwerende deuren (S200 criterium), een sprinkler, rookbeheersing en een sprinkler in combinatie met rookbeheersing. De belangrijkste conclusies uit deze testen staan hieronder.

- > Bij een brand ontstaat drukopbouw, die zorgt voor verspreiding van rook. Een sprinkler of een voldoende grote opening in de brandruimte kan deze drukopbouw teniet doen. Voordat de sprinkler geactiveerd wordt, kan er al genoeg drukopbouw zijn om rookdoorgang te krijgen door bijvoorbeeld naden en kieren.
- > Het verschil in rookdoorgang tussen een 'normale' brandwerende en een (extra) rookwerende deur kon in deze proeven niet worden aangetoond, omdat de 'nulproef' een erg lage drukopbouw kende.
- > Alleen de combinatie van rookbeheersing en een sprinkler zorgt voor goed zicht in de brandruimte, maar enkel na activatie van de sprinkler. Er is een hoog afvoerdebiet nodig voor de rookbeheersing om voldoende zicht te houden.
- > De sprinkler blust de brand niet.

Bij deze testen bevond de brand zich in de gecombineerde gang met gemeenschappelijke ruimte. Er is geen test met een brand in een van de kamers uitgevoerd.

1.5.2 Onderzoeken naar risicobeheersende maatregelen

Er zijn meerdere onderzoeken gedaan naar de effectiviteit van automatische blussystemen in een woon(zorg)omgeving. Enkele conclusies uit deze onderzoeken staan hieronder opgesomd.

- > De overleefbaarheid in de brandruimte verbetert door het gebruik van automatische blussystemen, maar is niet altijd gegarandeerd. Buiten de brandruimten is de overleefbaarheid wel nagenoeg altijd gegarandeerd (Ahrens, 2017; Herpen, Rojas Garces, & Braber-Vossestein, 2018; Shipp & Clark, 2006).
- > Bij een brand op een aan de gang gelegen kamer is het zicht in de gang ook bij een gesprinklerde brand beperkt (British Automatic Fire Sprinkler Association (BAFSA), 2010). Dit is geconcludeerd op basis van CFD-simulaties, niet door het doen van praktijkexperimenten.
- > Watermistssystemen presteren beter dan sprinklers. Een stand alone watermiststelsel presteert ongeveer even goed als andere watermistssystemen, ondanks een lager debiet (Arvidson, 2017).
- > De invloed van automatische blussystemen op het gedrag van rook en de verspreiding daarvan is van veel factoren afhankelijk en lastig te voorspellen (Li, Chen, & Li, 2011; Tang, Fang, Yuan, & Merci, 2013; Tang, Vierendeels, Fang, & Merci, 2013).

Wat betreft rookwerende deuren zijn gegevens bekend uit normtesten volgens NEN-EN 1634-3:2004+C1:2007. Bij deze testen is de rooklekage gemeten bij drukken van 10,25 en 50 Pascal. Daarnaast is uit praktijkonderzoeken bekend dat drukken in de brandruimten hoger kunnen zijn dan 50 Pascal (Exova WarringtonFireGent NV & Universiteit Gent, 2016; Hostikka, Janardhan, Riaz, & Sikanen, 2017). Het gedrag van de rookwerende deuren bij deze hogere drukken is niet bekend. De samenstelling van de rook kan bij een laboratoriumtest volledig anders zijn dan bij een praktijkbrand. Of deze andere samenstelling van de rook invloed heeft op de rookdoorgang van de deuren is niet bekend.

In eerdere onderzoeken is ook gekeken naar de mogelijkheid om de brandbaarheid, toxiciteit en rookproductie van brandbare objecten in woningen te verlagen (Kerber, 2010; Liempd, 2015). Hierin is gezien dat objecten die minder snel en fel branden een grote verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden kunnen geven. In deze onderzoeken lag de focus op het effect op de situatie in een woning of appartement waar de brand woedde, en niet op het effect in gangen en andere woningen in een woongebouw.

1.5.3 Onderzoeken naar de brandweerinzet

Naar de invloed van de inzet van de brandweer op de rookverspreiding in een (woon)gebouw zijn een aantal onderzoeken gedaan. In een gebouw van drie bouwlagen zijn experimenten gedaan in een appartement, waaruit is gebleken dat overdrukventilatie een goed en bruikbaar middel is, mits voorzichtig en goed toegepast (Svensson, 2002). Het gebouw bestond bij deze experimenten uit één appartement per bouwlaag, gelegen aan een trappenhuis. Horizontale rookverspreiding naar andere appartementen in een woongebouw is dus niet onderzocht. Uit een onderzoek van NIST (Kerber & Madrzykowski, 2009) blijkt dat deurcontrole een goed middel is om rookverspreiding te beperken. Overdrukventilatoren werkten ook goed, maar bij een sterke wind buiten was de kracht van de ventilator soms onvoldoende om tegen de wind in te blazen. Het blussen van de brand zorgde snel voor een verlaging van de temperatuur in het gebouw.

In Nederland is voor de invloed van de inzet van de brandweer op de rookverspreiding in een (woon)gebouw gekeken naar ervaringen opgedaan tijdens brandweerinzetten bij incidenten en naar evaluatie(onderzoek) van deze incidenten (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017). De ervaringen uit incidenten in de praktijk hebben tot nog toe niet voldoende inzicht kunnen geven in het fenomeen rookverspreiding in woongebouwen. Daarnaast is nog onvoldoende bekend over het effect van de inzet van de brandweer op de rookverspreiding. Informatie over de vlucht- en overlevingsmogelijkheden is uitsluitend te genereren door metingen uit te voeren. Vooralsnog is dit uitsluitend via praktijktesten mogelijk.

1.5.4 Casuïstiek en simulaties

De Brandweeracademie heeft 77 praktijkbranden in seniorencomplexen geanalyseerd om te bepalen of de invloed van het brandverloop en de rookverspreiding op de ontvluchting van het gebouw overeen kwam met de uitgangspunten van het Bouwbesluit 2012 (Brandweeracademie, 2016a). Hierbij is gezien dat de combinatie van ouderen die niet zelfstandig kunnen vluchten en een snelle rookverspreiding door het gebouw al bij een relatief kleine brand kan leiden tot slachtoffers. De verspreiding van rook gaat in de praktijk sneller dan waar de bouwregelgeving van uitgaat en de ontvluchting van personen uit het gebouw blijkt meer tijd in beslag te nemen. Deze casuïstiek is verder verdiept met behulp van simulaties in een woongebouw met inpandige gangen (Brandweeracademie, 2019b).

In deze simulaties zijn ventilatie(schachten) buiten beschouwing gelaten, omdat het meenemen daarvan zou leiden tot een te grote complexiteit van de berekeningen. In de simulaties is gevarieerd met het type brandstof en het openen van deuren. Daarnaast is gekeken naar de overleefbaarheid en de vluchtmogelijkheden van personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid voor brand (Beyler, 2002).

De resultaten van de simulaties laten zien dat een brandruimte met een gesloten deur een aanzienlijk positief effect heeft op de omgevingscondities voor ontvluchting van en overleefbaarheid in de overige ruimten. Het type brandstof is ook van invloed op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden – een cellulosebrand is gunstiger dan een schuimbrand – maar in mindere mate dan het open of gesloten zijn van de deur van de brandruimte. Verder is geconstateerd dat risicogroepen die kwetsbaar zijn voor rook, (veel) sneller in de problemen kunnen raken dan de gemiddelde bevolking. Deze simulaties geven een goed eerste beeld van de gevolgen van een brand in een woongebouw met inpandige gangen. Nadeel is dat, zoals gezegd, de ventilatie van het gebouw niet is meegenomen.

Verder zijn de uitkomsten van de simulaties afhankelijk van de gekozen input en kent elke simulatiesoftware afwijkingen in de berekeningen ten opzichte van de werkelijke situatie. Hoewel simulatiesoftware steeds beter gevalideerd is voor een steeds breder toepassingsgebied, blijft de output sterk afhankelijk van de gekozen input van de simulatie, die vaak een vereenvoudiging is van de werkelijke situatie. Daarnaast is simulatiesoftware over het algemeen nog onvoldoende gevalideerd om betrouwbare resultaten te geven voor de interactie tussen water en brand. Door middel van het uitvoeren van praktijkexperimenten kunnen dergelijke onzekerheden in de input van de simulatie worden uitgesloten, en de resultaten van dergelijke experimenten kunnen gebruikt worden om simulatiesoftware verder te valideren.

1.6 Samenvatting en keuzes

Zoals vermeld, wordt in dit onderzoek de rookverspreiding in een woongebouw met inpandige gangen in kaart gebracht. Uit praktijkcasussen is gebleken dat er vaak sprake is van forse rookontwikkeling bij relatief kleine branden. De brand blijft vaak beperkt tot het object van ontstaan, dat in veel gevallen gestoffeerd meubilair (bank of matras) betreft, en produceert veel rook. Deze rook verspreidt zich al snel onder invloed van luchtstromingen – veroorzaakt door de brandhaard, weersinvloeden, ventilatiesystemen en schoorsteeneffecten – buiten de brandende woning en zorgt daarmee voor belemmerde of geblokkeerde vluchtroutes. Het is echter nog onvoldoende bekend wat de snelheid en omvang van deze rookverspreiding zijn en welke factoren hierbij een bepalende rol spelen.

Er zijn reeds diverse onderzoeken gedaan naar het brandverloop in woningen en de effectiviteit van risicobeheersende en bestrijdende maatregelen, maar er is wetenschappelijk nog onvoldoende bekend over de bijbehorende rookverspreiding en het effect hiervan – in relatie tot risicobeheersende maatregelen en brandbestrijding – op vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Daarnaast heeft er voor zover bekend nog geen praktijkonderzoek plaatsgevonden naar rookverspreiding op de schaal van een woongebouw met brand in een woning. Simulaties kunnen goed inzicht geven, maar bieden onzekere resultaten en kennen beperkingen in de toepasbaarheid. Daarom worden voor dit onderzoek praktijkexperimenten uitgevoerd.

Omdat gestoffeerd meubilair vaak zorgt voor forse rookverspreiding bij branden, en rookverspreiding in woongebouwen met inpandige gangen relatief vaak voorkomt, is gekozen voor een bank als brandobject en een woongebouw met inpandige gangen als onderzoeksobject (zie ook hoofdstuk 2).

Naast het in kaart brengen van de rookverspreiding wordt in dit onderzoek gekeken naar het effect van deze rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van aanwezige personen. Hierbij wordt uitgegaan van de aanwezigheid van een functionerende rookmelder, een tijdsperiode van 3 minuten voor ontdekking van de brand door aanwezige personen en een tijdsperiode van 2 minuten voor het ontvluchten van de woning en de melding van de brand. Volgens de in paragraaf 1.3.1 genoemde uitgangspunten duurt de periode van detectie en ontvluchting in totaal 4 minuten, maar gezien de toename van zelfstandig wonende kwetsbare personen en het rekening houden met de melding van de brand, wordt in dit onderzoek uitgegaan van een totale periode van 5 minuten. Om te kunnen bepalen wanneer de vlucht- en overlevingsmogelijkheden door de verschillende brandcondities worden bedreigd, is gekozen voor de methode en grenswaarden uit het SFPE-handboek. Vanwege het feit dat ouderen en verminderd zelfredzamen oververtegenwoordigd zijn in fatale woningbranden, zijn deze grenswaarden voor de betreffende verschillende groepen bepaald.

Als laatste wordt gekeken naar het effect van verschillende risicobeheersende maatregelen en de brandweerinzet op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Er is op dit moment niet tot nauwelijks bekend welke risicobeheersende maatregelen effectief zijn voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Daarnaast is er onvoldoende inzicht in het effect van de brandweerinzet op de rookverspreiding. In dit onderzoek is ervoor gekozen om op verschillende niveaus naar risicobeheersende- en bestrijdingsmaatregelen te kijken.

- > Brandobject: omdat er grote verschillen in rookproductie bestaan tussen traditioneel en modern meubilair, wordt naast modern meubilair (bank) als brandstof ook gekeken naar de rookproductie van een organische vuurlast (hout).
- > Brandruimte: in de brandruimte kan een automatisch blussysteem geplaatst worden als risicobeheersende maatregel. Omdat watermistssystemen beter presteren dan sprinklers, is gekozen voor een mobiel watermiststelsel.
- > De scheiding tussen de brandruimte en de gang: gezien de toekomstige voorschriften voor rookwerendheid in het BBL worden zowel de bestaande als toekomstige rookwerende scheiding onderzocht.
- > De brandweerinzet: omdat een handelingsperspectief voor de keuze redden (ontruimen) of blussen op dit moment nog ontbreekt, wordt gekeken naar zowel een offensieve als een defensieve inzet van de brandweer.



2 Onderzoeksopzet

2.1 Algemene opzet

De praktijkexperimenten hebben plaatsgevonden van 24 juni tot en met 5 juli 2019 in een bestaand woongebouw met in pandige gangen. Elke dag, met uitzondering van de eerste dag, zijn twee testen uitgevoerd in twee verschillende brandruimten: de eerste test om 10.30 uur en de tweede test om 15.00 uur. In totaal zijn negentien testen uitgevoerd om verschillende variabelen en de invloed daarvan op rookverspreiding en vlucht- en overlevingsmogelijkheden te onderzoeken.

Tijdens de testen is uitgegaan van één basisscenario: een brand die ontstaat in een bank, waarbij geen sprake is van risicobeheersende maatregelen, geen brandweerinzet wordt gedaan (binnen de duur van het experiment), en een (fictief) aanwezige persoon vlucht en hierbij de deur van de woning open laat staan. Dit basisscenario is twee keer getest (test 1 en 17, zie tabel 2.2). De overige testen zijn varianten op het basisscenario waarin is gevarieerd met verschillende variabelen (zie paragraaf 2.4) om de invloed van risicobeheersende maatregelen¹⁹ en verschillende vormen van brandweerinzet te kunnen testen. Daarnaast fungeren twee varianten als basis voor de vergelijking met de varianten waarbij risicobeheersende maatregelen zijn toegepast (zie paragraaf 2.4.4 voor nadere informatie).

2.2 Testlocatie

2.2.1 Selectie van de testlocatie

Op basis van de onderstaande criteria is er gezocht naar een geschikt gebouw voor het uitvoeren van de praktijkexperimenten:

- > ten minste vier bouwlagen met een (rechte) in pandige gang van ongeveer 20 meter
- > gangen met aan weerszijden woningen / kamers
- > tien identieke ruimten / gangen
- > voorzien van leiding- en liftschachten en gangbare gebouwinstallaties
- > bouwjaar tussen 1960 en 2012
- > adequate algehele staat.

Gezien het gemiddelde bouwjaar van woongebouwen met een in pandige gang ligt het voor de hand te kiezen voor een gebouw dat is gebouwd na 1960 en voor 2012. Gebouwen ouder dan deze periode zijn niet meer representatief voor de huidige gebouwoorraad, en gebouwen van na 2012 moeten voldoen aan de nieuwbouwvoorschriften uit het Bouwbesluit 2012 en vormen maar een klein deel van de huidige gebouwoorraad. De keuze voor ten minste vier bouwlagen komt voort uit het feit dat dit aantal representatief is voor het gemiddelde woongebouw. Nog belangrijker is, dat vier bouwlagen de mogelijkheid bieden

¹⁹ Risicobeheersende maatregelen kunnen worden onderverdeeld in bron- en effectmaatregelen. In dit onderzoek zijn de inventaris van organisch materiaal en de mobiele watermist bronmaatregelen. De gesloten deur en de rookwerende scheiding zijn effectmaatregelen.

om de rookverspreiding naar hoger of lager gelegen verdiepingen (anders dan de verdieping waar de brand is ontstaan) te kunnen onderzoeken. Dit omdat uit praktijkcasussen blijkt dat rook zich vaak naar meerdere, met name hoger gelegen verdiepingen verspreidt.

Er zijn verschillende potentieel geschikte gebouwen bekeken. Het leegstaande gebouw de Schuylenburcht bleek te voldoen aan de hierboven genoemde criteria en daardoor geschikt te zijn als testlocatie.

2.2.2 Indeling van de testlocatie

De Schuylenburcht is een voormalig woonzorgcentrum in de gemeente Oudewater (zie figuur 2.1), gebouwd in 1973. Het is een uit beton en steen opgetrokken gebouw met twee vleugels en een L-vormige lay-out (zie bijlage 2 voor een bovenaanzicht). De lange zijde van het gebouw bestaat uit vier bouwlagen. Een ventilatiesysteem met een afvoer in de dakopbouw verzorgt de natuurlijke ventilatie voor het gehele gebouw. In bijlage 3 is meer informatie over het ventilatieprincipe van het gebouw en de gebouwinstallaties opgenomen.

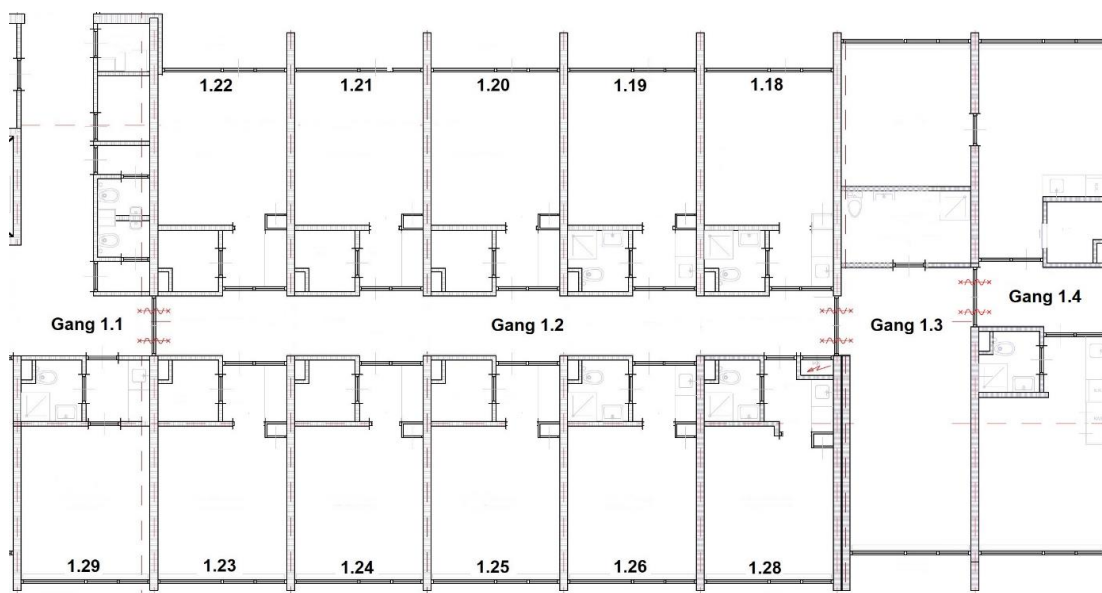


Figuur 2.1 De Schuylenburcht

Bij binnenkomst van het gebouw via de hoofdingang op de begane grond is er zowel aan de linker- als aan de rechterzijde van het gebouw een trappenhuis dat toegang verschaft tot de verdiepingen. Deze trappenhuisen kunnen worden bereikt via inpandige gangen. Daarnaast is er een lift aanwezig in het gebouw. De eerste tot en met de derde verdieping van het bouwdeel met vier bouwlagen hebben globaal dezelfde indeling. Elke verdieping heeft een inpandige gang, die aan beide uiteinden eindigt in een trappenhuis. Vluchten kan dus in twee richtingen. Het gebouw valt onder de eisen van het Bouwbesluit voor bestaande bouw. Het trappenhuis en de lift in het gebouw zijn brandwerend afgescheiden van de verdiepingen. Elke woning is een afzonderlijk brandcompartiment en de woningen zijn brandwerend afgescheiden van de inpandige gang. Dubbele deuren op de verdiepingen

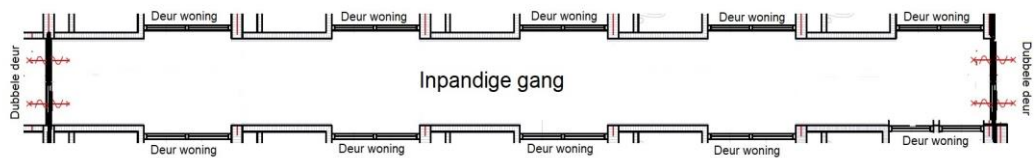
vormen een scheiding tussen de verschillende gangdelen. Deze dubbele deuren zijn voorzien van draadglas en hebben alleen een brandwerendheid op afdichting.

De eerste verdieping van het gebouw (van het bouwdeel met vier bouwlagen) is gekozen als verdieping voor het ontstaan van de brand; dat wil zeggen dat de brandruimte zich op deze verdieping bevindt (zie figuur 2.2 voor de plattegrond). Omdat uit praktijkcasussen blijkt dat rook zich vaak naar meerdere, met name hoger gelegen verdiepingen verspreidt, moest er boven de eerste verdieping meer dan één andere verdieping aanwezig zijn. Om ook rookverspreiding naar een lager gelegen verdieping te kunnen onderzoeken, is de eerste verdieping gekozen. De plattegronden van alle verdiepingen (de begane grond en de eerste tot en met de derde verdieping) zijn te vinden in bijlage 4.



Figuur 2.2 Plattegrond van de eerste verdieping

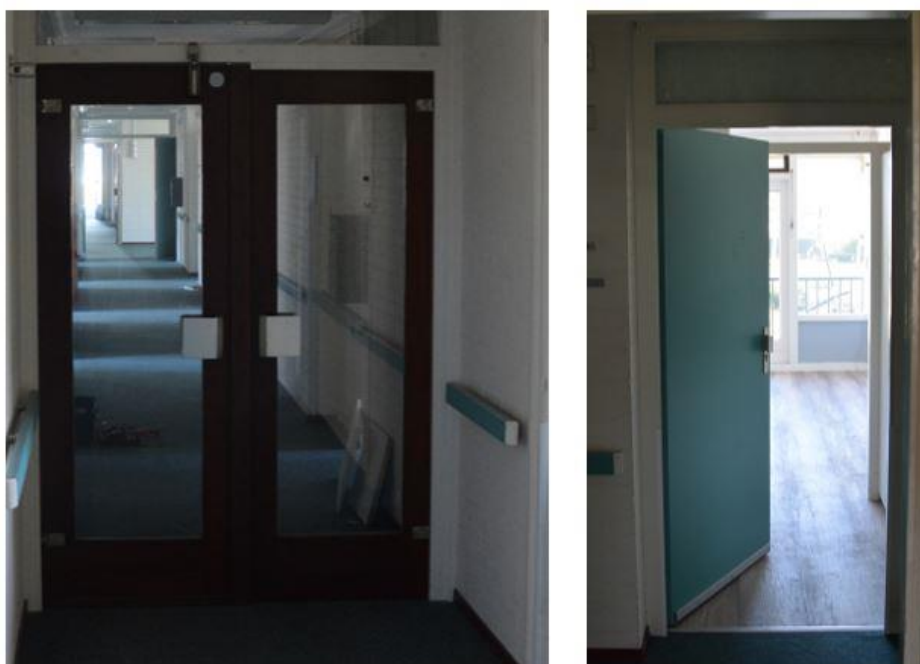
Het middelste gedeelte van de eerste verdieping (gang 1.2 en woningen langs gang 1.2 op de plattegrond) is het meest representatief voor een woongebouw met een inpandige gang. Dit gedeelte bestaat uit een inpandige gang – aan beide kanten bereikbaar via een dubbele deur – waar in totaal tien nagenoeg identieke woningen op uitkomen; vijf woningen aan elke kant van de gang (zie figuur 2.3 voor een plattegrond en figuur 2.4 voor een foto). Deze inpandige gang is circa 19 meter lang, circa 1,8 meter breed, circa 2,4 meter hoog en heeft een volume van circa 82 kubieke meter. Aan de rechterzijde van de gang wordt via de dubbele deur een voormalige ‘huiskamer’ (gang 1.3) bereikt, die via een dubbele deur en gang 1.4 uitkomt in een trappenhuis. Aan de linkerzijde komt de inpandige gang via de dubbele deur en gang 1.1 uit bij een trappenhuis en een lift (zie figuur 2.2). In figuur 2.5 zijn foto’s weergegeven van de dubbele deur in de gang en de voordeur van een woning op de eerste verdieping.



Figuur 2.3 Plattegrond van een inpandige gang



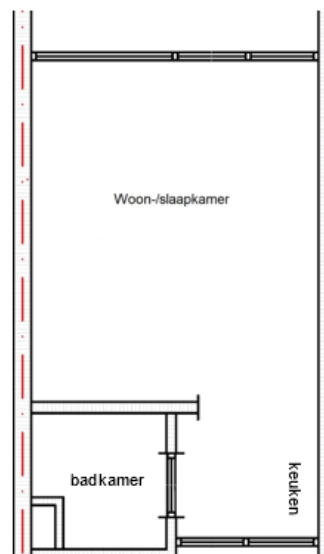
Figuur 2.4 Inpandige gang op de eerste verdieping



Figuur 2.5 Dubbele deur en voordeur van een woning op de eerste verdieping

De plattegrond van een woning op de eerste verdieping is weergegeven in figuur 2.6. Achter de voordeur²⁰ bevindt zich een kleine hal. In deze hal is aan de rechterkant een keuken en aan de linkerkant een deur die uitkomt in de badkamer. De hal staat in open verbinding met de woon-/slaapkamer. De gevelzijde van de woon-/slaapkamer is voorzien van ramen. De woningen aan de oostzijde van het gebouw hebben een balkon, dat door middel van een balkondeur in de gevel te betreden is. De oppervlakte van de woning is circa 21 vierkante meter, het volume circa 53 kubieke meter.

In elke woning bevindt zich in de badkamer een schacht met een ventilatiekanaal dat in verbinding staat met de boven elkaar gelegen woningen. Eén ventilatieopening van dit kanaal bevindt zich boven de badkamerdeur in de hal van elke woning en één in de badkamer zelf.



Figuur 2.6 De plattegrond van een woning

2.2.3 Preparatie van de testlocatie

Voor aanvang van de praktijkexperimenten zijn aanpassingen gedaan aan het gebouw, zowel ten behoeve van de veiligheid als om de condities tijdens de testen zo gelijk mogelijk te houden en de invloed van versturende factoren te minimaliseren. In deze paragraaf worden de belangrijkste aanpassingen op de eerste verdieping besproken. Een volledig overzicht van alle aanpassingen is opgenomen in bijlage 5.

De inpandige gang op de eerste verdieping (gang 1.2) had oorspronkelijk maar aan één kant een dubbele deur, namelijk richting gang 1.1. De gang stond met gang 1.3 in een open verbinding, wat een flinke rookbuffer kan vormen en een vertekend beeld geeft van de condities bij brand in gang 1.2. Daarom is tussen gang 1.2 en gang 1.3 ook een dubbele deur geplaatst. In alle woningen op de eerste verdieping waarin metingen hebben plaatsgevonden, is al het brandbare materiaal verwijderd. Daarnaast is in de brandruimte op diverse plekken brandwerende beplating (Promatec-100) geplaatst als bescherming tegen hitte en straling en om de kans op glasbreuk / glasuitval te verkleinen. Naar aanleiding van de resultaten van het lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek (zie paragraaf 2.3.3) zijn in brandruimte 1.19 en in de scheiding tussen brandruimte 1.21 en gang 1.2 grote luchtlekken gedicht.

2.3 Vooronderzoek

2.3.1 Simulaties

Ter voorbereiding op de testen in het testgebouw zijn voorafgaand twee simulaties uitgevoerd. De simulaties zijn uitgevoerd in CFAST versie 7.4.3. CFAST is een twee-zone simulatiemodel voor branduitbreiding en rookverspreiding van het National Institute of Standards and Technology (NIST). De simulaties zijn uitgevoerd om een eerste beeld te krijgen van het te verwachten brandverloop en de rookverspreiding in het testgebouw.

²⁰ Wanneer gesproken wordt over 'deur open' of 'deur dicht' wordt met de deur de voordeur van de woning bedoeld.

Hiervoor zijn twee varianten gesimuleerd: één uitgevoerd met variant 0 (deur open) en één met variant 1 (deur dicht). In beide gevallen is de inzet van de brandweer niet meegenomen in de simulatie. De invoerparameters, invoerbestanden en uitgebreide resultaten van de simulaties zijn opgenomen in bijlage 6.

De resultaten van de simulaties kunnen als volgt worden samengevat:

- > De brand wordt bij de simulatie met de deur open nagenoeg niet zuurstofbeheerst. Bij de simulatie met de deur dicht is dit wel het geval.
- > In de simulatie met de deur open is op de eerste verdieping sprake van rookverspreiding naar alle (in de simulatie geprojecteerde) ruimten, met uitzondering van woning 1.24. Ook op de overige verdiepingen is sprake van rookverspreiding naar de gangen en andere woningen. De ventilatiekanalen spelen een belangrijke rol in de rookverspreiding door het gebouw.
- > In de simulatie met de deur dicht is het openen van de deur van de brandruimte naar gang 1.1 gedurende 30 seconden bepalend voor de rookverspreiding naar gang 1.2. De rookverspreiding op de overige verdiepingen blijft beperkt tot de gangen en de woningen boven of onder de brandruimte. De ventilatiekanalen spelen ook bij deze simulatie een belangrijke rol in de rookverspreiding door het gebouw.

2.3.2 Pre-test

In mei 2019 is een pre-testdag gehouden in testlocatie de Schuylenburcht om te kijken of het brandscenario realistisch is, of de meetapparatuur en meetopstelling de juiste informatie opleveren en of het werkproces aangepast moet worden. De pre-test bestond uit twee branden: één test in woning / brandruimte 1.19 en één test in woning / brandruimte 1.21. Op basis van de uitkomsten van deze pre-test is de onderzoeksopzet aangescherpt en definitief gemaakt.

2.3.3 Lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek

Nieman Raadgevende Ingenieurs heeft op 7 juni 2019 een lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek uitgevoerd in woning 1.19, woning 1.20 en woning 1.21 om inzicht te krijgen in de lektheid van uitwendige en inwendige scheidingsconstructies in het gebouw. In tabel 2.1 is een samenvatting van de luchtdoorlatendheidsmetingen weergegeven met natuurlijke ventilatie (NV) open of dicht / afgeplakt. In bijlage 7 is de rapportage van dit onderzoek opgenomen.

Tabel 2.1 Resultaten van de luchtdoorlatendheidsmetingen

Woning	Lek met NV open [cm ²]	Lek met NV dicht [cm ²]	Verskil [cm ²]
1.19	164	61	103
1.20	191	54	137
1.21	227	136	91

Uit het lucht- en rookdoorlatendheidsonderzoek is de volgende informatie gevonden over mogelijke rookverspreidingsroutes:

- > naar de inpannige gang via openingen in de wandconstructie tussen woning en gang
- > naar de bovenliggende woningen (2.19 of 2.21) via CV-doorvoeren, een CAI-aansluiting en een hoekdetail van de vloer-woningscheidende wand

- > via kieren en naden in onder andere brandwerende platen (zowel intern als extern)
- > naar de naastgelegen woning 1.20 via de wandcontactdozen in de woningscheidende wand
- > naar buiten via openingen in de buitengevel.

Er is geconcludeerd dat er behoorlijke verschillen zijn in de luchtdoorlatendheid van de verschillende woningen. Deze worden veroorzaakt door specifieke verschillen in met name de inwendige scheidingsconstructies. De verhouding van de luchtdoorlatendheid intern / extern is daarom per woning verschillend, maar in alle gevallen is de interne lektheid (binnen het gebouw) groter dan de externe lektheid (naar buiten).

2.4 Praktijkexperimenten

Voor het huidige onderzoek zijn in totaal negentien testen uitgevoerd. Alle testen – met uitzondering van de testen ten behoeve van het basisscenario – duurden 55 minuten en bestonden uit de volgende twee fasen: een vluchtfase van 20 minuten en een inzetfase van 35 minuten. Bij het basisscenario was geen sprake van een inzetfase binnen de duur van de test, maar is de brand na 55 minuten geblust. De uitgangspositie tijdens de praktijkexperimenten, de variabelen in relatie tot de vlucht- en inzetfase, en de meetopstelling worden hieronder besproken. Alle acties die tijdens de testen zijn uitgevoerd zijn vastgelegd in protocollen (zie bijlage 9).

2.4.1 Uitgangspositie

In deze paragraaf worden de algemene uitgangsposities en de uitgangsposities met betrekking tot de vlucht- en inzetfase weergegeven. De uitgangspositie betreft de onderdelen die in iedere uitgevoerde test gelijk zijn.

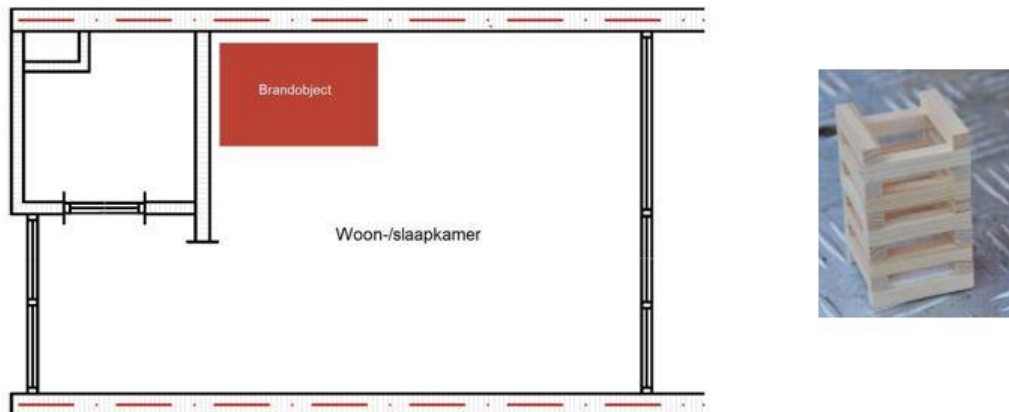
Algemeen

De woningen 1.19 en 1.21 op de plattegrond in figuur 2.2 zijn tijdens de testen gebruikt als brandruimten. Er is gekozen voor twee brandruimten, omdat er (met uitzondering van de eerste dag) twee testen per dag plaatsvonden. Het wisselen van brandruimte voorkwam dat de na een test opgewarmde scheidingsconstructies en uitdampende gassen en het vocht in de gebruikte ruimte de volgende testen konden beïnvloeden. Enkele woningen waren niet geschikt als brandruimte vanwege een afwijkend ventilatieprofiel (zie bijlage 3A). Om verschillen door de invloed van wind op de gevel zoveel mogelijk uit te sluiten, is gekozen voor brandruimten aan één zijde van het gebouw. De oostzijde had de voorkeur om eventuele (rook)overlast in de wijk te beperken.

In de brandruimten zijn de ramen en deur in de buitengevel dicht gehouden en de aanwezige ventilatiekanalen naar de rest van het gebouw, met uitzondering van die in de badkamer, open gelaten. Op deze manier is het ventilatieprofiel in de brandruimten zoveel mogelijk gelijk gebleven en de natuurlijke ventilatie zoveel mogelijk intact. De brandruimten hebben geen directe open verbinding met de gang via een ventilatiekanaal. Woning 1.18, woning 1.20 en woning 1.22 hebben wel een directe open verbinding met de gang middels een ventilatiekanaal. Dit wordt toegelicht in bijlage 3A. Voor het ventilatieprofiel van de overige woningen in het woongebouw is, met uitzondering van woning 1.25, uitgegaan van een situatie waarin de deur van de woningen is gesloten en de (fictieve) personen zich nog in de woning bevinden. De deur van woning 1.25 is tijdens alle testen gedurende de gehele

test geopend gebleven om het effect van een geopende deur in de overige woningen te kunnen vergelijken met dat van een gesloten deur. Hierbij is ervan uitgegaan dat aanwezige personen voor de brandweerinzet zijn gevlucht.

Het brandobject is in beide brandruimten in de hoek van de woon-/slaapkamer tegen de badkamer geplaatst en ontstoken middels crib no. 5 (zie figuur 2.7).²¹ Voor een gedetailleerde omschrijving van de positie en ontsteking van de brandobjecten zie bijlage 8.

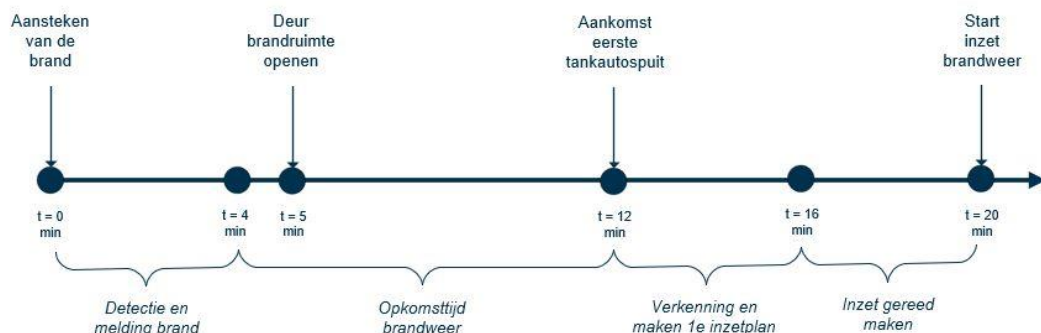


Figuur 2.7 Positie van het brandobject en een foto van crib no. 5

Vluchtfase

De vluchtfase heeft betrekking op de acties en omgevingscondities voor de aanwezige personen, en loopt vanaf het moment van aansteken van de brand ($t = 0$ minuten) tot de start van de inzet door de brandweer ($t = 20$ minuten). Deze fase duurt 20 minuten, waarbij wordt uitgegaan van het volgende tijdspad (zie figuur 2.8):

- > De brand ontstaat, de rookmelder in de woning gaat af en de bewoner meldt de brand (start op $t = 0$ minuten, eindigt op $t = 4$ minuten). Er is geen BHV-organisatie aanwezig in het gebouw.
- > De bewoner van de woning waarin de brand is ontstaan (de brandruimte) opent de deur voor ontvluchting ($t = 5$ minuten).
- > Einde van de vluchtfase ($t = 20$ minuten).



Figuur 2.8 De vluchtfase

Wat betreft de ontvluchting wordt ervan uitgegaan dat in elke woning één persoon aanwezig is, behalve in de brandruimte en in woning 1.25, waarvan bij alle testen de deur openstaat. De personen die deze laatste twee ruimten bewonen, zijn al gevlucht.

²¹ Crib no. 5 is ontstoken volgens het protocol in de norm British BS 5852:2006.

Gedurende de vluchtfase is er ook sprake van gebeurtenissen die betrekking hebben op de operationele tijd van de brandweer. Hierbij wordt uitgegaan van het volgende tijdsplan:

- > Het ontvangen van de melding door de meldkamer (t = 4 minuten).
- > De opkomsttijd van de eerste tankautospuiter vanaf het moment van melden (start op t = 4 minuten, eindigt op t = 12 minuten).
- > De verkenning door de brandweer en het maken van een eerste inzetplan (start op t = 12 minuten, eindigt op t = 16 minuten).
- > Het gereed maken van de brandweer voor de inzet (start op t = 16 minuten, eindigt op t = 20 minuten).

In totaal beslaat de operationele tijd van de brandweer – de tijd tussen het ontstaan van de brand en de initiële actie van de brandweer – 21,5 minuten, omdat er tussen de start van de inzet en de daadwerkelijke actie van de brandweer wordt uitgegaan van 1,5 minuut voor het vorderen door de gang naar de brandruimte (zie figuur 2.14 en figuur 2.15).

Rondomverkenning

Op 15 minuten na de start van de test – het moment dat de brandweer aankomt bij het pand – wordt een rondomverkenning uitgevoerd om te bepalen of het van buitenaf mogelijk is om de brandruimte te lokaliseren. Hierbij wordt zowel gekeken naar indicatoren van rook als naar warmteverschillen (met behulp van een warmtebeeldcamera type FLIR E50 TIC).²²

Inzetfase

De inzetfase, die na 20 minuten direct volgt op de vluchtfase, is de fase vanaf de inzet van de brandweer tot het einde van de test na 55 minuten. Tijdens deze fase worden twee verschillende inzet tactieken toegepast. Deze worden met bijbehorende tijdsplannen uitgelegd in paragraaf 2.4.3.

Er is uitgegaan van een standaard inzet²³ door een ploeg van vier manschappen²⁴ en een bevelvoerder met de inzetmogelijkheden van een tankautospuiter.²⁵ Voor de aanvalsweg (zie de rode pijl in figuur 2.9) is gekozen om gebruik te maken van het trappenhuis aan de zuidzijde van het gebouw, dat op de eerste verdieping uitkomt in gang 1.4. Vanaf deze gang vordert de inzetploeg vanaf de start van de inzet (t = 20 minuten) via twee dubbele deuren en gang 1.3 richting de brandruimte. Bij het betreden van de brandruimte wordt zoveel mogelijk gewerkt met het deurmanagement conform de basisprincipes om onnodige toevoer van zuurstof te beperken.²⁶ De brandhaard wordt afgeblust door een directe blussing van het object en wanneer nodig afgewisseld met rookgaskoeling boven de brandhaard. Als blusmiddel wordt gebruikgemaakt van water middels een standaard HD straal met een debiet van 100-125 liter per minuut op 40 bar druk vanaf de pomp. Tijdens de inzet staan wegens het doortrekken van de aanvalsslang de twee dubbele deuren in de aanvalsweg van de brandweerscheidingsdeuren altijd (op een kier) open. Alle acties van de inzetploeg zijn vastgelegd in een inzetprotocol (zie bijlage 9C t/m 9F).

²² Deze rondomverkenning is uitgevoerd conform de lesstof uit de leergang manschap A (Brandweeracademie-IFV, 2019b).

²³ Conform de lesstof uit de module brandbestrijding van de opleiding manschap van de Brandweeracademie.

²⁴ Alle manschappen die tijdens de testen hebben meegewerkt zijn repressief actief binnen een brandweerkorps en minimaal in het bezit van het diploma manschap A.

²⁵ Dit is het minimaal te alarmeren potentieel bij 'brand gebouw' conform de landelijke meldings- en alarmeringsregeling. In dit onderzoek wordt – in lijn met het project 'uitruk op maat' – buiten beschouwing gelaten of deze bezetting in één of meerdere voertuigen ter plaatse komt.

²⁶ Er is gekozen om geen bijzondere hulpmiddelen zoals een smokestopper toe te passen, omdat dit (nog) geen standaard methode van de Nederlandse brandweer is. Daarnaast is gekozen om het forceren van de toegangsdeur niet mee te nemen in het onderzoek om schade aan kozijnen en daarmee een mogelijke invloed op herhaalbaarheid van de testen te voorkomen.

Voor het ventileren tijdens de inzetfase is gekozen voor mechanische ventilatie: het plaatsen en laten draaien van een overdrukventilator met als doel het op gang brengen van een stroming. Hiermee wordt rook afgevoerd naar buiten. Dit ten opzichte van natuurlijk ventileren: het openen van ramen of balkondeuren in een woning, gangdeel of ruimte. Er wordt gebruikgemaakt van twee elektrische ventilatoren met elk een capaciteit van 25.000 kubieke meter per uur (zie figuur 2.9 voor de locatie van de ventilatoren). Na het afronden van de blusactie worden eerst de balkondeur in de brandruimte, de deur in de buitengevel in gang 1.3 en de dubbele deuren tussen gang 1.2 en 1.3 open gezet om een stromingsprofiel te creëren. Vervolgens wordt de ventilator in gang 1.3 in de richting van gang 1.2 aangezet. Tijdens het ventileren worden alle deuren geblokkeerd middels een wig om te voorkomen dat ze dichtwaaien. Tijdens het ventileren van de woningen wordt ook de deur naar de badkamer open gezet en geblokkeerd. De ventilator blijft draaien gedurende de rest van de test. Nadat de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping ook zijn geventileerd, wordt de tweede ventilator in gang 1.1 richting gang 1.2 ingezet. Hierbij wordt de deur in de buitengevel van woning 1.29 geopend voor het stromingsprofiel.



Figuur 2.9 Aanvalsweg en locatie van de ventilatoren

Naverkenning

Na afloop van elke test is een naverkenning uitgevoerd door de inzetploeg. Hierbij zijn op diverse plekken en momenten (tussen $t = 55$ minuten en $t = 90$ minuten) metingen gedaan met een koolstofmonoxidemeter in het gebouw. De metingen zijn gedaan om vast te stellen of er nog koolstofmonoxide aanwezig was in ruimten en of de concentraties tot een veilige waarde waren gedaald om het gebouw weer te kunnen betreden zonder beschermingsmiddelen.

2.4.2 Variabelen in relatie tot ontvluchting

De variabelen die van invloed zijn op de rookverspreiding en vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de vluchtfase worden in deze paragraaf nader toegelicht.

Brandobject

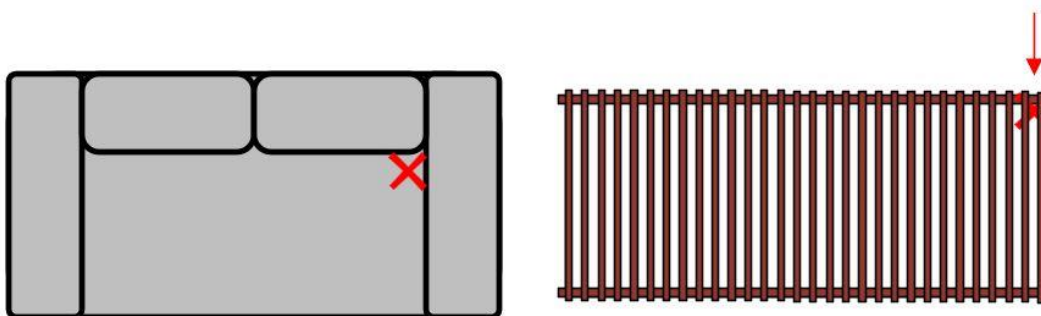
Tijdens de testen is gebruikgemaakt van twee verschillende soorten brandobjecten, namelijk een bank en organische vuurlast (zie figuur 2.10). Er is voor zeventien testen gekozen voor de meest verkochte tweezits bank in Nederland, die voor het grootste deel uit

polyurethaanschuim bestaat. Daarnaast zijn twee testen uitgevoerd met organische vuurlast (hout) om de invloed van de bron op rookverspreiding te kunnen onderzoeken. Een gedetailleerde omschrijving van de brandobjecten is te vinden in bijlage 8A en 8B.



Figuur 2.10 Brandobjecten: bank (links) en organische vuurlast (rechts)

Voor de ontsteking is bij de bank de crib in de hoek van de rug- en zijleuning in de zitting geplaatst die het dichtst bij de gevel stond (zie figuur 2.11). Bij de organische vuurlast is de crib in dezelfde hoek tussen de eerste twee latten geplaatst (zie figuur 2.11).



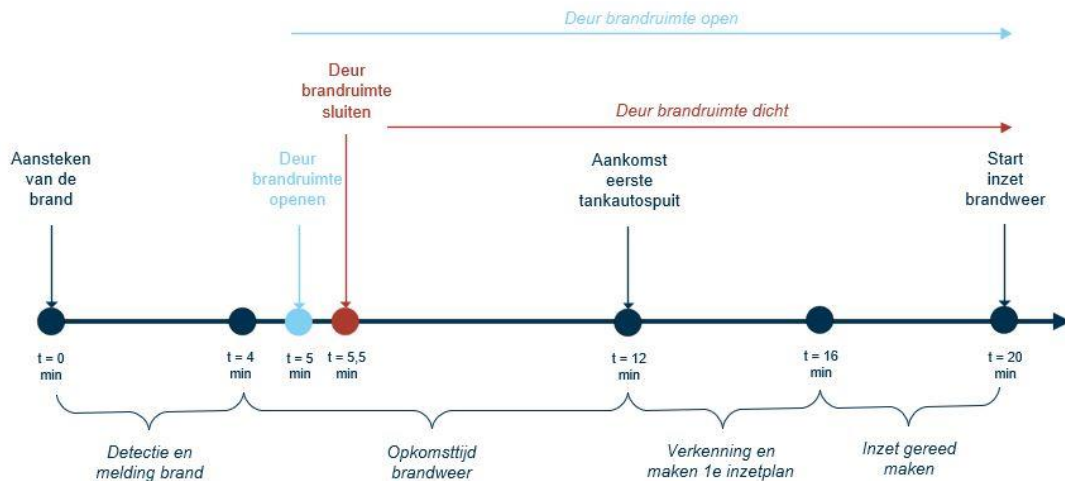
Figuur 2.11 Plaatsing van de crib op de brandobjecten

De deur van de brandruimte

Tijdens de praktijkexperimenten zijn twee verschillende posities van de deur van de brandruimte getest:

- > Deur open: de bewoner van de woning waarin de brand is ontstaan (de brandruimte) opent de deur (t = 5 minuten) en vlucht via gang 1.2 en 1.3 naar een veilige plaats buiten het woongebouw (in lichtblauw weergegeven in figuur 2.12). In test 1, 3, 5, 7, 9, 15, 17, 18 en 19 is de deur van de brandruimte open (zie tabel 2.2).
- > Deur dicht: de bewoner van de brandende woning opent de deur (t = 5 minuten) en sluit deze deur (t = 5,5 minuten) en vlucht via gang 1.2 en 1.3 naar een veilige plaats buiten het woongebouw (in donkerrood weergegeven in figuur 2.12). In test 2, 4, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14 en 16 is de deur van de brandruimte dicht (zie tabel 2.2).

Bij de keuze voor 'deur open' en 'deur dicht' is rekening gehouden met het vluchtgedrag van bewoners.



Figuur 2.12 Vluchtfase, inclusief het tijdspad van deur open en deur dicht

De deur van het balkon

Er zijn twee testen uitgevoerd met zowel de deur van de brandruimte als de balkondeur open (test 18 en 19, zie tabel 2.2), zodat een situatie met maximale ventilatie kon ontstaan. Deze testen zijn uitgevoerd om de invloed van een open balkondeur op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden te onderzoeken.

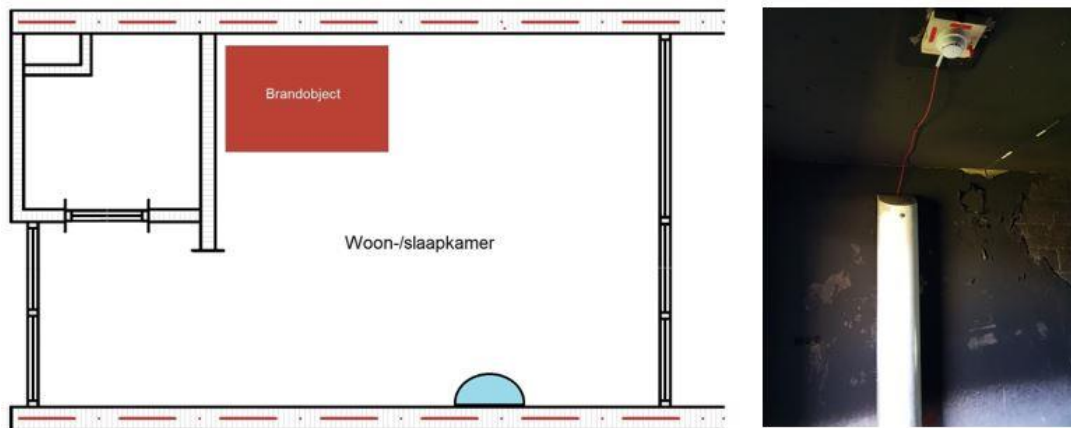
Rookwerende scheidingen

Tijdens de praktijkexperimenten zijn twee verschillende rookwerende scheidingen getest:

- > Rookwerende scheidingen conform de bestaande situatie (bestaande bouw). Dit zijn de rookwerende scheidingen zoals reeds aanwezig in het gebouw. In test 1 t/m 9 en test 14 t/m 19 (zie tabel 2.2) zijn de bestaande rookwerende scheidingen getest.
- > Rookwerende scheidingen conform de nieuwe eisen in het toekomstige Besluit Bouwwerken Leefomgeving (BBL). Voor deze testen (10 t/m 13, zie tabel 2.2) is zowel in de brandruimte als in woning 1.24 een rookwerende deur (S200) geplaatst. Daarnaast zijn de naden en luchtlekken in zowel de uitwendige als inwendige (scheidings)constructie van beide ruimten zoveel mogelijk afgedicht en is het ventilatiekanaal dichtgezet.

Mobiel watermiststelsel

Binnen de brandruimte is gekeken naar het effect van een automatisch blussysteem, namelijk een mobiel watermiststelsel, hierna aangeduid als 'mobiele watermist' (test 6 t/m 9, zie tabel 2.2). Er is gekozen voor een mobiel systeem, omdat dit in tegenstelling tot een vast systeem gemakkelijk te plaatsen en weer weg te halen is. De mobiele watermist is tegen de wand tegenover het brandobject geplaatst (in lichtblauw weergegeven in figuur 2.13); vanaf de zijkant van de bank gezien is dat één meter in de richting van de buitengevel. De watermist wordt geactiveerd door een multi-sensor brandmelder en bevat een tank met 130 liter water. De tank is na ongeveer een kwartier na activering leeg.



Figuur 2.13 Positie van de mobiele watermist in de brandruimte en een foto van de mobiele watermist

Een combinatie van rookwerende scheidingen en mobiele watermist

Het effect van de combinatie van de rookwerende scheidingen conform de nieuwe eisen en het toepassen van de mobiele watermist is in test 10 en 11 (zie tabel 2.2) onderzocht.

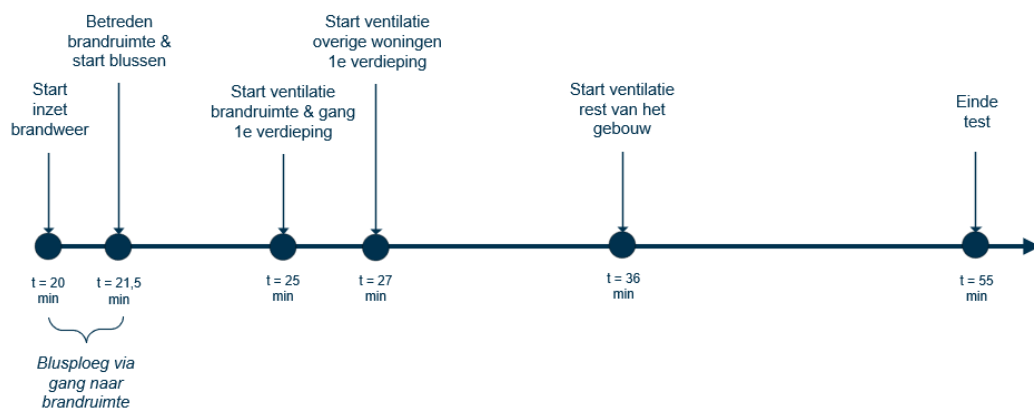
2.4.3 Variabelen in relatie tot de brandweerinzet

De variabele die van invloed is op de rookverspreiding en de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de inzetfase is de inzetactie van de brandweer: geen inzet, een offensieve binneninzet of een defensieve binneninzet. Tijdens de testen waar geen brandweerinzet is gedaan (test 1 en 17), is tot het einde van de test gewacht met het blussen van de brandhaard. De offensieve en defensieve binneninzet worden hieronder toegelicht.

Offensieve binneninzet

Tijdens de offensieve binneninzet wordt de brand geblust voordat de brandweer start met de ontruiming. Hierbij is de ontruiming niet specifiek gesimuleerd, maar is ervan uitgegaan dat die tegelijkertijd met het ventileren van de woningen plaatsvindt. Tijdens de offensieve binneninzet wordt uitgegaan van het volgende tijdspad (zie figuur 2.14):

- > De inzetploeg vordert vanuit gang 1.4 richting de brandruimte en neemt positie in bij de deur van de brandruimte (start op $t = 20$ minuten, eindigt op $t = 21,5$ minuten).
- > De inzetploeg betreedt de brandruimte en start met het blussen van de brand ($t = 21,5$ minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de brandruimte en de gang op de eerste verdieping ($t = 25$ minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de overige woningen op de eerste verdieping ($t = 27$ minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de rest van het gebouw ($t = 36$ minuten).
- > Einde test ($t = 55$ minuten).



Figuur 2.14 Inzetsfase: offensieve binneninzet

In test 2, 5, 6, 9, 10, 12, 15, 16 en 18 is een offensieve binneninzet uitgevoerd.

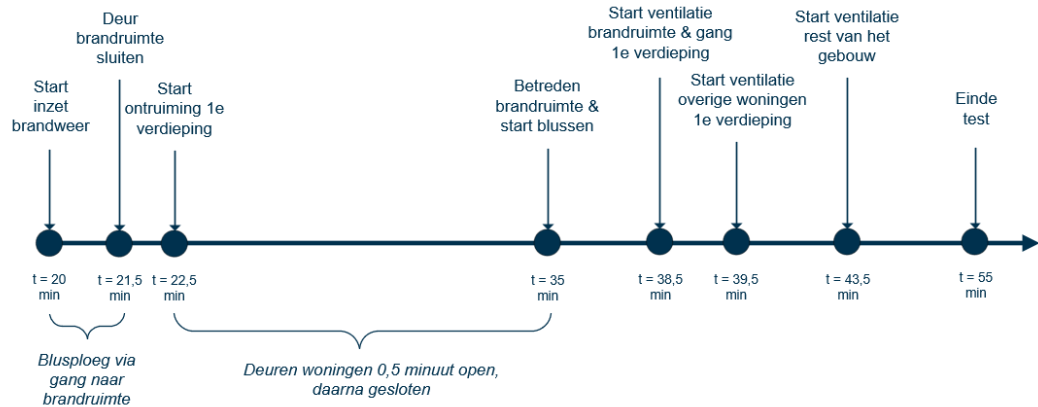
Defensieve binneninzet

Tijdens de defensieve binneninzet sluit de brandweer de deur van de brandruimte en start de ontruiming van overige woningen, alvorens de brand te bestrijden. Er is gekozen voor een ontruiming in fasen, waarbij eerst de woningen ontruimd worden die aan gang 1.2 liggen.²⁷ Er is bepaald dat één minuut nodig is om iemand uit de woning te halen en met deze persoon de dubbele deur te passeren. Om dit te simuleren opent de inzetploeg de deur van de woning een halve minuut en loopt vervolgens door de dubbele deuren tussen gang 1.2 en 1.3. Een ploeg van twee manschappen begeleidt samen één (fictieve) bewoner tot aan een veilig deel van het gebouw (gang 1.3). In het veilige deel wordt de ontruiming (fictief) overgenomen door andere personen of hulpverleners.

Tijdens de defensieve binneninzet wordt uitgegaan van het volgende tijdsplan (zie figuur 2.15):

- > De inzetploeg vordert vanuit gang 1.4 richting de brandruimte en neemt positie in bij de deur van de brandruimte (start op t = 20 minuten, eindigt op t = 21,5 minuten).
- > De inzetploeg sluit de deur van de brandruimte (t = 21,5 minuten).
- > De inzetploeg start de ontruiming van de eerste verdieping (t = 22,5 minuten).
- > De inzetploeg betreedt de brandruimte en start met het blussen van de brand (t = 35 minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de brandruimte en de gang op de eerste verdieping (t = 38,5 minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de overige woningen op de eerste verdieping (t = 39,5 minuten).
- > De inzetploeg start met de ventilatie van de rest van het gebouw (t = 43,5 minuten).
- > Einde test (t = 55 minuten).

²⁷ De volgorde van ontruiming is vastgelegd in het inzetprotocol (zie bijlage 9).



Figuur 2.15 Inzetzfase: defensieve binnenzet

In test 3, 4, 7, 8, 11, 13, 14 en 19 is een defensieve binnenzet uitgevoerd.

2.4.4 Overzicht van de testen en variabelen

In tabel 2.2 is een overzicht weergegeven van de praktijkexperimenten die zijn uitgevoerd en de variabelen op het gebied van ontvluchting en de brandweerinzet van elke test. De testen zijn gecategoriseerd in varianten. De testnummers en datumnummers geven de chronologie van de testen aan en het nummer van de brandruimte laat zien waar de test heeft plaatsgevonden. Daarnaast fungeren twee varianten als basis voor de vergelijking met varianten met risicobeheersende maatregelen om het effect van deze maatregelen te kunnen onderzoeken:

- > Variant 0 (deur open) vormt de basis voor de vergelijking met variant 1 (deur dicht) en variant 2, 6 en 8 (risicobeheersende maatregelen en de deur open).
- > Variant 1 (deur dicht) vormt de basis voor de vergelijking met variant 3, 4, 5 en 7 (risicobeheersende maatregelen en de deur dicht).

Tabel 2.2 Overzicht van de testen en variabelen

Test	Datum	Brandruimte	Brandruimte			Ontvluchting			Brandweerinzet
			Brand object	Deur brandruimte	Deur balkon	Rookwerende scheidingen	Mobiele watermist	Tactiek	
Variant 0: Deur open									
1	240619_1	1.21	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Nee	Geen	
3	250619_2	1.19	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Nee	Defensief	
5	260619_2	1.19	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Nee	Offensief	
17	040719_2	1.19	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Nee	Geen	
Variant 1: Deur dicht									
2	250619_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	Bestaand	Nee	Offensief	

4	260619_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	Bestaand	Nee	Defensief
16	040719_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	Bestaand	Nee	Offensief
Variant 2: Mobiele watermist en deur open								
7	270619_2	1.19	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Ja	Defensief
9	280619_2	1.19	Bank	Open	Dicht	Bestaand	Ja	Offensief
Variant 3: Mobiele watermist en deur dicht								
6	270619_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	Bestaand	Ja	Offensief
8	280619_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	Bestaand	Ja	Defensief
Variant 4: Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht								
10	010719_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	BBL	Ja	Offensief
11	010719_2	1.19	Bank	Dicht	Dicht	BBL	Ja	Defensief
Variant 5: Rookwerende scheiding en deur dicht								
12	020719_1	1.21	Bank	Dicht	Dicht	BBL	Nee	Offensief
13	020719_2	1.19	Bank	Dicht	Dicht	BBL	Nee	Defensief
Variant 6: Organische vuurlast en deur open								
15	030719_2	1.19	Hout	Open	Dicht	Bestaand	Nee	Offensief
Variant 7: Organische vuurlast en deur dicht								
14	030719_1	1.21	Hout	Dicht	Dicht	Bestaand	Nee	Defensief
Variant 8: Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)								
18	050719_1	1.19	Bank	Open	Open	Bestaand	Nee	Offensief
19	050719_2	1.19	Bank	Open	Open	Bestaand	Nee	Defensief

2.4.5 Meetopstelling

Om rookverspreiding in een woongebouw met in pandige gangen en het effect daarvan op vlucht- en overlevingsmogelijkheden vast te kunnen stellen, zijn er tijdens de praktijkexperimenten diverse variabelen gemeten. De keuze voor deze variabelen is gebaseerd op het theoretisch kader in hoofdstuk 1. Hieronder zullen de variabelen en meetapparatuur kort worden toegelicht. Een overzicht van de meetapparatuur die gebruikt is op de eerste verdieping en de bijbehorende relevante informatie is weergegeven in tabel 2.3. Een nadere toelichting op de keuze voor de meetapparatuur, op de technische gegevens daarvan en de mogelijkheid van meetfouten is opgenomen in bijlage 10. Daarnaast worden

de meetlocaties op de eerste verdieping weergegeven op een plattegrond (zie figuur 2.16).²⁸ De meetlocaties op alle verdiepingen staan weergegeven in bijlage 11.

Temperatuur

De temperatuur is tijdens de testen op verschillende meetlocaties gemeten met behulp van 89 thermokoppels (type K). Op de eerste verdieping zijn in acht verschillende meetbomen (B1 t/m B8 op de plattegrond in figuur 2.16) in totaal 56 thermokoppels geplaatst op verschillende hoogtes: 0,3 meter, 0,9 meter, 1,5 meter, 1,8 meter, 2 meter, 2,2 meter en 2,4 meter. Daarnaast zijn op de eerste verdieping drie losse thermokoppels geplaatst in drie verschillende ventilatiekanalen in gang 1.2 (zie de lichtblauwe cirkels in figuur 2.16). De data van deze thermokoppels zijn geregistreerd met behulp van het systeem LabVIEW.

Straling

Er zijn twee typen warmtestralingsmeters gebruikt om de straling tijdens de testen te meten: vijf watergekoelde fluxmeters (Schmidt-Boelter) en vijf plaatfluxmeters (PTHFM). De warmtestralingsmeters zijn alleen op de eerste verdieping geplaatst in zes verschillende meetbomen (B1 en B4 t/m B8 op de plattegrond in figuur 2.16). De watergekoelde fluxmeters zijn in meetboom B4 t/m B8 op 0,3 meter hoogte geplaatst. De plaatfluxmeters zijn in meetboom B1 op 0,3 meter en 1,5 meter hoogte en in meetboom B4 t/m B6 op 1,5 meter hoogte geplaatst. De data van deze warmtestralingsmeters zijn geregistreerd met behulp van het systeem van LabVIEW.

Druk

In totaal zijn twaalf drukverschilmeters gebruikt om tijdens de testen de druk te meten. Op de eerste verdieping zijn acht drukverschilmeters in verschillende meetbomen (B1 t/m B8 op de plattegrond in figuur 2.16) op 0,2 meter hoogte geplaatst. Deze drukverschilmeters meten het drukverschil tussen de ruimte en de buitenlucht. De data van deze drukverschilmeters zijn geregistreerd met behulp van het systeem van LabVIEW.

Zichtlengte

De zichtlengte is zowel met camera's gericht op bordjes als met fotovoltaïsche cellen gemeten. In totaal zijn vier camera's gericht op zichtlengtebordjes die op 2 tot 9 meter afstand van een camera zijn opgehangen aan een gespannen draad. Hierbij zijn zowel de camera's als de zichtlengtebordjes op 1,5 meter hoogte geplaatst. De zichtlengte is vervolgens geregistreerd met behulp van de camerabeelden. Op de eerste verdieping is één camera met zichtlengtebordjes geplaatst, aangeduid met ZL1 (zie figuur 2.16). Daarnaast zijn vier zichtlengtemeters gebruikt die bestaan uit een lichtbron en een fotovoltaïsche cel en die geplaatst zijn op een specifieke afstand (tussen de 15 en 25 cm) van elkaar. Deze zichtlengtemeters zijn alleen in gang 1.2 op de eerste verdieping geplaatst op zowel 0,3 als 1,5 meter hoogte in meetboom B5 en meetboom B6 (zie figuur 2.16). De data van deze meters zijn geregistreerd met behulp van het systeem van LabVIEW.

Rooklaaghoogte

De rooklaaghoogte is gemeten door middel van een geschilderde lat met hoogtemarkeringen van 0 tot en met 2,4 meter. In totaal zijn 19 latten geplaatst, waarvan 7 op de eerste verdieping (RH1 t/m RH7, zie figuur 2.16). De rooklaaghoogte is vervolgens geregistreerd met behulp van camerabeelden.

²⁸ De meetlocatie B1 wisselt mee met de brandruimte (woning 1.19 of 1.21) en staat daarom twee keer op de plattegrond.

Gewicht

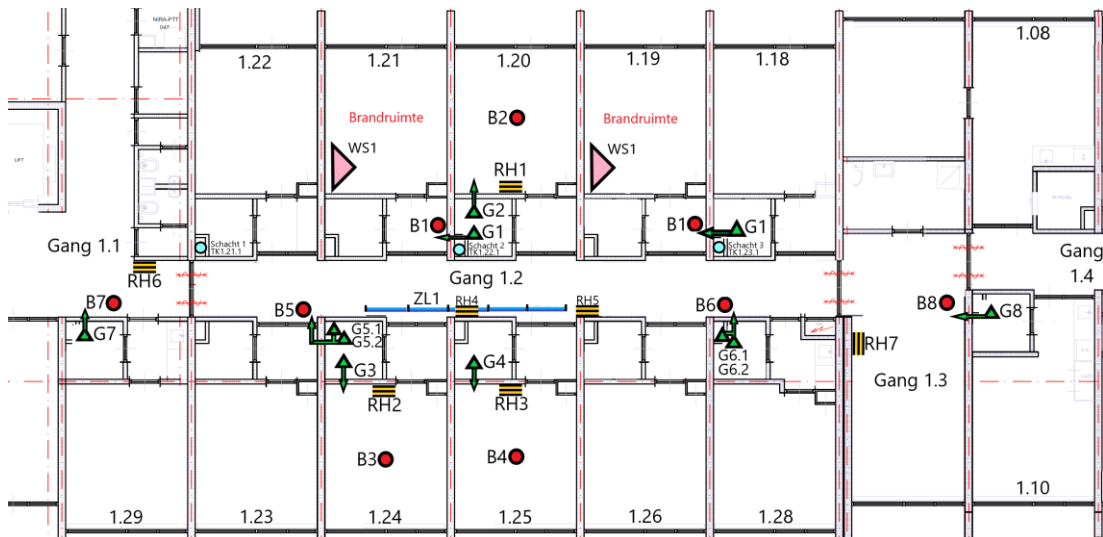
Het gewicht van het brandobject is continu gemeten met een weegschaal bestaande uit drie loadcellen. Deze zijn in de brandruimte (woning 1.19 of 1.21) in een driehoekopstelling op een vaste positie onder het brandobject geplaatst (WS1 in figuur 2.16). De data van de loadcellen zijn geregistreerd met behulp van het systeem van LabVIEW.

Gasconcentraties

De gasconcentraties van zuurstof (O₂), koolstofmonoxide (CO), koolstofdioxide (CO₂) en stikstofoxiden (NO_x) zijn op de eerste verdieping gemeten met Testo-meetapparatuur en op de overige verdiepingen met Dräger-meetapparatuur. In totaal zijn op 20 posities gasmetingen gedaan, waarvan 10 op de eerste verdieping (G1 t/m G8 in figuur 2.16). Alle gasmetingen zijn op 1,5 meter hoogte uitgevoerd, met uitzondering van de gasmetingen op meetlocatie G5 en G6, die zowel op 0,3 meter als op 1,5 meter hoogte metingen zijn gedaan. De data van de gasmetingen zijn geregistreerd met behulp van het systeem van Testo of Dräger.

Tabel 2.3 Overzicht van de meetapparatuur op de eerste verdieping

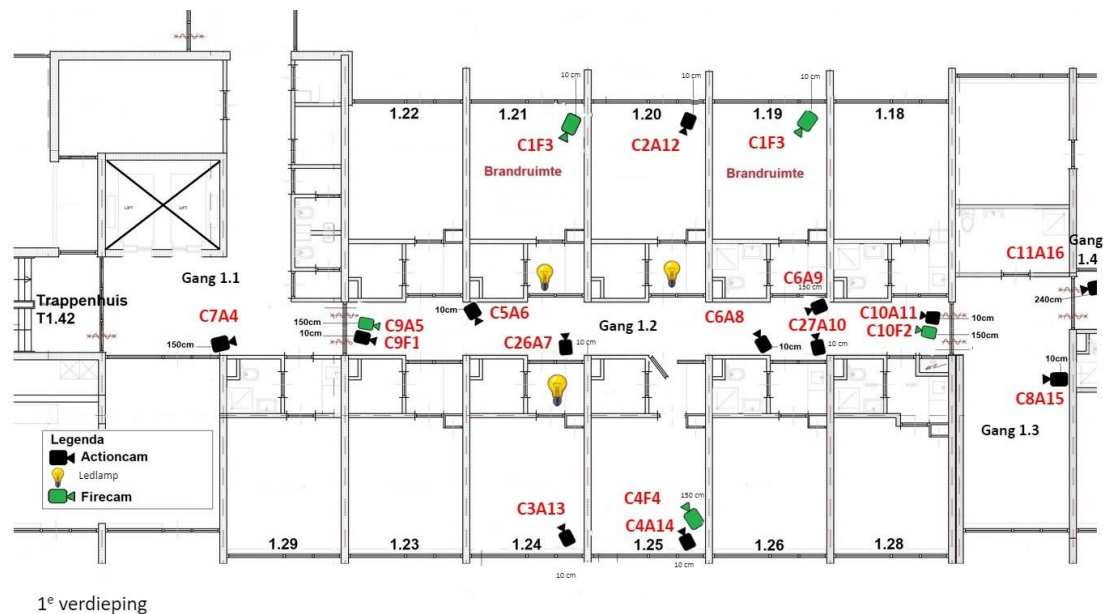
Meetapparatuur	Meetlocatie	Meethoogte [m]	Aantal	Registratie
Thermokoppel type K	B1 t/m B8 Gang 1.2	0,3 - 0,9 - 1,5 - 1,8 - 2 - 2,2 - 2,4 2,1	56 3	LabVIEW
Watergekoelde fluxmeter (SB)	B4 t/m B8 B1	0,3 0,3 en 1,5	5 2	LabVIEW
Plaatfluxmeter (PTHFM)	B4 t/m B6	1,5	3	
Drukverschilmeter	B1 t/m B8	0,2	8	LabVIEW
Zichtlengtebordjes	ZL1	1,5	1	Camera
Zichtlengtemeter	B5 en B6	0,3 en 1,5	4	LabVIEW
Rooklaaghoogte	RH1 t/m RH7	0 tot 2,4	7	Camerabeeld
Weegschaal	WS1	n.v.t.	1	LabVIEW
Gasmetingen	G1 t/m G4, G7, G8 G5 en G6	1,5 0,3 en 1,5	6 4	Testo



Figuur 2.16 Meetlocaties op de eerste verdieping

Camerabeelden

Om een visueel beeld te krijgen van de rookverspreiding zijn de praktijkexperimenten geregistreerd met 34 videocamera's per test. Daarnaast zijn deze camera's, zoals hierboven genoemd, gebruikt om een visueel beeld te krijgen van de zichtlengte en rooklaaghoogte. De camera's zijn op de grond, in een raamkozijn of op 1,5 meter hoogte geplaatst. De locaties van deze camera's op de eerste verdieping staan weergegeven in figuur 2.17.²⁹ De camerolocaties van alle verdiepingen zijn weergegeven in bijlage 11.



1^e verdieping

Figuur 2.17 Camerolocaties op de eerste verdieping

²⁹ Camera C1F3 wisselt mee met de brandruimte (woning 1.19 of 1.21) en staat daarom twee keer op de plattegrond.

2.5 Data-analyse

De verkregen data uit de metingen zijn geanalyseerd om de onderzoeksvragen over rookverspreiding in de praktijk, vlucht- en overlevingsmogelijkheden, risicobeheersende maatregelen en de inzetactie van de brandweer te kunnen beantwoorden. In deze paragraaf wordt de data-analyse per onderzoeksvraag besproken.

2.5.1 Rookverspreiding in het woongebouw

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag '*Hoe vindt in de praktijk rookverspreiding plaats bij brand in het woongebouw en welke factoren bepalen deze rookverspreiding?*' is gekeken naar twee onderwerpen:

- > rookverspreidingsroutes
- > factoren die een rol spelen in de rookverspreiding.

Rookverspreidingsroutes

Voor het vaststellen van de rookverspreidingsroutes zijn alle camerabeelden beoordeeld van zowel de vlucht- als de inzetfase. De vlucht- en inzetfase zijn los van elkaar beoordeeld, omdat acties van de brandweer tijdens de inzetfase van invloed (kunnen) zijn op de rookverspreiding.

Bij het beoordelen van de beelden zijn ten aanzien van de rook(verspreiding) de volgende zaken per test en ruimte vastgelegd:

- > tijdstippen waarop rook zichtbaar is in een ruimte
- > rookverspreidingsroute: rookverspreiding tussen ruimten, zowel horizontaal als verticaal
- > subroute: rookverspreiding via een onderdeel van een scheiding tussen ruimten (bijvoorbeeld kieren)
- > zicht (in de ruimte tijdens rook) en zichtlengte (enkel voor gang 1.2)
- > rooklaaghoogte (in gang 1.2 en in woningen op de eerste verdieping).

Wanneer op de camerabeelden niet zichtbaar is via welke route of welk gebouwonderdeel de rook een ruimte binnenkomt, is dit genoteerd als 'route onbekend' en wordt de rookverspreidingsroute niet gekoppeld aan een subroute. Verder wordt de hoeveelheid rook niet beoordeeld, omdat dit subjectief is en niet noodzakelijk om de rookverspreidingsroutes te bepalen.

Rook is niet altijd zichtbaar, maar kan ook bestaan uit onzichtbare deeltjes. De rookverspreiding van deze onzichtbare deeltjes is vastgesteld door te controleren of er CO³⁰ gemeten is op momenten dat er geen rook zichtbaar is. Korte, incidentele piekmetingen van CO (< 20 ppm) gedurende enkele seconden bij metingen met Testo-apparatuur en incidentele, kortdurende (piek)metingen met Dräger-apparatuur zijn hierbij niet meegenomen. De bepaling van de CO-concentraties is alleen meegenomen in de rookverspreidingsroutes en niet in de subroutes daarvan, omdat op basis van gasmetingen niet bepaald kan worden via welke weg de gassen een ruimte binnenkomen. Dit betekent dat de rookverspreidingsroutes zowel op basis van camerabeelden als CO-metingen zijn bepaald en de subroutes alleen op basis van camerabeelden.

³⁰ Er is gekeken naar CO, omdat dit gas zich van de gemeten gassen het meest blijkt te verspreiden door het gebouw, zoals is bepaald op basis van de meetdata van de diverse gassen.

Factoren die een rol spelen in de rookverspreiding

Om te bepalen welke factoren een rol spelen in de rookverspreiding, is gebruikgemaakt van dezelfde zaken als die zijn vastgelegd voor het beoordelen van de rookverspreidingsroutes. Aanvullend hierop is beoordeeld welke variabelen (bijvoorbeeld een open of gesloten deur van de brandruimte) anders zijn bij bepaalde testen en wat voor gevolgen die veranderingen hebben voor de rookverspreiding. Op basis van de overeenkomsten en verschillen in rookverspreiding tussen testen is bepaald welke factoren een rol spelen bij deze rookverspreiding.

Een factor wordt aangemerkt als 'factor met invloed op rookverspreiding' als deze bij alle testen binnen dezelfde variant of bij meerdere varianten (bijvoorbeeld in het geval van het brandobject als factor) invloed heeft op de rookverspreiding. Een factor wordt aangemerkt als 'factor met mogelijke invloed op rookverspreiding' op basis van verschillen in rookverspreiding binnen één variant.

2.5.2 Vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Voor de onderzoeksvraag 'Welke invloed heeft de geconstateerde rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid?' zijn de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bepaald aan de hand van:

- > drie verschillende groepen
- > de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor deze drie groepen (voor de eerste verdieping)
- > de percentages van de grenswaarden voor bepaalde situaties binnen de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor deze drie groepen op $t = 20$ minuten (voor de eerste verdieping)
- > de concentraties CO (voor de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping).

De gemaakte keuzes en genomen stappen voor deze vier zaken worden hieronder toegelicht. Een uitgebreide toelichting is opgenomen in bijlage 12.

Drie verschillende groepen

Het effect van de brandcondities op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden verschilt per individu. Zoals genoemd in paragraaf 1.3.5, zijn bepaalde subpopulaties kwetsbaarder voor deze condities dan andere subpopulaties en wordt een gevoeligheidsfactor (sf) gehanteerd om deze kwetsbaarheid weer te geven. Omdat de kwetsbaarheid voor de condities verschilt per persoon, is er in het huidige onderzoek aan de hand van de gevoeligheidsfactor onderscheid gemaakt tussen drie groepen:

- > algemene groep, $sf = 1$
- > kwetsbare groep, $sf = 0,3$
- > zeer kwetsbare groep, $sf = 0,1$

Gecombineerd met de grenswaarden per methode in tabel 1.2 uit paragraaf 1.3.5 leidt deze gevoeligheidsfactor tot de grenswaarden per methode voor de afzonderlijke groepen en situaties zoals weergegeven in tabel 2.4. Deze grenswaarden worden gebruikt voor de bepaling van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Tabel 2.4 Overzicht van de grenswaarden volgens SFPE

Brandconditie	Methode	Belemmerend			Levensbedreigend			Fataal		
		Zeer kwetsbaar	kwetsbaar	Algemeen	Zeer kwetsbaar	kwetsbaar	Algemeen	Zeer kwetsbaar	kwetsbaar	Algemeen
Irriterende gassen	FIC/FLD	0,1	0,3	1,0	0,5	1,5	5	0,1	0,3	1,0
Verstikkende gassen	FED _{IN}	-	-	-	0,1	0,3	1,0	0,2	0,6	2,0
Warmte	FED _{heat}	0,1	0,3	1,0	0,8	2,4	8,0	1,2	3,6	12,0
Zicht	FEC _{smoke}	0,1	0,3	1,0	-	-	-	-	-	-

Tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden (eerste verdieping)

De tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor de drie groepen zijn berekend met behulp van de vergelijkingen uit het SFPE-handboek die zijn beschreven in bijlage 1. De input voor deze vergelijkingen bestond uit de per test en ruimte gemeten brandcondities (irriterende en verstikkende gassen, warmte, en zichtlengte). De tijden zijn per test berekend; wanneer meerdere testen van één variant zijn uitgevoerd zijn de resultaten gemiddeld tot één tijd per variant, ruimte, situatie en groep. Voor de beantwoording van de onderzoeksvraag is gekeken naar de meetdata van de testen van variant 0 (deur open), de testen van variant 1 (deur dicht) en de testen van variant 8 (balkondeur open, maximale ventilatie).

Voor de analyse van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden zijn de tijden afgerond op hele minuten. Dit is gedaan omdat er onzekerheid zit in de metingen en de rekenmethode. Daarnaast is tijdens de analyse alleen gekeken naar de eerste 20 minuten van de test (de vluchtfase), omdat de brandweerinzet van invloed kan zijn op de verspreiding van de rook en daarmee op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Percentages van grenswaarden op 20 minuten (eerste verdieping)

Naast de tijden waarop de grenswaarden voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden overschreden worden, is ook gekeken naar het percentage van de grenswaarden op 20 minuten voor die gevallen waarin de grenswaarde niet overschreden was. Dit percentage laat namelijk zien of bepaalde grenswaarden mogelijk *bijna* overschreden zouden worden. Hiermee wordt inzicht verkregen of een langer verblijf dan 20 minuten in een ruimte mogelijk alsnog tot een belemmerde ontvluchting, levensbedreigende of fatale situatie zou kunnen leiden.

Concentraties CO (begane grond, tweede verdieping en derde verdieping)

Op de begane grond, tweede verdieping en derde verdieping is voor de overlevingsmogelijkheden gekeken naar de gemeten concentraties CO. Op basis van de

simulaties uit het vooronderzoek is gebleken dat er geen verhoogde temperaturen te verwachten zijn op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. De zichtlengte is niet gemeten op deze verdiepingen, maar op basis van de camerabeelden wordt er niet direct een belemmerde ontvluchting verwacht als gevolg van een geringe zichtlengte door dichte rook. Het verloop van de CO-concentratie is daarom de beste voorspeller voor de overlevingsmogelijkheden op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. Er is gestart met een korte analyse van de hoogte van de CO-concentraties op deze verdiepingen. Hieruit is gebleken dat deze niet dermate hoog zijn dat de grenswaarden voor een levensbedreigende of fatale situatie overschreden worden in de vluchtfase (0 tot 20 minuten). Om die reden worden de tijden voor (vlucht- en) overlevingsmogelijkheden niet bekeken voor de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping.

Het effect van een open balkondeur

Het effect van een open balkondeur op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden is bepaald door de testen van variant 8 (balkondeur open, maximale ventilatie) te vergelijken met de testen van variant 0 (deur open) op de volgende onderdelen:

- > overlevingsmogelijkheden in de brandruimte
- > vluchtmogelijkheid in gang 1.2
- > overlevingsmogelijkheden in gang 1.2
- > overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten
- > het percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten
- > overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen.

Verschillen tussen gelijke testen

Van een aantal varianten zijn meerdere testen uitgevoerd, waarna is gekeken of er tussen deze testen verschillen zijn in de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Dit is gedaan om te beoordelen of er meer variabelen dan enkel de geteste variabelen (de varianten) een rol spelen in de gevonden tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Vervolgens is de uitkomst hiervan meegenomen in de vergelijking tussen varianten om te kijken of het verschil toe te kennen valt aan de geteste variabelen van die variant of dat er mogelijk een andere variabele van invloed is geweest.

2.5.3 Effecten van risicobeheersende maatregelen

Voor de onderzoeksvraag *'In hoeverre zijn a) huidige en toekomstige rookwerende scheidingsen, b) een mobiel watermistsysteem en c) een organische brandstof effectief in het verbeteren van vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid bij brand?'* is gebruikgemaakt van dezelfde onderzoeksmethode als beschreven in paragraaf 2.5.2. Het effect van de risicobeheersende maatregelen voor de verschillende groepen is bepaald door de varianten met een maatregel te vergelijken met variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht) (zie paragraaf 2.4.4 voor een overzicht). Hierbij is gekeken of de geteste maatregel voor alle beoordeelde onderdelen samen (zoals hierboven beschreven onder 'Het effect van de open balkondeur') een verbetering of verslechtering oplevert.

2.5.4 De inzetactie van de brandweer

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag 'Welke inzetactie van de brandweer leidt bij brand in het woongebouw tot de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden?' is een vergelijking gemaakt van de verschillende testen en periodes van de inzet in relatie tot een verbetering of verslechtering van condities in een ruimte. Hierbij is gebruikgemaakt van de bepaling voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden zoals beschreven in paragraaf 1.3.5 en 2.5.2.

Omdat personen niet constant in één ruimte verblijven tijdens het vluchten en tijdens een evacuatie of ontruiming, is het voor de inzetfase niet mogelijk om, zoals voor de vluchtfase, uit te gaan van de beschikbare vluchttijd per ruimte. De beschikbare vluchttijd per ruimte is namelijk een dosis-tempoberekening voor die specifieke ruimte. Daarom is gekozen om de grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden te beoordelen in combinatie met een analyse van de concentratie CO. De concentratie CO wordt beoordeeld op toe- of afname (verslechtering of verbetering), om daarmee iets te kunnen zeggen over de invloed van de brandweerinzet op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen. Omdat enkel de verbetering of verslechtering wordt beoordeeld, hoeft voor deze analyse niet met gemiddelden (tussen testen) gewerkt te worden, maar kan per test individueel worden beoordeeld wat de invloed is van de brandweerinzet.

De (wijziging in de) concentratie CO is vastgesteld als belangrijkste indicator voor de verbetering of verslechtering van condities in een ruimte. Hier is voor gekozen om meerdere redenen.

- > Uit eerder onderzoek blijkt dat CO een goede indicator is voor andere toxische gassen.
- > Alleen op de eerste verdieping zijn meters geplaatst die diverse gassen kunnen meten. Op de overige verdiepingen zijn meters geplaatst die hoofdzakelijk CO meten. Om een goede vergelijking te kunnen maken van de concentraties rookgassen is daarom gekozen voor CO.
- > Het meten van CO tijdens een incident is gebruikelijk bij de brandweer. Voor de vertaling van de resultaten naar de praktijk is het daarom goed om uit te gaan van CO.
- > Uit vooronderzoek (simulaties) blijkt dat andere factoren, zoals de temperatuur buiten de brandruimte, slechts een beperkte rol spelen ten aanzien van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Randomverkenning

Voor de randomverkenning zijn de resultaten van de visuele inspectie op de geprotocolleerde tijden afgezet tegen de beelden van de warmtebeeldcamera (WBC). Er zijn foto's gemaakt met de WBC op verschillende afstanden en vanuit verschillende kijkhoeken aan zowel de voor- als achterzijde van het gebouw. Er is gekeken of en in welke mate een warmteverschil zichtbaar was. Daarnaast is gezocht naar zichtbare rookverspreiding in de diverse woningen anders dan de brandruimte.

Situatie bij de start van de brandweerinzet

Er is gestart met het maken van een analyse van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden per test op basis van de gemeten variabelen (zoals beschreven in paragraaf 2.4.5). Per variabele is gekeken of deze gedurende de test veranderd is, of dat zij stabiel is gebleven. Wanneer ze is veranderd, is gekeken op welk moment dit is gebeurd, en of dit te herleiden is naar een specifieke actie van de inzetploeg. Hiervoor zijn grafieken gemaakt waarbij iedere actie van de brandweer is opgenomen in de grafiek als verticale lijn. Hierbij is gecorrigeerd

voor eventuele afwijkingen van het inzetprotocol. De start van de analyse is gezet op $t = 15$ minuten (5 minuten voor de start van de inzet op $t = 20$ minuten) om de situatie in het woongebouw voor aankomst van de brandweer mee te kunnen nemen in de analyse. Bij de analyse van de gemeten variabelen is gebruikgemaakt van een lijst met tijden van acties binnen het protocol voor de brandweerinzet (zie bijlage 9).

Anders dan in de eerste 20 minuten van de test (de vluchtfase) is de analyse van de begane grond, tweede verdieping en derde verdieping voor de inzetfase wél relevant. Er is daarom gekeken naar de aanwezige concentraties op deze overige verdiepingen bij aanvang van de brandweerinzet ($t = 20$ minuten). Deze analyse is gecombineerd met de hoeveelheid zichtbare rook op bijvoorbeeld gang 1.2 (zie hiervoor hoofdstuk 3).

De invloed van de brandweerinzet

Om de invloed van de brandweerinzet op de omgevingscondities te bepalen, is eerst gekeken naar veranderingen in vlucht- en overlevingsmogelijkheden per ruimte op de eerste verdieping. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen verschillende periodes van inzet:

- > voor de offensieve inzet: voor de inzet, tijdens de inzet en na de ventilatie
- > voor de defensieve inzet: voor de inzet, tijdens de evacuatie en na de ventilatie.

Binnen elk van deze periodes is gekeken of er ten opzichte van de vorige periode een verandering in de situatie heeft plaatsgevonden. De heersende situatie (qua vlucht- en overlevingsmogelijkheden) binnen een periode is bepaald door ten aanzien van vlucht- en overlevingsmogelijkheden vast te stellen waar meer dan 90% van de tijd binnen deze periode sprake van is.

Daarnaast is er per ruimte op de eerste verdieping gekeken naar verschillen tussen de onderscheiden periodes van de inzet in termen van CO-concentratie. Op deze manier kan niet alleen de dosis worden beschouwd die een persoon die langere tijd in de ruimte verblijft zou inademen, maar ook de directe invloed van de brandweerinzet op de condities in deze ruimte. Meetwaarden van CO zijn omgevormd naar een ordinaal meetniveau in termen van verbetering, verslechtering of een gelijke situatie ten opzichte van de fase daarvoor. De grenswaarde voor een verbetering, verslechtering of gelijke situatie is gesteld op een verandering van 10 ppm CO. Er zijn kruisvergelijkingen gemaakt door te filteren op de variabelen open / gesloten deur, inzetactie en risicobeheersende maatregelen.

Voorts is er gekeken naar de analyse van de overige grootheden (temperatuur, warmtestraling, zicht, zuurstof, koolstofdioxide, stikstofdioxide, et cetera) per test. Deze analyses zijn afgezet tegen de verschillende acties van de brandweer. Er is gekeken welke variabelen veranderen of stabiel blijven ten opzichte van de situatie op het moment van de start van de brandweerinzet. Ook hier zijn in de grafieken de acties van de brandweerinzet opgenomen. Vervolgens zijn er grafieken gemaakt waarbij meerdere testen binnen verschillende varianten in eenzelfde grafiek zijn gezet. Hierbij is specifiek gezocht naar overeenkomsten, bijvoorbeeld: het starten van de ventilator zorgde binnen een minuut na de start in X gevallen voor verspreiding naar woning 2.21. Hierdoor is inzichtelijk gemaakt welke acties (herhaaldelijk) zorgden voor een verslechtering in de woningen en gangen op de verschillende verdiepingen.

Voor iedere individuele test is gekeken of een specifieke handeling zichtbaar was als invloed op de condities (gemeten variabelen) in de ruimten. Hierbij is gecorrigeerd voor eventuele

afwijkingen van het protocol zoals opgenomen in het logboek van de regieruimte (zie bijlage 9H en bijlage 13). Ook is gekeken naar eventuele herleidbare effecten (effect te herleiden naar een actie van de brandweer, omdat er op dat moment geen andere acties worden ondernomen) die vertraagd optreden doordat een meetpunt verder van de bron ligt.

Ook voor de overige verdiepingen is er een kruisvergelijking gemaakt tussen een specifieke actie (bijvoorbeeld blussing of ventileren) en het veroorzaken van verspreiding van CO. Op basis van de analyses is met meer diepgang gekeken naar een kruisvergelijking tussen twee variabelen (de stand van de deur van de brandruimte en de inzetactie: offensief dan wel defensief). Dit is gedaan, omdat uit literatuuronderzoek is gebleken dat deze twee variabelen de meeste invloed hebben. Daarnaast gaat deze kruisvergelijking in op de huidige situatie in de daadwerkelijke praktijk, waarbij risicobeheersende maatregelen vaak niet aanwezig zijn. Op basis hiervan kan worden gekeken wat de meest optimale inzetactie is bij een bepaalde stand van de deur van de brandruimte voor de varianten 0 en 1.

2.6 De kwaliteit van het onderzoek

De kwaliteit van het onderzoek wordt in belangrijke mate bepaald door de mate waarin vooraf en tijdens de uitvoering aandacht wordt besteed aan uniformiteit, betrouwbaarheid en validiteit. Specifiek bij het uitvoeren van een grootschalig praktijkonderzoek dient – voor het verkrijgen van betrouwbare en valide resultaten – extra aandacht te worden besteed aan uniformiteit. In deze paragraaf wordt daarom, aan de hand van richtlijnen met betrekking tot de kwaliteit van onderzoek van AMC-UvA (2002), eerst aandacht besteed aan de uniformiteit van de testcondities. Vervolgens komen de betrouwbaarheid en validiteit aan de orde.

2.6.1 Uniformiteit van de testcondities

Het nastreven van een maximale uniformiteit van de testcondities is van belang om het beïnvloeden van de testen door (ongewenste) variabelen uit te sluiten of ten minste zoveel mogelijk te beperken. Door de keuze voor het uitvoeren van praktijkexperimenten in een feitelijk woongebouw – in tegenstelling tot testen in een laboratorium – zijn vooraf concessies gedaan aan de uniformiteit. De voordelen van dergelijke praktijkexperimenten voor het bereiken van het doel van het onderzoek zijn echter van groter belang geacht. Hoewel vooraf dus een concessie gedaan is ten aanzien van uniformiteit, is vanaf dat moment gepoogd om de condities zo uniform mogelijk te houden / brengen.

Concreet zijn de volgende maatregelen (vooraf) genomen om de uniformiteit van de testcondities te bevorderen.

- > Het bevorderen van uniforme brandontwikkeling door:
 - Het kiezen van twee vrijwel identieke brandruimten die ieder op een gelijke afstand van de uiteinden van de gang zijn gelegen.
 - Het afsluiten van de buitengevel om invloed van de wind op de brandontwikkeling en rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken. Tevens is er brandwerend materiaal voor de ramen in de brandruimte aangebracht om te voorkomen dat deze zouden breken, waardoor er alsnog een unieke en daarmee onvergelykbare situatie zou ontstaan.
 - Het beperken van het aantal testen op één dag, zodat het gebouw vrijgemaakt kon worden van rook en de temperatuur van de brandruimte voldoende kon dalen, zodat er sprake zou zijn van een gelijkwaardige startsituatie voor alle testen.

- Het gebruiken als brandobject van banken van exact hetzelfde type uit één productieserie om uit te sluiten dat een andere samenstelling of uitvoering zou leiden tot een andere brandontwikkeling.
 - De banken op exact dezelfde locatie in de brandruimte(s) te plaatsen en op dezelfde wijze aan te laten steken door een vast teamlid.
 - Het verwijderen of afdekken van alle brandbare materialen in de beide brandruimten (zoals vloerbedekking) om te voorkomen dat de vuurlast onbedoeld groter zou kunnen worden.
- > Het bevorderen van uniforme condities waaronder rookverspreiding kan plaatsvinden door:
- Het afsluiten van de buitengevel (door het sluiten van ramen) om zoveel mogelijk te voorkomen dat winddruk effect zou hebben op de rookverspreiding. Uiteraard was het niet mogelijk om de winddruk die om het hele gebouw aanwezig was te uniformeren.
 - Strak omschrijven en controleren welke deuren bij de start van het experiment gesloten dienen te zijn.
- > Het bevorderen van uniforme condities ten aanzien van de brandweerinzet door:
- Een protocol te gebruiken waarin omschreven staat welke handelingen voorafgaand, tijdens en na afloop van een test dienen te worden uitgevoerd, met welke uitrusting et cetera.
 - (Onder andere een uitgeschreven) instructie te geven aan de inzet- / veiligheidsploeg voorafgaand aan de test, en door de feitelijke handelingen door de inzetploeg gedurende het incident te begeleiden vanuit de regieruimte, waarbij exacte commando's zijn gegeven en is afgeteld.
 - Op vrijwel alle testdagen met dezelfde bevelvoerder te werken.
- > Het bevorderen van een uniforme analyse door de data te verwerken met geautomatiseerde tools.

2.6.2 Betrouwbaarheid

Bij de betrouwbaarheid van een onderzoek gaat het om de vraag of de resultaten hetzelfde zouden zijn als het onderzoek op exact dezelfde wijze nog een keer wordt uitgevoerd. Verondersteld wordt dat bij gelijke testen de meetresultaten ook gelijk zijn. Is er tussen beide meetmomenten een hoge correlatie (samenhang), dan is de meting in hoge mate betrouwbaar. Is de samenhang daarentegen laag, dan duidt dit op een lage betrouwbaarheid. Opgemerkt moet worden dat een lage correlatiecoëfficiënt niet hoeft te betekenen dat de metingen onbetrouwbaar zijn: het kan immers ook zijn dat de resultaten wérkelijk anders zijn onder invloed van een extra variabele.

Bij dit onderzoek naar rookverspreiding is betrouwbaarheid nagestreefd bij het ontwerp en de uitvoering van de testen, evenals bij het gebruik van de meetapparatuur.

- > Het ontwerp en de uitvoering van de testen
 - Het onderzoeksteam dat de testen heeft ontworpen, heeft tevens de meetopstelling gerealiseerd en heeft de supervisie op de uitvoering. Hiermee is een hoge mate van consistentie gerealiseerd in de verschillende fasen van het onderzoek.
 - Er is sprake van een klein, compact onderzoeksteam en op elk aspect van het onderzoek (onder andere mobiele meetapparatuur, vaste meetapparatuur, dataverzameling en -analyse) is een vast (sub)team gezet, waardoor de kans op verschillende interpretaties gedurende de testen beperkt is gebleven.
 - Er is een pre-test uitgevoerd ter voorbereiding op de daadwerkelijke testen.

- Alle testvarianten zijn ten minste dubbel uitgevoerd in het kader van herhaalbaarheid, met uitzondering van de testen met organische vuurlast.
 - Alle testvarianten zijn uitgevoerd volgens duidelijk omschreven protocollen.
 - Er is een logboek bijgehouden waarin weersomstandigheden en alle cruciale momenten gedurende een test zijn gemarkeerd. Daarnaast zijn afwijkingen van het onderzoeksprotocol genoteerd. De belangrijkste afwijkingen zijn opgenomen in bijlage 9H.
- > Metingen en meetapparatuur
- Alle meetapparatuur is geijkt / gekalibreerd en voorafgaand aan iedere test gecontroleerd op de juiste werking en de juiste registratie van meetresultaten.
 - Voor alle testen zijn op alle verdiepingen in meerdere ruimten en op meerdere hoogtes metingen uitgevoerd.
 - De meetresultaten zijn gekoppeld aan de camerabeelden.
 - Naast onze eigen gasmetingen, heeft het RIVM ook gasmetingen gedaan. Hiermee is impliciet een extra toets op de betrouwbaarheid van de meetapparatuur verkregen.³¹

2.6.3 Interne en externe validiteit

Validiteit betreft de mate waarin de meting aan haar doel beantwoordt (Drenth & Sijsma, 2006). Simpel gezegd, gaat het om de vraag of er wordt gemeten wat er gemeten zou moeten worden. Validiteit is in te delen in interne en externe validiteit.

Interne validiteit

Interne validiteit wordt gedefinieerd als de mate waarin het redeneren binnen het onderzoek correct is uitgevoerd. Oftewel: de methodologische validiteit. Het gaat er dan om in hoeverre de juiste methodiek is toegepast, of de steekproef op een juiste wijze is getrokken, of er gebruik is gemaakt van het juiste meetinstrument en of de juiste analysetechnieken zijn toegepast. Betrouwbaarheid (zie hierboven) is een voorwaarde voor interne validiteit.

De volgende maatregelen zijn genomen om een hoge mate van interne validiteit te bereiken.

- > Een vergelijking van de onderzoeksresultaten: door het inzetten van een combinatie van simulaties en praktijkexperimenten (deels door middel van twee verschillende meetsystemen) en een vergelijking te maken met praktijkcasussen op het gebied van rookverspreiding.
- > Het zoeken naar ontkrachtend bewijs voor de bevindingen in de praktijkexperimenten: bij het vergelijken van de bevindingen van de testen met de praktijk (van branden waarbij rookverspreiding een rol heeft gespeeld), is expliciet gezocht naar situaties waarin de conclusies uit het experiment níet passen bij de praktijk.
- > Het uitvoeren van controlechecks in de data-analyse: dezelfde analyse is onafhankelijk uitgevoerd door meerdere personen om te controleren of de uitkomst hetzelfde zou zijn.
- > De inzet van een klankbordgroep om de onderzoeksopzet, de verzameling van data, de analysemethode en de bevindingen te toetsen.
- > Een review bestaande uit interne en externe wetenschappers om de verzameling van data, de analysemethode en de bevindingen te toetsen.

³¹ Zie bijlage 14.

Externe validiteit

Externe validiteit betreft de mate waarin de onderzoeksresultaten generaliseerbaar zijn naar andere situaties dan die in het onderzoek; deze vorm van validiteit bestaat uit de volgende onderdelen.

- > Ecologische validiteit: de mate waarin de onderzoeksresultaten uit een onderzoek overeenkomen met de alledaagse praktijk. De ecologische validiteit wordt getoetst door de resultaten van de experimenten expliciet te koppelen aan en te vergelijken met de praktijk in het hoofdstuk over generaliseerbaarheid (hoofdstuk 0). Hierbij dient vermeld te worden dat er in de praktijk bij een brand in een woongebouw geen daadwerkelijke meetresultaten beschikbaar zijn. Dat betekent dat de vergelijking met de praktijk gebaseerd is op brandonderzoek dat *na* de brand heeft plaatsgevonden en op evaluaties door de betreffende brandweerkorpsen.
- > Generaliseerbaarheid van de steekproef: is de steekproef representatief voor de populatie? Er zijn honderdduizenden woongebouwen in Nederland. Vanwege de eisen aan betrouwbaarheid en validiteit én de kosten die verbonden zijn aan het uitvoeren van een grootschalig praktijkexperiment was het niet mogelijk om een grotere steekproef te nemen uit deze duizenden woongebouwen. Dat betekent dat de steekproef te klein is om automatisch te kunnen spreken van voldoende generaliseerbaarheid. Toch zijn er redenen om te stellen dat de uitkomsten van dit onderzoek wel voldoende gefundeerd zijn om conclusies uit te kunnen trekken en aanbevelingen ten aanzien van rookveiligheid in woongebouwen te kunnen doen:
 - Hoewel het gebouw waar de experimenten zijn uitgevoerd een specifieke vorm en indeling heeft, kan wél gesteld worden dat dit type gebouwen veel in Nederland te vinden is.
 - Door het literatuuronderzoek vooraf en de vergelijking die gemaakt wordt met daadwerkelijke branden in woongebouwen, wordt beoogd aan te tonen dat de resultaten uit het experiment niet afwijken van de bevindingen uit de praktijk.
- > Betekenisvaliditeit: de mate waarin een begrip meet wat er onder dat begrip moet worden verstaan / wat de betekenis van dat begrip is (betekenisexclusiviteit).

Betekenisvaliditeit kan opgedeeld worden in de volgende onderdelen.

 - Inhoudsvaliditeit: de mate waarin het meetinstrument de betekenis van een begrip in al zijn aspecten weet te dekken. Aan deze validiteit is invulling gegeven door een uitgebreid literatuuronderzoek uit te voeren naar de relevante variabelen die van invloed zijn op vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand. Aan de hand van deze resultaten zijn het experiment en de meetmethode vormgegeven. Hoewel niet alle factoren (en met name alle rookgassen) continu gemeten konden worden, zijn de belangrijkste factoren wél continu gemeten.
 - Constructvaliditeit: de mate waarin de deelaspecten van een omvangrijk begrip het gehele begrip dekken. Het thema van dit onderzoek, rookverspreiding, is een omvangrijk begrip. Met dit aspect van validiteit is daarom rekening gehouden door 1) in het uitgevoerde literatuuronderzoek vast te stellen welke factoren tenminste gemeten dienen te worden, 2) voor deze verschillende factoren specifieke meetapparatuur in te zetten en 3) de resultaten in onderling verband te plaatsen aan de hand van internationaal toegepaste methoden voor het bepalen van het risico van rookverspreiding en het effect op vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de tijd.



3 Rookverspreiding: routes en factoren

3.1 Inleiding

Om een goede indruk te krijgen van de rookverspreiding in het gebouw zijn met behulp van camerabeelden (video en audio) van de praktijkexperimenten de rookverspreidingsroutes in kaart gebracht. Op basis van deze routes zijn de factoren die hierbij een rol spelen bepaald. In aanvulling op de beelden is voor een aantal situaties gebruikgemaakt van de metingen (van gasconcentraties, de zichtlengte, temperatuur, et cetera). Een nadere analyse van de metingen en het daaruit voortvloeiende effect op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden is opgenomen in de hoofdstukken 4, 5 en 6. De rookverspreidingsroutes en bepalende factoren uit dit hoofdstuk vormen de basis voor deze volgende hoofdstukken.

Dit hoofdstuk start met een leeswijzer waarmee de resultaten geïnterpreteerd kunnen worden. Daarna wordt een overzicht gegeven van de geconstateerde rookverspreidingsroutes, en vervolgens worden deze routes per verdieping nader toegelicht. De rookverspreiding op basis van de camerabeelden wordt vergeleken met de verspreiding van rookgassen (CO-metingen), om zowel de zichtbare als niet-zichtbare rookverspreiding in kaart te brengen. Tot slot worden factoren beschreven die een rol spelen bij de rookverspreiding tijdens de testen.

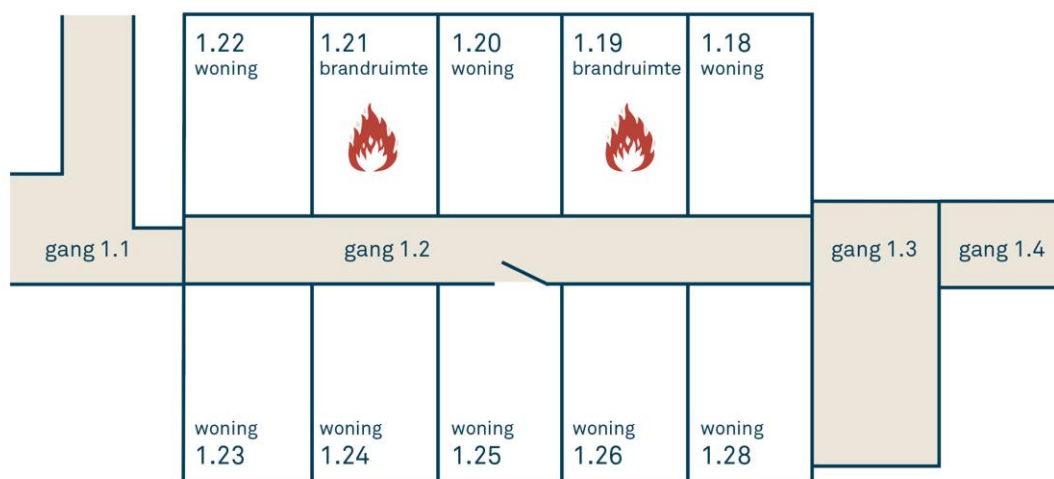
3.2 Leeswijzer

De negentien testen zijn ingedeeld aan de hand van acht varianten. Deze varianten en de bijbehorende testen zijn in tabel 3.1 weergegeven. Een volledig overzicht van alle testen is weergegeven in paragraaf 2.4.4 (zie tabel 2.2).

Tabel 3.1 Overzicht van de varianten en bijbehorende testen

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21
2	Mobiele watermist en deur open	2	7	270619_2	1.19
			9	280619_2	1.19
3	Mobiele watermist en deur dicht	2	6	270619_1	1.21
			8	280619_1	1.21
4	Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht	2	10	010719_1	1.21
			11	010719_2	1.19
5	Rookwerende scheiding en deur dicht	2	12	020719_1	1.21
			13	020719_2	1.19
6	Organische vuurlast en deur open	1	15	030719_2	1.19
7	Organische vuurlast en deur dicht	1	14	030719_1	1.21
8	Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)	2	18	050719_1	1.19
			19	050719_2	1.19

3.2.1 Legenda bij de resultaten



Figuur 3.1 Schematische plattegrond van de eerste verdieping

Gebruikte afkortingen

- > Brandruimte [BR]
- > Woning 1.25 [W1.25], idem voor de andere woningen
- > Gang 1.2 [G1.2], inclusief camerahoogte (m). Idem voor andere gangen
- > CAI: centrale antenne inrichting

Varianten

- > Testen van variant 0 (deur open)
- > Testen van variant 1 (deur dicht)
- > Testen van variant 2 (mobiele watermist, deur open)
- > Testen van variant 3 (mobiele watermist, deur dicht)
- > Testen van variant 4 (mobiele watermist en rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Testen van variant 5 (rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Test van variant 6 (organische vuurlast, deur open)
- > Test van variant 7 (organische vuurlast, deur dicht)
- > Testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie)

Kleuren en toelichting bij de tabellen van zichtbare en niet-zichtbare rook

Er is een vergelijking gemaakt van de zichtbare rookverspreiding en de gemeten CO-concentratie op ruimteniveau; in de tabellen is dit weergegeven met drie verschillende kleuren (zie figuur 3.2).

- > Donkergrijs: er is zowel zichtbare rook waargenomen als CO gemeten.
- > Blauw: er is geen zichtbare rook waargenomen en geen CO gemeten.
- > Lichtgrijs: er is of zichtbare rook waargenomen óf CO gemeten. In de cel is aangegeven of het om rook of CO gaat.

Zichtbare rook en CO gemeten
Geen zichtbare rook en CO gemeten
Zichtbare rook of CO gemeten

Figuur 3.2 Kleurenschaal in de tabellen voor zichtbare en niet-zichtbare rook

3.2.2 Toelichting op de presentatie van de resultaten

De resultaten van de testen van de verschillende varianten worden op de volgende wijze gepresenteerd:

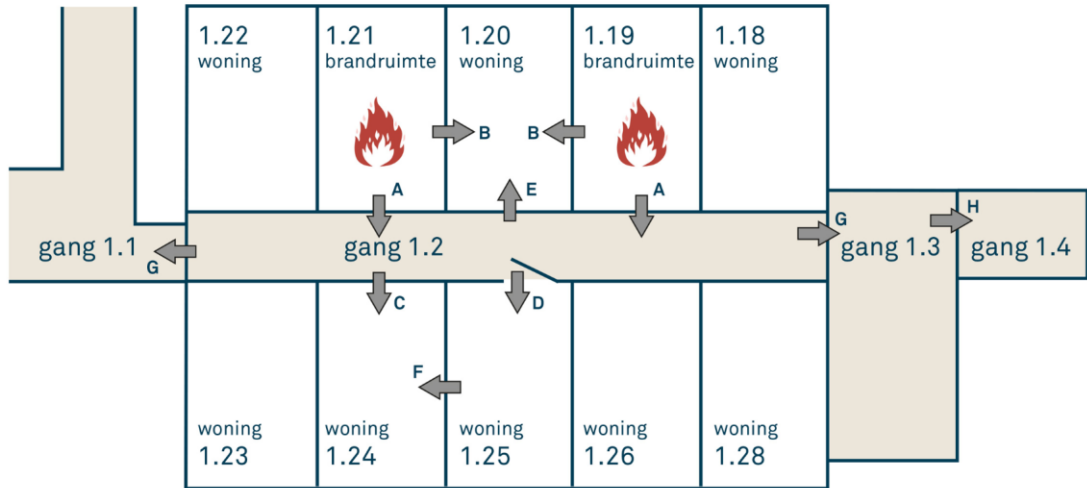
- > Als er rook zichtbaar is in een ruimte, worden daarmee de zichtbare (vaste en vloeibare) deeltjes in de rook bedoeld, tenzij anders aangegeven. Ten behoeve van de leesbaarheid zal in het hoofdstuk de term 'zichtbare rook' worden gebruikt.
- > Een rookverspreidingsroute beschrijft de rookverspreiding van de ene ruimte naar een andere. Een route kan bestaan uit meerdere subroutes. Subroutes kunnen bijvoorbeeld via verschillende openingen lopen, zoals kieren, naden, doorvoeringen of kanalen. Indien er sprake is van een nadere indeling in subroutes, is dit aangegeven. Deze routes worden weergegeven in plattegronden / afbeeldingen en aangeduid met een hoofdletter. Verder zijn een aantal screenshots gemaakt van de camerabeelden ter illustratie van de rookverspreidingsroutes.
- > In de tabellen staan zowel de variantnummers als de individuele testnummers weergegeven. Er wordt in de resultaten verwezen naar individuele testen, omdat geconstateerd is dat er een spreiding is in de rookverspreiding bij testen van dezelfde variant. Hierbij wordt wel de variant vermeld. De tabel is opgebouwd volgens de kleurenschaal uit figuur 3.2.

De resultaten die in dit hoofdstuk besproken worden, zijn een samenvatting van uitgebreide analyses. De hieronder genoemde bijlagen vormen de grondslag voor de resultaten en analyses van dit derde hoofdstuk.

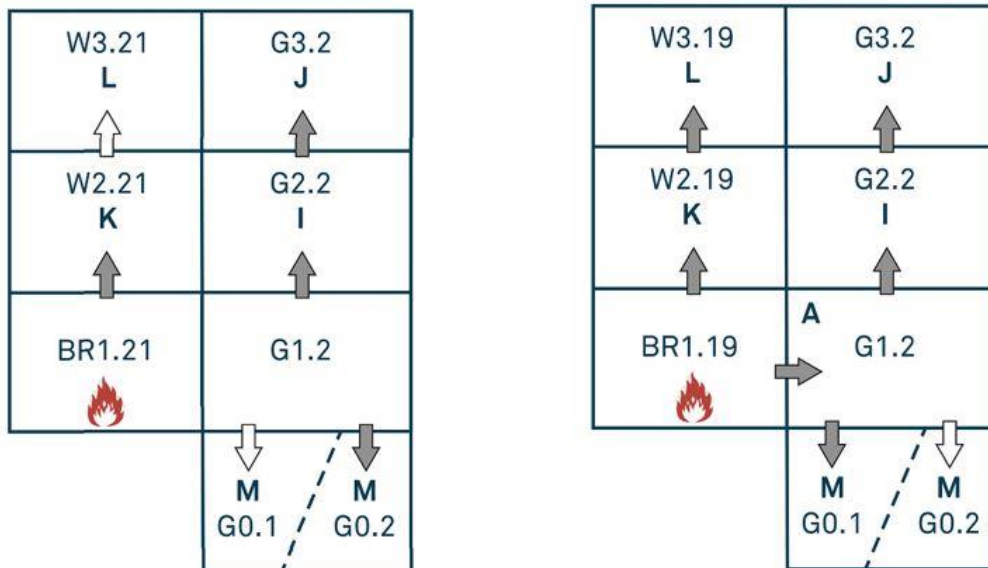
- > Bijlage 15: overzichtsfoto's van de ruimten op de eerste verdieping op vaste momenten per test, zowel voor de vluchtfase als de inzetfase. Deze foto's geven meer inzicht in de zichtbare rook in een ruimte, die uiteen kan lopen van een kleine hoeveelheid (lokale) rook met een lage optische dichtheid, tot rook met een hoge optische dichtheid die de ruimte vrijwel volledig vult.
- > Bijlage 16: de grafieken met de gemeten CO-waarden per test. Voor het vaststellen van de aanwezigheid van CO in een ruimte, is een puntmeting van de maximale CO-concentratie in een ruimte gebruikt. Als uitgangspunt geldt de maximale concentratie CO voor de vlucht- en inzetfase. De grafieken geven inzicht in de gemeten CO-waarden (en fluctuaties) gedurende de gehele test.
- > Bijlage 17: een overzicht van de zichtlengte en rooklaaghoogte per test en ruimte.
- > Bijlage 18: een overzicht per verdieping van de momenten waarop er zichtbare rookverspreiding plaatsvindt naar een ruimte.
- > Bijlage 19: een overzicht per ruimte van de rookverspreidingsroutes en subroutes waarlangs zichtbare rookverspreiding heeft plaatsgevonden.
- > Bijlage 20: de volledige analyse van de factoren die een rol spelen bij de rookverspreiding.

3.3 Een overzicht van de rookverspreidingsroutes

In de onderstaande figuren is een overzicht weergegeven van de horizontale (zie figuur 3.3) en verticale (zie figuur 3.4) rookverspreidingsroutes in het woongebouw.



Figuur 3.3 Routes van de horizontale rookverspreiding op de eerste verdieping



Figuur 3.4 Routes van de verticale rookverspreiding vanuit brandruimte 1.21 en 1.19

Beschrijving van de rookverspreidingsroutes

- Route A Vanuit de brandruimte naar gang 1.2
- Route B Vanuit de brandruimte naar woning 1.20
- Route C Vanuit gang 1.2 naar woning 1.24
- Route D Vanuit gang 1.2 naar woning 1.25
- Route E Vanuit gang 1.2 naar woning 1.20
- Route F Vanuit woning 1.25 naar woning 1.24
- Route G Vanuit gang 1.2 naar gang 1.3 en 1.1
- Route H Vanuit gang 1.3 naar gang 1.4
- Route I Vanuit gang 1.2 naar een gang op een hogere verdieping (gang 2.2)
- Route J Vanuit gang 1.2 naar een gang op een hogere verdieping (gang 3.2)
- Route K Vanuit de brandruimte naar een woning op de tweede verdieping (2.19 / 2.21)
- Route L Vanuit de brandruimte naar een woning op de derde verdieping (3.19)
- Route M Vanuit de eerste verdieping naar de begane grond (gang 0.1 en 0.2 (ventilatiekanaal), beide als aparte route opgenomen).

Op de camerabeelden is ook rookverspreiding geconstateerd waarvan de route onbekend is, mogelijk omdat deze (sub)route buiten het bereik van de camera's viel. Dergelijke routes zijn niet meegenomen in het overzicht.

De verschillende routes worden in de volgende paragrafen nader toegelicht. Allereerst zal er worden ingegaan op de horizontale rookverspreiding op de eerste verdieping. Daarna volgen de verticale rookverspreidingsroutes naar de overige verdiepingen. Op ruimteniveau worden de subroutes weergegeven waarlangs rookverspreiding naar een woning of gang heeft plaatsgevonden.

3.4 Rookverspreiding op de eerste verdieping

De horizontale rookverspreidingsroutes op de eerste verdieping zijn de routes A t/m H. Deze routes worden hieronder nader toegelicht.

3.4.1 Rookverspreidingsroute A

In figuur 3.5 is route A weergegeven op de plattegrond met daarnaast de bijbehorende subroutes in de brandruimte.



Figuur 3.5 Route A en subroutes A1 en A2

Rookverspreiding naar gang 1.2 vindt plaats via naden en kieren rondom de gesloten deur (A1) van de brandruimte of door de geopende deur van de brandruimte (A2). Bij een gesloten deur verspreidt de rook zich via de naad / kier tussen de deur en het kozijn, en via de kier tussen de deur en de vloerconstructie. Deze rookverspreiding vindt al na 2 tot 2,5 minuut na ontsteking plaats. De hoeveelheid rook die de gang in stroomt voordat de deur van de brandruimte geopend wordt, is niet zodanig dat zij leidt tot een zichtlengte van minder dan 5 meter. In figuur 3.6 is de rookverspreiding naar gang 1.2 weergegeven vlak voor en na het openen van de deur van de brandruimte (met een camerapositie op 1,5 meter hoogte).



Figuur 3.6 Rookverspreiding naar gang 1.2 vlak voor en na het openen van de deur van de brandruimte tijdens test 1 van variant 0

Als de deur van de brandruimte geopend wordt ($t = 5$ minuten), stroomt de in de brandruimte aanwezige rook langs de bovendorpel van het deurkozijn de gang in. Vanuit de deuropening stroomt de rook direct in beide lengterichtingen van de gang. Binnen 10 seconden heeft de rook zich over de volledige lengte van de gang verspreid. Na deze verspreiding in de lengterichting neemt de rooklaag in hoogte en volume toe en daalt hierdoor naar de vloer. Bij het merendeel van de testen met de deur open neemt de zichtlengte binnen enkele minuten af; dit houdt tot het einde van de vluchtfase aan. Bij enkele testen neemt de zichtlengte niet of maar tijdelijk af. In bijlage 17 is per test een overzicht van de zichtlengte in gang 1.2 weergegeven.

3.4.2 Rookverspreidingsroutes B en E

In figuur 3.7 zijn routes B en E weergegeven op de plattegrond met daarnaast de bijbehorende subroutes naar woning 1.20.



Figuur 3.7 Routes B en E, en subroutes B1, B2, E1, E2, E3 en E4

De subroutes voor rookverspreiding naar woning 1.20 zijn de wandcontactdozen (B1 en B2), kieren en naden rondom de deur (E1 tot en met E3) of de geopende deur (E4) (tijdens de inzetfase). Met name in de vluchtfase vindt er rookverspreiding plaats via de wandcontactdoos in de wand die grenst aan de brandruimte. Deze rookverspreiding vindt, afhankelijk van de testsituatie, plaats na 2,5 tot 3 minuten na ontsteking of op het moment waarop de deur van de brandruimte wordt geopend ($t = 5$ minuten). Bij een aantal testen waarbij de deur van de brandruimte op $t = 5,5$ minuten gesloten wordt, is zichtbaar dat rook met een verhoogde snelheid via de wandcontactdoos woning 1.20 in komt. In figuur 3.8 is de rookverspreiding via deze route weergegeven.



Figuur 3.8 Rook uit een wandcontactdoos in de wand van woning 1.20 tijdens test 16 van variant 1

Tijdens de vluchtfase vindt er via de bovenzijde en zijden van de deur rookverspreiding plaats naar de woning. Tijdens de inzetfase vindt er vooral rookverspreiding plaats langs de onderzijde van de deur. Wanneer de deur geopend wordt, komt rook vanuit de gang de woning in.

3.4.3 Rookverspreidingsroutes C en F

In figuur 3.9 zijn routes C en F weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroutes naar woning 1.24.



Figuur 3.9 Routes C en F, en subroutes C1, C2, C3, C4 en F1

Rookverspreiding naar woning 1.24 verloopt via dezelfde (sub)routes als de rookverspreiding naar woning 1.20: via de wandcontactdoos (F1), de kieren en naden rondom de gesloten deur (C1 tot en met C3) of de geopende deur (C4). In figuur 3.10 is aan de rook langs het plafond en de wanden te zien dat er rook (in de vluchtfase) door de naden / kieren van de deur en uit de wandcontactdoos (rode pijl) is gekomen.



Figuur 3.10 Rookverspreiding naar woning 1.24 tijdens test 3 van variant 0

De rook via subroute F1 lijkt al zodanig te zijn afgekoeld dat deze uit de wandcontactdoos 'valt', in tegenstelling tot de rook die via dezelfde subroute woning 1.20 binnenkomt en die niet meteen daalt. Tijdens de vluchtfase vindt er met name via de kieren en naden aan de bovenzijde van de deur rookverspreiding plaats, en tijdens de inzetfase via de kieren en naden aan de lange zijden of de onderzijden van de deur of door de geopende deur.

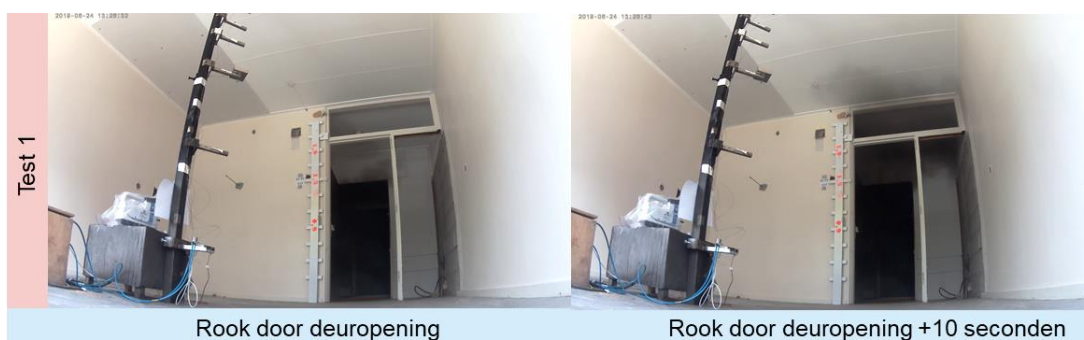
3.4.4 Rookverspreidingsroute D

In figuur 3.11 is route D weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroute naar woning 1.25.



Figuur 3.11 Route D en subroute D1

De zichtbare rookverspreiding naar woning 1.25 verloopt via de deuropening door de openstaande deur (D1). De rook stroomt vanuit gang 1.2 de woning binnen, waarna de (rook)laag zich in de woning opbouwt en in optische dichtheid toeneemt. In figuur 3.12 is aan de rook langs het plafond te zien hoe deze vanuit gang 1.2 de woning in is gekomen.



Figuur 3.12 Rookverspreiding naar woning 1.25 nadat de deur van de brandruimte is geopend tijdens test 1 van variant 0

Een grafiek met de rookverspreiding naar woning 1.25, inclusief de zichtlengte en rooklaaghoogte, is opgenomen in bijlage 17.

3.4.5 Rookverspreidingsroutes G en H

In figuur 3.13 zijn routes G en H weergegeven op de plattegrond met daaronder de subroutes naar gang 1.1, 1.3 en 1.4.

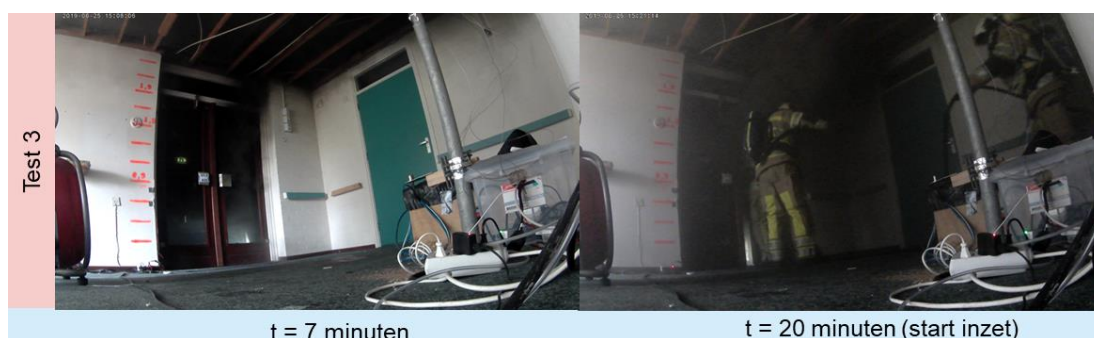


Figuur 3.13 Routes G en H, en subroutes G1 tot en met G8 en H1 tot en met H3

Rookverspreiding naar de gangen 1.1, 1.3 en 1.4 vindt plaats via de dubbele deuren die een scheiding vormen tussen de verschillende gangen. Via kieren en naden rondom de gesloten deuren (G1, G2, G3, G5, G6, G7, H1 en H2) of door de opening van de (deels) geopende deuren (G4, G8 en H3) verspreidt de rook zich naar deze gangen. Rookverspreiding naar gang 1.1 vindt zowel tijdens de vlucht- als inzetfase plaats.

Er is op twee manieren sprake van rookverspreiding vanuit gang 1.2 via de dubbele deur naar gang 1.3. Ten eerste komt er tijdens de vluchtfase rook door de kieren en naden van de gesloten dubbele deur (G5 tot en met G7). De tweede route loopt via de deuropening van de geopende dubbele deur (G8). Deze deur wordt zowel tijdens de vlucht- als inzetfase geopend. Tijdens de vluchtfase wordt de dubbele deur op ongeveer $t = 5,5$ tot 6 minuten geopend. Hierbij is er sprake van een geringe hoeveelheid rook die zich verspreidt van gang 1.2 naar 1.3. Tijdens de inzetfase wordt de deur geopend door de inzetploeg om gang 1.2 te betreden. De dubbele deur is vanaf de start van de inzet niet meer helemaal gesloten, omdat

de slang tussen de deur zit. De deur wordt volledig geopend als er tijdens de inzetfase (na de blussing) wordt geventileerd. In figuur 3.14 is op de linker foto rook bij de dubbele deur naar gang 1.3 te zien tijdens de vluchtfase; op de rechter foto is rook bij de dubbele deur naar gang 1.3 te zien tijdens de start van de brandweerinzet.



Figuur 3.14 Rook gedurende de vluchtfase (t = 7 minuten) en de start van de brandweerinzet (t = 20 minuten) tijdens test 3 van variant 0

3.4.6 Verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook

De beschreven routes zijn gebaseerd op de zichtbare rook, die varieert van dichte zwarte rook tot nauwelijks waarneembare lichte rook. Daarnaast is met behulp van CO-metingen de verspreiding van rook in de vorm van onzichtbare gassen bekeken. Hierbij dient de kanttekening te worden gemaakt dat er een puntmeting is uitgevoerd in het midden van de kamer. Dat betekent dat rook eerst bij dat punt moet komen voordat de sensor CO registreert.

De visuele waarnemingen en de CO-metingen zijn met elkaar vergeleken. Er is onderscheid gemaakt tussen de vluchtfase (0-20 minuten) en de inzetfase (≥ 20 minuten), waarbij er voor de zichtbare rookverspreiding in de inzetfase is vastgesteld of er nog steeds rook in de ruimte aanwezig was of dat er sprake was van een nieuwe toevoer van rook. Voor de CO-metingen is de aanwezigheid van CO voor beide fasen bepaald, zie bijlage 16. Het betreft hier een globale vergelijking; een diepgaander analyse van de CO-metingen is opgenomen in hoofdstuk 4, 5 en 6.

Een overzicht van de verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook naar de woningen en gangen op de eerste verdieping is weergegeven in tabel 3.2 en tabel 3.3. Het moment waarop er zichtbare rookverspreiding plaatsvindt naar een ruimte is voor alle verdiepingen weergegeven in bijlage 18. Een overzicht van de CO-metingen van alle testen is opgenomen in bijlage 16.

Tabel 3.2 Rookverspreiding naar de woningen op de eerste verdieping

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	W1.20		W1.24		W1.25	
			0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.
0	DO	1						
		3						
		5						
		17						
1	DD	2					Rook	
		4			Rook			
		16						
2	MWM en DO	7						
		9						
3	MWM en DD	6	CO	CO	CO	CO		
		8	CO	CO				
4	MWM, RW en DD	10		CO		CO	Rook	
		11	CO	CO		CO		
5	RW en DD	12			CO			
		13			CO			
6	OV en DO	15	CO					
7	OV en DD	14	CO				Rook	
8	MV	18						
		19						

Noot. DO = Deur open, DD = Deur dicht, MWM = Mobiele watermist, RW = Rookwerende scheiding, OV = Organische vuurlast en MV = Maximale ventilatie

Uit tabel 3.2 blijkt dat bij een aantal testen geen rook is waargenomen, maar wel CO is gemeten in de woningen op de eerste verdieping.

Tabel 3.3 Rookverspreiding naar de gangen op de eerste verdieping

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	G1.1		G1.2		G1.3	
			0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.
0	DO	1	Rook*	Rook*				
		3						
		5						
		17						
1	DD	2	Rook				Rook	
		4	Rook				Rook	
		16					Rook	
2	MWM en DO	7					Rook	
		9					Rook	
3	MWM en DD	6	Rook					CO
		8	Rook					X
4	MWM, RW en DD	10						CO
		11		CO				X
5	RW en DD	12	Rook				Rook	
		13	Rook				Rook	Rook
6	OV en DO	15	Rook					
7	OV en DD	14						
8	MV	18						
		19						

Noot. DO = Deur open, DD = Deur dicht, MWM = Mobiele watermist, RW = Rookwerende scheiding, OV = Organische vuurlast en MV = Maximale ventilatie

*Bij test 1 van variant 0 (deur open) heeft er in gang 1.1 geen CO-meting plaatsgevonden, omdat de meetapparatuur voor de betreffende sensor niet werkte.

Uit tabel 3.3 blijkt dat er bij meerdere testen wel rook is waargenomen in gang 1.1 en 1.3 tijdens de vluchtfase, maar dat er geen CO is gemeten.

3.4.7 Samenvatting

Rookverspreiding naar gang 1.2 en naar overige woningen op de eerste verdieping vindt plaats via diverse (sub)routes. Hierbij gaat het hoofdzakelijk om routes via kieren en naden rondom deuren en routes via wandcontactdozen. Deze wijze van rookverspreiding treedt al vroeg in de vluchtfase op (2 tot 3 minuten na ontsteking). De rookverspreiding rondom de deuren vindt hoofdzakelijk plaats via de kieren en naden aan de bovenzijde en lange zijden van de deur. Na verloop van tijd, als de rooklaag verder gedaald is, vindt er ook rookverspreiding plaats via de onderzijde van deuren. De rookverspreiding via wandcontactdozen vindt niet alleen plaats van de brandruimte naar woning 1.20, maar ook van woning 1.25 naar woning 1.24.

Rookverspreiding naar gang 1.1 en 1.3 is zichtbaar nadat de deur van de brandruimte is geopend. De rooklaag die zich in gang 1.2 opbouwt na het openen van de deur van de brandruimte, zorgt voor rookverspreiding naar de aangrenzende gangen door kieren en

naden rondom de dubbele deuren. Rookverspreiding naar gang 1.4 is niet bij alle testen en uitsluitend in de inzetfase waargenomen.

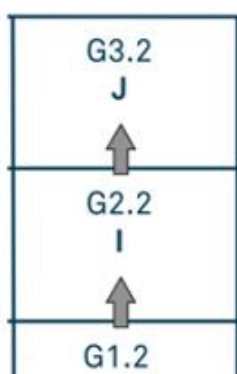
Op de eerste verdieping wordt er vaak zowel zichtbare rook waargenomen als CO gemeten. In woningen 1.20 en 1.24 wordt er bij een aantal testen wel CO gemeten, maar is er geen zichtbare rookverspreiding waargenomen. Dit is het geval zowel tijdens de vlucht- als inzetfase. In gangen 1.1 en 1.3 wordt er in een aantal testen – met name in de vluchtfase – wel zichtbare rook waargenomen, maar geen CO gemeten.

3.5 Rookverspreiding naar de overige verdiepingen

De verticale rookverspreiding naar de overige verdiepingen vindt plaats via de routes I t/m M. Deze routes worden hieronder nader toegelicht.

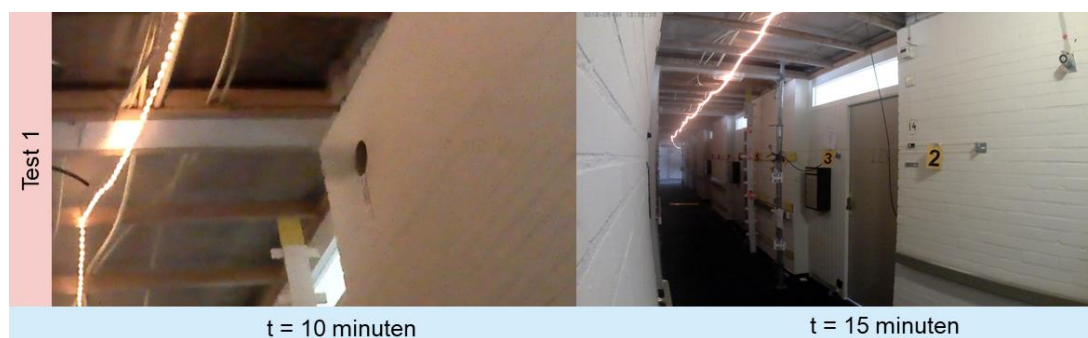
3.5.1 Rookverspreidingsroutes I en J

In figuur 3.15 zijn routes I en J weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroutes in gang 1.2.



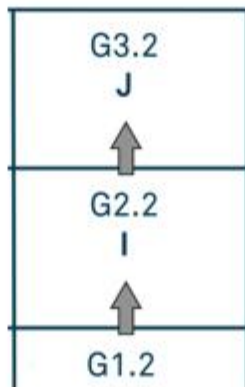
Figuur 3.15 Route I en subroutes I1, I2 en I3

Rookverspreiding naar gang 2.2 (gelegen boven gang 1.2) vindt plaats via ventilatiekanalen met ventilatieopeningen in deze gang (I1, I2 en I3). Deze ventilatiekanalen staan in verbinding met de andere verdiepingen. In figuur 3.16 is de rookverspreiding via één van de drie ventilatieopeningen in gang 2.2 weergegeven.



Figuur 3.16 Rook uit de opening van een ventilatiekanaal in gang 2.2 tijdens test 1 van variant 0

In figuur 3.17 zijn routes I en J weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroutes in gang 3.2.

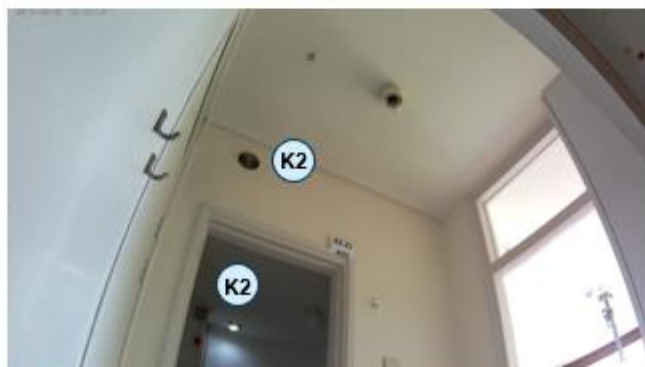
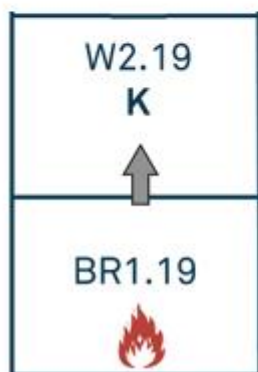
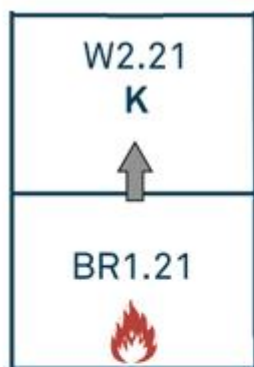


Figuur 3.17 Route J en subroutes J1, J2 en J3

Rookverspreiding naar de gang op de derde verdieping heeft net als naar gang 2.2 plaatsgevonden via (een of meerdere) ventilatieopening(en) in de gang (J1, J2, en J3). In vergelijking met de tweede verdieping is op de derde verdieping bij meer testen rookverspreiding geconstateerd.

3.5.2 Rookverspreidingsroutes K en L

In figuur 3.18 is route K weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroutes naar woning 2.19 en 2.21.



Figuur 3.18 Routes K en L, en subroutes K1 en K2

De rookverspreiding naar woning 2.19 vindt plaats via drie subroutes: uit een wandcontactdoos / CAI-aansluiting in de wand (K1), uit een ventilatieopening boven de badkamerdeur in de hal van de woning (K2) en uit een ventilatieopening in de badkamer (K2). De rookverspreiding via de wandcontactdoos vindt plaats tijdens de vluchtfase. De rookverspreiding via beide ventilatieopeningen vindt gelijktijdig plaats, en zowel tijdens de vlucht- als inzettfase. Bij alle drie de testen waarbij er rookverspreiding naar woning 2.19 heeft plaatsgevonden, was de brandruimte de onderliggende woning (1.19).

Tijdens de vier testen in brandruimte 1.21 is er in (de bovenliggende) woning 2.21 zichtbare rook waargenomen. Bij deze testen is rook de woning binnengekomen via de wandcontactdoos / CAI-aansluiting. Rookverspreiding uit de aanwezige ventilatieopeningen, zoals bij woning 2.19 het geval was, is niet waargenomen.

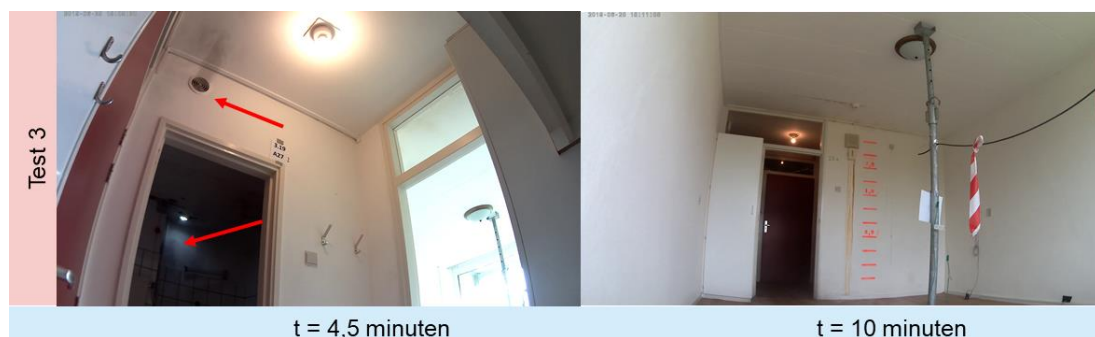
In figuur 3.19 is route L weergegeven op de plattegrond met daarnaast de subroute naar woning 3.19.



Figuur 3.19 Route L en subroute L1

Er is tijdens twee testen rookverspreiding naar woning 3.19 waargenomen. In beide gevallen was de brand in brandruimte 1.19. De rook is afkomstig uit de ventilatieopening in de badkamer en de ventilatieopening boven de badkamerdeur in de hal (L1). Rookverspreiding naar woning 3.21 heeft bij geen van de testen plaatsgevonden.

Figuur 3.20 geeft de rookverspreiding weer tijdens test 3 van variant 0 (deur open) via de ventilatieopening in de badkamer en de ventilatieopening boven de badkamerdeur in de hal.



Figuur 3.20 Rookverspreiding naar woning 3.19 via de ventilatiekanalen tijdens test 3 van variant 0

3.5.3 Rookverspreidingsroute M

In figuur 3.21 is route M weergegeven met daarnaast de subroute naar de begane grond.



Figuur 3.21 Route M en subroute M1

Rookverspreiding naar de begane grond vindt plaats tijdens twee testen. Via een onbekende route in de scheidingsconstructie is rook in de garderobe waargenomen (gang 0.1, M1) tijdens de vluchtfase van test 3 van variant 0 (deur open). Ook is er rook waargenomen uit een opening in een ventilatiekanaal in gang 0.2 (M1): aan het einde van de vluchtfase en het begin van de inzetfase tijdens test 1 van variant 0 (deur open) en in de inzetfase tijdens test 3 van variant 0 (deur open). Figuur 3.22 laat de rookverspreiding tijdens test 3 van variant 0 (deur open) in beide gangen zien.



Figuur 3.22 Rookverspreiding naar de begane grond tijdens test 3 van variant 0

3.5.4 Verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook

De visuele waarnemingen en de CO-metingen zijn met elkaar vergeleken. Er is onderscheid gemaakt tussen de vluchtfase (0 tot 20 minuten) en de inzetfase (≥ 20 minuten), waarbij er voor de zichtbare rookverspreiding in de inzetfase is vastgesteld of er nog steeds rook in de

ruimte aanwezig was of dat er sprake was van een nieuwe toevoer van rook. Voor de CO-metingen is de aanwezigheid van CO in beide fasen bepaald. Het betreft hier een globale vergelijking; een diepgaander analyse van de CO-metingen is opgenomen in hoofdstuk 4, 5 en 6.

Een overzicht van de verspreiding van zichtbare en niet-zichtbare rook naar de woning en gangen op de tweede en derde verdieping en naar de begane grond is weergegeven in tabel 3.4 tot en met tabel 3.6. Het moment waarop er zichtbare rookverspreiding plaatsvindt naar een ruimte is voor alle verdiepingen weergegeven in bijlage 18. Een overzicht van de CO-metingen van alle testen is opgenomen in bijlage 16.

Tabel 3.4 Rookverspreiding naar de gangen op de tweede en derde verdieping

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	G2.2		G2.3	
			0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.
0	DO	1				
		3				
		5		CO	Rook	Rook
		17		CO*		Rook
1	DD	2	Rook			
		4				
		16			Rook	Rook
2	MWM en DO	7		CO	Rook	
		9			Rook	
3	MWM en DD	6				
		8				
4	MWM, RW en DD	10				
		11				
5	RW en DD	12		CO		CO
		13				CO
6	OV en DO	15				
7	OV en DD	14		CO		
8	MV	18				
		19			Rook	Rook

Noot. DO = Deur open, DD = Deur dicht, MWM = Mobiele watermist, RW = Rookwerende scheiding, OV = Organische vuurlast en MV = Maximale ventilatie

*Alleen gemeten bij sensor G12

Tabel 3.5 Rookverspreiding naar de woningen op de tweede en derde verdieping

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	W2.19 / 2.21		W3.19 ³² / 3.21	
			0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.
0	DO	1		CO		
		3	Rook			
		5				CO
		17	Rook			CO
1	DD	2	Rook			
		4	Rook			
		16	Rook			
2	MWM en DO	7				CO
		9				CO
3	MWM en DD	6				
		8				
4	MWM, RW en DD	10				
		11				CO
5	RW en DD	12	Rook	CO		
		13	Rook	CO		
6	OV en DO	15				
7	OV en DD	14				
8	MV	18		CO		CO
		19				

Noot. DO = Deur open, DD = Deur dicht, MWM = Mobiele watermist, RW = Rookwerende scheiding, OV = Organische vuurlast en MV = Maximale ventilatie

Tabel 3.6 Rookverspreiding naar de begane grond

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	G0.1		G0.2	
			0-20 min.	≥ 20 min.	0-20 min.	≥ 20 min.
0	DO	1				
		3	Rook			
		5				
		17				
1	DD	2				CO
		4				
		16				

Noot. DO = Deur open, DD = Deur dicht

Omdat alleen (zichtbare) rookverspreiding is waargenomen bij variant 0 en variant 1, is alleen de rookverspreiding tijdens de testen van deze varianten weergegeven in de tabel

³² Er heeft tijdens geen enkele test zichtbare rookverspreiding plaatsgevonden naar woning 3.21.

3.5.5 Samenvatting

Rookverspreiding naar de gangen op de tweede én derde verdieping vindt bij minder dan de helft van de testen plaats. In deze gevallen is vaker sprake van rookverspreiding naar de gang op de derde verdieping dan naar de gang op de tweede verdieping. De mate waarin de rookverspreiding plaatsvindt, verschilt niet alleen per variant, maar ook per test binnen eenzelfde variant.

Rookverspreiding naar de gang op de tweede verdieping vindt plaats via de ventilatiekanalen, en naar de woningen op de tweede verdieping via de wandcontactdozen met CAI-aansluiting en de ventilatieopeningen. Rookverspreiding naar de derde verdieping treedt alleen op via de ventilatiekanalen. Bij rookverspreiding naar de woningen op de tweede en derde verdieping gaat het altijd om de woning die boven de brandruimte is gelegen.

Zichtbare rookverspreiding naar de begane grond vindt alleen plaats bij twee testen van variant 0 (deur open); dit gebeurt op een later tijdstip dan rookverspreiding naar de andere verdiepingen.

Rookverspreiding naar andere verdiepingen wordt niet altijd gezien dan wel gemeten. In een groot aantal gevallen is er sprake van of zichtbare rook of gemeten CO.

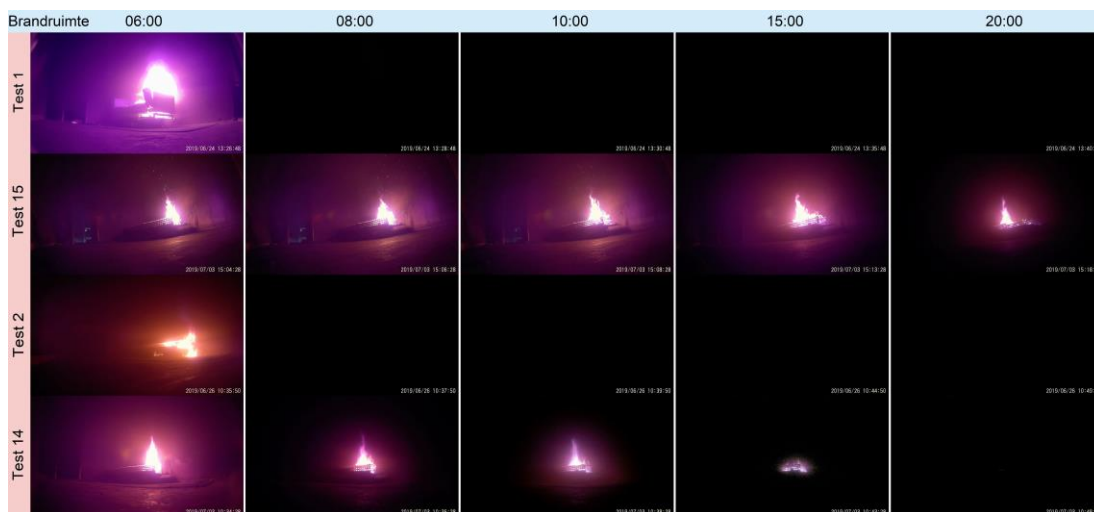
3.6 Factoren die een rol spelen bij rookverspreiding

3.6.1 Inleiding

Uit de analyse van de camerabeelden en andere onderzoeksgegevens komen een aantal factoren naar voren die een rol spelen bij de rookverspreiding in het woongebouw. Deze factoren en hun invloed op de rookverspreiding worden in de onderstaande paragrafen nader toegelicht.

3.6.2 Het brandobject

Een van de factoren die een belangrijke rol spelen bij de rookverspreiding, is het soort brandobject. Tijdens zeventien testen is gebruikgemaakt van een bank als brandobject en tijdens twee testen van een organische vuurlast (hout). Uit de analyse van de camerabeelden komt naar voren dat er verschillen zijn tussen de rookproductie en rookverspreiding tijdens de testen met een organische vuurlast en die met een bank als brandobject. Er is te zien dat de organische vuurlast minder zichtbare rook produceert dan de bank. Tijdens de testen met de bank is de hoeveelheid rook in de brandruimte dusdanig, dat reeds na 8 minuten het zicht in de ruimte op vloerniveau volledig weg is. Tijdens de testen met de organische vuurlast blijft er langere tijd zicht op de brandhaard. In figuur 3.23 zijn ter illustratie twee vergelijkingen opgenomen tussen testen met een (synthetische) bank en testen met een organische vuurlast weergegeven.



Figuur 3.23 Beelden uit de brandruimte tijdens de vluchtfase van test 1 van variant 0, test 14 van variant 6, test 2 van variant 1 en test 15 van variant 7

De hoeveelheid rook die wordt geproduceerd door het brandobject heeft invloed op de rookverspreiding in het woongebouw. Met name op de eerste verdieping, in gang 2.2 en in gang 3.2 zijn verschillen te zien tussen de testen met de bank en de organische vuurlast, zowel bij de testen met de deur open als bij de testen met de deur dicht (zonder toepassing van andere risicobeheersende maatregelen; zie bijlage 20).

3.6.3 Het openen en sluiten van deuren

Een andere factor die van invloed is op de rookverspreiding is het openen en sluiten van deuren. Tijdens de testen is gevarieerd met het openen en sluiten van de deur van de brandruimte (open of dicht). Rookverspreiding via zowel de deur van de brandruimte als via andere deuren is op basis van de camerabeelden nader geanalyseerd.

De deur van de brandruimte

Zowel tijdens de testen van variant 0 (deur open) als tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) verspreidt de rook zich naar alle woningen grenzend aan gang 1.2 en naar de gangen (1.1, 1.2 en 1.3) op de eerste verdieping. Tijdens de testen van variant 0 (deur open) is in de vluchtfase sprake van een langdurige aanvoer van rook uit de brandruimte naar de gangen en woningen. Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is daarentegen veelal sprake van een korte periode waarin de rook de gangen of woningen binnenkomt. Ook in de gangen op de tweede en derde verdieping is tijdens de testen van variant 0 (deur open) een langdurige aanvoer van rook te zien. Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is in deze gangen veelal geen rook zichtbaar. Op de begane grond is alleen rook waargenomen tijdens de testen van variant 0 (deur open).

In figuur 3.24 is voor woning 1.24 het verschil in rookverspreiding weergegeven tussen een test met open deur van de brandruimte (test 1) en een test met gesloten deur (test 4).



Figuur 3.24 Rook in woning 1.24 tijdens test 1 van variant 0 en test 4 van variant 1

In figuur 3.25 is voor gang 1.3 het verschil in rookverspreiding weergegeven tussen een test met open deur van de brandruimte (test 17) en een test met gesloten deur (test 4).



Figuur 3.25 Rook in gang 1.3 tijdens test 17 van variant 0 en test 4 van variant 1

Tijdens de twee testen van variant 8 heeft naast de deur naar de brandruimte ook de balkondeur opengestaan. Een vergelijking met de testen van variant 0 (deur open) laat vrijwel geen verschil zien in rookverspreiding op de eerste verdieping. Op de tweede verdieping is er echter, in tegenstelling tot de testen van variant 0 (deur open), geen zichtbare rook waargenomen.

De deuren van de overige woningen

Tijdens alle testen heeft de deur van woning 1.25 gedurende de gehele test opengestaan. De deur van de woning ernaast (woning 1.24) was tijdens alle testen gedurende de vluchtfase dicht. In figuur 3.26 en figuur 3.27 is het verschil tussen de rookverspreiding in woning 1.24 en die in woning 1.25 weergegeven.



Figuur 3.26 Rook in woning 1.24 en 1.25 tijdens test 1 van variant 0



Figuur 3.27 Rook in woning 1.24 en 1.25 tijdens test 4 van variant 1

Op de camerabeelden van deze twee woningen is duidelijk te zien dat een geopende of gesloten deur van de woning invloed heeft op de rookverspreiding. Dit geldt zowel voor de testen met de deur van de brandruimte open als voor die met deze deur dicht.

3.6.4 Mobiele watermist en rookwerende scheiding

Om te bepalen of en in hoeverre een mobiele watermist en een rookwerende scheiding van invloed zijn op de rookverspreiding, zijn de volgende varianten vergeleken met variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht):

- > variant 2 (mobiele watermist en deur open)
- > variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)
- > variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht)
- > variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht).

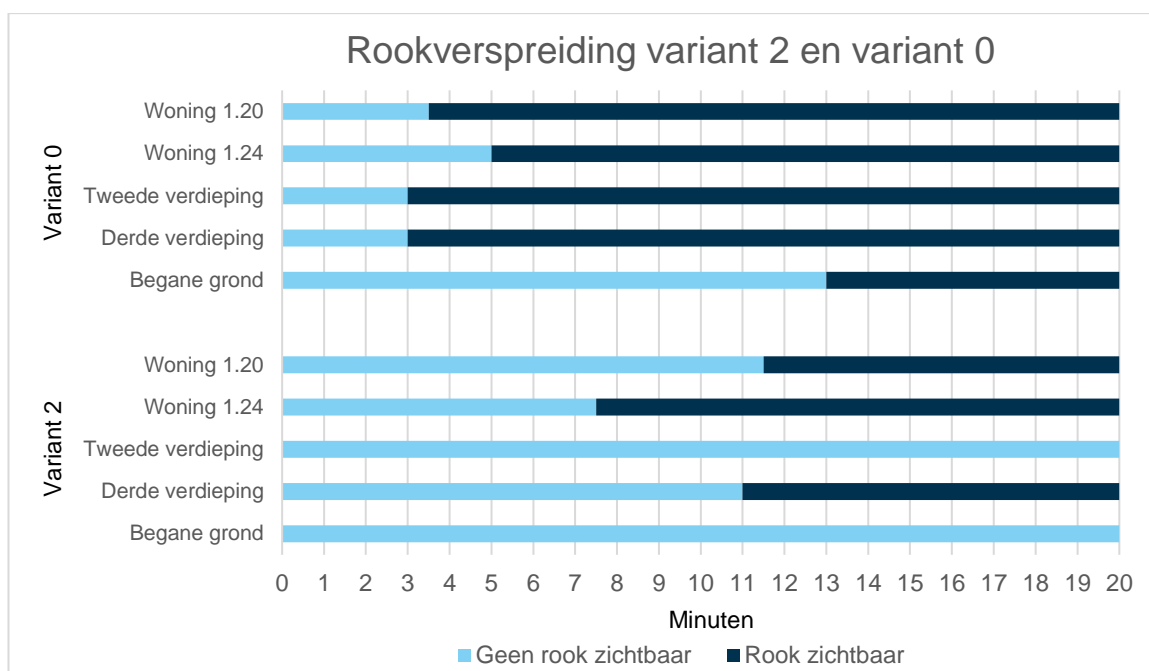
Een overzicht van de testen die met elkaar zijn vergeleken, is te vinden in bijlage 20.

Variante 2 (mobiele watermist en deur open)

Tijdens de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) blijft de rookverspreiding beperkt tot de eerste en derde verdieping, terwijl er tijdens de testen van variant 0 (deur open) sprake is van rookverspreiding naar alle verdiepingen.

Verder blijven woning 1.20 en 1.24 langer vrij van zichtbare rook tijdens de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) dan tijdens de testen van variant 0 (deur open).

Ook gang 3.2 blijft langer vrij van zichtbare rook. In figuur 3.28 is een grafiek opgenomen waarin dit inzichtelijk is gemaakt. De grafieken van alle testen zijn te vinden in bijlage 17.



Figuur 3.28 Rookverspreiding bij testen van variant 2 en variant 0

Variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)

De rookverspreiding tijdens de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur dicht) blijft beperkt tot de eerste verdieping; woning 1.20 en gang 1.3 blijven gedurende de vluchtfase zelfs vrij van zichtbare rook. Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is daarentegen sprake van rookverspreiding op alle verdiepingen, behalve de begane grond.

Variant 5 (rookwerende scheiding)

Tijdens de twee testen van variant 5 zijn zowel de brandruimte als woning 1.24 voorzien van rookwerende scheidingen conform toekomstige eisen met betrekking tot rookwerendheid. Het grootste effect van de rookwerende scheiding is te zien in woning 1.24, die vrij blijft van zichtbare rook tijdens de vluchtfase, in tegenstelling tot de testen van variant 1 (deur dicht). In deze testen komt de rook na 5 minuten de woning binnen via de kieren en naden langs de deur.

Een ander verschil is de rookverspreiding naar de tweede en derde verdieping. Tijdens de testen van variant 5 (rookwerende scheiding) blijven gang 2.2 op de tweede verdieping en gang 3.2 op de derde verdieping vrij van zichtbare rook. Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is gedurende een korte periode sprake van rookverspreiding naar de tweede en derde verdieping.

Variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)

De twee testen van variant 4 zijn uitgevoerd met een combinatie van een mobiele watermist en rookwerende scheiding. Tijdens deze testen blijft de rookverspreiding in tegenstelling tot de testen van variant 1 (deur dicht) beperkt tot gang 1.1, 1.2 en woning 1.25. Alle andere ruimten op de eerste verdieping en alle andere verdiepingen blijven tijdens de vluchtfase vrij van zichtbare rook.

In figuur 3.29 is voor gang 1.2 een vergelijking opgenomen tussen de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) en de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht).



Figuur 3.29 Gang 1.2 tijdens test 12 en 13 van variant 5 en test 10 en 11 van variant 4

Uit figuur 3.29 blijkt dat de combinatie van een mobiele watermist en rookwerende scheiding ervoor zorgt dat de rookverspreiding naar gang 1.2 verder beperkt wordt. Dit geldt ook voor de rookverspreiding naar andere ruimten. In tegenstelling tot de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) wordt tijdens de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) geen zichtbare rook waargenomen in woning 1.20, in gang 1.3 en op de tweede verdieping.

Tot slot zijn de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) ook vergeleken met de testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht). Over het algemeen zijn de resultaten vergelijkbaar, maar in een aantal ruimten op de eerste verdieping zijn kleine verschillen waargenomen. Deze worden nader toegelicht in bijlage 20.

3.6.5 De locatie van de brandruimte

Zoals vermeld, is gedurende de testen gebruikgemaakt van twee brandruimten, namelijk woning 1.19 en woning 1.21. Uit de analyse van de camerabeelden blijkt dat de locatie van de brandruimte van invloed is op de rookverspreiding, zowel die op de eerste verdieping (horizontaal) als die naar de verdiepingen erboven (verticaal). Op de eerste verdieping heeft de locatie van de brandruimte met name invloed op het tijdstip waarop rookverspreiding wordt waargenomen in woning 1.24 en 1.25. Tijdens een aantal testen wordt namelijk eerder rook waargenomen in woning 1.24 dan in woning 1.25; dit is het geval als de brandruimte (1.21) recht tegenover woning 1.24 is gelegen. Ook de rookverspreiding naar de

verdiepingen is afhankelijk van de locatie van de brandruimte. Er treedt voornamelijk rookverspreiding op naar de gangen en woningen boven de brandruimte. Bij brandruimte 1.19 verspreidt de waargenomen rook zich zowel naar woning 2.19 als naar woning 3.19. Bij brandruimte 1.21 verspreidt de waargenomen rook zich alleen naar woning 2.21. Een nadere toelichting is opgenomen in bijlage 20.

3.6.6 De brandweerinzet

Een andere factor die van invloed is op de rookverspreiding in het woongebouw, is de brandweerinzet. Uit de analyse van de camerabeelden komt naar voren dat bijna elke actie van de brandweer leidt tot andere of verdere rookverspreiding in het gebouw. In hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op de invloed van de brandweerinzet op de rookverspreiding

Eerst blussen, dan redden

Door het openen van de deur naar de brandruimte door de brandweer ontstaat er een toename van zichtbare rook in de gangen en woningen op voornamelijk de eerste verdieping. Door gebruik van ventilatoren is er ook sprake van een toename van rook naar de woningen en gangen, soms ook naar plekken die daarvoor nog rookvrij waren.

De rook die aanwezig is in gang 1.2 na het openen van de deur naar de brandruimte, wordt door de ventilator langs de onderkant van de deuren de woningen ingeperst. Doordat de deuren tussen gang 1.2 en 1.3 openstaan in verband met de inzet van de ventilator, stroomt er ook rook vanuit gang 1.2 naar gang 1.3.

In figuur 3.30 is een voorbeeld van de rookverspreiding als gevolg van de brandweerinzet weergegeven. Er is te zien dat op het moment dat de offensieve brandweerinzet start ($t = 20$ minuten) er weinig rook zichtbaar is in woning 1.20. Op beelden van zes minuten na de start van de inzet ($t = 26$ minuten) is te zien dat er zwarte rook onder de deur door de woning binnenkomt.



Figuur 3.30 Toevoer van zichtbare rook in woning 1.20 als gevolg van de brandweerinzet tijdens test 5 van variant 0

Eerst redden, dan blussen

Tijdens de testen met de defensieve inzet wordt vooral rookverspreiding waargenomen op het moment dat de deur naar een woning wordt opengezet om een ontruiming te simuleren; een deel van de rook die nog aanwezig is op gang 1.2 stroomt de woning in. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 3.31.



Figuur 3.31 Rookverspreiding naar woning 1.24 bij gesimuleerde ontruiming gedurende de brandweerinzet tijdens test 3 van variant 0

3.6.7 Openingen

De openingen tussen ruimten zijn een bepalende factor voor de rookverspreiding. Horizontale en verticale rookverspreiding vindt tijdens de testen plaats via grote en kleine openingen, zoals open deuren, kanalen, kieren en naden tussen ruimten. Er zijn routes waargenomen:

- > waar de rook direct doorheen stroomt op het moment dat de rooklaag is gezakt tot de bovenzijde van de opening
- > waarbij de rook door openingen wordt geperst als er sprake is van drukverschillen tussen ruimten, bijvoorbeeld door drukopbouw in de brandruimte
- > waarbij de rook zich verspreidt door openingen onder invloed van geforceerde luchtstromingen.

Door de grotere openingen, zoals geopende deuren, de kier onder een gesloten deur en de ventilatiekanalen vindt zichtbaar meer rookverspreiding plaats dan door de kleinere openingen. Ook door dezelfde openingen zijn er echter tussen testen verschillen waargenomen in de snelheid waarmee de rook door de openingen komt. Naast het verschil in snelheid zijn er ook zichtbare verschillen in optische dichtheid waargenomen (zie bijlage 17).

Het openen en sluiten van deuren is ook van invloed op de rookverspreiding door andere openingen dan de deuropening. Bij een geopende deur vindt voornamelijk rookverspreiding plaats via de deuropening zelf, maar het sluiten van de deur leidt bij een groot aantal testen tot rookverspreiding naar naastgelegen ruimten via andere openingen (kieren en naden, wandcontactdozen, et cetera).

3.6.8 Doorvoeringen

Doorvoeringen van gebouwinstallaties tussen ruimten zijn ook een factor die een rol spelen in zowel horizontale als verticale rookverspreiding. Het gaat om ventilatiekanalen, stroomvoorzieningen (wandcontactdozen) en andere aansluitingen (CAI). Zowel via de ventilatiekanalen in de woningen als via de ventilatiekanalen in de gang is sprake van rookverspreiding naar andere verdiepingen, de begane grond en naar buiten. Een nadere toelichting is opgenomen in bijlage 20.

Op de eerste verdieping is rookverspreiding waargenomen tussen ruimten via de wandcontactdozen met stroomvoorziening. Het betreft rookverspreiding van de brandruimte naar de naastgelegen woning (1.20) en van woning 1.25 naar woning 1.24. De rookverspreiding treedt niet continue op. Een nadere toelichting is opgenomen in bijlage 20.

Tussen de brandruimte en de bovengelegen woning op de tweede verdieping is bij een aantal testen daarnaast rookverspreiding waargenomen via de wandcontactdozen met CAI-aansluitingen (zie figuur 3.32).



Figuur 3.32 Rookverspreiding via een wandcontactdoos met CAI-aansluiting in woning 2.19 tijdens test 13 van variant 5

3.6.9 Overige factoren

Twee factoren die mogelijk van invloed zijn op de rookverspreiding in het woongebouw, zijn verschillen in het brandverloop en in de weersomstandigheden.

Er is tijdens de testen gebruikgemaakt van dezelfde brandobjecten (bank en organische vuurlast); deze objecten zijn op dezelfde positie in de brandruimte geplaatst en op dezelfde wijze ontstoken. Uit de vergelijking op basis van de camerabeelden en de metingen blijkt dat er tussen testen met dezelfde risicobeheersende maatregelen grote overeenkomsten zijn in het brandverloop en rookontwikkeling. In een aantal gevallen zijn er echter ook in testen met dezelfde risicobeheersende maatregelen kleine verschillen in brandverloop waargenomen, bijvoorbeeld doordat een deel van een kussen van de bank op de grond is gevallen tijdens de verbranding. Deze kleine verschillen kunnen van invloed zijn geweest op de rookproductie en rookontwikkeling in de brandruimte. Mogelijk zijn deze kleine verschillen in het brandverloop ook van beperkte invloed geweest op de rookverspreiding in het gebouw. In bijlage 20 wordt dit nader toegelicht.

Een andere factor die mogelijk van invloed is geweest op de rookverspreiding in het gebouw zijn de weersomstandigheden. In bijlage 16 is een overzicht van de weersomstandigheden per test weergegeven. Temperatuurverschillen en verschillen in windsnelheden en windrichtingen kunnen van invloed zijn geweest op de horizontale en verticale rookverspreiding, en op basis van de analyse van de gegevens lijkt inderdaad geconstateerd te kunnen worden dat dit tijdens een aantal testen het geval was. Gezien het aantal andere factoren dat mogelijk eveneens van invloed is geweest, kan dit echter niet met zekerheid vastgesteld worden. In bijlage 20 wordt deze analyse nader toegelicht.

3.7 Overkoepelende samenvatting

Rookverspreidingsroutes

Uit dit hoofdstuk komt naar voren dat de rook zich tijdens de testen heeft verspreid via diverse (sub)routes, zowel direct vanuit de brandruimte naar gang 1.2 als naar aangrenzende woningen. Wat betreft de rookverspreiding naar niet direct aangrenzende ruimten is met name die van de brandruimte door de deur naar gang 1.2 van belang. Na het openen van de deur van de brandruimte stroomt de gang snel vol met rook. Deze rook verspreidt zich via diverse routes verder door het gebouw. Hierbij gaat het om zowel horizontale als verticale rookverspreiding naar verschillende ruimten. Horizontaal is er sprake van meer rookverspreiding dan verticaal.

Kijkend naar de rookverspreidingsroutes blijkt dat het hoofdzakelijk gaat om routes via deuren, wandcontactdozen en ventilatiekanalen. In de vluchtfase is sprake van horizontale rookverspreiding via wandcontactdozen en kieren en naden rondom gesloten deuren. Dit wordt niet alleen al na 2 tot 3 minuten na ontsteking waargenomen, nog voordat de deur van de brandruimte wordt geopend, maar ook later in de vluchtfase. Na verloop van tijd vindt er ook rookverspreiding plaats via de onderzijde van gesloten deuren. De meeste rookverspreiding is zichtbaar bij openstaande deuren of bij het openen van deuren zowel tijdens de vlucht- als tijdens de inzetfase.

Verticale rookverspreiding vindt plaats via ventilatiekanalen en wandcontactdozen met CAI-aansluiting. Via de ventilatiekanalen verspreidt de rook zich naar de woningen en gangen op de begane grond, de tweede en de derde verdieping. Rookverspreiding naar de woning boven de brandruimte op de tweede verdieping is ook waargenomen via de wandcontactdozen met CAI-aansluiting. Het aantal testen waarbij verticale rookverspreiding is waargenomen, is het grootst voor de derde en de tweede verdieping; op de begane grond is slechts bij twee testen rookverspreiding waargenomen. De verticale rookverspreiding is minder consistent dan de horizontale rookverspreiding; er is sprake van een grotere spreiding tussen testen.

De rookverspreiding tijdens de inzetfase verloopt grilliger dan tijdens de vluchtfase. De momenten waarop de rookverspreiding plaatsvindt tijdens de brandweerinzet zijn, in tegenstelling tot de vluchtfase, op sommige momenten willekeurig. Het lijkt erop dat, naast de brandweerinzet, meer variabelen en factoren de rookverspreiding beïnvloeden.

Uit de analyse blijkt ook dat er een verschil is tussen zichtbare rook en gemeten CO. Op de eerste verdieping is er bij het merendeel van de testen zowel sprake van zichtbare rook als van gemeten CO. In een aantal situaties is echter geen rook waargenomen, maar wel CO gemeten. Met name in de woningen 1.20 en 1.24 is dit bij enkele testen het geval geweest. Andersom is in een aantal situatie wel zichtbare rook waargenomen, maar geen CO gemeten. In de gangen 1.1 en 1.3 is dit bij meerdere testen het geval. Als er sprake is van rookverspreiding naar de overige verdiepingen, wordt er bij het merendeel van de testen zichtbare rook waargenomen óf CO gemeten, maar niet beiden.

Factoren bij rookverspreiding

Uit de analyse komt een aantal factoren naar voren die van invloed zijn op de rookverspreiding tijdens de testen. Factoren met duidelijk zichtbare invloed op de rookverspreiding zijn het brandobject en het openen of sluiten van deuren. Bij de organische

vuurlast is sprake van minder rookproductie en rookverspreiding. Het sluiten van de deur van de brandruimte beperkt de mate van rookverspreiding. Dit geldt ook voor het gesloten houden van deuren van de overige woningen. Indien een deur wordt geopend, neemt de zichtbare rookverspreiding naar de ruimte achter die deur snel toe. Naast het openen van deuren spelen andere openingen en doorvoeringen (zoals ventilatiekanalen, kieren en naden) ook een rol bij de rookverspreiding door het woongebouw. Door deze andere openingen en doorvoeringen kan rook zich zowel horizontaal als verticaal verspreiden, waarbij de snelheid van verspreiding van de rook sterk verschilt.

De locatie van de brandruimte is van invloed op de mogelijke verspreidingsroutes. Rookverspreiding naar woningen op de tweede en de derde verdieping vindt alleen zichtbaar plaats naar woningen boven de brandruimte.

Ook lijken voorzieningen factoren te zijn die een rol spelen bij het beperken van de zichtbaar waargenomen rookverspreiding. Zowel de mobiele watermist, de rookwerende scheiding als de combinatie van beide lijken de rookverspreiding te beperken, waarbij de testvarianten met de mobiele watermist het grootste beperkende effect hebben. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat er bij een groot aantal van deze testen geen zichtbare rook is waargenomen, terwijl er wel CO is gemeten.

De brandweerinzet is ook van invloed op de rookverspreiding. Door het openen van deuren en het gebruik van ventilatoren wordt de rook verder door het gebouw verspreid, ook naar ruimten die tijdens de vluchtfase nog vrij waren van rook.

Twee andere factoren die mogelijk van invloed zijn op de rookverspreiding in het woongebouw zijn kleine verschillen tussen testen in het brandverloop en de weersomstandigheden. Gezien het aantal andere variabelen en factoren dat mogelijk ook van invloed is geweest, kan dit echter niet met zekerheid vastgesteld worden.

2019-05-21 11:13:04



4 Vlucht- en overlevingsmogelijkheden

4.1 Inleiding

Op basis van de metingen (van gasconcentraties, zichtlengte, temperatuur en straling) kunnen de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden bepaald worden. Dit is gebeurd aan de hand van de criteria die zijn weergegeven in paragraaf 1.3.5 en 2.5.2, waarbij onderscheid is gemaakt tussen vier situaties (zie figuur 4.2, links) en drie groepen (zie figuur 4.2, rechts). In dit hoofdstuk worden de resultaten besproken van de testen van variant 0 (deur open), variant 1 (deur dicht) en variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie). Daarnaast fungeren variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht) ook als basis voor de vergelijking met de varianten waarbij risicobeheersende maatregelen zijn toegepast. De resultaten van de testen met risicobeheersende maatregelen en het effect van deze maatregelen op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden worden beschreven in hoofdstuk 5.

Voor variant 1 (deur dicht) geldt dat deze ook fungeert als variant met een risicobeheersende maatregel: het dichthouden van de deur is namelijk op zichzelf ook een maatregel. De testen van variant 1 (deur dicht) worden daarom niet alleen opgenomen in hoofdstuk 4, maar ook in hoofdstuk 5, waar de testen worden vergeleken met de testen van variant 0 (deur open).

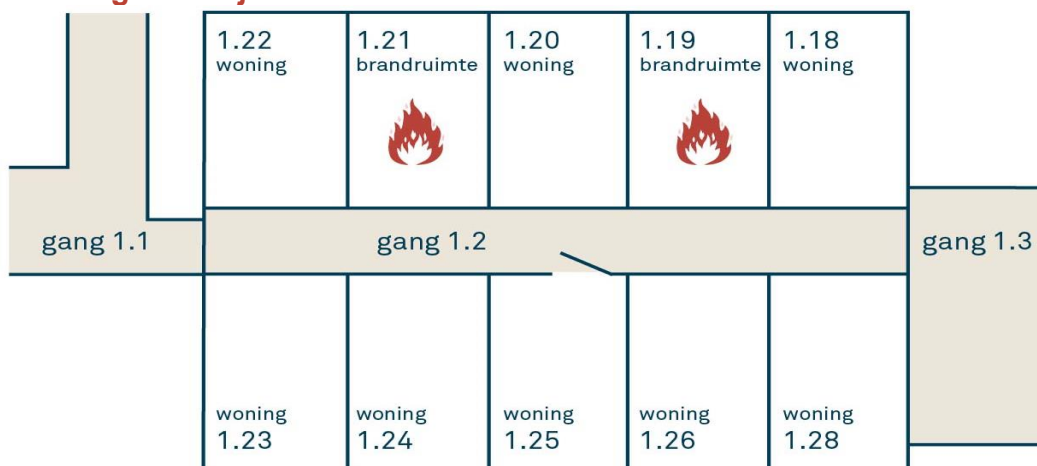
Dit hoofdstuk begint met een leeswijzer voor de resultaten. Daarna worden de resultaten van de testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht) in de vorm van tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden weergegeven. Dit hoofdstuk wordt afgesloten met de resultaten van de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie). Deze laatste testen zijn, met uitzondering van de geopende balkondeur, hetzelfde uitgevoerd als de testen van variant 0 (deur open). De testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) worden vergeleken met de testen van variant 0 (deur open) om te bepalen wat de invloed is van een open balkondeur.

De tijden voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op de eerste verdieping zijn in dit hoofdstuk 4 en in hoofdstuk 5 weergegeven. Voor de overige verdiepingen zijn alleen relevante resultaten weergegeven. De resultaten in deze hoofdstukken hebben betrekking op de eerste 20 minuten (de vluchtfase) van de testen. Na deze eerste 20 minuten start de inzetfase (de brandweerinzet). Deze brandweerinzet kan van invloed zijn op de rookverspreiding en daarmee op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Om die reden zijn in hoofdstuk 4 en 5 alleen de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden tijdens de eerste 20 minuten van de test weergegeven. De invloed van de brandweerinzet op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden wordt nader omschreven in hoofdstuk 6.

4.2 Leeswijzer bij de resultaten

De onderstaande leeswijzer start met een legenda – met onder andere een plattegrond met ruimtebenamingen – die ondersteunend is bij het lezen van de resultaten. Vervolgens wordt uitgelegd welke resultaten op welke wijze worden gepresenteerd in zowel hoofdstuk 4 als hoofdstuk 5. Deze leeswijzer wordt afgesloten met een beschrijving van de verschillen die zijn gevonden tussen gelijke testen van één variant. Hier wordt de spreiding in tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij deze gelijke testen besproken. Dit is van belang voor een juiste interpretatie van de resultaten.

4.2.1 Legenda bij de resultaten



Figuur 4.1 Schematische plattegrond van de eerste verdieping

Afkortingen ruimten

- > Brandruimte [BR]
- > Woning 1.25 [W1.25], idem voor andere woningen
- > Gang 1.2 op x m hoogte [G1.2 (x m)]
- > Gang 1.1 [G1.1], idem voor gang 1.3

Varianten

- > Testen van variant 0 (deur open)
- > Testen van variant 1 (deur dicht)
- > Testen van variant 2 (mobiele watermist, deur open)
- > Testen van variant 3 (mobiele watermist, deur dicht)
- > Testen van variant 4 (mobiele watermist en rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Testen van variant 5 (rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Test van variant 6 (organische vuurlast, deur open)
- > Test van variant 7 (organische vuurlast, deur dicht)
- > Testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie)

Symbolen, pictogrammen en kleuren in de tabellen met de resultaten van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

	Vrije ontvluchting
	Belemmerde ontvluchting
	Levensbedreigende situatie
	Fatale situatie

	Zeer kwetsbaar
	Kwetsbaar
	Algemeen

Figuur 4.2 Symbolen voor vier situaties (links) en pictogrammen van drie groepen (rechts)

Tijd [min]	0 - 5	5 - 8	8 - 11	11 - 14	14 - 17	17 - 20
Kleur						

Figuur 4.3 Kleurenschaal in de tabellen met de resultaten van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

4.2.2 Toelichting op de presentatie van de resultaten

Testen van variant 0 en variant 1

De resultaten van de testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht) worden op de volgende wijze gepresenteerd:

- > Een tabel met daarin de tijden voor de verschillende situaties (vrije ontvluchting, belemmerde ontvluchting, levensbedreigende situatie en fatale situatie) per ruimte en per groep. De tijden zijn weergegeven in minuten en zijn afgerond op hele minuten.
 - De tijden in de tabel zijn berekend volgens de methode beschreven in paragraaf 1.3.5 en bijlage 1 en geven aan wanneer een bepaalde situatie optreedt. De ruimtenummers corresponderen met die in de plattegrond van figuur 4.1.
 - De tabel bevat symbolen voor de vier verschillende situaties. Welk symbool welke situatie representeert, is weergegeven in figuur 4.2. De verschillende situaties zijn nader toegelicht in paragraaf 1.3.5.
 - De tabel bevat pictogrammen voor de drie verschillende groepen. Welk pictogram welke groep representeert is weergegeven in figuur 4.2. De indeling in groepen is nader toegelicht in paragraaf 2.5.2. Voor dit onderzoek zijn dat groepen met een bepaalde mate van gevoeligheid voor verstikkende en irriterende gassen, warmte, en beperkt zicht door rook.
 - De tabel is opgebouwd volgens de kleurenschaal uit figuur 4.3. Deze kleurenschaal geeft alleen een indicatie van de beschikbare tijd en helpt daarmee om sneller inzicht te krijgen in de beschikbare tijd.
- > Een gestapelde staaf met daarin de tijden voor de verschillende situaties, weergegeven per ruimte en per groep. De tijden in gestapelde staven zijn weergegeven in minuten en afgerond op één cijfer achter de komma.
- > Een tabel met daarin de maximaal gemeten concentratie CO in de eerste 20 minuten van de test op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. Deze concentratie is aangegeven, omdat zij een afspiegeling is van rookverspreiding naar de overige verdiepingen. Deze tabel is alleen weergegeven voor variant 0 (deur open), omdat alleen tijdens de testen van deze variant CO is gemeten op de overige verdiepingen.

De resultaten die in dit hoofdstuk besproken worden, zijn een samenvatting van uitgebreide analyses. De volgende bijlagen vormen de grondslag voor de resultaten en analyses in hoofdstuk 4 en 5:

- > Bijlage 16: de grafieken met de meetwaarde per sensor en test. In deze bijlage staan ook de zaken vermeld die opvallen in de meetdata tot 20 minuten; daarbij staat genoemd of te verwachten is dat deze zaken invloed uitoefenen op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.
- > Bijlage 21: het overzicht met de berekende tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor de verschillende methoden (FIC, FLD, FED_{in}, FED_{heat}, FEC_{smoke}) per meetlocatie en per test.
- > Bijlage 22: de tabellen met de percentages van de grenswaarden op 20 minuten. Deze tabellen zijn de basis voor het onderdeel 'niet-overschreden grenswaarden' in de onderdelen-analyse. Wanneer een grenswaarde voor een situatie niet overschreden is, geven deze tabellen een antwoord op de vraag of de grenswaarden voor een belemmerde ontvluchting, levensbedreigende situatie of een fatale situatie mogelijk *bijna* overschreden worden.
- > Bijlage 23: de spreidingsplots van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden van elke variant die meer dan één keer is getest.

Testen van variant 8 en varianten met risicobeheersende maatregelen

Voor de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) en de testen van de varianten met risicobeheersende maatregelen worden de resultaten op dezelfde wijze gepresenteerd. Naast de analyse van de testen van de variant zelf, wordt voor elk van deze varianten ook een vergelijking gemaakt met variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht). In de tabellen met de tijden en de gestapelde staven staan voor deze varianten daarom zowel de variant zelf als de variant waarmee de vergelijking is gemaakt weergegeven.

Voor de bovengenoemde vergelijking wordt in een tabel voor elk van de volgende onderdelen tekstueel omschreven of er sprake is van een gelijke situatie, een (lichte) verbetering of een (lichte) verslechtering:

- > overlevingsmogelijkheden in de brandruimte
- > vlucht- en overlevingsmogelijkheden in gang 1.2
- > overlevingsmogelijkheden in de overige woningen van de eerste verdieping tot $t = 20$ minuten
- > het percentage niet-overschreden grenswaarden van de overige woningen op de eerste verdieping op $t = 20$ minuten
- > overlevingsmogelijkheden op de begane grond, tweede en derde verdieping
- > het effect van de risicobeheersende maatregel voor verschillende groepen.

Na deze tabel wordt omschreven welke opvallende zaken gezien zijn bij de vergelijking tussen varianten. Een nadere toelichting op de onderdelen in deze tabel en de onderbouwing voor de toekenning van de classificatie gelijk / (lichte) verbetering / (lichte) verslechtering staat omschreven in bijlage 12. In paragraaf 5.7 worden de vergelijkingen voor de verschillende varianten met risicobeheersende maatregelen samengevat in een tabel met dezelfde onderdelen als hierboven omschreven. De tekstuele omschrijving is in dit geval vervangen door symbolen: 0 (gelijk), + (lichte verbetering), ++ (verbetering) en - (lichte verslechtering).

4.2.3 Verschillen tussen 'gelijke' testen

Vaak worden grote-schaal-brandproeven met één test per variant uitgevoerd. In dit onderzoek zijn testen soms vier keer uitgevoerd bij een vergelijkbare variant, wat de betrouwbaarheid van de resultaten vergroot, maar ook laat zien dat er onzekerheden zijn bij grote-schaal-brandproeven. Niet elke variabele is perfect te controleren en daardoor geven twee 'gelijke' testen niet altijd volledig overeenkomstige resultaten. In deze paragraaf wordt een algemeen beeld gegeven van de spreiding in de tijden waarop de grenswaarden voor de situaties 'belemmerd', 'levensbedreigend' en 'fataal' worden overschreden bij varianten die meer dan één keer zijn getest. Deze grenswaarden zijn verschillend voor de algemene, kwetsbare en zeer kwetsbare groep. In bijlage 23 zijn de spreidingsplots van de verschillende varianten weergegeven. In deze bijlage is ook een verdere beschrijving gegeven van de spreiding bij de testen (binnen één variant) die meer dan één keer zijn uitgevoerd.

Algemeen kan het volgende opgemerkt worden over de spreiding in de tijden waarop de grenswaarden worden overschreden:

- > De spreiding is groter naarmate de gemeten concentraties verstikkende en irriterende gassen lager zijn. Dit is meestal het gevolg van een grotere afstand of een groter aantal barrières die de gassen kunnen tegenhouden tussen de brandruimte en het meetpunt.

- > De spreiding is groter voor de algemene groep dan voor de zeer kwetsbare groep en groter in de situatie 'fataal' dan 'belemmerd'. Dit komt omdat de grenswaarde in deze gevallen hoger is. Een klein verschil in meetwaarden geeft bij een hogere grenswaarde een groter verschil in de berekende tijden.
- > De spreiding in de brandruimte is in meer dan 90 procent van de gevallen minder dan 1 minuut. De spreiding in alle ruimten op de eerste verdieping is in meer dan 85 procent van de gevallen minder dan 5 minuten. De grootst gemeten spreiding in tijd bij gelijke testen (binnen één variant) is 12 minuten. Bij het bepalen hiervan is alleen gekeken naar de gevallen waarin een tijd is overschreden in de eerste 20 minuten van de test.
- > De spreiding bij lagere concentraties gassen kan groter zijn dan enkele minuten. Als de spreiding binnen één variant groter is dan de verschillen in de gemiddelde tijden tussen twee varianten onderling, dan is niet met zekerheid te zeggen of het verschil te verklaren is door de extra maatregel die is toegepast. Op deze plekken kunnen daarom aan kleine onderlinge verschillen tussen varianten geen conclusie verbonden worden.

Bij brandproeven op werkelijke schaal zijn veel factoren van invloed, waarvan de exacte mate van invloed op de spreiding nog niet volledig achterhaald is en waarschijnlijk ook nooit kwantitatief vast te stellen zal zijn. De volgende zaken zouden onder meer van invloed kunnen zijn geweest op de spreiding van de tijden binnen één variant:

- > Of een test is uitgevoerd in brandruimte 1.19 of 1.21. Beide brandruimten kunnen net anders zijn wat betreft luchtdichtheid en verschillen in hun positie ten opzichte van de meetapparatuur. De sensor voor gasbemonstering in woning 1.20 zit bijvoorbeeld dichterbij brandruimte 1.21 dan bij 1.19.
- > Verschillen in het verloop van de verbranding van de bank, bijvoorbeeld door stukken die wel of niet al brandend van de bank vallen.
- > Het luchtdicht maken van de brandruimten en de wand tussen gang 1.2 en woning 1.24 voor de testen met de rookwerende scheiding op 1 en 2 juli. Het luchtdicht maken is onder meer gebeurd door naden en kieren af te kisten. Na de testen op 1 en 2 juli zijn deze maatregelen voor het luchtdicht maken weer zo goed als mogelijk verwijderd. Dit kan van invloed zijn geweest op de luchtdichtheid van de brandruimten en van woning 1.24 ten opzichte van de situatie vóór 1 juli.
- > De weersomstandigheden buiten: de wind en het temperatuurverschil tussen binnen en buiten zijn van invloed op de natuurlijke ventilatie in het gebouw.

4.3 Testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht)

In deze paragraaf zijn de resultaten van de testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht) opgenomen.

Tijdens de testen van variant 0 (deur open) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend en in maximaal geopende stand gehouden gedurende de eerste 20 minuten. Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend, is 30 seconden geopend gebleven en na 5,5 minuten weer gesloten. De deur is vervolgens in gesloten stand gehouden tot tenminste $t = 20$ minuten. In tabel 4.1 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 0 (deur open) en variant 1 (deur dicht) weergegeven.

Tabel 4.1 Gegevens van de testen van variant 0 en variant 1

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21

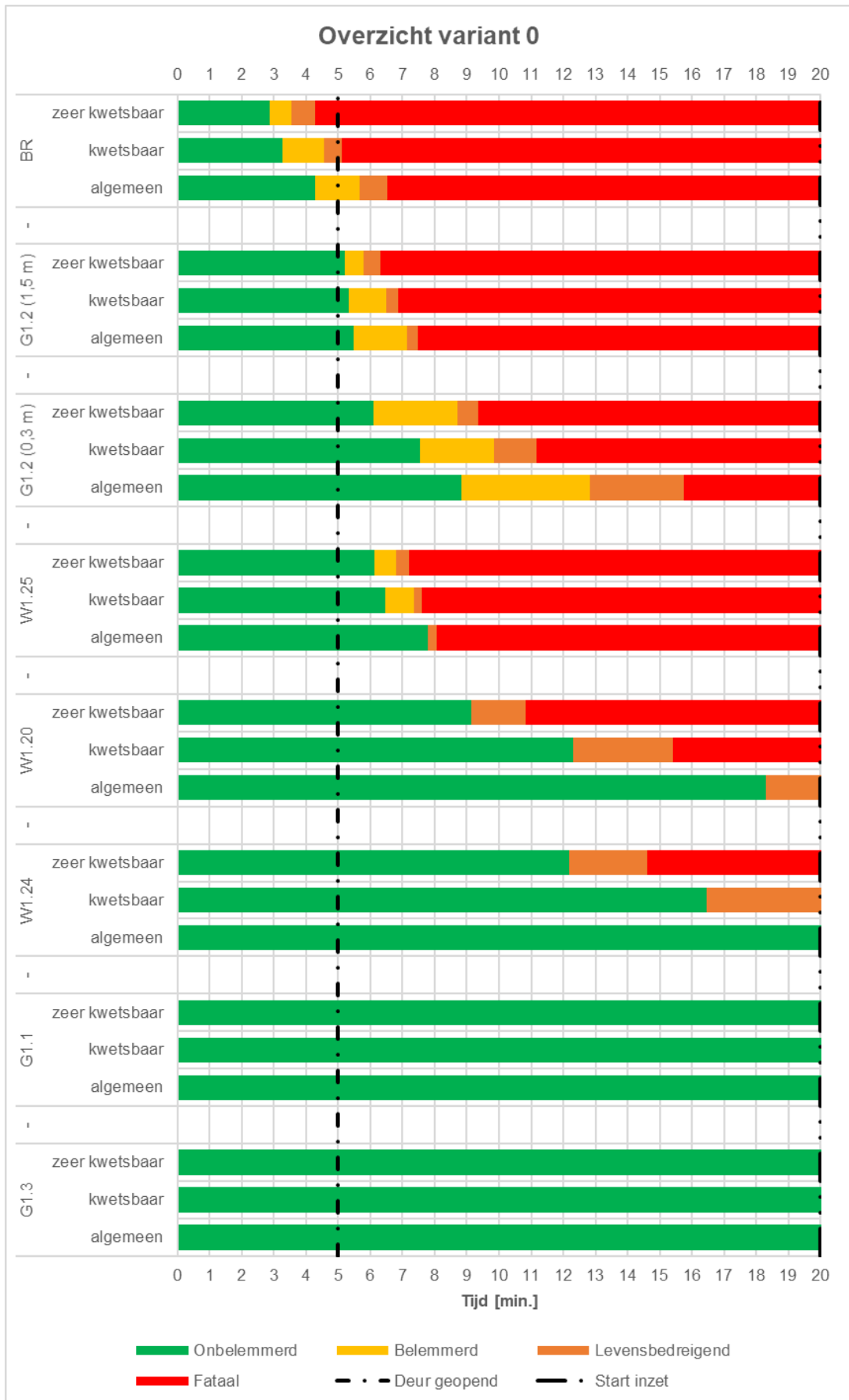
4.3.1 Resultaten van variant 0 (deur open)

Hieronder worden de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 0 (deur open), zowel getalsmatig in een tabel (zie tabel 4.2) als visueel (zie figuur 4.4) met de gestapelde staven per ruimte, per groep en per situatie.

Tabel 4.2 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 0

	Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
	< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	12	< 16	-
	3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
	4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
	4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 4.4 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 0

Overige verdiepingen

In tabel 4.3 zijn de maximaal gemeten CO-concentraties op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping voor de vier testen van variant 0 (deur open) weergegeven. Het verloop van de CO-concentraties op deze verdiepingen is weergegeven in bijlage 24.

Tabel 4.3 Maximale concentraties CO op de begane grond, tweede verdieping en derde verdieping tijdens variant 0

Ruimte (sensor)	Test 1 [ppm]	Test 3 [ppm]	Test 5 [ppm]	Test 17 [ppm]
Gang 0.1 (G17)	0	0	0	0
Gang 0.2 (G18)	215	0	0	0
Woning 2.19 of 2.21 (G9)	0	0	0	0
Woning 2.24 (G10)	0	0	0	0
Gang 2.2 (G11)	90	40	0	0
Gang 2.2 (G12)	110	145	0	0
Woning 3.19 of 3.21 (G13)	0	55	0	0
Woning 3.24 (G14)	0	0	0	0
Gang 3.2 (G15)	65	235	10	30
Gang 3.2 (G16)	45	30	0	0

Op de overige verdiepingen zijn geen verhoogde temperaturen gemeten. In de ventilatiekanalen zijn op deze verdiepingen wel kleine temperatuurswisselingen gemeten van enkele graden Celsius.

4.3.2 Analyse van variant 0 (deur open)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen uit de resultaten van de testen van variant 0 (deur open) besproken:

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 4 tot 6 minuten (afhankelijk van de groep). Ongeveer 1 minuut na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er voor elke groep al sprake van een fatale situatie.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor elke groep sprake van een belemmerde ontvluchting na ongeveer 5 minuten; dit is het geval vrijwel direct na het openen van de deur tussen de brandruimte en gang 1.2. Na ongeveer 2 minuten gaat de belemmerende situatie op 1,5 meter hoogte al over naar een fatale situatie. Als iemand dan een vluchtpoging door de rook doet, kan deze al snel fataal worden. Op 0,3 meter hoogte ontstaat na 6 tot 9 minuten (afhankelijk van de groep) een belemmerende situatie. Op 0,3 meter hoogte gaat na ongeveer 3 tot 7 minuten de belemmerende situatie over in een fatale situatie (afhankelijk van de groep).
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in woning 1.25 is er voor alle groepen na ongeveer 7 tot 8 minuten een fatale situatie bereikt.

In woningen 1.20 en 1.24 is de spreiding in tijdsduur waarop grenswaarden worden overschreden groter voor de verschillende groepen.

In woning 1.20 is er sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 9 tot 18 minuten (afhankelijk van de groep). In woning 1.20 ontstaat een fatale situatie na ongeveer 11 tot 15 minuten voor de zeer kwetsbare en kwetsbare groep. Voor de algemene groep wordt de situatie niet fataal in de eerste 20 minuten.

In woning 1.24 wordt er voor de kwetsbare groep geen fatale situatie bereikt in de eerste 20 minuten. Voor de algemene groep wordt in woning 1.24 geen levensbedreigende situatie bereikt binnen de eerste 20 minuten.

De tijden voor overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping zijn het kortst in woning 1.25. Dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2. De tijden voor overlevingsmogelijkheden zijn in woning 1.20 korter dan in woning 1.24. Rook kan zich naar woning 1.20 verspreiden via de gedeelde wand met de brandruimte of het gedeelde ventilatiekanaal met gang 1.2. Naar woning 1.24 kan de rook zich alleen verspreiden door de wand met deur en kozijn tussen woning 1.24 en gang 1.2.

- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In deze gangen is in de eerste 20 minuten op camerabeelden een geringe hoeveelheid rook zichtbaar.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is in alle testen op minimaal één verdieping CO gemeten. De hoogst gemeten concentratie is 235 ppm. Een verblijf van 20 minuten in een dergelijke concentratie kan levensbedreigend zijn voor de zeer kwetsbare groep. Hierbij moet opgemerkt worden dat er op deze verdiepingen met name CO gemeten is in de gangen, en slechts één keer in één woning op de derde verdieping. De maximaal gemeten concentratie in deze woning was 55 ppm. Op camerabeelden is in de woning op de tweede verdieping boven de brandruimte bij twee testen rook gezien, maar hier is geen CO gemeten. Er zijn verschillen te zien tussen de gemeten CO-concentraties van de verschillende testen op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. De exacte oorzaak voor deze verschillen is op dit moment nog niet aan te wijzen.

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten, kunnen zij wel *bijna* worden overschreden. Voor de algemene groep wordt geen fatale situatie bereikt in woning 1.20, maar is na 20 minuten 73 procent van de grenswaarde voor een fatale situatie bereikt. Voor woning 1.24 is voor de algemene groep 62 procent van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie bereikt. Hoewel niet alle grenswaarden overschreden zijn in de woningen 1.20 en 1.24, is het aannemelijk dat dit wel zal gebeuren als personen langer dan 20 minuten in hun woning verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is dus niet bepalend voor de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte, hoewel deze op zichzelf wel voor een fatale situatie zou kunnen zorgen, kort nadat er sprake is van een fatale situatie door de verstikkende gassen. De temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject. Als dichterbij het brandobject gemeten zou zijn, zou

de warmte mogelijk wél als eerste hebben kunnen zorgen voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende of fatale situatie in de brandruimte.

In gang 1.2 zorgt het zicht als eerste voor een belemmerde ontvluchting. Kort daarna zou er voor de (zeer) kwetsbare groepen ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. In gang 1.2 op 1,5 meter hoogte kan de warmte ook dermate hoog oplopen dat deze van invloed kan zijn op het veilig vluchten of op de overlevingsmogelijkheden. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen ook voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie in gang 1.2.

Wanneer in de overige woningen de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden worden, dan wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen. Verder zijn voor de (zeer) kwetsbare groepen in woning 1.25 de irriterende gassen van invloed op de vlucht- of overlevingsmogelijkheden.

Samenvatting

Samenvattend kan gesteld worden dat één brandobject al binnen enkele minuten zorgt voor een fatale situatie in de brandruimte. Het openen van de deur naar de gang zorgt vrijwel direct voor een belemmerde ontvluchting op gang 1.2. Binnen enkele minuten na het openen van de deur is de situatie op 1,5 meter hoogte in gang 1.2 vervolgens fataal, waardoor een vluchtpoging door de rook al snel fataal zal zijn. Ook in woning 1.20 en 1.24 lopen de concentraties verstikkende gassen dermate hoog op dat er een levensbedreigende of fatale situatie ontstaat. Voor de algemene groep zijn de grenswaarden niet altijd overschreden binnen 20 minuten, maar zouden bij een langer verblijf in de woning waarschijnlijk wél overschreden worden. Ook op de begane grond, tweede verdieping en derde verdieping is in meer of mindere mate CO gemeten bij de testen. De (piek)concentratie daarvan kan oplopen tot een voor de zeer kwetsbare groep mogelijk levensbedreigend niveau bij een verblijf van 20 minuten.

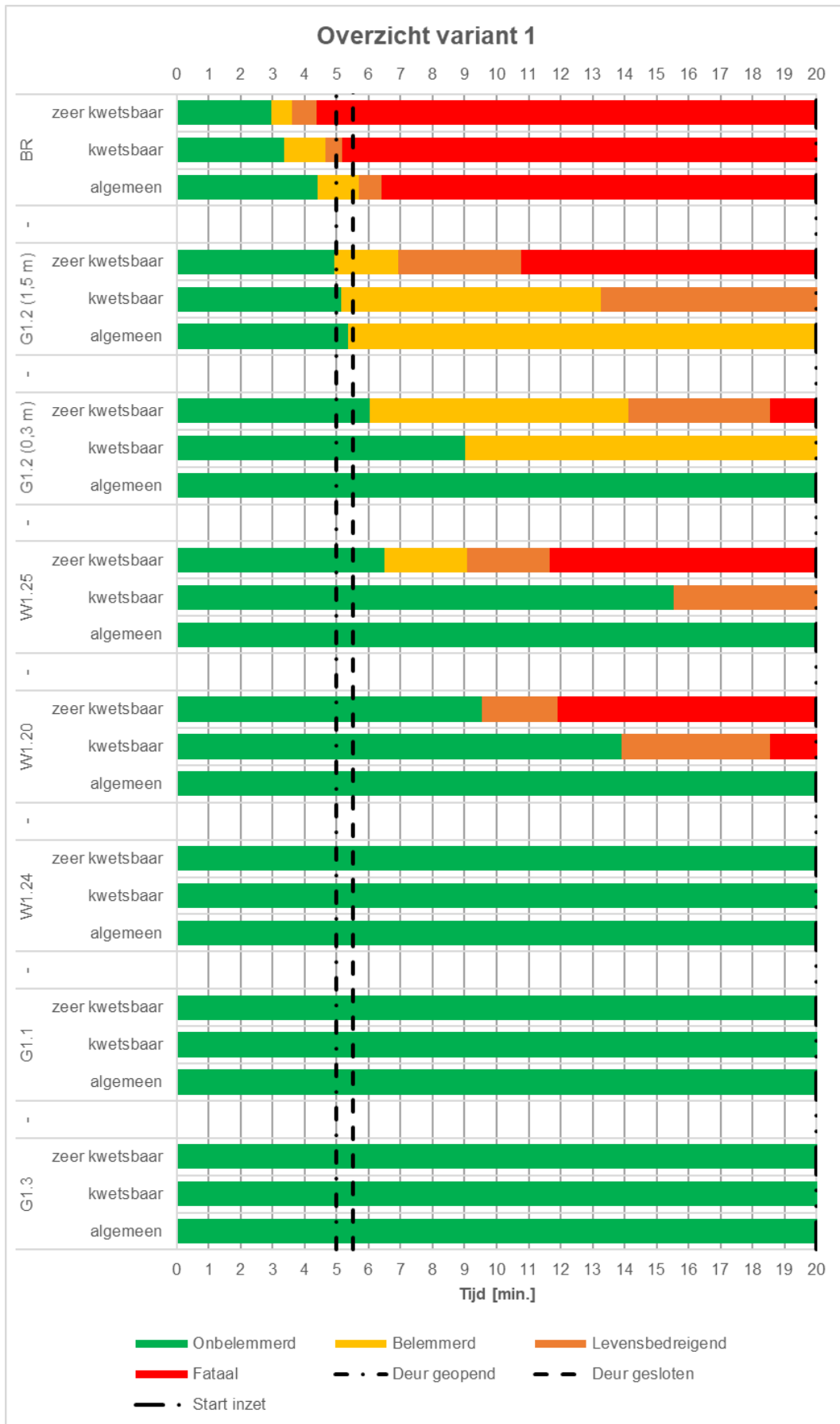
4.3.3 Resultaten van variant 1 (deur dicht)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor variant 1 (deur dicht), zowel getalsmatig in een tabel (zie tabel 4.4) als visueel (zie figuur 4.5) met de gestapelde staven per ruimte en per groep.

Tabel 4.4 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 1

	Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
	< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
	3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
	4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
	4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 4.5 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 1

Overige verdiepingen

Op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping zijn geen verhoogde CO-concentraties gemeten in de eerste 20 minuten van de test. Op camerabeelden is wel rook zichtbaar in gang 2.2, gang 3.2 en in woning 2.21 (boven de brandruimte op de tweede verdieping). Er zijn geen verhoogde temperaturen gemeten. In de ventilatiekanalen zijn op de overige verdiepingen kleine temperatuurswisselingen gemeten van enkele graden Celsius.

4.3.4 Analyse van variant 1 (deur dicht)

Uit de resultaten van de testen van variant 1 (deur dicht) is het volgende op te maken:

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende en fatale situatie na ongeveer 4 tot 6 minuten (afhankelijk van de groep).
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is op 1,5 meter hoogte voor elke groep sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 minuten; dit is het geval vrijwel direct na het openen van de deur tussen de brandruimte en gang 1.2. Na het sluiten van de deur tussen brandruimte en gang 1.2 verbeteren de zichtlengte en concentratie irriterende gassen weer enigszins. Voor de algemene groep kan er in de periode van 6 tot 20 minuten, waarin sprake is van een belemmerde ontvluchting, op bepaalde momenten weer sprake zijn van een onbelemmerde ontvluchting in gang 1.2. Dit is in de gestapelde staven niet terug te zien, omdat een eenmaal overschreden grenswaarde niet meer omkeerbaar is in de gekozen rekenmethode die onderliggend is aan de figuren met de gestapelde staven. Deze momenten zijn wel terug te zien in het verloop van de bepalende condities voor de belemmerde ontvluchting in gang 1.2 (zie bijlage 21): de zichtlengte (FEC_{smoke}) en de concentratie irriterende gassen (FIC). Verder is op camerabeelden te zien dat het zicht in gang 1.2 op 1,5 meter hoogte iets verbetert, maar nog steeds beperkt is. Voor de algemene groep wordt er geen levensbedreigende situatie bereikt op 1,5 hoogte in gang 1.2. Voor de zeer kwetsbare groep en kwetsbare groep gebeurt dit wel, namelijk na respectievelijk ongeveer 2 en 8 minuten. Op 0,3 meter hoogte is er na 6 tot 9 minuten sprake van een belemmerde ontvluchting voor de zeer kwetsbare en kwetsbare groep. Voor de algemene groep is er in de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk op 0,3 meter hoogte.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in woning 1.24 blijft er een vrije ontvluchting mogelijk voor alle groepen in de eerste 20 minuten. Voor de algemene groep geldt dit ook voor woning 1.20 en 1.25.
In woning 1.20 wordt de situatie levensbedreigend na 10 minuten voor de zeer kwetsbare groep en na 14 minuten voor de kwetsbare groep. Een fatale situatie wordt in woning 1.20 bereikt na 12 minuten voor de zeer kwetsbare groep en na 19 minuten voor de kwetsbare groep.
In woning 1.25 is de situatie fataal na 12 minuten voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep wordt geen fatale situatie bereikt in de eerste 20 minuten. De situatie in woning 1.25 wordt voor deze groep levensbedreigend na 16 minuten.
Van de overige woningen op de eerste verdieping zijn de tijden voor overlevingsmogelijkheden het kortst in woning 1.20 en 1.25. Dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2 en door de gedeelde wand van woning 1.20 met de brandruimte. De rook kan zich hierdoor sneller verspreiden naar deze woningen dan naar woning 1.24, waar twee woningscheidende wanden gepasseerd moeten worden.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 en 1.3 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar.

- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is bij één of meerdere testen wel rook gezien op de tweede verdieping in gang 2.2 en woning 2.21 (boven de brandruimte).

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten kunnen deze wel *bijna* worden overschreden. Voor de kwetsbare groep is bijvoorbeeld 80 procent van de grenswaarde voor een fatale situatie bereikt in woning 1.25. Voor de algemene groep is 72 procent van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie bereikt in woning 1.20. In woning 1.24 is het hoogste percentage 26 procent. In woning 1.25 en 1.20 zou een langer verblijf dan 20 minuten in een aantal gevallen daarom alsnog tot een levensbedreigende of fatale situatie kunnen leiden, terwijl dit in woning 1.24 minder snel het geval zal zijn.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen vrijwel gelijktijdig met de verstikkende gassen voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is daarom niet als eerste bepalend voor de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte, hoewel deze op zichzelf wel voor levensbedreigende en fatale situaties zou kunnen zorgen voor de (zeer) kwetsbare groepen. De temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject. Als dichterbij het brandobject gemeten zou zijn, zou de warmte mogelijk wél als eerste hebben kunnen zorgen voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende of fatale situatie in de brandruimte.

In gang 1.2 zorgt het zicht als eerste voor een belemmerde ontvluchting. Kort daarna zou er voor de (zeer) kwetsbare groepen ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende en fatale situatie bij de (zeer) kwetsbare groepen. Wanneer in de overige woningen de grenswaarde voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden wordt, dan wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen.

Samenvatting

Samenvattend kan gesteld worden dat één brandobject al binnen enkele minuten zorgt voor een fatale situatie in de brandruimte. Het kortstondig openen van de deur (30 seconden) naar de gang zorgt vrijwel direct voor een belemmerde ontvluchting op gang 1.2. Ook in woning 1.20 en 1.25 lopen de concentraties verstikkende gassen dermate hoog op dat er een levensbedreigende of fatale situatie ontstaat voor de zeer kwetsbare en kwetsbare groepen. Voor de algemene groep is dit niet het geval in de eerste 20 minuten van de test. Vooral in woning 1.20 kan een langer verblijf tot een levensbedreigende situatie leiden. In woning 1.24 daarentegen blijft de situatie overleefbaar voor alle groepen. Ook bij een verblijf dat iets langer duurt dan 20 minuten is niet te verwachten dat de grenswaarden in woning 1.24 overschreden zullen worden. Twee gesloten woningscheidende wanden houden de rook in dit geval voldoende tegen gedurende meer dan 20 minuten. Op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten bij de testen.

4.4 Testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie)

In deze paragraaf zijn de resultaten van de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) en de vergelijking met de testen van variant 0 (deur open) opgenomen. De testen van variant 8 zijn uitgevoerd om te controleren of een open balkondeur een grote invloed heeft op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Tijdens de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend en in maximaal geopende stand geblokkeerd gedurende de eerste 20 minuten. Daarnaast is de balkondeur gedurende de gehele vluchtfase in maximaal geopende stand geblokkeerd. In tabel 4.5 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) en variant 0 (deur open) weergegeven.

Tabel 4.5 Gegevens van de testen van variant 8 en variant 0

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
8	Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)	2	18	050719_1	1.19
			19	050719_2	1.19

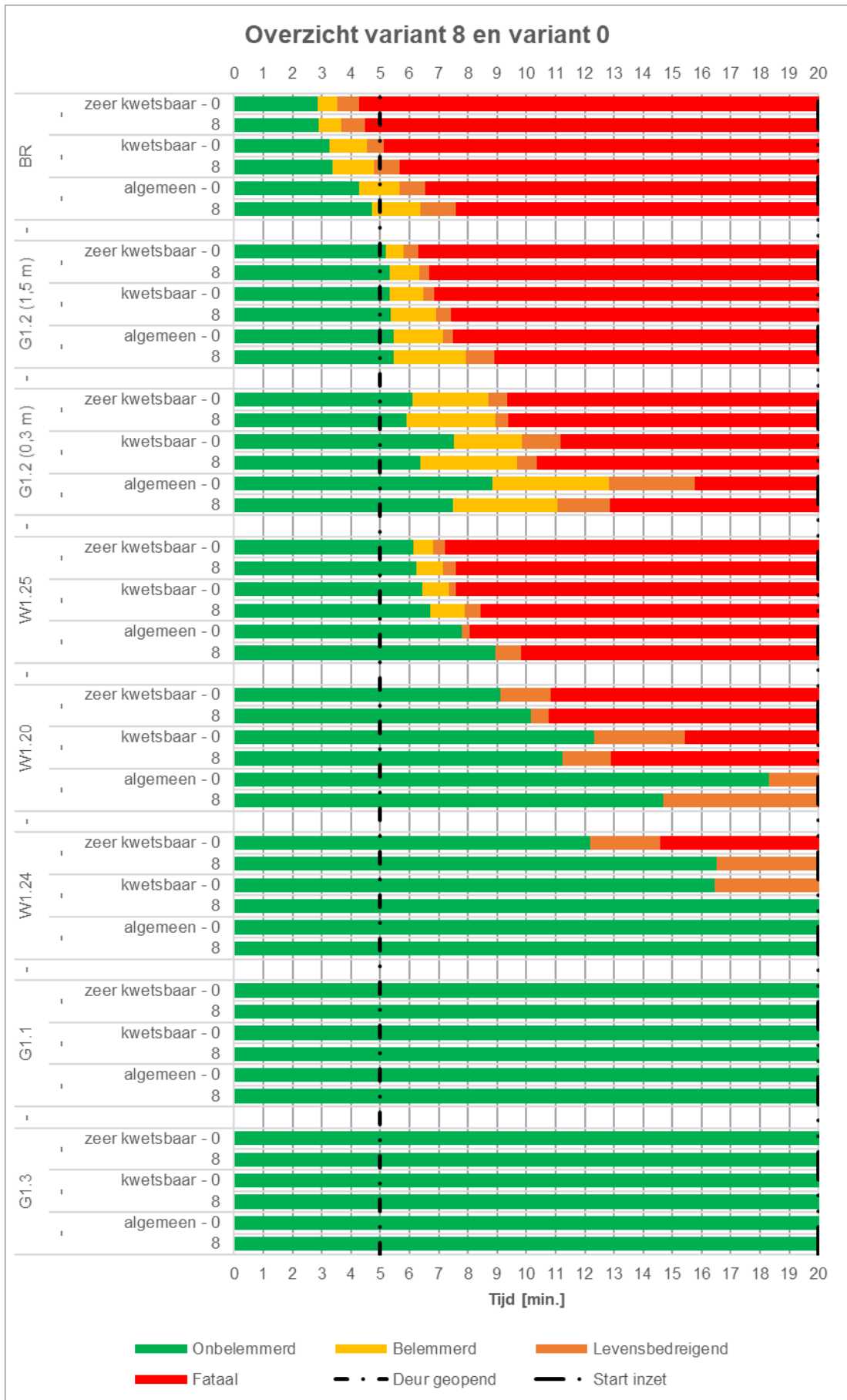
4.4.1 Resultaten van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) en de vergelijking met variant 0 (deur open)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) als voor variant 0 (deur open) getalsmatig in een tabel (zie tabel 4.6) en visueel (zie figuur 4.6) met de gestapelde staven per ruimte en per groep weergegeven. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 4.6 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 8 en variant 0

		Brandruimte	Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24				
0		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	< 12	< 16	-
		3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-
8		< 3	< 3	< 5	< 5	< 5	< 5	< 6	< 6	< 7	< 6	< 7	< 9	< 10	< 11	< 15	< 17	-	-
		3	3	5	5	5	5	6	6	7	6	7	9	10	11	15	17	-	-
		4	5	6	6	7	8	9	10	11	7	8	9	10	11	15	17	-	-
		4	6	8	7	7	9	9	10	13	8	8	10	11	13	20	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 4.6 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 8 en variant 0

4.4.2 Analyse van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie)

Uit de resultaten van de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) is het volgende op te maken:

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 4 tot 6 minuten (afhankelijk van de groep). Ongeveer 2 minuten na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er sprake van een fatale situatie.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor elke groep sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 minuten. Dit is het geval vrijwel direct na het openen van de deur tussen de brandruimte en gang 1.2. Na ongeveer 2 tot 4 minuten verandert op 1,5 meter hoogte de situatie op gang 1.2 van belemmerd in fataal. Een vluchtpoging door de rook zal dan al snel fataal zijn. Op 0,3 meter hoogte is er sprake van een belemmerde ontvluchting na 6 tot 9 minuten, afhankelijk van de groep. Op 0,3 meter hoogte zit er meer tijd tussen de overgang van een belemmerde ontvluchting naar een fatale situatie dan het geval is op 1,5 meter hoogte.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in woning 1.25 is er na ongeveer 8 tot 10 minuten sprake van een fatale situatie voor alle groepen. In woningen 1.20 en 1.24 is de spreiding in tijdsduur waarop de grenswaarden worden overschreden groter voor de verschillende groepen. In woning 1.20 is de situatie levensbedreigend na ongeveer 10 tot 15 minuten en fataal na ongeveer 11 tot 20 minuten. In woning 1.24 wordt er geen levensbedreigende of fatale situatie bereikt voor de kwetsbare en algemene groepen. De tijden voor overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping zijn het kortst in woning 1.25. Dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2. De tijden voor overlevingsmogelijkheden in woning 1.20 zijn korter dan in woning 1.24. Terwijl de rook zich naar woning 1.24 alleen kan verspreiden door de wand met deur en kozijn tussen woning 1.24 en gang 1.2, kan rookverspreiding naar woning 1.20 ook plaatsvinden via de gedeelde wand met de brandruimte of het gedeelde ventilatiekanaal met gang 1.2.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.3 is bij één test een redelijke hoeveelheid rook zichtbaar op camerabeelden.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is wel rook zichtbaar in gang 3.2.

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten kunnen deze wel *bijna* worden overschreden. Voor de zeer kwetsbare groep wordt binnen 20 minuten geen fatale situatie bereikt in woning 1.24, maar wordt ná deze 20 minuten wel 104 procent van de grenswaarde voor een fatale situatie bereikt. Voor woning 1.24 is voor de kwetsbare groep 69 procent van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie bereikt. Ondanks dat niet alle grenswaarden overschreden zijn in woning 1.24, is het wel aannemelijk dat er toch een fatale situatie zou ontstaan voor de zeer kwetsbare groep of een levensbedreigende situatie voor de kwetsbare groep, als deze langer dan 20 minuten in de woning zouden verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen meestal als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groepen zorgen de irriterende gassen echter als eerste voor het overschrijden

van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie en voor de algemene groep zorgt de warmte als eerste voor het overschrijden van de grenswaarde voor een fatale situatie. De warmte is niet als eerste bepalend voor de overlevingsmogelijkheden van de (zeer) kwetsbare groepen in de brandruimte, maar kort nadat er sprake is van een fatale situatie door de verstikkende gassen, zou er voor deze groep ook een fatale situatie zijn ontstaan door de warmte. De temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject. Als dichterbij het brandobject gemeten zou zijn, zou de warmte mogelijk wél als eerste hebben kunnen zorgen voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende of fatale situatie in de brandruimte. In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting. Kort daarna zou er voor de (zeer) kwetsbare groepen ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. In gang 1.2 op 1,5 meter hoogte kan de warmte ook dermate hoog oplopen dat deze van invloed kan zijn op de vlucht- of overlevingsmogelijkheden van de zeer kwetsbare groep. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen ook voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie in gang 1.2. Wanneer in de overige woningen de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden worden, wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen. Voor de (zeer) kwetsbare groepen zijn zowel de warmte als de irriterende gassen van invloed op de vlucht- of overlevingsmogelijkheden in woning 1.25.

4.4.3 Analyse van de vergelijking van variant 8 met variant 0

In tabel 4.7 staat per onderdeel een vergelijking weergegeven van de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) met de testen van variant 0 (deur open).

Tabel 4.7 Vergelijking van variant 8 met variant 0

Onderdeel	Vergelijking met variant 0 (deur open)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk
Vlucht- en overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Gelijk
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	Woningen 1.25 en 1.20 gelijk Woning 1.24 verbetering
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	Woning 1.24 verbetering Verder gelijk
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Verbetering
Het effect van een open balkondeur voor de verschillende groepen	In woning 1.24 is er een verbetering voor alle groepen Verder gelijk

Uit de massa-afname van de bank is op te maken dat er in vergelijking met de testen van variant 0 (deur open), meer bank verbrand is bij de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie). Dit komt waarschijnlijk door de toevoer van extra zuurstof naar de brand via de open balkondeur. De invloed van de open balkondeur op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden is echter gering in de brandruimte, in gang 1.2 en in woning 1.20 en 1.25. De situatie in woning 1.24 en op de overige verdiepingen is beter. Dit komt waarschijnlijk doordat meer rook naar buiten kan en er daardoor minder rookverspreiding in het gebouw plaatsvindt.

4.5 Overkoepelende analyse

De belangrijkste bevindingen uit de testen van variant 0 en 1 (deur open en deur dicht) en de testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie) zijn de volgende:

- > Eén bank in brand kan al binnen enkele minuten zorgen voor een fatale situatie in de brandruimte. De brandende bank veroorzaakt zowel horizontaal als verticaal rookverspreiding buiten de woning waar de bank staat.
- > Het kort openen van de deur van de brandruimte naar de gang zorgt vrijwel direct voor een belemmerde vluchtroute in de gang door beperkt zicht en soms door te veel irriterende gassen.
- > In gang 1.2 is na het openen van de deur van de brandruimte sprake van een belemmerde ontvluchting. Personen in de overige woningen zouden daardoor 'vastzitten' in hun woning wanneer ze later dan de persoon in de brandruimte zouden vluchten.
- > Vanuit de gang die gevuld is met rook (gang 1.2) kan de rook zich verder verspreiden naar andere gangen op dezelfde verdieping (gang 1.1 en gang 1.3). De rookverspreiding naar gang 1.1 en gang 1.3 blijft wel beperkt in de testen. Dit komt waarschijnlijk, omdat de deuren tussen gang 1.2 en gang 1.1 en 1.3 vrijwel de gehele eerste 20 minuten gesloten blijven.
- > Ook in woningen waar geen brand is, kan een fatale situatie ontstaan. In de woning naast de brandruimte (1.20) zijn de overlevingsmogelijkheden slechter dan in de tegenovergelegen woning met dichte deur (1.24). In de woning met een open deur naar de gang (1.25) zijn de overlevingsmogelijkheden het slechtst.
- > Als de aanwezige persoon in de woning waar de brand is ontstaan na ontvluchting zijn voordeur sluit, is er gedurende meer dan 20 minuten voor alle groepen sprake van een overleefbare situatie in de tegenovergelegen woning met dichte deur (1.24).
- > Ook naar andere verdiepingen vindt rookverspreiding plaats. Er is alleen CO gemeten op deze verdiepingen tijdens de testen van variant 0 (deur open). De mate waarin rook zich verspreidt en de ruimten waarnaar deze zich verspreidt op de andere verdiepingen verschillen per test. Er zijn op andere verdiepingen piekconcentraties CO gemeten die bij een verblijf van 20 minuten in een dergelijke concentratie levensbedreigend kunnen zijn voor de zeer kwetsbare groep.
- > De invloed van de open balkondeur op de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden is gering in de brandruimte, in gang 1.2 en in woning 1.20 en 1.25 (ten opzichte van alleen de deur open, variant 0). De vlucht- en overlevingsmogelijkheden verbeteren ten opzichte van de testen van variant 0 (deur open) in woning 1.24 en op de andere verdiepingen dan die waar de brandruimte zich bevindt. Dit komt waarschijnlijk doordat meer rook naar buiten kan stromen en er daardoor minder rookverspreiding binnen het gebouw plaatsvindt.



5 Risicobeheersende maatregelen

5.1 Inleiding

Alvorens te beginnen met het lezen van dit hoofdstuk, is het belangrijk om eerst de leeswijzer voor de resultaten in paragraaf 4.2 te bekijken.

In dit hoofdstuk is te zien welk effect de geteste risicobeheersende maatregelen hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Hiervoor worden eerst de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden weergegeven van de testen met maatregelen. Deze tijden worden daarna vergeleken met de tijden van de testen zonder maatregelen. Er wordt begonnen met het maken van een vergelijking tussen de testen van variant 1 (deur dicht) en de testen van variant 0 (deur open). Vervolgens worden de testen van de varianten met risicobeheersende maatregelen en een open deur vergeleken met de testen van variant 0 (deur open), en de testen van varianten met deze maatregelen en een dichte deur met de testen van variant 1 (deur dicht). Dit betekent dat er telkens maar één variabele anders is in de vergelijking, zodat duidelijk is aan welke maatregel de verschillen toe te schrijven zijn.

In paragraaf 5.7 is een samenvatting opgenomen van de effecten van de verschillende maatregelen ten opzichte van de uitkomst van de testen van variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht). In paragraaf 5.8 worden alle verschillende varianten met elkaar vergeleken. Er wordt gekeken welke risicobeheersende maatregelen de grootste verbetering voor de vlucht- of overlevingsmogelijkheden opleveren.

5.2 Testen van variant 1 (deur dicht)

In deze paragraaf zijn de resultaten van de vergelijking van de testen van variant 0 (deur open) met de testen van variant 1 (deur dicht) opgenomen. Zo wordt inzichtelijk wat de meerwaarde is van een deur van de brandruimte die het grootste deel van de tijd gesloten is. Omdat de resultaten van de testen van variant 1 (deur dicht) al besproken zijn in paragraaf 4.3.3, wordt hier alleen ingegaan op de vergelijking.

Tijdens de testen van variant 1 (deur dicht) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend, is 30 seconden geopend gebleven en na 5,5 minuten weer gesloten. De deur is vervolgens in gesloten stand gehouden tot tenminste $t = 20$ minuten. In tabel 5.1 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 1 (deur dicht) en variant 0 (deur open) weergegeven.

Tabel 5.1 Gegevens van de testen van variant 1 en variant 0

Variante nr.	Variante naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21

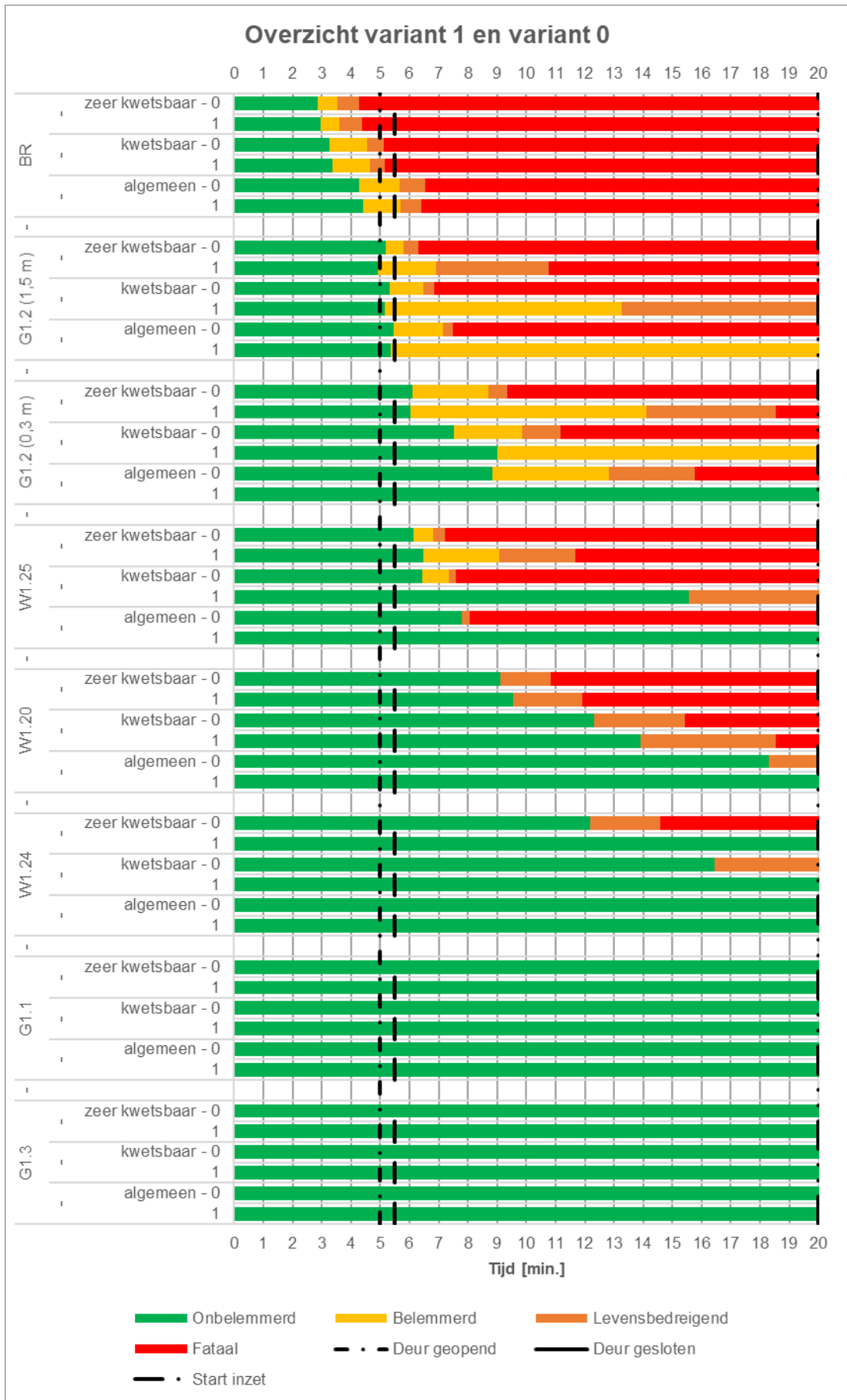
5.2.1 Resultaten van variant 1 (deur dicht) en de vergelijking met variant 0 (deur open)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden van zowel variant 1 (deur dicht) als variant 0 (deur open), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.2) en visueel (zie figuur 5.1) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.2 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 1 en variant 0

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
0		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	< 12	< 16	-
		3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-
1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.1 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 1 en variant 0

5.2.2 Analyse van de vergelijking van variant 1 met variant 0

In tabel 5.3 zijn de resultaten van de vergelijking van variant 1 (deur dicht) met variant 0 (deur open) weergegeven.

Tabel 5.3 Vergelijking van variant 1 met variant 0

Onderdeel	Vergelijking met variant 0 (deur open)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Kort na het openen van de deur gelijk Voor de algemene groep tussen 6 en 20 minuten een lichte verbetering Verder gelijk
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Verbetering
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	Voor de zeer kwetsbare groep is de situatie in woning 1.20 gelijk Voor de algemene groep is er sprake van een lichte verbetering in woning 1.20 Voor de algemene groep is de situatie in woning 1.24 gelijk Verder is er voor alle woningen en groepen sprake van een verbetering
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	Verbetering
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Verbetering
Het effect van een dichte deur voor de verschillende groepen	Vooraf een verbetering in overlevingsmogelijkheden voor de algemene en kwetsbare groep in woning 1.20 en 1.25 Voor de zeer kwetsbare groep is er geen grote verbetering in woningen 1.20 en 1.25 In woning 1.24 is er voor alle groepen een verbetering van de overlevingsmogelijkheid

Ook bij het kort openen van de deur van de brandruimte is er snel daarna sprake van een belemmerde ontvluchting in gang 1.2. Later neemt de zichtlengte in gang 1.2 weer toe en wordt de concentratie irriterende gassen lager. Hierdoor verbeteren voor de algemene groep de vluchtmogelijkheden licht. In alle ruimten is er gedurende langere tijd sprake van een overleefbare situatie, behalve in de brandruimte en voor de zeer kwetsbare groep in woning 1.20. Het gesloten blijven of zo kort mogelijk open zijn van de deur van de brandruimte is belangrijk voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden buiten de brandruimte.

5.3 Testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht)

In deze paragraaf worden de tijden van de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) gepresenteerd en vergeleken met de tijden van de testen van variant 1 (deur dicht). Op die manier wordt inzichtelijk wat de meerwaarde van de rookwerende scheiding is.

Bij de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) zijn de volgende aanpassingen gedaan aan de twee brandruimten:

- > Plaatsing van een rookwerende deur (S200).
- > De uitwendige en inwendige constructie zijn zoveel mogelijk luchtdicht gemaakt door het afdichten van naden en kieren.
- > De ventilatieopening in de hal van de woning richting het ventilatiekanaal is dichtgemaakt.

Aan en in woning 1.24 zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- > Plaatsing van een rookwerende deur (S200).
- > De uitwendige en inwendige constructie zijn zoveel mogelijk luchtdicht gemaakt door het afdichten van naden en kieren.

Bovengenoemde aanpassingen zijn gedaan om zoveel mogelijk een 'nieuwbouw situatie' na te bootsen waarin luchtdicht is gebouwd.

Tijdens de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend en na 5,5 minuten weer gesloten. De deur is dus gedurende 30 seconden geopend geweest. De deur is vervolgens in gesloten stand gehouden tot tenminste $t = 20$ minuten. In tabel 5.4 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) en variant 1 (deur dicht) weergegeven.

Tabel 5.4 Gegevens van de testen van variant 5 en variant 1

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21
5	Rookwerende scheiding en deur dicht	2	12	020719_1	1.21
			13	020719_2	1.19

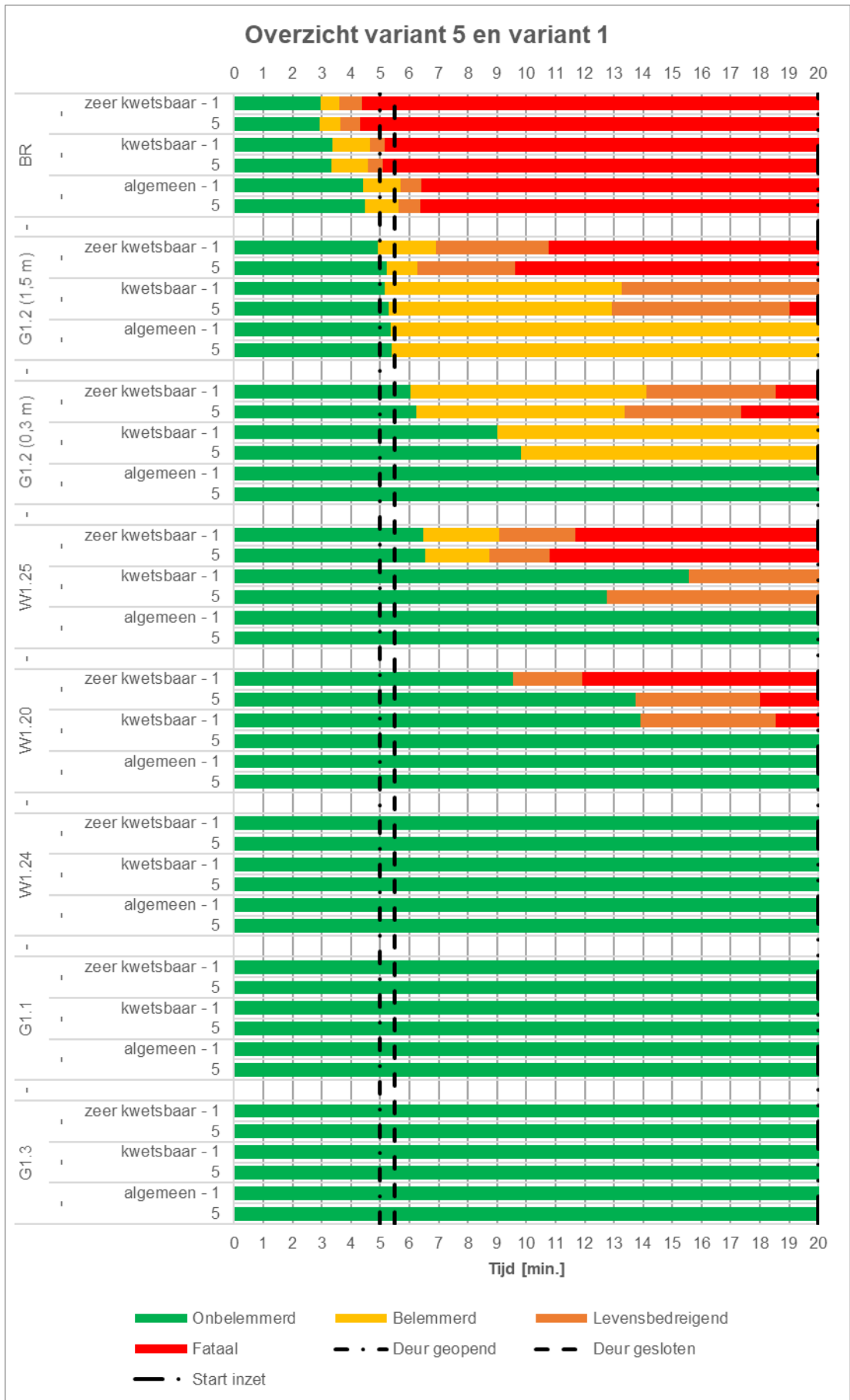
5.3.1 Resultaten van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) als variant 1 (deur dicht), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.5) en visueel (zie figuur 5.2) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.5 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 5 en variant 1

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-
5		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 10	-	< 7	< 13	-	< 14	-	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	10	-	7	13	-	14	-	-	-	-	-
		4	5	6	6	13	-	13	-	-	9	13	-	14	-	-	-	-	-
		4	5	6	10	19	-	17	-	-	11	-	-	18	-	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.2 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 5 en variant 1

5.3.2 Analyse van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht)

Uit de resultaten van de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) is het volgende op te maken.

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende en fatale situatie na ongeveer 4 tot 6 minuten (afhankelijk van de groep).
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor elke groep sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 minuten. Dit is het geval vrijwel direct na het openen van de deur tussen de brandruimte en gang 1.2. Na het sluiten van deze deur verbeteren de zichtlengte en concentratie irriterende gassen weer enigszins. Voor de algemene groep kan er in de periode van 9 tot 20 minuten op bepaalde momenten en bepaalde plekken weer sprake zijn van een onbelemmerde ontvluchting in gang 1.2. Dit is in de gestapelde staven niet terug te zien, omdat een eenmaal overschreden grenswaarde niet meer omkeerbaar is in de gekozen rekenmethode die onderliggend is aan de figuren met de gestapelde staven. Deze momenten zijn wel terug te zien in het verloop van de bepalende condities voor de belemmerde ontvluchting in gang 1.2 (zie bijlage 21): de zichtlengte (FEC_{smoke}) en de concentratie irriterende gassen (FIC). Verder is op camerabeelden te zien dat het zicht in gang 1.2 op 1,5 meter hoogte iets verbetert, maar nog steeds beperkt is.
Op 1,5 meter hoogte is er na ongeveer 1 minuut sprake van een overgang naar een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is dit na ongeveer 8 minuten het geval. Er is sprake van een fatale situatie na 10 minuten voor de zeer kwetsbare groep en na 19 minuten voor de kwetsbare groep. Voor de algemene groep wordt er in de eerste 20 minuten geen levensbedreigende situatie bereikt in gang 1.2. Op 0,3 meter hoogte is er na 6 tot 10 minuten sprake van een belemmerde ontvluchting voor de (zeer) kwetsbare groepen. Voor de algemene groep is er in de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk op 0,3 meter hoogte.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** vanuit woning 1.24 blijft er een vrije ontvluchting mogelijk voor alle groepen in de eerste 20 minuten. Voor de algemene en kwetsbare groep geldt dit ook voor woning 1.20. Voor de algemene groep is er verder een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten vanuit woning 1.25. In woning 1.20 wordt de situatie na 14 minuten levensbedreigend en na 18 minuten fataal voor de zeer kwetsbare groep.
In woning 1.25 is na 11 minuten sprake van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep wordt de situatie niet fataal in de eerste 20 minuten. De situatie in woning 1.25 wordt voor de kwetsbare groep levensbedreigend na 13 minuten. Van de woningen 1.20, 1.24 en 1.25 zijn de tijden voor overlevingsmogelijkheden het kortst in woning 1.25; dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2. Na woning 1.25 zijn de tijden voor overlevingsmogelijkheid het kortst in woning 1.20. Naar deze woning kan rook zich verspreiden via drie routes: via de gedeelde wand met de brandruimte, via het gedeelde ventilatiekanaal met de gang en via de wand tussen gang 1.2 en de woning. Voor het verspreiden van rook naar woning 1.24 moeten er twee woningscheidende wanden gepasseerd worden.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 en 1.3 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is wel enige rook zichtbaar op de tweede verdieping in de woning boven de brandruimte (2.19 / 2.21).

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten, kunnen deze wel *bijna* worden overschreden. Voor de kwetsbare groep is bijvoorbeeld 95 procent van de grenswaarde voor een fatale situatie bereikt in woning 1.25 en 58 procent in woning 1.20. In woning 1.24 is het hoogste percentage 26 procent. In woning 1.25 en 1.20 zou een verblijf langer dan 20 minuten in een aantal gevallen daarom alsnog tot een levensbedreigende of fatale situatie kunnen leiden, terwijl dit in woning 1.24 minder snel het geval is.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is niet direct bepalend voor de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte, maar voor de zeer kwetsbare groep worden de grenswaarden daarvan voor een levensbedreigende en fatale situatie wel overschreden. De temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject. Als dichterbij het brandobject gemeten zou zijn, zou de warmte mogelijk wél als eerste hebben kunnen zorgen voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende of fatale situatie in de brandruimte.

In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting; kort daarna zou er voor de (zeer) kwetsbare groepen ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende en fatale situatie bij de (zeer) kwetsbare groepen.

Wanneer in de overige woningen de grenswaarde voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden wordt, wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen.

5.3.3 Analyse van de vergelijking van variant 5 met variant 1

In tabel 5.6 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) met variant 1 (deur dicht).

Tabel 5.6 Vergelijking van variant 5 met variant 1

Onderdeel	Vergelijking met variant 1 (deur dicht)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Gelijk
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Gelijk
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	In woning 1.25 lichte verslechtering voor de kwetsbare groep Verder gelijk ³³
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	Gelijk ³⁴
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Gelijk
Het effect van een rookwerende scheiding voor de verschillende groepen	Het effect is nagenoeg gelijk aan dat van een dichte deur Geen duidelijke verbetering of verslechtering voor een specifieke groep

Het verschil met de testen van variant 1 (deur dicht) is klein. Mogelijk is de rookwerende scheiding beter in het tegenhouden van rook, maar het openen van de deur van de brandruimte gedurende 30 seconden blijkt bepalend te zijn voor de rookverspreiding vanuit de brandruimte naar gang 1.2. Als dit eerder of later in het brandscenario had plaatsgevonden of als de deur korter of langer dan 30 seconden open had gestaan, dan waren de resultaten mogelijk anders geweest. De gemeten concentraties CO in woning 1.24 zijn relatief laag, zowel bij de testen van variant 1 (deur dicht) als de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht). Omdat er ook sprake is van enige spreiding tussen de verschillende testen, kan er geen conclusie getrokken worden of de rookwerende scheiding in woning 1.24 een positief effect heeft. Of deze scheiding in woning 1.24 een meerwaarde heeft als de deur van de brandruimte open blijft staan, kan niet geconcludeerd worden uit deze praktijkexperimenten; deze vraag zou daarom nader onderzocht kunnen worden.

³³ In de tabel met tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden is een verbetering te zien voor woning 1.20. Dit is vermoedelijk te wijten aan het gebruik van een andere brandruimte bij één van de twee testen van variant 5. Eén test van variant 5 (test 13) is namelijk uitgevoerd in een andere brandruimte. Deze kent een duidelijk afwijkende CO-concentratie in woning 1.20 ten opzichte van de andere test van variant 5 (test 12) en de testen van variant 1. Door het uitmiddelen van deze testen is er een verbetering te zien voor woning 1.20 bij de testen van variant 5. Het verloop van de CO-concentratie bij de verschillende testen is te vinden in bijlage 16.

³⁴ In de tabel met percentages van de grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden is een verbetering te zien voor woning 1.20. Dit verschil is vermoedelijk te wijten aan het gebruik van een andere brandruimte bij één van de twee testen van variant 5. Eén test van variant 5 (test 13) is namelijk uitgevoerd in een andere brandruimte. Deze kent een duidelijk afwijkende CO-concentratie in woning 1.20 ten opzichte van de andere test van variant 5 (test 12) en de testen van variant 1. Door het uitmiddelen van deze testen is er een verbetering te zien voor woning 1.20 bij de testen van variant 5. Het verloop van de CO-concentratie bij de verschillende testen is te vinden in bijlage 16.

De drukken in de brandruimte zijn flink hoger dan bij de testen van variant 1 (deur dicht). Bij de testen van variant 1 (deur dicht) was de piekdruk in de brandruimte 60 tot 170 Pa; bij de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) was dit 340 tot 1010 Pa. De hoeveelheid lucht / rook die door een kier heen gaat, is afhankelijk van het formaat en de doorlaatcoëfficiënt van de kier en van het drukverschil tussen de ruimten. Een hoger drukverschil kan betekenen dat ook bij kleinere kieren evenveel of meer lucht wordt verplaatst. De gemeten drukken tijdens de testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht) zijn, alhoewel het korte piekdrukken betreft, substantieel hoger dan de hoogste druk van 50 Pa waarop de onderdelen uit de rookwerende scheiding beproefd moeten worden volgens de NEN 6075:2020.

5.4 Testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)

In deze paragraaf worden de tijden van de testen met mobiele watermist (variant 2 en 3) gepresenteerd. Daarnaast worden de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) vergeleken met de testen van variant 0 (deur open), en de testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) met de testen van variant 1 (deur dicht). Op die manier wordt inzichtelijk wat de meerwaarde is van de mobiele watermist.

Bij de testen met een mobiele watermist (variant 2 en 3) is de brandruimte voorzien van een mobiel watermiststelsel. Deze testen zijn uitgevoerd met open deur (variant 2; de deur tussen de brandruimte en gang 1.2 wordt na 5 minuten geopend en in maximaal geopende stand gehouden gedurende de eerste 20 minuten) en met dichte deur (variant 3; de deur tussen de brandruimte en gang 1.2 wordt na 5 minuten geopend en na 5,5 minuten weer gesloten tot tenminste $t = 20$ minuten). In tabel 5.7 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en variant 0 (deur open), en van de testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) en variant 1 (deur dicht) weergegeven.

Tabel 5.7 Gegevens van de testen van variant 2 en variant 0, en van variant 3 en variant 1

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21
2	Mobiele watermist en deur open	2	7	270619_2	1.19
			9	280619_2	1.19
3	Mobiele watermist en deur dicht	2	6	270619_1	1.21
			8	280619_1	1.21

5.4.1 Resultaten van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en de vergelijking met variant 0 (deur open)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 2 (mobiele watermist en deur open) als variant 0 (deur open), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.8) en visueel (zie figuur 5.3) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.8 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 2 en variant 0

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
0		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	< 12	< 16	-
		3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-
2		< 3	< 4	< 11	< 5	< 6	< 7	< 7	< 10	< 13	< 7	< 12	< 16	-	-	-	< 16	-	-
		3	4	11	5	6	7	7	10	13	7	12	16	-	-	-	16	-	-
		4	6	11	7	9	13	11	14	19	9	12	16	-	-	-	16	-	-
		5	8	17	8	11	17	13	17	-	11	14	19	-	-	-	19	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.3 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 2 en variant 0

5.4.2 Analyse van variant 2 (mobiele watermist en deur open)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen besproken uit de resultaten van de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open).

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 4 minuten voor de zeer kwetsbare groep, na 6 minuten voor de kwetsbare groep en na 11 minuten voor de algemene groep. Ongeveer 1 minuut na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er al sprake van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is dit na 2 minuten en voor de algemene groep na 6 minuten.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 tot 7 minuten, afhankelijk van de groep. Dit is het geval kort na het openen van de deur tussen de brandruimte en gang 1.2. Na ongeveer 2 tot 3 minuten gaat de belemmerende situatie op 1,5 meter hoogte voor de (zeer) kwetsbare groepen al over naar een levensbedreigende situatie. Voor de algemene groep duurt de overgang van belemmerend naar levensbedreigend 5 minuten. Op 0,3 meter hoogte ontstaat na 7 tot 13 minuten (afhankelijk van de groep) een belemmerende situatie. De tijd waarin deze situatie overgaat naar een fatale situatie is op 0,3 meter 6 minuten voor de zeer kwetsbare groep en 7 minuten voor de kwetsbare groep. Er is geen sprake van een fatale situatie in de eerste 20 minuten voor de algemene groep.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in woning 1.25 is er sprake van een fatale situatie na ongeveer 11 tot 19 minuten, afhankelijk van de groep. In woning 1.20 is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten. In woning 1.24 geldt dit ook voor de algemene en kwetsbare groep, maar de zeer kwetsbare groep heeft daar na 16 minuten te maken met een levensbedreigende situatie en na 19 minuten met een fatale situatie.
Van de woningen 1.20, 1.24 en 1.25 zijn de tijden voor overlevingsmogelijkheden het kortst in woning 1.25; dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2. De tijden voor overlevingsmogelijkheden zijn in woning 1.24 korter dan in woning 1.20. Dit is bijzonder, omdat de rookverspreiding naar woning 1.20 kan plaatsvinden via drie routes: via de gedeelde wand met de brandruimte, via de gedeeld ventilatiekanaal met de gang en via de wand tussen gang 1.2 en de woning. De rookverspreiding naar woning 1.24 kan echter alleen plaatsvinden via de wand tussen gang 1.2 en de woning.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In deze gangen is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is rook zichtbaar in gang 3.2.

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten, kunnen deze wel *bijna* worden overschreden. Voor de zeer kwetsbare groep is geen sprake van een fatale situatie in woning 1.20, maar wordt na 20 minuten 59 procent van de grenswaarde bereikt. Voor woning 1.24 is 50 procent van de grenswaarde voor een fatale situatie voor de kwetsbare groep bereikt. Ondanks het feit dat niet alle grenswaarden overschreden zijn in de woningen 1.20 en 1.24, is het aannemelijk dat deze voor de zeer kwetsbare groep in woning 1.20 en voor de kwetsbare groep in woning 1.24 wel overschreden zouden worden als personen langer dan 20 minuten in de betreffende woningen zouden verblijven. Voor de algemene groep zijn de percentages van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie 12 procent (in woning 1.20) en 30 procent

(in woning 1.24). Voor deze gevallen geldt dus, dat er niet op korte termijn een levensbedreigende situatie ontstaat als personen langer dan 20 minuten in de woningen verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen ook voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is niet bepalend voor de overlevingsmogelijkheden, ook niet in de brandruimte. Maar omdat de temperatuur en straling gemeten zijn in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject, zou de warmte mogelijk wél bepalend kunnen zijn voor de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte in de directe nabijheid van de brand.

In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting; kort daarna zou er voor de (zeer) kwetsbare groepen ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. In gang 1.2 op 1,5 meter hoogte kan de warmte ook dermate hoog oplopen dat deze van invloed zou kunnen zijn op het veilig vluchten van de zeer kwetsbare groep. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie.

Wanneer in de overige woningen de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden worden, wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen.

5.4.3 Analyse van de vergelijking van variant 2 met variant 0

In tabel 5.9 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 2 (mobiele watermist en deur open) met variant 0 (deur open).

Tabel 5.9 Vergelijking van variant 2 met variant 0

Onderdeel	Vergelijk met variant 0 (deur open)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk voor de zeer kwetsbare groep Lichte verbetering voor de kwetsbare groep Verbetering voor de algemene groep
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Op 1,5 m hoogte is er een lichte verbetering voor de algemene groep Gelijk voor de (zeer) kwetsbare groepen op 1,5 m hoogte Op 0,3 m hoogte is de verbetering in vluchtmogelijkheden groter De verbetering in vluchtmogelijkheden op 0,3 m hoogte is het grootst voor de algemene groep
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Voor de zeer kwetsbare groep is er een lichte verbetering (0,3 m hoogte) of een verbetering (1,5 m hoogte) Voor de kwetsbare en algemene groep is er een verbetering

Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	Voor de algemene groep in woning 1.24 gelijk en in woning 1.20 een lichte verbetering Verder verbetering
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	Voor de algemene groep in woning 1.24 een lichte verbetering Verder verbetering
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Verbetering
Het effect van een mobiele watermist en de deur open voor de verschillende groepen	Vooral voor de zeer kwetsbare groep zijn de verbeteringen klein In de brandruimte en gang 1.2 op 1,5 meter hoogte is de verbetering beperkt voor de kwetsbare groep

De mobiele watermist met de deur open geeft vooral een verbetering voor de algemene groep. Voor de kwetsbare groep zijn er slechts lichte verbeteringen te constateren, en voor de zeer kwetsbare groep zijn de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden nagenoeg gelijk aan die van de testen van variant 0 (deur open). Bij deze testen is de piekconcentratie CO in de brandruimte 15.000 tot 30.000 ppm na 400 tot 500 seconden. Bij de testen met mobiele watermist en de deur open is de concentratie CO tussen 400 en 500 seconden 800 tot 1800 ppm. Dit is veel lager, maar vooral voor de (zeer) kwetsbare groepen nog steeds te hoog. Voor de zeer kwetsbare groep is er na 5 minuten sprake van een fatale situatie in de brandruimte. Het verloop van de CO-concentratie in de brandruimte is gedurende de eerste 6 minuten nagenoeg gelijk bij de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open) en de testen van variant 0 (deur open). Pas na 6 minuten is het effect van de mobiele watermist zichtbaar in lagere CO-concentraties in de brandruimte.

De mobiele watermist heeft genoeg water in de tank van het systeem voor ongeveer 15 minuten. Nadat dit water verbruikt was, laaide de brand weer op. Ook in de periode tussen het openen van de deur van de brandruimte en het opraken van het water (tussen de 5 en 17 minuten), is bij één test op twee momenten te zien dat de temperatuur weer voor korte tijd toeneemt.

Op het moment dat het water van de mobiele watermist op is, neemt de temperatuur van de brandruimte toe van ongeveer 70 °C boven in de ruimte tot 170 tot 230 °C. Ook de concentratie CO neemt dan toe. Het oplaaien van de brand betekent dat de mobiele watermist de brand niet heeft geblust.

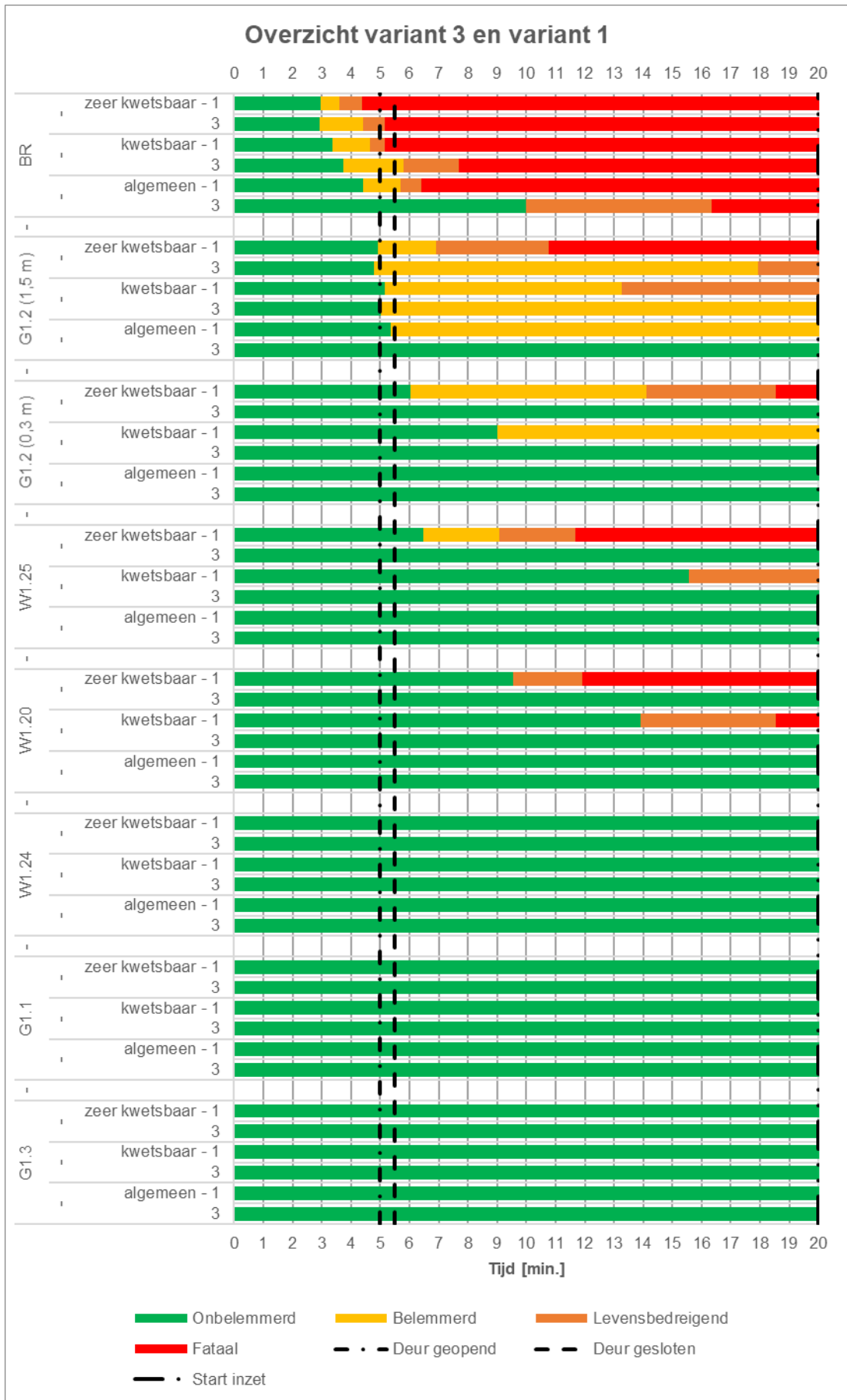
5.4.4 Resultaten van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) als variant 1 (deur dicht), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.10) en visueel (zie figuur 5.4) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.10 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 3 en variant 1

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-
3		< 3	< 4	< 10	< 5	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	4	10	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	6	10	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	8	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.4 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 3 en variant 1

5.4.5 Analyse van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen besproken uit de resultaten van de testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht).

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 4 minuten voor de zeer kwetsbare groep, na 6 minuten voor de kwetsbare groep en na 10 minuten voor de algemene groep. Ongeveer 1 minuut na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er al sprake van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is dit na 2 minuten en voor de algemene groep na 6 minuten.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor de (zeer) kwetsbare groepen sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 minuten. Na 8 tot 9 minuten (dit verschilt per test) is er voor de kwetsbare groep veelal weer een vrije ontvluchting mogelijk. Het zicht in de gang is voor deze groep dan weer voldoende. Op camerabeelden is te zien dat het zicht in gang 1.2 op 1,5 meter hoogte is verbeterd. Dat er na 8 tot 9 minuten weer sprake is van een vrije ontvluchting voor de kwetsbare groep, is in de gestapelde staven niet terug te zien. Dit komt omdat een eenmaal overschreden grenswaarde niet meer omkeerbaar is in de gekozen rekenmethode die onderliggend is aan de figuren met de gestapelde staven. Deze momenten zijn wel terug te zien in het verloop van de bepalende conditie voor de belemmerde ontvluchting in gang 1.2 (zie bijlage 21): de zichtlengte (FEC_{smoke}).
De overgang naar een levensbedreigende situatie duurt 13 minuten voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep wordt de situatie in de eerste 20 minuten niet levensbedreigend. De algemene groep heeft een vrije ontvluchting in gang 1.2 gedurende de eerste 20 minuten. Op 0,3 meter hoogte is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk tijdens de eerste 20 minuten.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in alle overige woningen op de eerste verdieping is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk tijdens de eerste 20 minuten van de test.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar en in gang 1.3 is helemaal geen rook gezien.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is geen rook gezien.

Niet-overschreden grenswaarden

In de gevallen waarin de grenswaarden niet zijn overschreden binnen de eerste 20 minuten van de test, zijn deze meestal ook niet *bijna* overschreden. In woning 1.20 is op 20 minuten 66 procent van de grenswaarde bereikt voor een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep. In de overige woningen op de eerste verdieping is het percentage van de grenswaarden verder veelal kleiner dan 30 procent. Voor deze gevallen geldt dat er niet op korte termijn een levensbedreigende situatie zal ontstaan als personen langer dan 20 minuten in deze woningen verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep zorgen de irriterende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is niet bepalend voor de overlevingsmogelijkheden, ook niet in de brandruimte. Maar omdat de temperatuur en straling zijn gemeten in de hal

van de brandruimte op enige afstand van het brandobject, zou de warmte mogelijk wél bepalend kunnen zijn in de brandruimte in de directe nabijheid van de brand. In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting; kort daarna zou er voor de zeer kwetsbare groep ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie bij de zeer kwetsbare groep.

5.4.6 Analyse van de vergelijking van variant 3 met variant 1

In tabel 5.11 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht) met variant 1 (deur dicht).

Tabel 5.11 Vergelijking van variant 3 met variant 1

Onderdeel	Vergelijking met variant 1 (deur dicht)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk voor de zeer kwetsbare groep Lichte verbetering voor de kwetsbare groep Verbetering voor de algemene groep
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Op 1,5 m hoogte verbetering voor de algemene groep Op 0,3 m verbetering voor alle groepen Verder gelijk
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen Gelijk voor de algemene groep
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen In woning 1.25 en 1.20 gelijk voor de algemene groep In woning 1.24 gelijk
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering In woning 1.24 gelijk
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Gelijk
Het effect van de mobiele watermist en de deur dicht voor de verschillende groepen	Voor de algemene groep is er een verbetering in de brandruimte Voor de (zeer) kwetsbare groepen is er een verbetering in woning 1.20 en 1.25 In de brandruimte is er geen verbetering voor de zeer kwetsbare groep en een kleine verbetering voor de kwetsbare groep

De mobiele watermist met de deur dicht leidt tot een verbetering die vooral merkbaar is in woning 1.25 en 1.20. Voor de zeer kwetsbare groep zijn de tijden in de brandruimte gelijk, en voor de kwetsbare groep is sprake van een kleine verbetering. Voor de algemene groep is er een verbetering in de brandruimte.

De concentratie CO is in de brandruimte de eerste 5 minuten nagenoeg gelijk aan die van de testen van variant 1 (deur dicht) zonder mobiele watermist. Op dat moment is er voor de zeer kwetsbare groep al sprake van een fatale situatie. Na 6 minuten volgt er een duidelijk onderscheid in de CO-concentratie van de brandruimte in vergelijking met die van de testen van variant 1 (deur dicht). De piekconcentratie is in de brandruimte bij de testen van variant 3 (mobiele watermist en de deur dicht) 1300 tot 1500 ppm en bij de testen van variant 1 (deur dicht) 7000 tot 21.000 ppm.

In tegenstelling tot de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open), is er geen toename van de temperatuur of CO-concentratie gemeten, nadat het water uit de mobiele watermist verbruikt is.

5.5 Testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)

In deze paragraaf worden de tijden van de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) gepresenteerd en vergeleken met die van de testen van variant 1 (deur dicht). Op die manier wordt inzichtelijk wat de meerwaarde is van de mobiele watermist in combinatie met de rookwerende scheiding.

Bij de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) is de brandruimte voorzien van een mobiel watermiststelsel. Verder zijn de volgende aanpassingen gedaan aan de twee brandruimten:

- > Plaatsing van een rookwerende deur (S200).
- > De uitwendige en inwendige constructie zijn zoveel mogelijk luchtdicht gemaakt door het afdichten van naden en kieren.
- > De ventilatieopening in de hal van de woning richting het ventilatiekanaal is dichtgemaakt.

Aan en in woning 1.24 zijn de volgende aanpassingen gedaan:

- > Plaatsing van een rookwerende deur (S200).
- > De uitwendige en inwendige constructie zijn zoveel mogelijk luchtdicht gemaakt door het afdichten van naden en kieren.

Bovengenoemde aanpassingen zijn gedaan om zoveel mogelijk een 'nieuwbouw situatie' na te bootsen waarin luchtdicht is gebouwd.

Tijdens de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) is de deur van de brandruimte na 5 minuten geopend en na 5,5 minuten weer gesloten. De deur is dus gedurende 30 seconden geopend geweest. De deur is vervolgens in gesloten stand gehouden tot tenminste $t = 20$ minuten. In tabel 5.12 zijn de relevante gegevens van de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) en variant 1 (deur dicht) weergegeven.

Tabel 5.12 Gegevens van de testen van variant 4 en variant 1

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21
4	Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht	2	10	010719_1	1.21
			11	010719_2	1.19

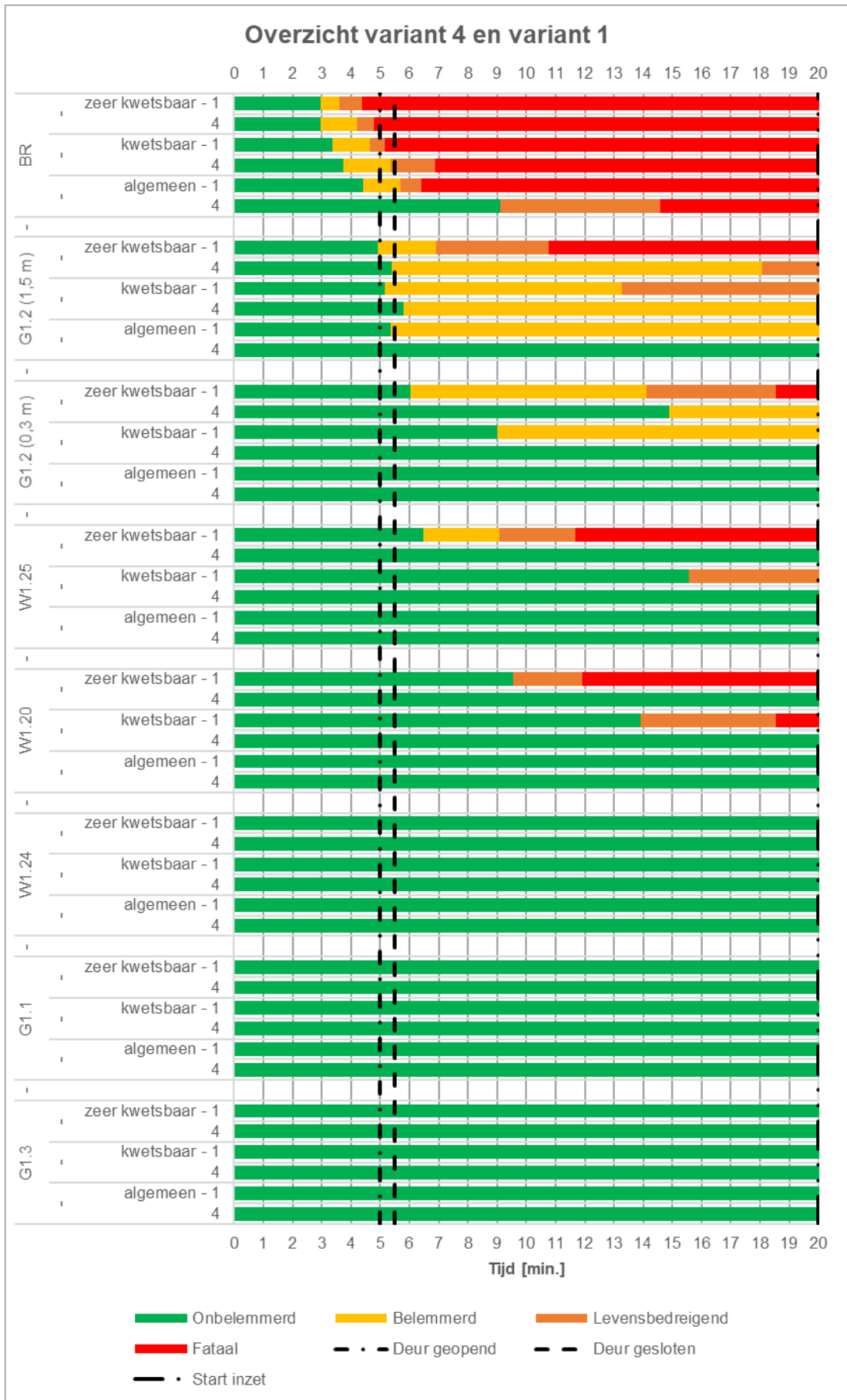
5.5.1 Resultaten van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) als variant 1 (deur dicht), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.13) en visueel (zie figuur 5.5) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.13 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 4 en variant 1

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-
4		< 3	< 4	< 9	< 5	< 6	-	< 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	4	9	5	6	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	5	9	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.5 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 4 en variant 1

5.5.2 Analyse van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen uit de resultaten van de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) besproken.

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is sprake van een levensbedreigende situatie na ongeveer 4 minuten voor de zeer kwetsbare groep, na 5 minuten voor de kwetsbare groep en na 9 minuten voor de algemene groep. Ongeveer 1 minuut na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er al sprake van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is dit na 2 minuten en voor de algemene groep na 6 minuten.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor de (zeer) kwetsbare groepen sprake van een belemmerde ontvluchting na 5 tot 6 minuten. Na 8 tot 11 minuten (dit verschilt per test) is er voor de kwetsbare groep weer een vrije ontvluchting mogelijk. Het zicht in de gang is voor deze groep dan weer voldoende. Op camerabeelden is te zien dat het zicht in gang 1.2 op 1,5 meter hoogte is verbeterd. Dat er na 8 tot 11 minuten weer sprake is van een vrije ontvluchting voor de kwetsbare groep, is in de gestapelde staven niet terug te zien. Dit komt omdat een eenmaal overschreden grenswaarde niet meer omkeerbaar is in de gekozen rekenmethode die onderliggend is aan de figuren met de gestapelde staven. Deze momenten zijn wel terug te zien in het verloop van de bepalende conditie voor de belemmerde ontvluchting in gang 1.2 (zie bijlage 21): de zichtlengte (FEC_{smoke}).
De overgang naar een levensbedreigende situatie duurt 13 minuten voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep wordt de situatie in de eerste 20 minuten niet levensbedreigend. De algemene groep heeft een vrije ontvluchting in gang 1.2 in de eerste 20 minuten. Op 0,3 meter hoogte is er voor de algemene en kwetsbare groep een vrije ontvluchting mogelijk gedurende de eerste 20 minuten. De zeer kwetsbare groep heeft de eerste 15 minuten de mogelijkheid tot een vrije ontvluchting in gang 1.2 op 0,3 meter hoogte.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in alle overige woningen op de eerste verdieping is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten van de test.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar. In gang 1.3 is geen rook gezien op camerabeelden, maar is wel een CO-concentratie gemeten die kleiner is dan 25 ppm.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is geen rook gezien.

Niet-overschreden grenswaarden

In de gevallen waarin de grenswaarden niet zijn overschreden binnen de eerste 20 minuten van de test, zijn deze meestal ook niet *bijna* overschreden. Het hoogste percentage van een grenswaarde dat bereikt is, is 37 procent van een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep in woning 1.25. Voor de overige woningen op de eerste verdieping geldt dat het aannemelijk is dat er niet op korte termijn een levensbedreigende situatie zou ontstaan als personen langer dan 20 minuten in de woningen zouden verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. Voor de zeer kwetsbare groep

zorgen de irriterende gassen ook voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie. De warmte is niet bepalend voor de overlevingsmogelijkheden, ook niet in de brandruimte. Maar omdat de temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject, zou de warmte mogelijk wél bepalend kunnen zijn in de brandruimte in de directe nabijheid van de brand. In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting; kort daarna zou er voor de zeer kwetsbare groep ook sprake zijn van een belemmerde ontvluchting door de irriterende gassen. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep.

5.5.3 Analyse van de vergelijking van variant 4 met variant 1

In tabel 5.14 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) met variant 1 (deur dicht).

Tabel 5.14 Vergelijking van variant 4 met variant 1

Onderdeel	Vergelijking met variant 1 (deur dicht)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Gelijk voor de (zeer) kwetsbare groepen Verbetering voor de algemene groep
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Op 1,5 m hoogte verbetering voor de algemene groep Op 0,3 m verbetering voor alle groepen Verder gelijk
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen Gelijk voor de algemene groep
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen In woning 1.25 en 1.20 gelijk voor de algemene groep In woning 1.24 gelijk
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering In woning 1.24 gelijk
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Gelijk
Het effect van de mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht voor verschillende groepen	Voor de algemene groep is er een verbetering in de brandruimte Voor de (zeer) kwetsbare groepen is er een verbetering in woning 1.20 en 1.25 In de brandruimte is er geen verbetering voor de zeer kwetsbare groep en voor de kwetsbare groep is er een kleine verbetering

De mobiele watermist in combinatie met de rookwerende scheiding geeft een verbetering die vooral merkbaar is in woning 1.25 en 1.20. Voor de zeer kwetsbare groep zijn de tijden in de brandruimte gelijk, en voor de kwetsbare groep is er sprake van een kleine verbetering. Voor de algemene groep is er sprake van een verbetering in de brandruimte.

De concentratie CO in de brandruimte is de eerste 6 minuten redelijk gelijk in vergelijking met de testen van variant 1 (deur dicht) zonder mobiele watermist en rookwerende scheiding. Op dat moment is er voor de zeer kwetsbare groep al sprake van een fatale situatie. Na 6 minuten volgt er een duidelijk onderscheid in de CO-concentratie in de brandruimte in vergelijking met de testen van variant 1 (deur dicht). De piekconcentratie is in de brandruimte bij de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht) 2600 tot 3400 ppm en bij de testen van variant 1 (deur dicht) 7000 tot 21.000 ppm.

In tegenstelling tot de testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open), is er geen toename van de temperatuur of van de CO-concentratie nadat het water uit de mobiele watermist verbruikt is.

5.6 Testen van variant 6 (organische vuurlast en deur open en variant 7 (organische vuurlast en deur dicht)

In deze paragraaf worden de tijden van de testen met organische vuurlast (variant 6 en 7) gepresenteerd. Daarnaast wordt de test van variant 6 (organische vuurlast en deur open) vergeleken met de testen van variant 0 (deur open), en de test van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) met de testen van variant 1 (deur dicht). Op die manier wordt inzichtelijk wat de meerwaarde is van een organische vuurlast ten opzichte van een bank met schuimkunststoffen als brandobject.

Bij de testen met organische vuurlast (variant 6 en 7) is de bank als brandobject vervangen door een brandobject bestaande uit organisch materiaal: een 'crib' van gedroogde vurenhouten latten die een bank moet representeren, gemaakt van materialen bestaand uit cellulose, zoals hout, katoen en wol. De testen met organische vuurlast zijn zowel uitgevoerd met open deur (variant 6; de deur tussen de brandruimte en gang 1.2 wordt na 5 minuten geopend en in maximaal geopende stand gehouden gedurende de eerste 20 minuten) als met dichte deur (variant 7; de deur tussen de brandruimte en gang 1.2 wordt na 5 minuten geopend en na 5,5 minuten weer gesloten tot tenminste $t = 20$ minuten). In tabel 5.15 zijn de relevante gegevens weergegeven van de testen van variant 6 (organische vuurlast en deur open) en variant 1 (deur open), en de testen van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) en variant 0 (deur dicht).

Tabel 5.15 Gegevens van variant 6 en variant 0, variant 7 en variant 1

Variant nr.	Variant naam	Aantal testen	Test nr.	Datum nr.	Brandruimte
0	Deur open	4	1	240619_1	1.21
			3	250619_2	1.19
			5	260619_2	1.19
			17	040719_2	1.19
1	Deur dicht	3	2	250619_1	1.21
			4	260619_1	1.21
			16	040719_1	1.21
6	Organische vuurlast en deur open	1	15	030719_2	1.19
7	Organische vuurlast en deur dicht	1	14	030719_1	1.21

5.6.1 Resultaten van variant 6 (organische vuurlast en deur open) en de vergelijking met variant 0 (deur open)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 6 (organische vuurlast en deur open) als variant 0 (deur open), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.16) en visueel (zie figuur 5.6) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.16 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 6 en variant 0

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
0		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	< 12	< 16	-
		3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-
6		< 12	< 15	< 20	< 6	< 8	< 14	< 10	< 14	-	< 15	< 18	-	-	-	-	-	-	-
		12	15	20	6	8	14	10	14	-	15	18	-	-	-	-	-	-	-
		14	19	-	15	19	-	19	-	-	15	18	-	-	-	-	-	-	-
		17	-	-	17	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.6 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 6 en variant 0

5.6.2 Analyse van variant 6 (organische vuurlast en deur open)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen uit de resultaten van de test van variant 6 (organische vuurlast en deur open) besproken.

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er na ongeveer 14 minuten sprake van een levensbedreigende situatie en na ongeveer 17 minuten van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is er sprake van een levensbedreigende situatie binnen 19 minuten. Voor de kwetsbare groep is er in de eerste 20 minuten geen sprake van een fatale situatie. Er wordt in de brandruimte geen levensbedreigende situatie bereikt voor de algemene groep.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte voor elke groep sprake van een belemmerde ontvluchting na 6 tot 14 minuten, afhankelijk van de groep. Op 0,3 meter hoogte is er voor de zeer kwetsbare groep na 10 minuten sprake van een belemmerde ontvluchting; voor de kwetsbare groep is dit na 14 minuten het geval. Voor de algemene groep is er in de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk op 0,3 meter hoogte in gang 1.2.
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in woning 1.20 en 1.24 is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten. In woning 1.25 is er voor de zeer kwetsbare groep sprake van een levensbedreigende situatie na 15 minuten en een fatale situatie na 17 minuten. Voor de kwetsbare groep is er in woning 1.25 na 19 minuten sprake van een levensbedreigende situatie. Voor de kwetsbare groep is er in de eerste 20 minuten geen sprake van een fatale situatie. Voor de algemene groep is er vanuit woning 1.25 een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten. Van de woningen 1.20, 1.24 en 1.25 zijn de tijden voor overlevingsmogelijkheden het kortst in woning 1.25. Dit komt door de open deur tussen woning 1.25 en gang 1.2.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 en 1.3 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is geen rook gezien.

Niet-overschreden grenswaarden

Ook in gevallen waar de grenswaarden niet worden overschreden binnen de eerste 20 minuten, kunnen deze wel *bijna* worden overschreden. In woning 1.25 is 100 procent van de grenswaarde bereikt voor een fatale situatie voor de kwetsbare groep. Voor de algemene groep is 57 procent van de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie bereikt in woning 1.25. Voor deze groepen zou een verblijf langer dan 20 minuten alsnog tot een levensbedreigende of fatale situatie kunnen leiden.

In de woningen 1.20 en 1.24 is het hoogste percentage 26 procent. Voor deze woningen geldt dat er niet op korte termijn een levensbedreigende situatie ontstaat als personen er langer dan 20 minuten verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen als eerste voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. De warmte zorgt enkele minuten later ook dat de grenswaarde voor een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep overschreden wordt in de brandruimte. Voor de algemene en kwetsbare groep is de warmte niet van invloed op de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte. Maar omdat de temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige

afstand van het brandobject, zou de warmte mogelijk wél bepalend kunnen zijn in de brandruimte in de directe nabijheid van de brand.

In gang 1.2 zorgt de zichtlengte als eerste voor een belemmerde ontvluchting. In gang 1.2 op 1,5 meter hoogte kan de warmte ook dermate hoog oplopen dat deze van invloed kan zijn op het veilig vluchten door de zeer kwetsbare groep. De verstikkende gassen zorgen in gang 1.2 voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende of fatale situatie voor de (zeer) kwetsbare groepen.

Wanneer in de overige woningen de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie overschreden worden, wordt dit veroorzaakt door de verstikkende gassen.

5.6.3 Analyse van de vergelijking van variant 6 met variant 0

In tabel 5.17 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 6 (organische vuurlast en deur open) met variant 0 (deur open).

Tabel 5.17 Vergelijking van variant 6 met variant 0

Onderdeel	Vergelijking met variant 0 (deur open)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Verbetering
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Voor de zeer kwetsbare groep op 1,5 m hoogte gelijk Voor de kwetsbare groep op 1,5 m hoogte lichte verbetering Verder verbetering
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Verbetering
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	Voor de algemene groep in woning 1.24 gelijk en in woning 1.20 lichte verbetering Verder verbetering
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	Verbetering
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Verbetering
Het effect van organische vuurlast en deur open voor de verschillende groepen	Voor alle groepen is een verbetering te zien, ook in de brandruimte

De organische vuurlast laat een grote verbetering van de condities zien voor alle ruimten en voor alle groepen. Zelfs voor de zeer kwetsbare groep is er een grote toename te zien van de tijd waarin er sprake is van een overleefbare situatie in de brandruimte.

De organische vuurlast brandt een stuk trager dan de bank en heeft een lagere branduitbreidingssnelheid. Hierdoor komen er in de eerste 20 minuten minder warmte, verstikkende en irriterende gassen vrij bij de brand. Dit zorgt voor sterk verbeterde vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

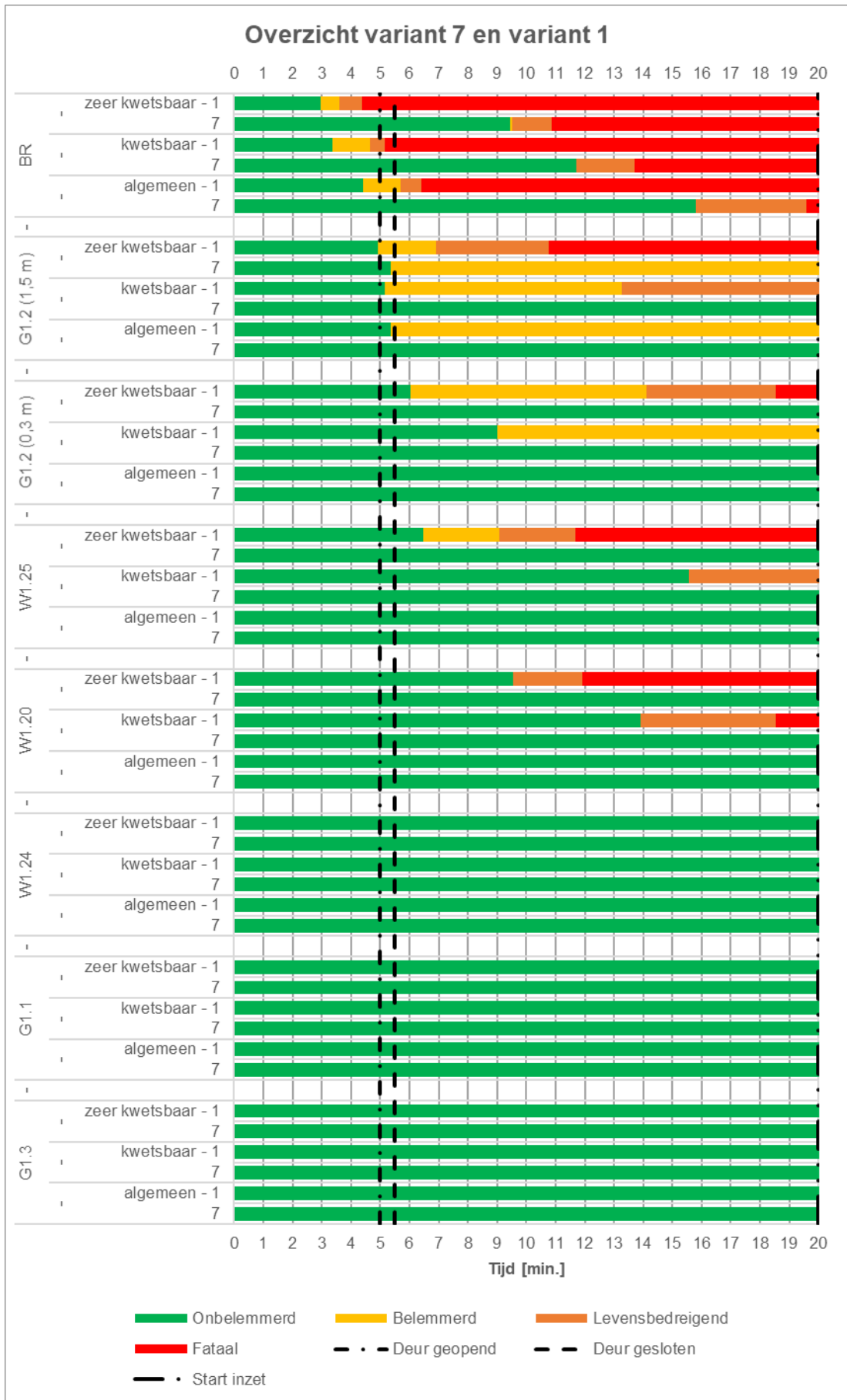
5.6.4 Resultaten van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) en de vergelijking met variant 1 (deur dicht)

Hieronder worden achtereenvolgens de resultaten weergegeven van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor zowel variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) als variant 1 (deur dicht), getalsmatig in een tabel (zie tabel 5.18) en visueel (zie figuur 5.7) met de gestapelde staven per ruimte en per groep. Op deze manier kan snel een vergelijking worden gemaakt tussen de tijden van deze twee varianten.

Tabel 5.18 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van variant 7 en variant 1

		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-
7		< 9	< 12	< 16	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		9	12	16	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	12	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		11	14	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



Figuur 5.7 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van variant 7 en variant 1

5.6.5 Analyse van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht)

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen besproken uit de resultaten van de testen van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht).

- > **Brandruimte:** in de brandruimte is er na ongeveer 10 tot 14 minuten sprake van een levensbedreigende situatie, afhankelijk van de groep. Ongeveer 1 minuut na het ontstaan van een levensbedreigende situatie is er al sprake van een fatale situatie voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare groep is dit na 2 minuten en voor de algemene groep na 4 minuten.
- > **Gang 1.2:** in gang 1.2 is er op 1,5 meter hoogte na 5 minuten sprake van een belemmerde ontvluchting voor de zeer kwetsbare groep. Voor de kwetsbare en algemene groepen is er een vrije ontvluchting mogelijk gedurende de eerste 20 minuten in gang 1,2 op 1,5 meter hoogte. Op 0,3 meter hoogte is er in gang 1.2 voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk in de eerste 20 minuten
- > **Overige woningen eerste verdieping:** in alle overige woningen op de eerste verdieping is er voor alle groepen een vrije ontvluchting mogelijk tijdens de eerste 20 minuten van de test.
- > **Gang 1.1 en 1.3:** in gang 1.1 en 1.3 is gedurende de eerste 20 minuten een vrije ontvluchting mogelijk. In gang 1.1 is in de eerste 20 minuten op camerabeelden alleen lichte rook zichtbaar, en in gang 1.3 is geen rook gezien.
- > **Overige verdiepingen:** op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is geen CO gemeten. Op camerabeelden is geen rook gezien.

Niet-overschreden grenswaarden

In de gevallen waarin de grenswaarden niet zijn overschreden binnen de eerste 20 minuten van de test, zijn deze meestal ook niet *bijna* overschreden. Het hoogste percentage van een grenswaarde dat wordt bereikt, is 45 procent voor een levensbedreigende situatie voor de zeer kwetsbare groep in woning 1.20. Voor de overige woningen op de eerste verdieping geldt dat het aannemelijk is dat er niet op korte termijn een levensbedreigende situatie zou ontstaan als personen langer dan 20 minuten in de woningen zouden verblijven.

Bepalende condities

In de brandruimte zorgen de verstikkende gassen voor het overschrijden van de grenswaarden voor een levensbedreigende en fatale situatie. De warmte is niet van invloed op de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte. Maar omdat de temperatuur en straling zijn gemeten in de hal van de brandruimte op enige afstand van het brandobject, zou de warmte mogelijk wél bepalend kunnen zijn in de brandruimte in de directe nabijheid van de brand.

In gang 1.2 zorgt de zichtlengte voor een belemmerde ontvluchting voor de (zeer) kwetsbare groepen.

5.6.6 Analyse van de vergelijking van variant 7 met variant 1

In tabel 5.19 zijn de resultaten weergegeven van de vergelijking van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht) met variant 1 (deur dicht).

Tabel 5.19 Vergelijking van variant 7 met variant 1

Onderdeel	Vergelijking met variant 1 (deur dicht)
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	Verbetering
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	Gelijk voor de zeer kwetsbare groep Verder verbetering
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	Verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen Gelijk voor de algemene groep
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen In woning 1.25 en 1.20 gelijk voor de algemene groep In woning 1.24 gelijk
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	In woning 1.25 en 1.20 verbetering In woning 1.24 gelijk
Overlevingsmogelijkheden op de overige verdiepingen	Gelijk
Het effect van organische vuurlast en deur dicht voor de verschillende groepen	Voor alle groepen is een verbetering te zien, ook in de brandruimte

De organische vuurlast geeft een grote verbetering, voor alle ruimten en voor alle groepen. Zelfs voor de zeer kwetsbare groep is er een grote toename te zien van de tijd waarin er sprake is van een overleefbare situatie in de brandruimte.

De organische vuurlast brandt een stuk trager dan de bank en heeft daarmee een lagere branduitbreidingssnelheid. Hierdoor komen er in de eerste 20 minuten minder warmte, en verstikken en irriterende gassen vrij bij de brand. Dit zorgt voor sterk verbeterde vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

5.7 Samenvatting van de effecten van de risicobeheersende maatregelen
















Deze paragraaf biedt een samenvatting van de effecten van de verschillende risicobeheersende maatregelen ten opzichte van de testen van variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht). Deze samenvatting wordt gepresenteerd in twee tabellen: één tabel voor de varianten die zijn vergeleken met variant 0 (deur open; zie tabel 5.20) en één voor de varianten die zijn vergeleken met variant 1 (deur dicht; zie tabel 5.21). In de tabellen is aangegeven of er ten opzichte van variant 0 of variant 1 sprake is van een:

- > gelijke situatie (0)
- > lichte verbetering (+)
- > verbetering (++)
- > lichte verslechtering (-).
















De tabellen zijn opgebouwd volgens hetzelfde principe als de tabellen in de vergelijking van één variant met variant 0 of variant 1. In de bovenste rij van de tabel is door middel van het variantnummer aangeduid om welke variant het gaat.

Samengevat zijn de volgende effecten van de verschillende maatregelen ten opzichte van variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht) te zien:

Tabel 5.20 Samenvatting van de vergelijking van variant 1, 2 en 6 met variant 0

Onderdeel	1	2	6
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte	 0	0	++
	 0	+	++
	 0	++	++
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2	 1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = ++
	 1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = +	1,5 m = + 0,3 m = ++
	 1,5 m = + 0,3 m = +	1,5 m = + 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2	 1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = + 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
	 1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
	 1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten	 W1.20 = 0 Rest = ++	++	++
	 ++	++	++
	 W1.24 = 0 W1.20 = + W1.25 = ++	W1.24 = 0 W1.20 = + W1.25 = ++	W1.24 = 0 W1.20 = + W1.25 = ++
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten	 ++	++	++
	 ++	++	++
	 ++	W1.24 = + Rest = ++	++

Tabel 5.21 Samenvatting vergelijking van variant 3, 4, 5 en 7 met variant 1

Onderdeel		3	4	5	7
Overlevingsmogelijkheden in de brandruimte		0	0	0	++
		+	0	0	++
		++	++	0	++
Vluchtmogelijkheid in gang 1.2		1,5 m = 0 0,3 m = ++	1,5 m = 0 0,3 m = ++	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = ++
		1,5 m = 0 0,3 m = ++	1,5 m = 0 0,3 m = ++	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
		1,5 m = ++ 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = 0
Overlevingsmogelijkheden in gang 1.2		1,5 m = ++ 0,3 m = ++	1,5 m = ++ 0,3 m = +	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = ++
		1,5 m = ++ 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = ++ 0,3 m = 0
		1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0	1,5 m = 0 0,3 m = 0
Overlevingsmogelijkheden in de overige woningen op de eerste verdieping tot 20 minuten		W1.24 = 0 Rest = ++	W1.24 = 0 Rest = ++	0 Rest = 0	W1.24 = 0 Rest = ++
		W1.24 = 0 Rest = ++	W1.24 = 0 Rest = ++	W1.25 = - Rest = 0	W1.24 = 0 Rest = ++
		0	0	0	0
Percentage niet-overschreden grenswaarden in de overige woningen op de eerste verdieping op 20 minuten		W1.24 = 0 Rest = ++	W1.24 = 0 Rest = ++	0	W1.24 = 0 Rest = ++
		W1.24 = 0 Rest = ++	W1.24 = 0 Rest = ++	0	W1.24 = 0 Rest = ++
		W1.24 = 0 Rest = ++	W1.24 = 0 Rest = ++	0	W1.24 = 0 Rest = ++

5.8 Overkoepelende analyse van de risicobeheersende maatregelen

In deze paragraaf wordt een algemene analyse van de risicobeheersende maatregelen gegeven. Er wordt omschreven welke maatregelen zorgen voor (de grootste) verbetering van de tijden voor vlucht- of overlevingsmogelijkheden.

De tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden worden eerst gepresenteerd in een tabel (zie tabel 5.22) en vervolgens met de gestapelde staven (zie figuur 5.8 tot en met figuur 5.11). De volgorde van de varianten in de tabel en de gestapelde staven is zo, dat eerst alle verschillende varianten met een open deur worden weergegeven en vervolgens alle varianten met een dichte deur. De volgorde van de varianten is in deze paragraaf als volgt:

- > testen van variant 0 (deur open)
- > testen van variant 2 (mobiele watermist en deur open)
- > test van variant 6 (organische vuurlast en deur open)
- > testen van variant 1 (deur dicht)
- > testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)
- > testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)
- > testen van variant 5 (rookwerende scheiding en deur dicht)
- > test van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht).

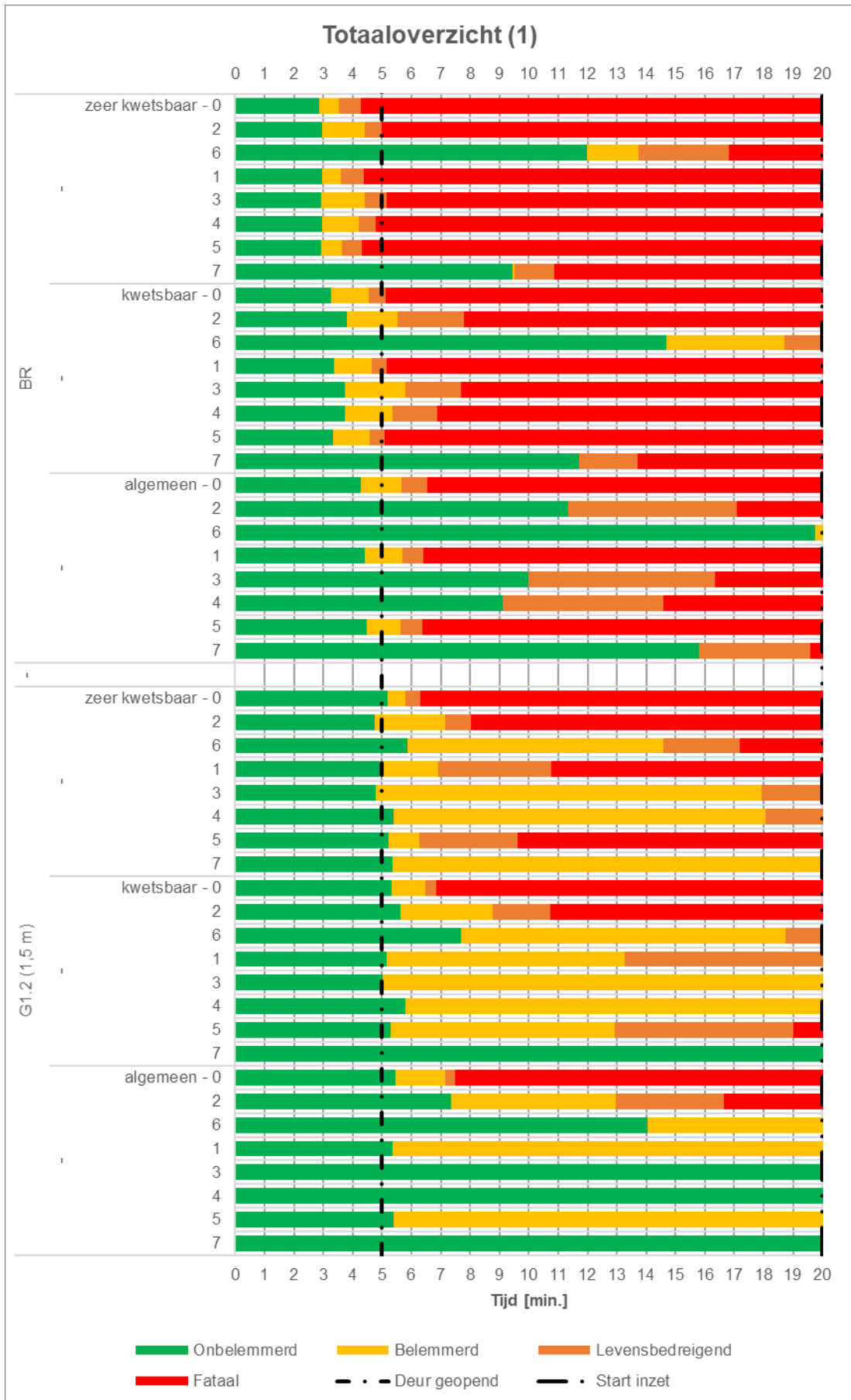
Na de weergave van de tijden wordt besproken in hoeverre de maatregelen effectief zijn voor het verbeteren van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Tabel 5.22 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden (in minuten) van alle varianten

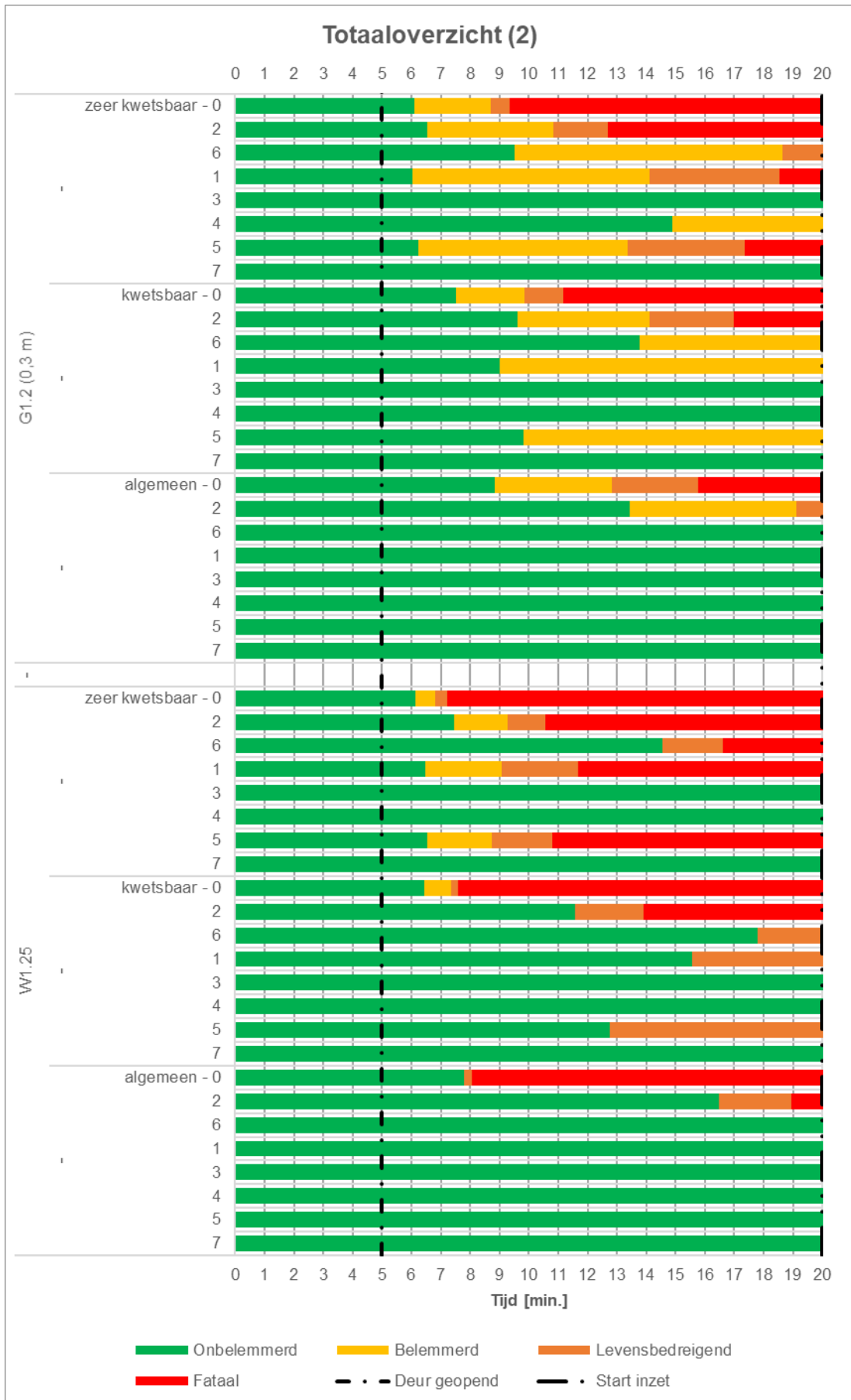
		Brandruimte			Gang 1.2 1,5 m			Gang 1.2 0,3 m			Woning 1.25			Woning 1.20			Woning 1.24		
0		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 8	< 9	< 6	< 6	< 8	< 9	< 12	< 18	< 12	< 16	-
		3	3	4	5	5	5	6	8	9	6	6	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	6	6	6	7	9	10	13	7	7	8	9	12	18	12	16	-
		4	5	7	6	7	7	9	11	16	7	8	8	11	15	-	15	-	-
2		< 3	< 4	< 11	< 5	< 6	< 7	< 7	< 10	< 13	< 7	< 12	< 16	-	-	-	< 16	-	-
		3	4	11	5	6	7	7	10	13	7	12	16	-	-	-	16	-	-
		4	6	11	7	9	13	11	14	19	9	12	16	-	-	-	16	-	-
		5	8	17	8	11	17	13	17	-	11	14	19	-	-	-	19	-	-
6		< 12	< 15	< 20	< 6	< 8	< 14	< 10	< 14	-	< 15	< 18	-	-	-	-	-	-	-
		12	15	20	6	8	14	10	14	-	15	18	-	-	-	-	-	-	-
		14	19	-	15	19	-	19	-	-	15	18	-	-	-	-	-	-	-
		17	-	-	17	-	-	-	-	-	17	-	-	-	-	-	-	-	-

1		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 9	-	< 6	< 16	-	< 10	< 14	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	9	-	6	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	7	13	-	14	-	-	9	16	-	10	14	-	-	-	-
		4	5	6	11	-	-	19	-	-	12	-	-	12	19	-	-	-	-
3		< 3	< 4	< 10	< 5	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	4	10	5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	6	10	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	8	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4		< 3	< 4	< 9	< 5	< 6	-	< 15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		3	4	9	5	6	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		4	5	9	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		5	7	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5		< 3	< 3	< 4	< 5	< 5	< 5	< 6	< 10	-	< 7	< 13	-	< 14	-	-	-	-	-
		3	3	4	5	5	5	6	10	-	7	13	-	14	-	-	-	-	-
		4	5	6	6	13	-	13	-	-	9	13	-	14	-	-	-	-	-
		4	5	6	10	19	-	17	-	-	11	-	-	18	-	-	-	-	-
7		< 9	< 12	< 16	< 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		9	12	16	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		10	12	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		11	14	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

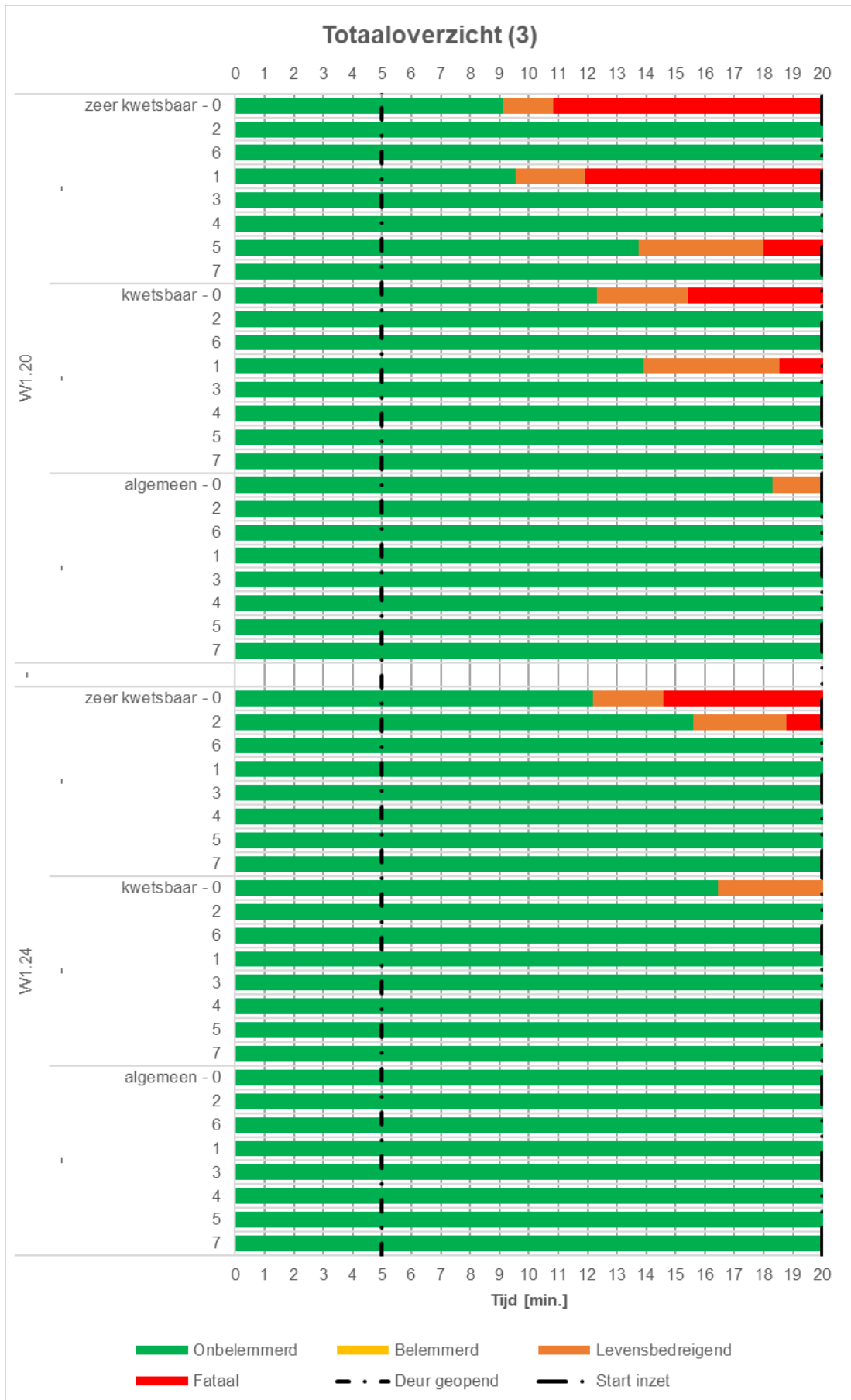
Noot. Waar een – staat in de tabel, betekent dit voor de gele, oranje en rode smiley dat de grenswaarde voor die groep en situatie niet bereikt wordt binnen 20 minuten. Voor de groene smiley betekent – dat er gedurende de eerste 20 minuten een onbelemmerde ontvluchting mogelijk is.



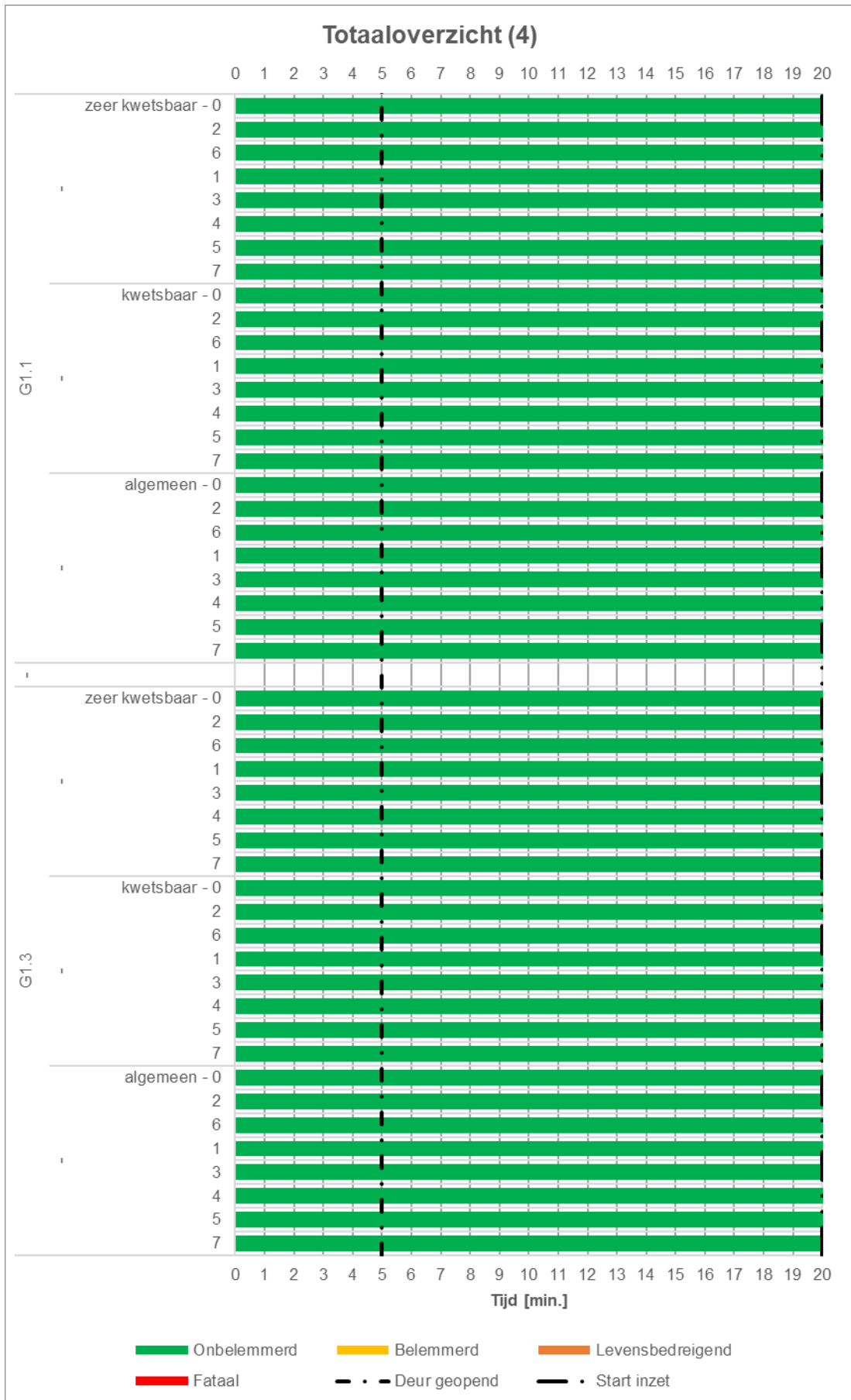
Figuur 5.8 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van alle varianten



Figuur 5.9 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van alle varianten



Figuur 5.10 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van alle varianten



Figuur 5.11 Tijden van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van alle varianten

Op basis van de hierboven gepresenteerde tijden geven de volgende maatregelen de langste beschikbare tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden (gerangschikt van langste beschikbare tijd naar kortste beschikbare tijd):

- > organische vuurlast en deur dicht
- > mobiele watermist en deur dicht / mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht
- > organische vuurlast en deur open
- > mobiele watermist en deur open / deur dicht / rookwerende scheiding en deur dicht.

Deze volgorde is bepaald voor alle groepen en ruimten samen. Voor specifieke groepen of ruimten kan de volgorde anders zijn. De meerwaarde van bepaalde maatregelen voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden wordt hieronder per maatregel toegelicht.

Organische vuurlast

Uit de testen met de organische vuurlast is gebleken dat een brand zich in een dergelijke vuurlast in vergelijking met een brand in de bank minder snel ontwikkelt. De brand neemt minder snel in omvang toe, heeft een lager brandvermogen en produceert daardoor minder rook. Dit leidt tot een grote verbetering van de beschikbare tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden. De testen met de organische vuurlast zijn de enige testen waarbij er in alle ruimten een verbetering optreedt – in vergelijking met de testen van variant 0 (deur open) of variant 1 (deur dicht) – en er ook voor de zeer kwetsbare groep sprake is van een verbetering in de brandruimte zelf.

Het open blijven of sluiten van de deur van de brandruimte heeft bij de organische vuurlast invloed op de effecten van de maatregel. Bij een open deur van de brandruimte verbeteren de overlevingsmogelijkheden in de brandruimte ten opzichte van een gesloten deur; in gang 1.2 en woning 1.25 verslechteren de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij een open deur van de brandruimte. In de overige woningen (met een gesloten voordeur) is de situatie voor alle groepen gedurende meer dan 20 minuten overleefbaar als de deur van de brandruimte openstaat. De organische vuurlast is de enige maatregel met dit effect bij een openstaande deur van de brandruimte. Het effect van de deur van de brandruimte die open blijft staan op de vluchtmogelijkheden in gang 1.2 is bij een brandobject van organische vuurlast een stuk minder groot dan bij een bank als brandobject. Er is in gang 1.2 op 1,5 meter hoogte na ongeveer 6 tot 14 minuten (afhankelijk van de groep) sprake van een belemmerde ontvluchting wanneer de deur van de brandruimte open blijft staan. Na die tijd zijn de vluchtmogelijkheden beperkt vanuit de woningen die aan deze gang zijn gelegen.

Mobiele watermist

Een mobiele watermist geeft in algemene zin een verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. De verbetering is groter wanneer de deur van de brandruimte gesloten blijft, en bovendien groter voor de algemene groep dan voor de (zeer) kwetsbare groepen. Wanneer de deur van de brandruimte open blijft staan, kan er een levensbedreigende of fatale situatie ontstaan in de overige woningen. Wanneer de deur van de brandruimte gesloten wordt, is de situatie voor alle groepen meer dan 20 minuten overleefbaar in de overige woningen. Alleen voor de zeer kwetsbare groep in de woning naast de brandruimte (1.20) is het aannemelijk dat er na 20 minuten een levensbedreigende situatie zal ontstaan.

De mobiele watermist zorgt in de brandruimte voor een lagere concentratie CO. Het effect van de verlaging van de CO-concentratie vindt echter pas plaats nadat er voor de zeer kwetsbare groep een fatale situatie in de brandruimte is ontstaan. Voor de kwetsbare groep is er op dit moment sprake van een levensbedreigende situatie.

In de test met mobiele watermist en de deur open laaide de brand weer op nadat het water van de mobiele watermist verbruikt was (na ongeveer 17 minuten na het ontstaan van de brand). Bij de test met mobiele watermist en de deur dicht gebeurde dit niet.

Mobiele watermist en rookwerende scheiding

Bij de variant met een mobiele watermist en rookwerende scheiding is er (in vergelijking met de variant met mobiele watermist zonder rookwerende scheiding), geen verbetering gezien van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. In de brandruimte is wel gezien dat de drukken flink lager zijn dan bij de testen met een rookwerende scheiding zonder mobiele watermist (maximaal 140 Pa versus maximaal 1000 Pa).

Er is geen test uitgevoerd met mobiele watermist, een rookwerende scheiding en een geopende deur van de brandruimte. Of bij een brandruimte met open deur een rookwerende scheiding in de overige woningen van meerwaarde is voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden aldaar, kan op basis van dit onderzoek daarom niet bepaald worden.

Deur van de brandruimte dicht

Een gesloten deur na de ontvluchting van de brandruimte geeft een verbetering van de tijden voor overlevingsmogelijkheden in de overige, niet aan de brandruimte grenzende, woningen. In de tegenovergelegen woning met dichte deur (1.24) is er sprake van een overleefbare situatie gedurende meer dan 20 minuten. In de naast de brandruimte gelegen woning (1.20) kan echter een levensbedreigende of fatale situatie ontstaan. Voor de algemene groep is dit het geval na 20 minuten en voor de (zeer) kwetsbare groepen binnen die 20 minuten.

Rookwerende scheiding

In de testen met rookwerende scheiding en deur dicht is (in vergelijking met de testen met de deur dicht), geen verbetering gezien van de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Het openen van de deur gedurende 30 seconden voor de ontvluchting van de brandruimte is bepalend voor de rookverspreiding naar de gang. Aandachtspunt bij de rookwerende scheiding is dat de drukken in de brandruimte fors hoger zijn (maximaal 1000 Pa) dan de hoogste druk waarop elementen uit een rookwerende scheiding beproefd worden (50 Pa) volgens de norm voor rookwerende scheidingen (NEN 6075:2020).

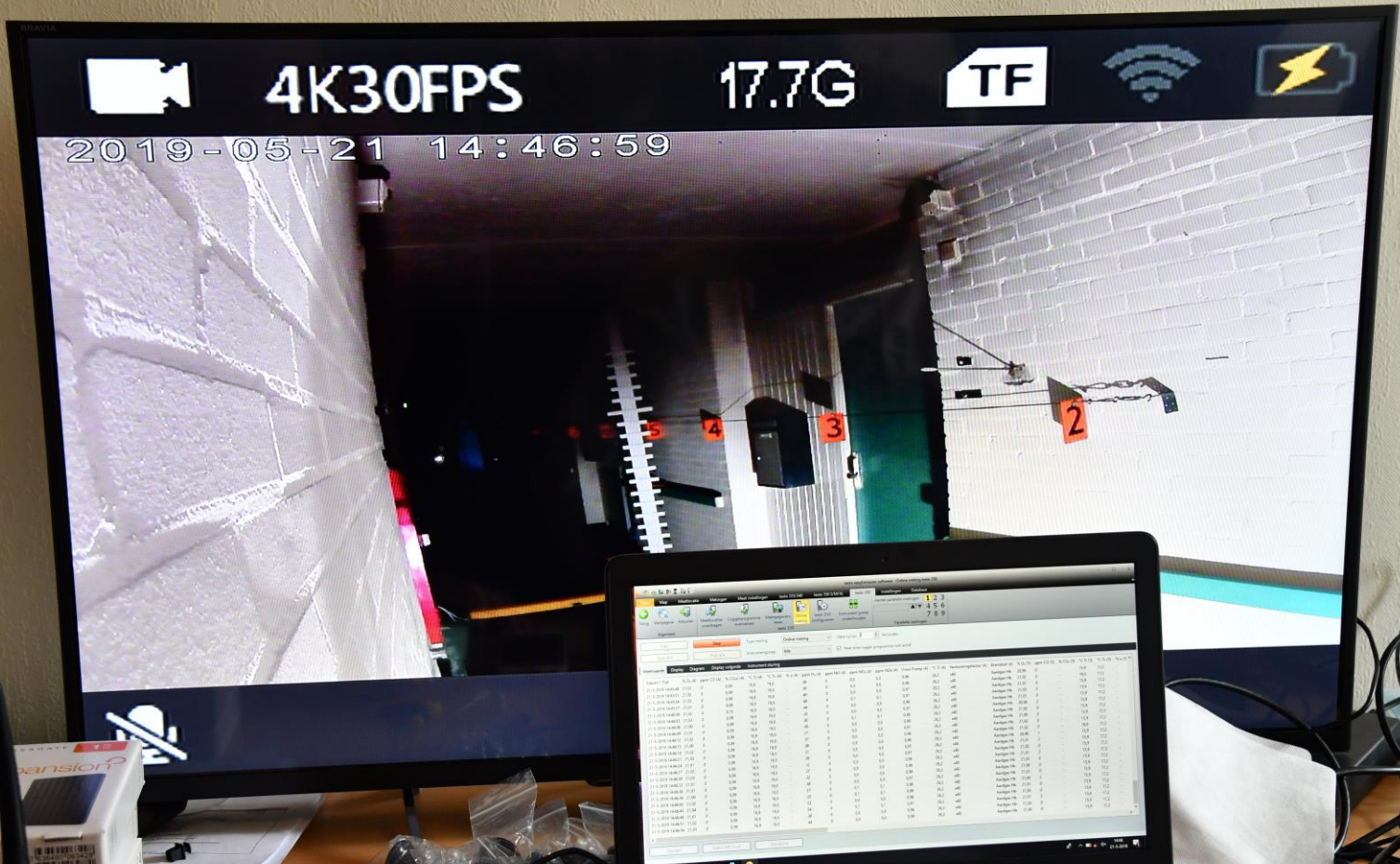
Zoals vermeld, is er geen test met een rookwerende scheiding uitgevoerd met een geopende deur van de brandruimte. Of bij een brandruimte met open deur een rookwerende scheiding in de overige woningen van meerwaarde is voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden aldaar, kan op basis van dit onderzoek daarom niet bepaald worden.

Het effect van de maatregelen voor de verschillende groepen

Niet elke maatregel heeft voor elke groep evenveel effect. Zo geeft de organische vuurlast als maatregel een verbetering voor alle groepen in alle ruimten, terwijl de mobiele watermist als maatregel met een geopende deur van de brandruimte vooral een verbetering laat zien voor de algemene groep. Voor de (zeer) kwetsbare groepen is er geen of slechts een beperkte meerwaarde. Als de deur van de brandruimte na de ontvluchting gesloten wordt,

geeft de mobiele watermist buiten de brandruimte wel een verbetering voor de (zeer) kwetsbare groepen.

De deur dicht als maatregel geeft buiten de brandruimte een verbetering voor alle groepen. Deze verbetering is geringer voor de (zeer) kwetsbare groepen. Alleen in de tegenovergelegen woning met dichte deur (1.24) is voor alle groepen de situatie overleefbaar gedurende meer dan 20 minuten.



6 De inzetactie van de brandweer

6.1 Inleiding

Na aankomst bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen staat de brandweer voor een keuze: moet de prioriteit gelegd worden bij het blussen van de brand of het redden / evacueren van aanwezige personen? Om deze keuze te kunnen maken, is antwoord nodig op de vraag of de in het gebouw aanwezige personen nog langer veilig in hun woningen kunnen verblijven. Het inschatten hiervan blijkt in de praktijk lastig te zijn door een gebrek aan inzicht in de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de diverse ruimten. Anders gezegd: tot waar in het gebouw heeft de rook zich verspreid, hoe schadelijk is dit voor aanwezige personen en welke personen moet de brandweer als eerste evacueren? Tegelijk is het de vraag of en in welke mate de brandweerinzet zélf van invloed is op het beperken en verspreiden van rook en op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen.

Zoals in eerdere hoofdstukken is aangetoond, is de mate van overleefbaarheid afhankelijk van veel factoren die bij iedere brand en bij ieder gebouw verschillend zijn. Op basis van dit inzicht kan gesteld worden dat het voor de brandweer vooral van belang is om te weten in hoeverre een specifieke inzetactie de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor personen verbetert of misschien juist verslechtert. In dit onderzoek zijn twee tactieken getest, namelijk een offensieve en een defensieve tactiek. Bij een offensieve tactiek ligt de prioriteit op het blussen van de brand, bij een defensieve tactiek op het redden / evacueren.

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de invloed van de brandweerinzet op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het gebouw tijdens de inzetfase uit de testen (t = 20 minuten tot t = 55 minuten). De grondslag voor het beoordelen van die invloed vormen de metingen van gasconcentraties, zichtlengte, temperatuur en straling. Op basis daarvan zijn de tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden bepaald. Dit is gebeurd aan de hand van de criteria die zijn weergegeven in paragraaf 1.3.5 en 2.5.2, waarbij onderscheid wordt gemaakt tussen vier situaties (zie tabel 6.1). De tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden zijn op dezelfde wijze bepaald als in hoofdstuk 4 en 5 is gebeurd. Daarnaast wordt op basis van de metingen gekeken naar de kwantitatieve invloed die de brandweerinzet heeft op de condities in de woningen of ruimten. Hiermee worden verbeteringen of verslechtingen in woningen en ruimten inzichtelijk, die aanvullend op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden een beeld geven van de invloed van de brandweerinzet.

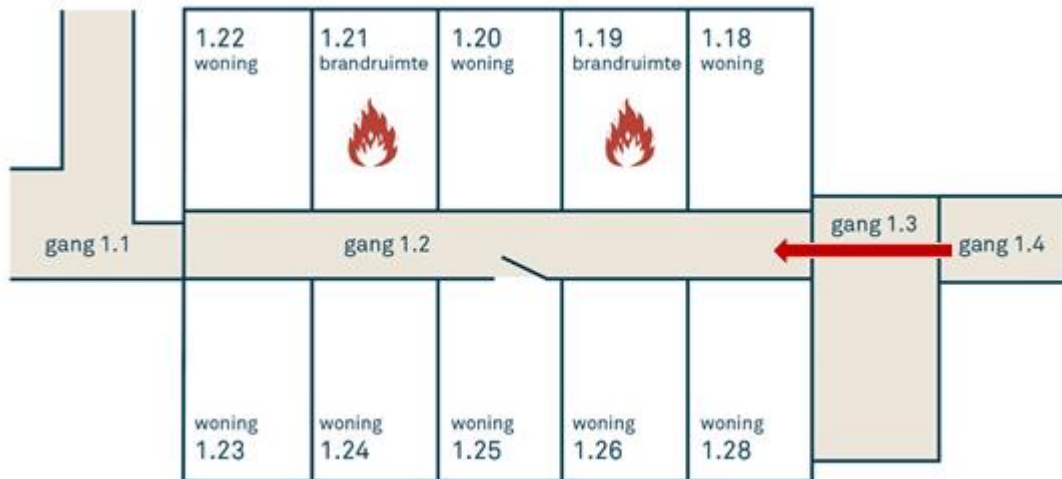
Dit hoofdstuk start met een leeswijzer. Vervolgens komt de rondomverkenning aan bod, waarbij de vraag zal worden beantwoord of het mogelijk is om vanaf buiten de brandruimte aan te wijzen en de mate van rookverspreiding te bepalen. Daarna wordt gekeken of een brandweerinzet een meerwaarde kan bieden ten opzichte van niets doen binnen variant 0 (deur open). In de paragraaf over de noodzaak van redding en evacuatie wordt de noodzaak onderzocht om (fictieve) personen in het woongebouw te evacueren, welke vlucht- en overlevingsmogelijkheden er zijn voor aanwezige personen en of het mogelijk is om deze

personen te evacueren via de gang. Vervolgens wordt gekeken welke inzetactie de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden oplevert in specifieke situaties, oftewel: moet de prioriteit worden gelegd bij redding of blussing? In de paragraaf over de effecten van de acties van de brandweer wordt in detail bekeken wat de invloed is van de brandweerinzet op (verdere) rookverspreiding in het woongebouw. Als laatste worden resterende resultaten besproken zoals naverkenning, zichtbaarheid van rook en lokale verschillen.

6.2 Leeswijzer bij de resultaten

Hieronder staat een legenda die ondersteunend is bij het lezen van de resultaten. In de legenda staat bijvoorbeeld een plattegrond met de ruimtebenamingen die bij het bespreken van de resultaten worden gebruikt.

6.2.1 Legenda



Figuur 6.1 Plattegrond van de eerste verdieping met de aanvalsweg van de brandweer (rode pijl)

Afkortingen ruimten

- > Brandruimte [BR]
- > Woning 1.25 [W1.25], idem voor andere woningen
- > Gang 1.1 [G1.1], idem voor de andere gangen

Varianten

- > Testen van variant 0 (deur open)
- > Testen van variant 1 (deur dicht)
- > Testen van variant 2 (mobiele watermist, deur open)
- > Testen van variant 3 (mobiele watermist, deur dicht)
- > Testen van variant 4 (mobiele watermist en rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Testen van variant 5 (rookwerende scheiding, deur dicht)
- > Test van variant 6 (organische vuurlast, deur open)
- > Test van variant 7 (organische vuurlast, deur dicht)
- > Testen van variant 8 (balkondeur open en deur open, maximale ventilatie)

Symbolen en kleuren in de tabellen met de resultaten voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden

Tabel 6.1 Situatie en kleur in de tabellen

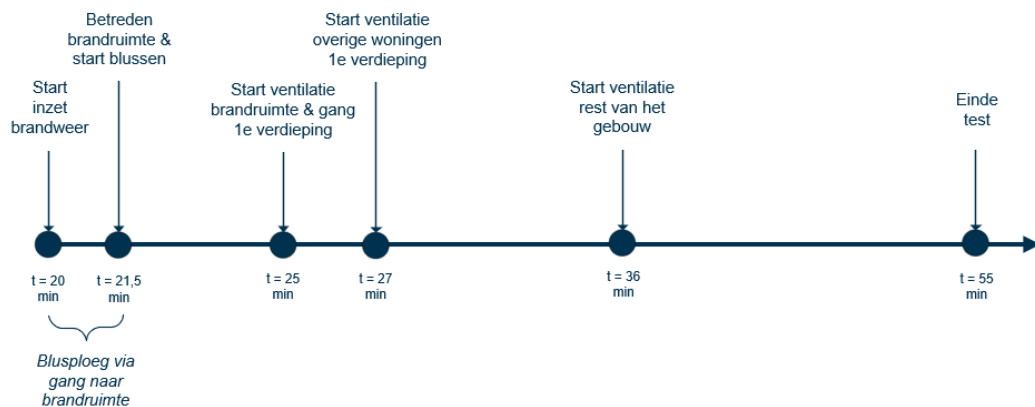
Kleur	Situatie
	Vrije ontvluchting
	Belemmerde ontvluchting
	Levensbedreigende situatie
	Fatale situatie / geen redding meer mogelijk

6.2.2 Tactieken

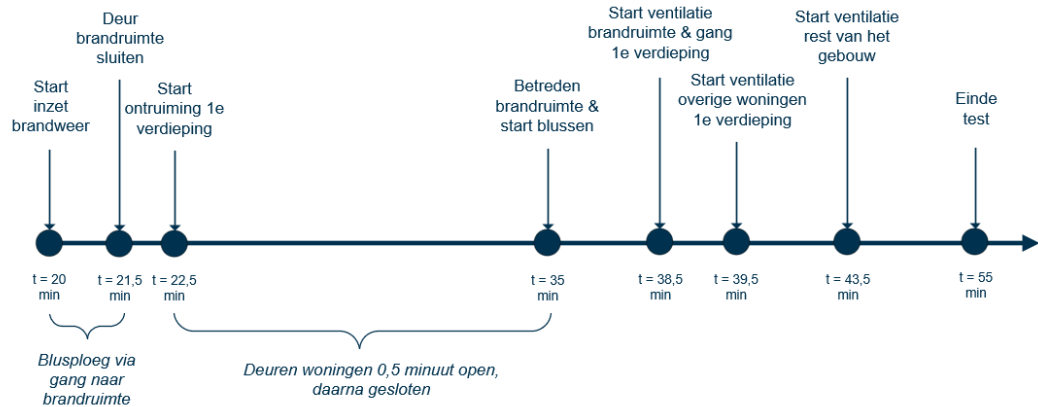
Het bepalen van de meest optimale tactiek gebeurt door een vergelijking te maken tussen twee tactieken: een offensieve en een defensieve tactiek. Bij een offensieve tactiek ligt de prioriteit op het blussen van de brand, bij een defensieve tactiek op het redden / evacueren. De volgorde van de acties tijdens het uitvoeren van deze tactieken is:

- > Offensieve tactiek: prioriteit op blussen.
 1. Vorderen naar de brandruimte, betreden van de brandruimte, blussen van de brand
 2. Ventileren van de gang en brandruimte
 3. Ventileren en ontruimen van de woningen liggend aan de gang
 4. Ventileren van de overige woningen / ruimten op de eerste verdieping
 5. Ventileren van de woningen / ruimten op de begane grond, tweede en derde verdieping.
- > Defensieve tactiek: prioriteit op redding.
 1. Vorderen naar de brandruimte, eventueel sluiten van de deur naar de brandruimte
 2. Ontruimen van de woningen liggend aan de gang
 3. Betreden van de brandruimte, blusacties
 4. Ventileren van de gang en brandruimte
 5. Ventileren van de woningen liggend aan de gang
 6. Ventileren van de overige woningen / ruimten op de eerste verdieping
 7. Ventileren van de woningen / ruimten op de begane grond, tweede en derde verdieping.

Zie voor een globaal tijdsplan bij de offensieve en defensieve (binnen)inzet figuur 6.2 en figuur 6.3. Voor een exacte weergave van de acties tijdens de brandweerinzet wordt verwezen naar hoofdstuk 2 (zie paragraaf 2.4.3).



Figuur 6.2 Overzicht van het tijdsverloop bij de offensieve (binnen)inzet



Figuur 6.3 Overzicht van het tijdsverloop bij de defensieve (binnen)inzet

6.2.3 Toelichting bij de presentatie van de resultaten

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de invloed van de brandweerinzet op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het gebouw. Dit wordt bekeken voor de inzetfase van de testen (t = 20 minuten tot t = 55 minuten). De basis voor deze beoordeling zijn de metingen van gasconcentraties, zichtlengte, temperatuur en straling. De volledige hoeveelheid metingen per sensor en test is te vinden in bijlage 16. Voor het vormen van een oordeel over de vlucht- en overlevingsmogelijkheden is daarnaast gekeken naar het overzicht met de berekende tijden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor de verschillende methoden (FIC, FLD, FED_{in}, FED_{heat}, FEC_{smoke}) per meetlocatie en per test uit bijlage 21.

In de overzichtstabellen met vlucht- en overlevingsmogelijkheden is met kleuren aangegeven welke situatie (vrije ontvluchting, belemmerde ontvluchting, levensbedreigende situatie, fatale situatie) er heerst in een bepaalde woning of ruimte binnen een bepaalde periode tijdens de inzet. De kleuren corresponderen met de situatie conform de legenda. De periodes van inzet zijn te vinden in tabel 6.2.

Tabel 6.2 Tijden van de periodes tijdens een inzet (in minuten na de start van de test)

Periode	Offensief	Defensief
Voor de inzet	20	20
Tijdens de inzet / evacuatie	20 tot 25 blussing	20 tot 35 evacuatie
Na ventilatie / evacuatie	27 tot 55 ventilatie & evacuatie	35 tot 55 blussing & evacuatie

Naast de vlucht- en overlevingsmogelijkheden per ruimte is ook gekeken naar de invloed van de brandweerinzet op de CO-concentraties in verschillende ruimten tijdens de diverse periodes van inzet. Dit is gedaan omdat een verslechtering of verbetering van de CO-concentratie in een ruimte niet zichtbaar is in het al dan niet gepasseerd zijn van grenswaarden. Bijvoorbeeld: in een woning leidt de evacuatie tot een toename van 300 ppm CO, maar niet tot het passeren van een grenswaarde (verslechtering). Of andersom: op de gang is de grenswaarde voor een fatale situatie al gepasseerd, maar zorgt de brandweerinzet voor een verlaging van de CO-concentratie (verbetering). Om de invloed van de brandweerinzet op zowel de vlucht- en overlevingsmogelijkheden als de CO-

concentraties te kunnen beschouwen, zijn deze gezamenlijk in de overzichtstabellen gezet. Hierbij wordt de verslechtering of verbetering van de CO-concentratie alleen in de tabel opgenomen indien sprake is van een minimale verslechtering of verbetering van 10 ppm CO. De exacte veranderingen in CO-concentratie per periode van inzet in de inzetfase zijn terug te vinden in bijlage 16. De veranderingen zijn weergegeven in pijlen, waarbij de situatie verbetert (↑), verslechtert (↓) of gelijk blijft (=) ten opzichte van de periode daarvoor.

Waar in voorgaande hoofdstukken alle groepen (algemeen, kwetsbaar en zeer kwetsbaar) behandeld worden, is in dit hoofdstuk veelal gekozen om enkel de algemene groep te behandelen. Reden hiervoor is dat in veel gevallen voor de (zeer) kwetsbare groepen de grenswaarden voor vrije of belemmerde ontvluchting reeds gepasseerd zijn bij de start van de inzet. Invloeden van de brandweerinzet zijn hierdoor niet meer zichtbaar (als eenmaal de grenswaarde is gepasseerd, dan blijft deze als zodanig geregistreerd staan, óók bij een verbetering waarbij de waarde zakt onder de grens). Bovendien betekent een verbetering (of verslechtering) voor de algemene groep dat de omstandigheden in algemene zin ook voor de (zeer) kwetsbare groepen verbeteren of verslechteren.

6.3 Rondomverkenning

Het lokaliseren van de brandruimte van buitenaf is één van de basisprincipes van brandbestrijding, en is bepalend in de keuze voor het inzetplan van de brandweer. Daarom wordt daaraan in dit hoofdstuk als eerste aandacht besteed. De vraag is of de brandweer van buiten kan bepalen waar de brand zich in het gebouw bevindt.

6.3.1 Resultaten

Tijdens de testen is er een rondomverkenning uitgevoerd op het moment dat de brandweer ter plaatse komt (15 minuten na start test). Er is op basis van zicht en met een warmtebeeldcamera (WBC) beoordeeld of vanaf de buitenkant van het gebouw ergens rook of warmte zichtbaar was. Het doel hiervan was, om te kunnen bepalen waar de brandruimte zich bevond.

Tabel 6.3 geeft een opsomming van de signalen die bij de brandruimte zichtbaar waren op het moment van de rondomverkenning. In de tabel is door middel van 'ja', 'nee' en 'minimaal' de zichtbaarheid van rook- en warmtesignalen aangegeven. Deze hebben de volgende betekenis:

- > Ja: rook of warmte is duidelijk zichtbaar.
- > Minimaal: rook of warmte is (zeer) moeilijk zichtbaar; het afwisselen van afstand en kijkhoeken is essentieel om de rook en warmte te kunnen waarnemen.
- > Nee: er is van buitenaf geen rook of warmte waargenomen.

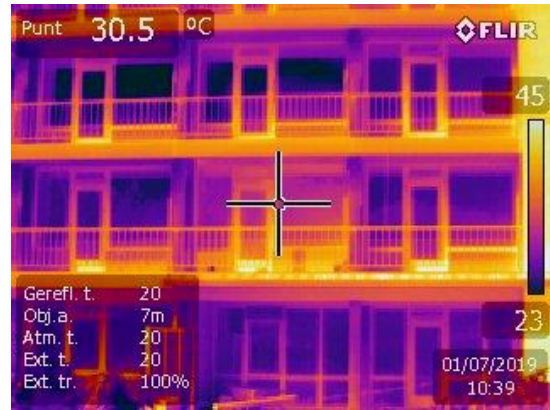
Tabel 6.3 Rondomverkenning op rook- en warmtesignalen bij de brandruimte

Variant nr.	Variant naam	Test nr.	Inzettactiek	Rook	Warmte
0	Deur open	1	Geen	-	-
		17	Geen	-	-
		3	Defensief	Ja	Ja
		5	Offensief	Ja	Ja
1	Deur dicht	2	Offensief	Ja	Minimaal
		16	Offensief	Ja	Minimaal
		4	Defensief	Minimaal	Minimaal
2	Mobiele watermist en deur open	7	Defensief	Minimaal	Minimaal
		9	Offensief	Ja	Ja
3	Mobiele watermist en deur dicht	6	Offensief	Minimaal	Minimaal
		8	Defensief	Minimaal	Minimaal
4	Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht	10	Offensief	Nee	Nee
		11	Defensief	Nee	Minimaal
5	Rookwerende scheiding en deur dicht	12	Offensief	Nee	Minimaal
		13	Defensief	Nee	Minimaal
6	Organische vuurlast en deur open	15	Offensief	Minimaal	Ja
7	Organische vuurlast en deur dicht	14	Defensief	Nee	Nee
8	Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)	18	Offensief	Ja	Ja
		19	Defensief	Ja	Ja

Over het algemeen blijkt dat van buiten minder signalen van rook en brand zichtbaar zijn bij testen met een dichte deur van de brandruimte dan bij testen met een open deur van de brandruimte. Daarnaast blijkt dat aanvullende risicobeheersende maatregelen, als gevolg waarvan de temperatuur in de brandruimte minder hoog oploopt, een negatieve invloed hebben op het van buitenaf kunnen herkennen van de brandruimte. Een voorbeeld hiervan is te zien in figuur 6.5 en figuur 6.4: bij de test zonder aanvullende risicobeheersende maatregelen zijn er meer warmteverschillen zichtbaar.



Figuur 6.5 WBC-beelden van test 4 van variant 1 (deur dicht)



Figuur 6.4 WBC-beelden van test 10 van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)

Opgemerkt moet worden, dat bij geen enkele test van buiten zichtbaar was in welke fase het brandverloop zich bevond, met uitzondering van variant 8 (balkondeur open, maximale ventilatie). Er was bij de diverse woningen (anders dan de brandruimte) wel rook achter de ramen zichtbaar, maar deze werd er niet 'uitgeperst'. Ook was van buiten niet te zien dat op de gang het zicht nihil was. In sommige gevallen was van buitenaf wél te zien dat zich in diverse andere woningen al rook had verspreid, met alle beperkende gevolgen voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van dien. In de meeste gevallen was van buiten echter niet zichtbaar dat er bij aankomst van de brandweer al rookverspreiding had plaatsgevonden naar diverse woningen.

6.3.2 Analyse

Aan de buitenzijde van het gebouw was het vaak maar beperkt mogelijk om de locatie van de brandhaard en de omvang van de rookverspreiding vast te stellen. Afwezigheid van indicatoren aan de buitenzijde van een woongebouw wil echter nooit zomaar zeggen dat er geen sprake kan zijn van een ernstige situatie.

Het blijkt dat het van buitenaf herkennen van de brandruimte op basis van zicht en met behulp van een warmtebeeldcamera veelal wel mogelijk is, maar niet zo simpel als gedacht. Hoe kleiner de brand, hoe minder goed er een warmteverschil zichtbaar zal zijn. Daarnaast zal een gesloten gevel en lekdicht bouwen ook invloed hebben op het brandvermogen en daarmee op de geproduceerde warmte (minder zuurstof = een lagere temperatuur). Het lekdicht zijn van een gebouw heeft verder ook invloed op hoe goed er van buitenaf rook zichtbaar is.

Een rondomverkenning vraagt concentratie en het gebruiken van verschillende afstanden en kijkhoeken. Zo wordt de kans vergroot op het zien van de vaak minimale indicatoren. Risicobeheersende maatregelen en een gesloten deur van de brandruimte zorgen daarnaast voor nog minder warmteproductie en/of rook die naar buiten wordt geperst.

6.4 Wel of niet inzetten?

In deze paragraaf wordt beoordeeld welke vlucht- en overlevingsmogelijkheden er zijn voor personen in het woongebouw op het moment dat de brandweer aankomt, en of en in welke mate een brandweerinzet een bijdrage kan leveren aan het verbeteren van de heersende vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de verschillende woningen en ruimten, en op de verdiepingen. Simpel gezegd: is een brandweerinzet van meerwaarde voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden?

6.4.1 Resultaten

De testen van variant 0 (deur open) zijn zowel met als zonder brandweerinzet uitgevoerd. Deze testen kunnen daarom gebruikt worden om te beoordelen wat het verschil is tussen het wel of niet uitvoeren van de brandweerinzet. Er zijn geen testen zonder brandweerinzet uitgevoerd in variant 1 (deur dicht); daarom is het maken van een vergelijking tussen wel of niet inzetten met een dichte deur niet mogelijk.

Hieronder wordt eerst een tabel weergegeven met daarin de overlevingsmogelijkheden in de verschillende ruimten per periode van de brandweerinzet (tabel 6.4). Op basis hiervan kan vastgesteld worden of er nog sprake is van een overleefbare situatie in de woningen op het moment dat de brandweer arriveert en wanneer de brandweer overgaat tot evacuatie. Er kan beoordeeld worden of er sprake is van een belemmerde ontvluchting op de gangen op de eerste verdieping. In de tabel staat voor de testen zonder brandweerinzet ook aangegeven wat de situatie is aan het einde van de test (t = 55 minuten). Op die manier kan beoordeeld worden welke verandering in een bepaalde situatie optreedt wanneer er geen brandweerinzet plaatsvindt. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten en de bijbehorende grafieken zijn te vinden in bijlage 21 en 25.

Tabel 6.4 Situatie met wel / geen brandweerinzet (algemene groep) per periode van inzet

Var. nr.	Test nr.	Tactiek	Periode	BR	G1.2	W1.25	W1.20	W1.24	G1.1	G1.3
0	1	Geen	Voor inzet	Red	Red	Red	Red	Orange	Green	Green
			Einde test	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green
	17	Geen	Voor inzet	Red	Red	Red	Orange	Green	Green	Green
			Einde test	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green
0	3	Defensief	Voor inzet	Red	Red	Red	Red	Green	Green	Green
			Tijdens evacuatie	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Green
			Na evacuatie	Red	Red	Red	Red	Red	Green	Orange
	5	Offensief	Voor inzet	Red	Red	Red	Green	Green	Green	Green
			Tijdens inzet	Red	Red	Red	Orange	Orange	Green	Green
			Na ventilatie	Red	Red	Red	Red	Red	Orange	Orange

Overige verdiepingen

In tabel 6.5 is de gemeten CO-concentratie bij de start van de inzet en de maximaal gemeten CO-concentratie tijdens de inzetfase weergegeven. Deze concentraties geven inzicht in de invloed van de brandweerinzet op de verspreiding van CO naar de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. In paragraaf 6.7 wordt hier uitgebreider op ingegaan.

Tabel 6.5 CO-concentratie (ppm) op de begane grond, de tweede en de derde verdieping bij de start van de inzet (t = 20 minuten) en de maximale CO-concentratie tijdens de inzetfase (t = 20 minuten tot t = 55 minuten)

Ruimte (sensor)	Test 1 [ppm]		Test 17 [ppm]		Test 3 [ppm]		Test 5 [ppm]	
	Geen inzet		Geen inzet		Defensief		Offensief	
	Start	Max.	Start	Max.	Start	Max.	Start	Max.
G0.1 (G17)	0	0	0	0	0	75	0	0
G0.2 (G18)	215	255	0	0	0	220	0	0
W2.19 / 2.21 (G9)	0	20	0	10	0	300	0	0
W2.24 (G10)	0	20	0	0	0	0	0	0
G2.2 (G11)	90	140	0	0	40	185	0	0
G2.2 (G12)	25	75	0	20	0	125	0	10
W3.19 / 3.21 (G13)	0	0	0	15	30	155	0	10
W3.24 (G14)	0	0	0	0	0	0	0	25
G3.2 (G15)	25	35	0	25	65	145	0	0
G3.2 (G16)	30	35	0	15	30	80	0	0

6.4.2 Analyse

Wanneer de deur van de brandruimte openstaat, zorgt een offensieve inzetactie (eerst blussen daarna redden) voor verbeterde condities in de woningen en gangdelen ten opzichte van de condities in de testen zonder brandweerinzet. Het kiezen voor een defensieve inzetactie (eerst redden daarna blussen) zorgt bij een brandruimte met geopende deur in sommige ruimten voor een verslechtering van de situatie ten opzichte van 'niets doen' (geen brandweerinzet).

In de testen zonder brandweerinzet verslechtert de situatie in de verschillende ruimten ook naarmate de tijd vordert. In test 17 (zonder brandweerinzet) is in woning 1.24 na 20 minuten bijvoorbeeld nog een vrije ontvluchting mogelijk, terwijl er aan het einde van de test sprake is van een fatale situatie.

In de praktijk is het echter zo, dat vanaf buiten niet te zien is of de deur naar de brandruimte openstaat. Hierdoor is een inzet noodzakelijk: er moet worden verkend wat de situatie binnen is. Inzetten is uiteindelijk altijd beter dan niets doen, ook al kan op sommige plekken een kortdurende verslechtering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden het gevolg zijn.

6.5 De noodzaak van redding en evacuatie

In deze paragraaf wordt gekeken naar de situatie in het woongebouw tijdens de brandweerinzet, zowel bij de start daarvan als tijdens de acties die worden uitgevoerd. Op basis hiervan kan worden beoordeeld of redding en/of evacuatie door de brandweer bij de start van de inzet en tijdens de inzet noodzakelijk zijn. Verder wordt beoordeeld of redding via gang 1.2 een realistische optie is.

6.5.1 Resultaten: temperatuur, straling en zichtlengte

Temperatuur

Kijkend naar de begane grond, de tweede en de derde verdieping tijdens de inzetfase, blijkt dat bij geen enkele test en in geen enkele ruimte een relevante temperatuursverandering is gemeten. Met relevant wordt bedoeld: van invloed op vlucht- en overlevingsmogelijkheden of op de brandweerinzet. Ditzelfde geldt voor de ventilatiekanalen; bij de ventilatiekanalen op de begane grond, de tweede en de derde verdieping zijn tijdens de inzetfase geen relevante temperatuursveranderingen gemeten. De grafieken van de temperatuurmetingen per positie zijn te vinden in bijlage 26.

Vervolgens zijn alle temperaturen op de eerste verdieping per meetpositie bekeken op de meethoogtes 2,40 meter en 1,50 meter (zie bijlage 27). Hierbij is de brandruimte buiten beschouwing gelaten, omdat gekeken wordt naar vlucht- en overlevingsmogelijkheden *buiten* deze woning. In de woningen met gesloten deuren worden geen relevante temperatuursveranderingen gemeten. In gang 1.2 en woning 1.25 worden tijdens de inzetfase op twee momenten relevante temperatuurstijgingen waargenomen. Dit betreft beide testen met een mobiele watermist van variant 2 (mobiele watermist en deur open) waarbij de temperatuur stijgt tot maximaal 100 tot 190 °C. Het sluiten van de deur van de brandruimte of de blussing zorgen voor een snelle afname van de temperatuur in gang 1.2 en in woning 1.25. Bij de overige testen met de deur open zijn ook verhoogde temperaturen gemeten op de gang en in woning 1.25; deze nemen echter snel af na het sluiten van de deur naar de brandruimte of na blussing. Op gang 1.1 en 1.3 worden bij geen enkele test relevante temperatuursveranderingen gemeten.

Stralingsenergie

Op de eerste verdieping is de stralingsenergie gemeten conform de meetopstelling beschreven in hoofdstuk 2 (zie paragraaf 2.4.5). De grafieken van alle stralingsmetingen per positie zijn te vinden in bijlage 28. Er is tijdens de inzetfase (buiten de brandruimte) bij geen enkele test en in geen enkele ruimte een relevante stralingsintensiteit gemeten die gevaar oplevert voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden of voor de brandweerinzet ($>2 \text{ kW/m}^2$).

Zichtlengte op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping

Hoofdstuk 3 heeft laten zien dat er rook is waargenomen op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping, zowel voor als tijdens de inzetfase. Uit de resultaten van hoofdstuk 3 blijkt echter dat op deze verdiepingen op geen enkel moment tijdens de inzetfase de zichtlengte belemmerd is door rook. Beperkte zichtlengte vormt dus geen belemmering voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op deze verdiepingen.

6.5.2 Resultaten: situatie per groep bij aankomst van de brandweer

Om te kunnen bepalen voor welke groep en in welke gevallen een redding noodzakelijk is, moet vastgesteld worden of er grenswaarden gepasseerd zijn bij de start van de inzet. Hiervoor is geclusterd op het verschil tussen testen met de deur open en de deur dicht. De resultaten corresponderen met de resultaten uit hoofdstuk 5. De tabellen zijn te vinden in bijlage 29.

Uit de tabellen in bijlage 29 blijkt dat er in veel gevallen voor de (zeer) kwetsbare groepen in de woningen aan gang 1.2 sprake is van een levensbedreigende of fatale situatie. Het is bij geen enkele test voor de (zeer) kwetsbare groepen mogelijk om onbelemmerd te vluchten via gang 1.2 bij de start van de inzetfase, met uitzondering van de test van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht). Het vluchten wordt belemmerd door het gebrek aan zichtlengte of de aanwezige concentratie van irriterende en verstikkende gassen. Voor de (zeer) kwetsbare groepen is in veel gevallen in gang 1.2 de grenswaarde voor een fatale situatie al gepasseerd bij de start van de inzet. Alleen bij de volgende testen is voor (zeer) kwetsbare groepen de grenswaarde voor een fatale situatie in gang 1.2 nog niet gepasseerd:

- > test 2 en 16 van variant 1 (deur dicht), alleen voor de kwetsbare groep
- > de testen van variant 3 (mobiele watermist en deur dicht)
- > de testen van variant 4 (mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht)
- > de test van variant 7 (organische vuurlast en deur dicht)
- > de test van variant 6 (organische vuurlast en deur open), alleen voor de kwetsbare groep.

Voor de algemene groep blijkt dat er bij de start van de inzet vaker sprake is van onbelemmerde vlucht- of overlevingsmogelijkheden dan voor de (zeer) kwetsbare groepen. Een algemeenheid hierbij is: als de deur van de brandruimte gesloten is, kan de algemene groep nog (belemmerd) vluchten / geëvacueerd worden over gang 1.2. Wanneer de deur van de brandruimte gesloten is en er sprake is van de volgende risicobeheersende maatregelen: een mobiele watermist, een mobiele watermist en rookwerende scheiding of een organische vuurlast, dan is er nog een vrije ontvluchting mogelijk. Wanneer de deur van de brandruimte open is, kan door de algemene groep alleen bij een organische vuurlast nog over de gang gevlucht worden. In alle andere gevallen is sprake van een fatale situatie en is gang 1.2 ook voor de algemene groep niet bruikbaar als vlucht- of evacuatieroute.

De concentraties CO in de woningen aan gang 1.2 bij de start van de inzet zijn vergelijkbaar met de resultaten voor gang 1.2: de hoeveelheid aanwezige rook is vaak bepalend (alhoewel er uitzonderingen zijn), en de CO-concentraties in de woningen lopen sterk uiteen. Belangrijk hierbij is dat ook in woningen met dichte deuren (1.20 en 1.24) bij diverse testen (hoge) concentraties CO aanwezig zijn. In woning 1.24 liggen de waarden bij start van de inzet tussen 15 en 4000 ppm, en in woning 1.20 tijdens alle testen tussen 30 en 7000 ppm.

6.5.3 Resultaten: noodzaak en mogelijkheid tot redding en evacuatie

De vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de diverse woningen en ruimten zijn afgezet tegen de verschillende periodes van de inzet. Hierbij wordt gekeken of in een bepaalde periode in de betreffende ruimte de grenswaarde voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden gepasseerd wordt. Hiermee kan worden vastgesteld in welke periode van het (gesimuleerde) incident een redding of evacuatie noodzakelijk en/of mogelijk is.

Naast het passeren van de grenswaarden per ruimte is ook gekeken naar de invloed van de brandweerinzet op de CO-concentraties in verschillende ruimten gedurende de inzetfase. Dit is gedaan omdat een verslechtering of verbetering van de CO-concentratie in een ruimte niet zichtbaar is na het passeren van grenswaarden. De situatie voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden en veranderingen in CO-concentratie staan in tabel 6.6.

Tabel 6.6 Situatie voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden per periode van inzet (algemene groep) en CO-concentratie (verbetering (↑), verslechtering (↓) of gelijke situatie (=)) ten opzichte van de periode ervoor

Var. nr.	Test nr.	Tactiek	Periode	BR	G1.2	W1.25	W1.20	W1.24	G1.1	G1.3
0	1	Geen inzet	Voor inzet							
			Tijdens inzet / evacuatie							
			Na ventilatie / evacuatie							
	17	Geen inzet	Voor inzet							
			Tijdens inzet / evacuatie							
			Na ventilatie / evacuatie							
0	3	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	↓	=	=	↓	↓	↓	↓
			Na evacuatie	=	=	=	↓	↓	↓	=
	5	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓
1	2	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	↓	=	↓	↓	↓
	4	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na evacuatie	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	16	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓
2	7	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓
			Na evacuatie	↑	↓	=	↑	↑	↓	↓
	9	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	=	↓	↓	=	=	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	=	↓	↓	↓	↓
3	6	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓
	8	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na evacuatie	↑	↓	=	=	↑	↓	=

4	10	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	↑	↑	↑	↓	=
	11	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	=	=	=	=	=	=
			Na evacuatie	↑	↓	=	↓	=	↓	=
5	12	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	=	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	=	=	↓	↓	↓
	13	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	=	↓	=	=	↓	=
			Na evacuatie	↑	↓	=	↓	↓	↓	=
6	15	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↓	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	=	=	↓	↓	↓
7	14	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	↓	=	↓	=	=	=
			Na evacuatie	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓
8	18	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	=	=	=	↓	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	=	↑	↑	↓	=
	19	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	=	↓	↓	↓	↓	↓
			Na evacuatie	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↑

Overige verdiepingen

Voor de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping geldt dat er voor de algemene en kwetsbare groep een vrije ontvluchting mogelijk is gedurende de inzetfase. Voor de zeer kwetsbare groep is er in twee testen sprake van overschrijdingen, namelijk twee keer bij een test van variant 0 (deur open): test 1 zonder brandweerinzet en test 3 met een defensieve inzetactie. Deze overschrijdingen zijn te vinden in tabel 6.7 en in bijlage 21. In deze tabel zijn tevens de tijden waarop de grenswaarde wordt overschreden in minuten na de start van de test (t = 0 minuten) opgenomen. Bij de overige testen is geen overschrijding van een situatie gemeten.

Tabel 6.7 Situatie op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping voor de zeer kwetsbare groep (grenswaarden en minuten na de start van de test wanneer de grenswaarde wordt overschreden)

Test	G0.1	G0.2	W2.19 / 2.21	W2.24	G2.2 (G11)	G2.2 (G12)	W3.19 / 3.21	W3.24	G3.2 (G15)	G3.2 (G16)
1		49			40					
3			52		46	53	46		37	

Ook zonder overschrijding van een grenswaarde kan rookverspreiding echter een reden zijn voor de brandweer om het gebouw (deels) te ontruimen of voor personen om zelfstandig te vluchten. De tijdens de testen gemeten CO-concentratie in het gebouw is veelal een goede graadmeter voor de mate van rookverspreiding. De gemeten maximale CO-concentratie in

de verschillende ruimten is per test te vinden in bijlage 16. De maximaal gemeten concentraties CO geven inzicht in de mate van rookverspreiding in het woongebouw en de mogelijke noodzaak tot evacuatie tijdens de inzetfase.

6.5.4 Analyse van de noodzaak en mogelijkheid tot redding en evacuatie bij de start van de inzet

Bij aankomst van de brandweer is er in alle gevallen sprake van horizontale rookverspreiding op de eerste verdieping. Daarnaast is er in twee testen sprake van verticale rookverspreiding naar overige verdiepingen bij de start van de inzet. De mate waarin er in het algemeen sprake is van rookverspreiding wordt veelal bepaald door de stand van de deur (open of gesloten) van de brandruimte.

Het is op de eerste verdieping veelal niet mogelijk om te vluchten over de gang die direct aan de brandruimte grenst (gang 1.2). Slechts in een aantal gevallen is er nog een mogelijkheid tot vrije ontluchting over gang 1.2 bij de start van de brandweerinzet. Aanwezige personen in de woningen grenzend aan gang 1.2 zouden daardoor aangewezen zijn op redding door de brandweer.

In de woningen – ook die met gesloten deur – die aan gang 1.2 zijn gelegen, blijkt in het grootste deel van de testen sprake te zijn van CO. De concentratie daarvan loopt niet gelijk op met de mate van zichtbare rookverspreiding. De aanwezigheid van zichtbare rook geeft daardoor niet altijd een betrouwbare indicatie voor de mate waarin personen gevaar lopen; de CO-concentratie is daarom een betere indicator voor rookverspreiding. In veel gevallen is er in gang 1.2 bij de start van de brandweerinzet een hogere concentratie CO gemeten dan in de woningen met een dichte deur die aan gang 1.2 zijn gelegen. De concentratie verstikkende en irriterende gassen in de gang is in veel testen zo hoog dat een evacuatie van onbeschermden personen tot (ernstige) gezondheidsklachten zou leiden.

Op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping is er bij de start van de inzet geen belemmering van zicht geconstateerd en is er slechts in twee testen een lage CO-concentratie gemeten op één of meerdere verdiepingen. Gezien de situatie bij de start van de inzetfase ligt de prioriteit op een inzet op de eerste verdieping, met name op de woningen die net als de brandruimte aan gang 1.2 liggen.

6.5.5 Analyse van de noodzaak en mogelijkheid tot redding tijdens de inzet

De belangrijkste bevindingen met betrekking tot de noodzaak en de mogelijkheid tot redden tijdens de inzet staan hieronder beschreven.

Woningen in de nabijheid van de brandruimte

Op basis van de resultaten kan worden vastgesteld dat het in alle testen nodig is om de woningen te ontruimen die liggen aan gang 1.2 (waar de brandruimte aan grenst). Dit wordt enerzijds veroorzaakt doordat er vóór de start van de inzet vaak al sprake is van rookverspreiding naar deze woningen. Anderzijds zorgt mogelijk het handelen van de brandweer middels alle toegepaste tactieken voor aanvullende rookverspreiding naar deze woningen. Een verblijf aldaar kan daarmee schadelijk zijn voor de gezondheid en kan, in het bijzonder voor (zeer) kwetsbare groepen, fataal zijn.

Evacuatie over de gang

Een logische vervolgvraag is, of in deze woningen aanwezige personen nog veilig kunnen worden geëvacueerd over de gang. Bij de testen met een open deur naar de brandruimte zou dit niet mogelijk zijn voor onbeschermden personen, maar bij een aantal testen met een dichte deur zou dit theoretisch wel kunnen voor mensen die horen tot de algemene groep; dit geldt echter niet voor de (zeer) kwetsbare groepen.

Hierbij dient opgemerkt te worden dat het onderscheid tussen veilig / niet veilig op basis van meetdata uit praktijkexperimenten eenvoudig is vast te stellen. Tijdens een daadwerkelijk incident is de concentratie CO in de gang echter niet meteen exact bekend. Zonder meting is niet vast te stellen of de gang voldoende veilig is, en daarnaast is ook niet altijd inzichtelijk of een persoon in de algemene of kwetsbare groep valt. De vraag is daarom in hoeverre het theoretisch goed te bepalen onderscheid tussen veilig en niet veilig in de praktijk werkbaar is.

Evacuatie uit de overige woningen in het gebouw

De gangdelen (1.1 en 1.3) die direct grenzen aan gang 1.2 en de woningen die aan diezelfde gang liggen worden, afhankelijk van de hoeveelheid rook bij de start van de inzet en de aanvullende rookverspreiding veroorzaakt door de brandweerinzet, in meer of mindere mate bedreigd. Hoofdstuk 3 heeft laten zien dat rookverspreiding soms onvoorspelbaar is. De mate van rookverspreiding is zeker voor de brandweer moeilijk in te schatten, omdat zij moet optreden onder tijdsdruk, slechts beperkte kennis heeft van het gebouw en het gebruik hiervan en van de situatie die zich voordoet tijdens het incident. De brandweerinzet maakt de rookverspreiding vervolgens nog onvoorspelbaarder, doordat de stroming in het gebouw wordt beïnvloed door loopbewegingen en het openen van deuren. Alleen een verkenning op basis van zicht en een goede meting op (onzichtbare) gassen kan objectieve zekerheid bieden, maar dit kost tijd. Een praktische aanpak lijkt om als eerste uitgangspunt te nemen dat ten minste de gangdelen die direct grenzen aan gang 1.2, inclusief de aanliggende woningen, preventief ontruimd zouden moeten worden, gezien de geringe kans op rookverspreiding (en dus ook op verstikkende gassen) naar deze gangdelen en woningen.

Een andere vraag is of woningen gelegen boven en onder de eerste verdieping zouden moeten worden ontruimd. Bij de start van de inzet is er slechts in een aantal gevallen sprake van rook op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. Over de gehele inzetfase kan worden opgemerkt dat in veel testen aandacht voor de woningen op deze verdiepingen nodig zou zijn vanwege de concentraties CO die daar worden gemeten. Verspreiding van CO naar deze verdiepingen komt tijdens de inzetfase voor bij alle inzetacties en zowel bij testen met een open als gesloten deur van de brandruimte en in verschillende gradaties van intensiteit (van verwaarloosbaar tot en met serieuze risico's voor de gezondheid). Ook is te zien dat het zeer onvoorspelbaar is op welke verdieping en in welke ruimte er zichtbare rook of CO aanwezig is. De 'kubusgedachte'³⁵ moet hierbij worden losgelaten; rook(gassen) slaan in diverse gevallen een verdieping over, of bevinden zich op een onverwachte plaats elders in het gebouw.

In alle gevallen zal de brandweer op alle verdiepingen en in alle woningen van het gebouw(deel) moeten meten en verkennen om te weten óf en in welke mate er sprake is van rookverspreiding en of het betreffende gebouw(deel) moet worden ontruimd.

³⁵ De kubusgedachte gaat ervan uit dat een brand zich via alle zijden van een kubus (ruimte) kan uitbreiden.

Ondersteuning van overige hulpverleners bij evacuatie

Zowel voorafgaand als tijdens de brandweerinzet verspreidt rook zich verticaal en onvoorspelbaar naar overige verdiepingen. Vaak wordt bij de evacuatie van woongebouwen gebruikgemaakt van de politie of van andere hulpverleners die personen naar buiten begeleiden. Uit deze praktijkexperimenten blijkt dat voorafgaand en tijdens de brandweerinzet bepaalde concentraties CO op de overige verdiepingen aanwezig kunnen zijn en dat de locaties daarvan niet voorspeld kunnen worden. De concentraties zijn dusdanig dat dit problemen op kan leveren voor onbeschermd hulpverleners.

6.6 Eerst redden of blussen?

Om te bepalen welke inzetactiek de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden biedt, is een vergelijking gemaakt tussen de offensieve en defensieve inzetactiek. Dit is gedaan voor de meest voorkomende situaties in de praktijk (variant 0: deur open en variant 1: deur dicht) zonder (aanvullende) risicobeheersende maatregelen. In deze paragraaf worden eerst de resultaten van de vergelijking tussen deze twee varianten weergegeven. Vervolgens wordt er een analyse uitgevoerd om vast te stellen wat het effect is van de twee inzetactieken (offensief / defensief) op de overlevingsmogelijkheden in de woningen en op de vlucht- / overlevingsmogelijkheden in de gangen.

6.6.1 Resultaten van variant 0 (deur open)

De testen van variant 0 (deur open) zijn zowel met een offensieve als een defensieve inzetactiek uitgevoerd. Deze testen kunnen daarom gebruikt worden om te beoordelen wat het verschil is tussen deze twee inzetactieken bij een open deur van de brandruimte. Hieronder wordt eerst een tabel weergegeven met daarin de situaties in de verschillende ruimten op verschillende momenten tijdens de inzet (zie tabel 6.8). Zo kan gekeken worden of er nog sprake is van een overleefbare situatie in de woningen op het moment dat de brandweer arriveert en wanneer de brandweer over zou gaan tot evacuatie van de personen in de verschillende ruimten. Voor de gangen kan bepaald worden of er sprake is van een belemmerde ontvluchting. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten en de bijbehorende grafieken zijn te vinden in bijlage 21 en 25.

Tabel 6.8: Relatieve invloed van de brandweerinzet op de eerste verdieping (algemene groep, in grenswaarden vlucht- en overlevingsmogelijkheden) en CO-concentratie (verbetering (↑), verslechtering (↓) of gelijke situatie (=)) ten opzichte van de periode ervoor

Var. nr.	Test. nr.	Tactiek	Periode	BR	G1.2	W1.25	W1.20	W1.24	G1.1	G1.3
0	3	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	↓	=	=	↓	↓	↓	↓
			Na evacuatie	=	=	=	↓	↓	↓	=
	5	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓

Het effect van de twee inzetacties op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij variant 0 (deur open) is samengevat in tabel 6.9.

Tabel 6.9 Samenvatting van de offensieve versus defensieve inzetacties bij variant 0 (deur open)

Offensieve inzetactie	Defensieve inzetactie
<p>Bij de start van de inzet relatief hoge concentraties verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen aan deze gang.</p>	<p>Bij de start van de inzet relatief hoge concentraties verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen aan deze gang.</p>
<p>Blussing leidt tot een toename van de gasconcentraties in gang 1.2, woning 1.24 en woning 1.25.</p>	<p>Het vorderen door de gang en sluiten van de deur van de brandruimte zorgen voor schommelingen en een toename van verstikkende gassen in andere woningen dan de brandruimte, met name in woning 1.20.</p>
<p>Mechanisch ventileren leidt na enige tijd tot een afname van de concentratie verstikkende en irriterende gassen. Het zicht in de brandruimte, gang 1.2 en woning 1.25 blijft gelijk.</p>	<p>Evacuatie van personen uit de woningen zorgt voor schommelingen en een lichte stijging van verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen langs deze gang. Weinig invloed merkbaar in gang 1.1. Een grotere stijging in gang 1.3, met name wanneer de dubbele deuren tussen gang 1.2 en deze gang worden geopend voor de evacuatie.</p>
<p>Mechanisch ventileren leidt tot een toename van de CO-concentratie in woningen 1.20 en 1.24. Wanneer het raam in deze woningen wordt geopend tijdens het mechanisch ventileren, nemen de CO-concentraties af.</p>	<p>Het openen van de deur van de brandruimte en de blussing hebben relatief weinig invloed op de condities in gang 1.2, in de woningen langs gang 1.2 en in de overige gangdelen (1.1 en 1.3).</p>
<p>Mechanisch ventileren leidt tot een verslechtering van de CO-concentratie in gang 1.1 en in sommige gevallen in gang 1.3.</p>	<p>Mechanisch ventileren heeft een gering effect op de CO-concentratie in de brandruimte, in gang 1.2 en in de overige woningen aan gang 1.2. Wel is er een verbetering van de CO- en stikstofdioxideconcentraties. Wanneer het raam in de overige woningen aan gang 1.2 wordt geopend, verbeteren de CO-concentraties langzaam.</p>
<p><u>De condities aan het einde van de test zijn door de brandweerinzet verbeterd ten opzichte van de condities vóór de start van de inzet.</u></p>	<p>Mechanisch ventileren heeft relatief weinig effect op de condities in gang 1.1 en 1.3; deze blijven gelijk aan de condities vóór het mechanisch ventileren.</p>
	<p><u>De brandweerinzet verslechtert de condities licht. Bij het einde van de test zijn de condities in een aantal ruimten en gangdelen verbeterd, in andere juist verslechterd.</u></p>

Overige verdiepingen

In tabel 6.5 (zie paragraaf 6.4.1) zijn de gemeten concentratie CO bij de start van de inzet (t = 20 minuten) en de maximaal gemeten concentratie tijdens de inzetfase (t = 20 minuten tot t = 55 minuten) weergegeven. Deze concentraties geven inzicht in de invloed van de brandweerinzet op de verspreiding van CO naar de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. In paragraaf 6.7 wordt hier uitgebreider op ingegaan.

6.6.2 Resultaten van variant 1 (deur dicht)

De testen van variant 1 (deur dicht) zijn zowel met een offensieve als een defensieve inzet tactiek uitgevoerd. Deze testen kunnen daarom gebruikt worden om te beoordelen wat het verschil is tussen beide inzet tactieken als de deur van de brandruimte gesloten is. Hieronder staat eerst een tabel met daarin de situaties in de verschillende ruimten tijdens de verschillende periodes van de inzet (zie tabel 6.10). Hiermee kan beoordeeld worden of er nog sprake is van een overleefbare situatie in de woningen op het moment dat de brandweer arriveert en wanneer de brandweer zou overgaan tot evacuatie van de personen in de verschillende ruimten. Voor de gangen kan beoordeeld worden of er sprake is van een belemmerde ontvluchting. Een uitgebreide beschrijving van de resultaten en de bijbehorende grafieken zijn te vinden in bijlage 21 en 25.

Tabel 6.10 Relatieve invloed van de brandweerinzet op de eerste verdieping (algemene groep in grenswaarden vlucht- en overlevingsmogelijkheden) en CO-concentratie (verbetering (↑), verslechtering (↓) of gelijke situatie (=)) ten opzichte van de periode ervoor

Var. nr.	Test nr.	Tactiek	Periode	BR	G 1.2	W1.25	W1.20	W1.24	G1.1	G1.3
1	2	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
			Na ventilatie	↑	↑	↓	=	↓	↓	↓
	4	Defensief	Voor inzet							
			Tijdens evacuatie	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na evacuatie	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	16	Offensief	Voor inzet							
			Tijdens inzet	=	↓	↓	↓	↓	=	=
			Na ventilatie	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↓

Het effect van de twee inzet tactieken op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij variant 1 (deur dicht) is samengevat in tabel 6.11.

Tabel 6.11 Samenvatting van de offensieve versus defensieve inzetactiek bij variant 1 (deur dicht)

Offensieve inzetactiek	Defensieve inzetactiek
Bij de start van de inzet worden er relatief lage concentraties verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen langs gang 1.2 gemeten.	Bij de start van de inzet worden er relatief lage concentraties verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen langs gang 1.2 gemeten.
Het openen van de deur van de brandruimte zorgt in gang 1.2 voor een sterke afname van de zichtlengte en de concentratie zuurstof. Er is een toename van de concentratie CO, koolstofdioxide en stikstofoxiden. De blussing versterkt dit effect.	Het vorderen door de gang tot aan de brandruimte zorgt voor schommelingen en een toename van verstikkende gassen in woningen langs gang 1.2.
Mechanisch ventileren leidt tot een toename van verstikkende en irriterende gassen, met name in de woningen langs gang 1.2. Er zijn sterke lokale verschillen in de condities in gang 1.2. Na enige tijd is er sprake van een afname van de concentraties verstikkende gassen en het zicht in de brandruimte en gang 1.2. Woning 1.25 blijft langdurig relatief slechter.	Evacuatie van de personen in de woningen zorgt voor lichte schommelingen en een toename van verstikkende gassen in gang 1.2 en de woningen die aan deze gang zijn gelegen. Er is amper effect op de condities in gang 1.1 en 1.3.
Mechanisch ventileren leidt tot een verslechtering van gasconcentraties in de overige woningen die aan gang 1.2 zijn gelegen. Wanneer het raam in woning 1.20 en woning 1.24 wordt geopend, verbeteren de CO-concentraties.	Het openen van de deur van de brandruimte zorgt op gang 1.2 voor een sterke afname van de zichtlengte en concentratie zuurstof, en voor een toename van CO, koolstofdioxide en stikstofoxiden. Blussing versterkt dit effect. De woningen die aan gang 1.2 zijn gelegen, zijn dan al ontruimd.
Mechanisch ventileren leidt tot een verslechtering van het zicht en een toename van de gasconcentraties op gang 1.1 en in sommige gevallen leidt het ook tot een verslechtering in gang 1.3.	Mechanisch ventileren leidt na enige tijd tot een afname van de concentratie verstikkende gassen en een verbetering van het zicht in brandruimte en gang 1.2. Woning 1.25 verbetert langzamer.
<u>De brandweerinzet verslechtert de condities. Bij het einde van de test zijn de condities weer verbeterd en teruggebracht naar een acceptabel niveau.</u>	Mechanisch ventileren leidt tot een toename van de CO-concentratie in woningen 1.20, 1.24 en 1.25. Wanneer het raam in woningen 1.20, 1.24 en 1.25 wordt geopend, nemen de CO-concentraties langzaam af.
	Mechanisch ventileren leidt tot een verslechtering van het zicht en een toename van de gasconcentraties in gang 1.1 en 1.3.
	<u>De brandweerinzet heeft relatief weinig invloed op de condities. Bij het einde van de test zijn de condities weer verbeterd en teruggebracht naar een acceptabel niveau.</u>

Overige verdiepingen

In tabel 6.12 zijn de gemeten concentraties CO bij de start van de inzet ($t = 20$ minuten) en de maximaal gemeten concentratie tijdens de inzetfase ($t = 20$ minuten tot $t = 55$ minuten) weergegeven. Deze concentraties geven inzicht in de invloed van de brandweerinzet op de verspreiding van CO naar de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping. In paragraaf 6.7 wordt hier uitgebreider op ingegaan.

Tabel 6.12 CO-concentratie (ppm) op de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping bij de start van de inzet (t = 20 minuten) en de maximale concentratie CO tijdens de inzetfase (t = 20 minuten tot t = 55 minuten)

Ruimte (sensor)	Test 2		Test 16		Test 4	
	Offensief		Offensief		Defensief	
	Start	Max.	Start	Max.	start	Max.
Gang 0.1 (G17)	0	0	0	0	0	0
Gang 0.2 (G18)	0	25	0	0	0	0
Woning 2.19 / 2.21 (G9)	0	0	0	0	0	0
Woning 2.24 (G10)	0	0	0	0	0	0
Gang 2.2 (G11)	0	0	0	0	0	0
Gang 2.2 (G12)	0	25	0	0	0	0
Woning 3.19 / 3.21 (G13)	0	0	0	0	0	0
Woning 3.24 (G14)	0	0	0	0	0	0
Gang 3.2 (G15)	0	0	0	0	0	0
Gang 3.2 (G16)	-	-	0	0	0	0

6.6.3 Analyse: offensief versus defensief inzetten

Welke inzetactie het meest optimaal is voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden verschilt per variant (open of gesloten deur van de brandruimte). Voor het maken van het inzetplan is het daarom belangrijk dat de brandweer weet of de deur van de brandruimte open of gesloten is. Dit kan echter niet van buiten het gebouw waargenomen worden en moet daarom door middel van een verkenning worden vastgesteld. Hieronder wordt per variant beschreven welke effecten de twee inzetacties op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het gebouw hebben.

Variant 0 (deur open)

Wanneer de deur van de brandruimte bij aankomst van de brandweer openstaat, blijkt een offensieve inzetactie (eerst blussen daarna redden) de meeste positieve invloed te hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Door eerst de brandhaard onder controle te brengen en de rookgassen naar buiten te ventileren, worden de condities op de eerste verdieping verbeterd. Hierbij moet wel worden opgemerkt dat (mechanisch) ventileren mogelijk een negatieve invloed heeft op rookverspreiding naar andere woningen, gangen en verdiepingen (zie paragraaf 6.7).

Een blusactie tijdens de offensieve inzet zorgt voor een verslechtering in woningen langs gang 1.2 en gangdelen grenzend aan gang 1.2. De concentratie CO in woning 1.24 loopt bijvoorbeeld sterker dan bij het inzetten van een defensieve tactiek. Op het moment dat de brandweer personen in woning 1.24 zou gaan evacueren, is er in woning 1.24 inmiddels

sprake van een fatale situatie en is er geen redding meer mogelijk. De condities in gang 1.2 (het zicht en de concentratie verstikkende en irriterende gassen) zijn echter dermate slecht, dat het evacueren van personen niet realistisch is als de gang niet eerst meer vrij van rook wordt gemaakt.

Bij een defensieve inzetactie (eerst redden daarna blussen) is woning 1.24 de enige woning die aan gang 1.2 gelegen is waar bij de start van de brandweerinzet nog een redding mogelijk zou zijn. Met de defensieve inzetactie is de brandweer snel bij woning 1.24 en is er op het moment van evacuatie nog geen sprake van een fatale situatie aldaar. Evacueren via gang 1.2 is bij variant 0 (deur open) echter geen realistische optie. De condities in deze gang zijn daarvoor te slecht. De evacuatiebewegingen en het mechanisch ventileren zorgen voor verdere verspreiding van de rook (zie paragraaf 6.7).

Variant 1 (deur dicht)

Wanneer de deur van de brandruimte dicht zit, heeft een offensieve inzetactie (eerst blussen daarna redden) een negatieve invloed op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden buiten de brandruimte. Het openen van de deur naar de brandruimte om te blussen zorgt voor het verslechteren van de condities op gang 1.2 en vervolgens ook die in de overige woningen aan deze gang en gang 1.1 en 1.3. Na langdurig ventileren (zie figuur 6.2 en figuur 6.3) nadat afgeblust is, is na verloop van tijd de door de brandweer veroorzaakte verslechtering van de condities weer geneutraliseerd. De concentratie CO is door het ventileren na het blussen na verloop van tijd weer terug naar waarden van vóór het moment dat de deur van de brandruimte werd geopend om te kunnen blussen.

Wanneer de deur van de brandruimte bij aankomst van de brandweer gesloten is, blijkt een defensieve inzetactie (eerst redden daarna blussen) de meeste positieve invloed te hebben op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Doordat er minder rook in gang 1.2 hangt, hebben evacuatiebewegingen over deze gang een geringer effect op de rookverspreiding naar andere woningen dan bij testen met een open deur. Wel moet worden opgemerkt dat bij diverse testen met een dichte deur de hoge gasconcentraties op de gang nog steeds aanleiding zouden geven om personen niet onbeschermd via die gang te evacueren.

De ontruimingsacties tijdens een defensieve inzet zorgen in veel gevallen voor een langzaam toenemende concentratie CO in woningen en gangdelen. Het openen van deuren van de woningen ten behoeve van de ontruiming zorgt wel voor verslechtering van de zichtlengte in de woningen (zie hoofdstuk 3), maar de concentratie CO neemt slechts licht toe.

Het effect van blussen en redden

Een offensieve inzetactie (met name blusacties en ventileren) zorgt bijna altijd voor een verbetering van de condities in de brandruimte en in de gang. Een defensieve inzetactie zorgt vaak juist voor verslechtering van de omstandigheden in de brandruimte.

Het leggen van de prioriteit bij blussing (offensieve inzetactie) zorgt vaak voor een kortdurende verslechtering van de condities in de gang en in de woningen langs gang 1.2, ook in de woningen met een dichte deur (1.20 en 1.24). Prioriteit leggen bij ontruiming (defensieve inzetactie) veroorzaakt vaak een langzame verslechtering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de gang 1.2 en in de woningen langs gang 1.2, maar dan alleen

als de deur naar de brandruimte gesloten is. Wanneer de focus van de inzet ligt op het redden van een persoon uit één van de woningen, is de te kiezen tactiek afhankelijk van de stand van de deur naar de brandruimte en van de factor tijd. Hiermee wordt bedoeld: de snelheid waarmee kan worden geblust of geëvacueerd versus de snelheid waarmee extra rookverspreiding veroorzaakt door de brandweerinzet de situatie op de gang en in woningen verslechtert.

6.7 De effecten van de acties van de brandweer

In deze paragraaf wordt meer in detail gekeken naar de effecten van de acties van de brandweer op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het gebouw. Bij de verschillende testen is gekeken naar de momenten waarop de brandweer acties uitvoert, zoals blussen, ventileren of evacueren. Voor deze momenten is gezocht naar zichtbare veranderingen in de meetdata (zicht, verstikkende gassen, irriterende gassen et cetera) en op camerabeelden. In deze paragraaf worden de resultaten eerst gepresenteerd en vervolgens geanalyseerd.

6.7.1 Resultaten

Bij alle testen is een aantal bijzonderheden te zien. Het eerste dat opvalt, is dat alle acties die de brandweer uitvoert, zichtbaar zijn in de meetdata (gassen zoals CO, maar ook zicht, irriterende gassen, et cetera), waarbij de intensiteit van deze invloed weer mede bepaald wordt door de hoeveelheid rook die hangt op de plekken waar de inzet wordt gedaan en de stand van de deur van de brandruimte. In tabel 6.13 is beschreven welke effecten er gezien zijn van de acties van de brandweer tijdens de inzet.

Tabel 6.13 Acties van de brandweer en hun effect

Actie	Effect
Het openen van (dubbele) deuren door brandweerpersoneel of een slang leggen tussen de (dubbele) deur	Lichte verhoging van de CO-concentratie in de 'schonere' gangdelen.
Lopen over een met rook gevulde gang (1.2)	Lichte verhoging van de natuurlijke concentratie CO in woningen waarvan de deur gesloten is, schommelingen in de zichtlengte en druk op de gang, rookverspreiding naar woningen langs gang 1.2.
Openen van de deur van de brandruimte	Sterke verslechtering van condities op de gang doordat rook uit de brandruimte met grote impuls de gang vult. Dit heeft gevolgen voor zowel de zichtlengte als de gasconcentraties.
Sluiten van de deur van de brandruimte	De condities op de gang stabiliseren of verbeteren. Dit uit zich in dalingen van temperatuur, straling, koolstofdioxide en stikstofoxiden en een stijging van het percentage zuurstof. Tegelijk nemen de gasconcentraties in de brandruimte en woning 1.20 toe.
Blusactie in de brandruimte	Een kortdurende verslechtering van condities in de gangen 1.1, 1.2, 1.3 en 1.4 en woningen door een toename van toxische gassen, een afname van zicht en zuurstof en in sommige gevallen kortstondige drukverhogingen in de brandruimte en woning 1.20.
Evacuatie van personen in woningen	Het openen van deuren naar woningen (met als doel het ontruimen daarvan) zorgt voor rookverspreiding vanuit de gang naar de betreffende woningen, met als resultaat een verslechtering in zichtlengte en toename van gasconcentraties.
Natuurlijk ventileren	Afhankelijk van de winddruk op de gevel zorgt het openen van een raam voor een verbetering in de woning óf een verslechtering op de gang in termen van gasconcentraties. In de meeste gevallen leidt het openen van het raam tot een verbetering.
Mechanisch ventileren	Het starten van de ventilator is direct zichtbaar aan bijna alle gasmetingen. Over het algemeen zorgt het opstarten van het mechanisch ventileren conform de onderzoeksopzet voor een afname van gasconcentraties en verbetering van zicht in de brandruimte en op gang 1.2, maar voor een toename van gasconcentraties (en soms een verslechtering van zicht) in alle andere ruimten. Dit geldt voor alle woningen (deur open én dicht) en alle gangdelen (1.1, 1.3 en 1.4).

Rookverspreiding naar overige verdiepingen

Er is verder gekeken naar rookverspreiding naar de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping als gevolg van de acties van de brandweer. In bijlage 30 is een opsomming van de resultaten van metingen op de overige verdiepingen te vinden per test.

Bijlage 31 geeft een overzichtstabel van de momenten waarop er gassen zijn gemeten en welke momenten in de inzet hieraan gekoppeld kunnen worden. Dit betreft metingen op vaste punten en mobiele metingen tijdens en na de testen. Daarnaast wordt gebruikgemaakt van de FED-overzichten (grenswaarden voor vlucht- en overlevingsmogelijkheden) uit bijlage 21 en de resultaten uit hoofdstuk 4.

Op basis van de data kunnen de volgende punten worden gedestilleerd uit de CO-metingen op de overige verdiepingen:

- > De verspreiding van CO naar de overige verdiepingen is onvoorspelbaar. Bij vergelijkbare testen (dezelfde tactiek of stand van de deur van de brandruimte) wordt niet altijd op dezelfde punten CO gemeten, laat staan dat de concentraties vergelijkbaar zijn.
- > CO-verspreiding komt voor in alle combinaties van tactieken en open / gesloten deuren en in alle maten van intensiteit (van onschuldig tot en met serieuze risico's voor de gezondheid).
- > Verticale verspreiding van CO is vaak zeer lokaal, en verloopt, zoals beschreven in hoofdstuk 3, onder andere via ventilatiekanalen en -openingen en via wandcontactdozen. Met lokaal wordt bedoeld: op een specifieke plek in een ruimte, zonder dat in naastgelegen ruimten ook een gelijke concentratie wordt gemeten. Een voorbeeld hiervan is wanneer op het linkerdeel van gang 3.2 wél CO gemeten wordt en er 10 meter verderop niets gemeten wordt. Ook hoopt CO zich gemakkelijk op in kleine ruimten zoals badkamers.
- > De testen waarbij de deur van de brandruimte dicht is, laten de geringste verspreiding zien van CO naar andere verdiepingen tijdens de inzetfase, maar desondanks verspreidt een kleine hoeveelheid CO zich toch.
- > De testen waarbij de deur van de brandruimte openstaat, laten vaker gedurende een langere tijd een concentratie CO zien in verschillende ruimten op de overige verdiepingen dan de testen met een dichte deur.
- > Er is geen verschil zichtbaar tussen een offensieve en defensieve tactiek wat betreft de CO-verspreiding naar andere verdiepingen. Bij beide tactieken komt verspreiding naar andere verdiepingen voor; daarentegen is het ook mogelijk bij beide tactieken dat er juist géén sprake is van verspreiding naar overige verdiepingen.
- > Wanneer er sprake is van CO-verspreiding naar de overige verdiepingen liggen de waarden binnen alle uitgevoerde testen tussen de 10 en 300 ppm CO op de vaste meetpunten. Bij mobiele metingen zijn lokaal hogere waarden gevonden tot maximaal 500 ppm CO (zie bijlage 30).
- > In vijf testen is er ook in de inzetfase geen sprake van een verticale verspreiding van CO; in de andere veertien testen wel. Deze vijf zijn allemaal testen waarbij de deur naar de brandruimte dicht is. Er is geen eenduidige verklaring te vinden waarom er in deze vijf gevallen geen verticale rookverspreiding heeft plaatsgevonden, en in de overige veertien testen wél, terwijl de testopstelling gelijk is gebleven.
- > Zoals vermeld in hoofdstuk 3, is er in een aantal gevallen sprake van gemeten CO, terwijl er geen rook zichtbaar is geweest. Dit komt met name voor in de inzetfase. Uiteraard is bekend dat dat CO een kleur- en geurloos gas is, maar tot op heden is bij brand steeds verondersteld dat rookverspreiding zichtbaar is.

De resultaten van deze beoordeling zijn samengevat in tabel 6.14.

Tabel 6.14 Invloed acties tijdens de brandweerinzet op de verspreiding van CO naar de begane grond, de tweede verdieping en de derde verdieping

Nr.	Variant naam	Test nr.	Tactiek	Toename door blusacties	Toename door evacuatieacties	Toename door natuurlijk ventileren	Toename door mechanisch ventileren	Afname door mechanisch ventileren
0	Deur open	1	Geen					
		3	Defensief		X		X	X
		5	Offensief				X	
		17	Geen					X
1	Deur dicht	2	Offensief				X	
		4	Defensief				X	
		16	Offensief					X
2	Mobiele watermist en deur open	7	Defensief	X			X	
		9	Offensief	X		X	X	
3	Mobiele watermist en deur dicht	6	Offensief				X	
		8	Defensief					
4	Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht	10	Offensief					
		11	Defensief				X	
5	Rookwerende scheiding en deur dicht	12	Offensief	X			X	
		13	Defensief			X		
6	Organische vuurlast en deur open	15	Defensief					
7	Organische vuurlast en deur dicht	14	Offensief			X	X	
8	Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)	18	Offensief				X	X
		19	Defensief					

Rookverspreiding naar de overige gangdelen op de eerste verdieping

Er is met mobiele metingen gekeken naar de momenten waarop en de mate waarin er CO wordt verspreid naar de vluchtroutes lopende vanaf de eerste verdieping. Dit zijn aan de linkerzijde het hoofdtrappenhuis dat zich aan gang 1.1 bevindt, en aan de rechterzijde gang 1.4 en de overige gangdelen richting het neventrappenhuis, die zich bevinden aan gang 1.3. Gang 1.4 is tevens de zijde die als aanvalsweg voor de brandweer dient (zie figuur 6.1 in paragraaf 6.2.1). In tabel 6.15 is een overzicht te vinden met de maximale CO-concentraties die gemeten zijn tijdens de inzetfase.

Tabel 6.15 Maximale CO-concentraties (ppm) gedurende de inzetfase in vluchtroutes³⁶

Nr.	Variant naam	Test nr.	Tactiek	Vluchtroute zijde gang 1.1	Vluchtroute zijde gang 1.3
0	Deur open	1	Geen	135	170
		3	Defensief	290	1080
		5	Offensief	170	1620
		17	Geen		30
1	Deur dicht	2	Offensief	165	80
		4	Defensief		130
		16	Offensief		1180
2	Mobiele watermist en deur open	7	Defensief	20	455
		9	Offensief	250	920
3	Mobiele watermist en deur dicht	6	Offensief		25
		8	Defensief		
4	Mobiele watermist, rookwerende scheiding en deur dicht	10	Offensief		
		11	Defensief		
5	Rookwerende scheiding en deur dicht	12	Offensief	130	1010
		13	Defensief		

³⁶ Wanneer er geen meting in een cel staat, wil dit zeggen dat er geen CO gemeten is bij deze vluchtroute.

6	Organische vuurlast en deur open	15	Defensief	115
7	Organische vuurlast en deur dicht	14	Offensief	40
8	Balkondeur open en deur open (maximale ventilatie)	18	Offensief	365
		19	Defensief	

Uit tabel 6.15 blijkt dat bij een groot deel van de testen er CO wordt gemeten aan de zijde waar de inzetploeg de gang binnenkomt (zijde gang 1.3). Ook is er bij 7 van de 19 testen CO gemeten in de vluchtroute aan de liftzijde (zijde gang 1.1). De waarden lopen sterk uiteen. De momenten waarop rookverspreiding richting de vluchtroutes voorkomt, zijn gelijk aan de momenten waarop verticale verspreiding plaatsvindt, namelijk tijdens het mechanisch ventileren of de blusacties.

Mechanisch ventileren

Het mechanisch ventileren heeft invloed op de verspreiding van verstikkende gassen in de woningen langs gang 1.2 en de gangdelen grenzend aan gang 1.2. Het aanzetten van de ventilator zorgt, afhankelijk van de hoeveelheid rook die aanwezig is, voor een toename van CO in woningen en gangdelen op de eerste verdieping. Hierbij blijkt een gesloten deur niet voldoende effectief te zijn om de verspreiding van gassen naar deze ruimten te stoppen of verminderen.³⁷ De stijging in CO verschilt per test, maar varieert van een toename van 100 tot 12.000 ppm voor woningen 1.20 en 1.24 tot waarden tussen de 50 en 2000 ppm voor de gangen 1.1 en 1.3. De verschillen in toename van de concentratie komen voornamelijk voort uit de hoeveelheid rook die aanwezig is en daarmee de hoeveelheid rook die door het mechanisch ventileren kan worden verspreid.

Het starten met natuurlijk en mechanisch ventileren zorgt in de meeste gevallen voor een verbetering van de condities in de brandruimte en gang 1.2. De situatie in de gangdelen 1.1 en 1.3, die grenzen aan gang 1.2, blijft vaak verslechteren of blijft gelijk. Mechanisch ventileren heeft bij zowel een offensieve als een defensieve inzet een grote invloed op het verbeteren of verslechteren van de condities in woningen en gangdelen. De start van het mechanisch ventileren zorgt in veel gevallen voor een verdere verspreiding van rookgassen. Mechanische ventilatie zorgt altijd voor een verbetering in de brandruimte en gang 1.2, maar juist voor een verslechtering van condities in gang 1.1 en 1.3.

Een ander resultaat is dat het mechanisch ventileren zorgt voor lokale drukverschillen op gang 1.2 (zie bijlage 16). De drukverschillen variëren tussen de 2 en 10 Pa tussen de twee meetpunten links en rechts in de gang. Het drukverschil is het grootst wanneer brandruimte 1.19 wordt gebruikt. Dit wordt veroorzaakt doordat er bij het gebruik van brandruimte 1.19 een grotere dode ruimte ontstaat in gang 1.2. In de analyse in paragraaf 6.7.3 wordt dit verder toegelicht.

Aan het einde van de test is er een tweede ventilator geplaatst die vanaf gang 1.1 naar gang 1.2 blaast om eventuele restconcentraties gassen uit het gebouw te krijgen. Hierbij valt op dat bij meerdere testen op camerabeelden geen rook meer te zien is in gang 1.2. Op het moment dat de ventilator wordt aangezet, is meerdere keren een sterke toename gemeten van CO in gang 1.1; de waarden daarvan liggen tussen de 200 en 1300 ppm. Omdat gang

³⁷ De rookverspreidingsroutes zijn te vinden in hoofdstuk 3.

1.1 direct grenst aan het trappenhuis, zorgt dit voor een mogelijke belemmering van deze vluchtroute. Aangezien het trappenhuis geen vast bemeten punt is in de testen, kan dit niet met zekerheid worden vastgesteld.

Overig effect

Naast de directe invloed van de brandweerinzet is er sprake van een dode-hoek-effect in woning 1.25. In veel testen zijn de gasconcentraties van CO en stikstofdioxide hoger in woning 1.25 dan op gang 1.2 of in andere woningen / gangdelen. Daarnaast blijven deze gasconcentraties langer hangen in woning 1.25 dan in gang 1.2. Dit effect is het sterkst bij testen waarbij de deur naar de brandruimte openstaat.

6.7.2 Analyse van de acties van de brandweer

Hieronder worden de belangrijkste bevindingen uit de bovenstaande paragrafen besproken.

Actie = reactie

Iedere actie die de brandweer uitvoert, leidt tot een reactie op het gebied van rookverspreiding. Ieder onderdeel van de brandweerinzet kan daarom gevolgen hebben voor de mate van rookverspreiding in het gehele gebouw. Dit kan zowel positief zijn (de situatie in termen van zichtlengte, gasconcentraties et cetera verbetert) maar ook negatief (de zichtlengte verslechtert, rook verspreidt zich naar andere woningen / gangdelen, gasconcentraties nemen toe).

Onderdelen van de brandweerinzet die gevolgen hebben voor rookverspreiding zijn de volgende:

- > Lopen over een met rook gevulde gang (1.2): extra rookverspreiding naar de woningen gelegen aan gang 1.2.
- > Het openen van de deur van de brandruimte: een sterke rookverspreiding naar gang 1.2 en overige gangdelen.
- > Het sluiten van de deur van de brandruimte: een verminderde rookverspreiding naar gang 1.2, maar aanvullende rookverspreiding naar de naastgelegen woning.
- > De blusactie: kortdurende rookverspreiding naar gang 1.2 en extra rookverspreiding naar overige verdiepingen.
- > Evacuatie: extra rookverspreiding naar de te evacueren woningen door het openen van de deuren.
- > Natuurlijk ventileren: mogelijk extra rookverspreiding in verband met winddruk op de gevel en extra rookverspreiding naar overige verdiepingen.
- > Mechanisch ventileren: extra rookverspreiding naar woningen langs gang 1.2, naar gangdelen die aan gang 1.2 grenzen en naar overige verdiepingen.

Reeds geproduceerde rook

De invloed die de brandweer uitoefent op de rookverspreiding (en hiermee op de condities in de woningen en gangdelen) wordt in sterke mate beïnvloed door de mate van rook die initieel geproduceerd is, dat wil zeggen: voor de start van de inzet. Daarnaast blijkt de initiële rookproductie ook bepalend te zijn voor de mate waarin de brandweerinzet invloed uitoefent op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Een gesloten deur naar de brandruimte heeft een sterke invloed op de mate van rookproductie en rookverspreiding. Een beperkte toestroom van zuurstof naar de brandhaard vermindert de warmteproductie en daarmee de hoeveelheid koeling die nodig is om de brandhaard te blussen. Een risicobeheersende maatregel zorgt voor minder rookverspreiding naar de gang, en daarmee voor een

afnemende hoeveelheid toxische gassen die naar andere ruimten of verdiepingen kunnen worden 'geduwd' door het mechanisch ventileren.

Er kan daarom worden gesteld dat het beheersen van de hoeveelheid rook die wordt geproduceerd door het sluiten van deur in combinatie met andere risicobeheersende maatregelen óók een positief effect heeft op de mate van rookverspreiding veroorzaakt door de brandweer. Simpel gezegd: hoe minder rook er aanwezig is in een ruimte, hoe minder rook de brandweer kan verplaatsen en verspreiden tijdens de inzet. Hierbij zal de brandweerinzet wel moeten trachten deze risicobeheersende maatregelen zoveel als mogelijk in stand te houden, inclusief het zoveel mogelijk gesloten houden of sluiten van de deur van de brandruimte.

6.7.3 Analyse van de invloed van ventileren

De resultaten laten zien dat (mechanisch) ventileren van grote invloed is op de rookverspreiding in het gebouw. Om die reden worden hieronder de gevolgen van het ventileren apart besproken.

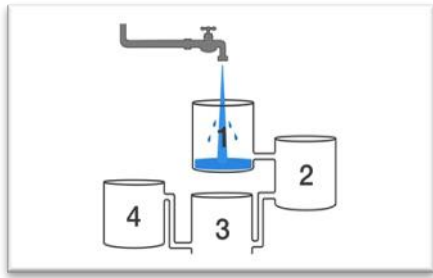
Mechanisch ventileren

Mechanisch ventileren is binnen dit onderzoek in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook. Zodra de ventilator wordt aangezet, nemen zichtbare rook en CO toe in de (andere) gangen, overige woningen en ook op de overige verdiepingen. Van alle acties van de brandweer zorgt mechanisch ventileren het vaakst voor rookverspreiding, zowel in horizontale als in verticale richting. Hierbij moet worden opgemerkt dat hoe groter de afstand tot de ventilator wordt, hoe minder rookverspreiding er wordt veroorzaakt door de ventilator.

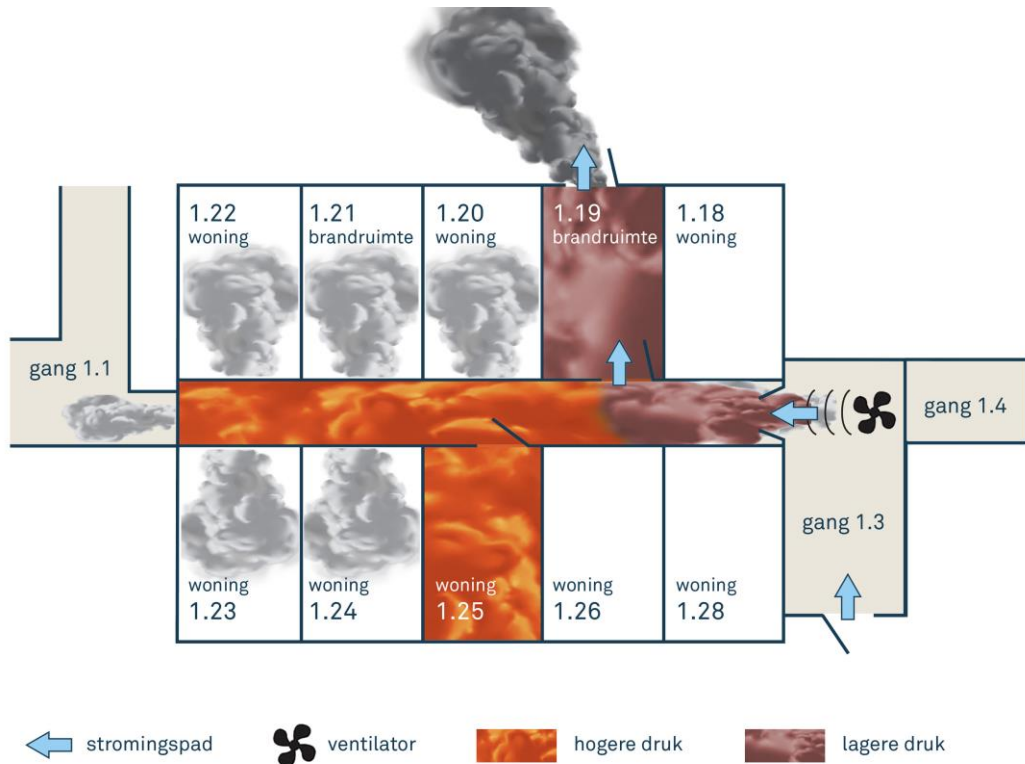
Stromingsprofiel en dode ruimten

Ventileren, en dan met name mechanisch ventileren, is voor brandweerpersoneel in de praktijk een lastige klus, omdat er veel verschillende factoren van invloed kunnen zijn. Het creëren van een effectief stromingsprofiel is hierbij belangrijk. Een effectief stromingsprofiel wordt opgebouwd door een juiste verhouding te creëren tussen in- en uitstroomopeningen, een zo kort mogelijke afstand tussen deze openingen te houden en te voorzien in een juiste hoeveelheid stuwkracht en in zo min mogelijk 'dode ruimten'.

De resultaten laten zien dat het mechanisch ventileren van dit woongebouw met inpandige gangen complex is. De afstand tussen de in- en uitstroomopening is relatief lang, de uitstroomopening is relatief klein, de ventilator staat eigenlijk niet op een ideale plek en er is sprake van dode ruimten in het pad. De dode ruimten zijn geïllustreerd in figuur 6.7; zoals te zien is in de resultaten, is de druk tijdens het ventileren in de dode ruimte (oranje) hoger dan in het stromingsprofiel. Dit wordt veroorzaakt doordat deze dode ruimte eerst gevuld moet worden, voordat de brandruimte gevuld kan worden. Als voorbeeld kan hierbij worden gedacht aan communicerende vaten zoals afgebeeld in figuur 6.6: vat 1 kan pas worden gevuld wanneer vat 2, 3 en 4 gevuld zijn.

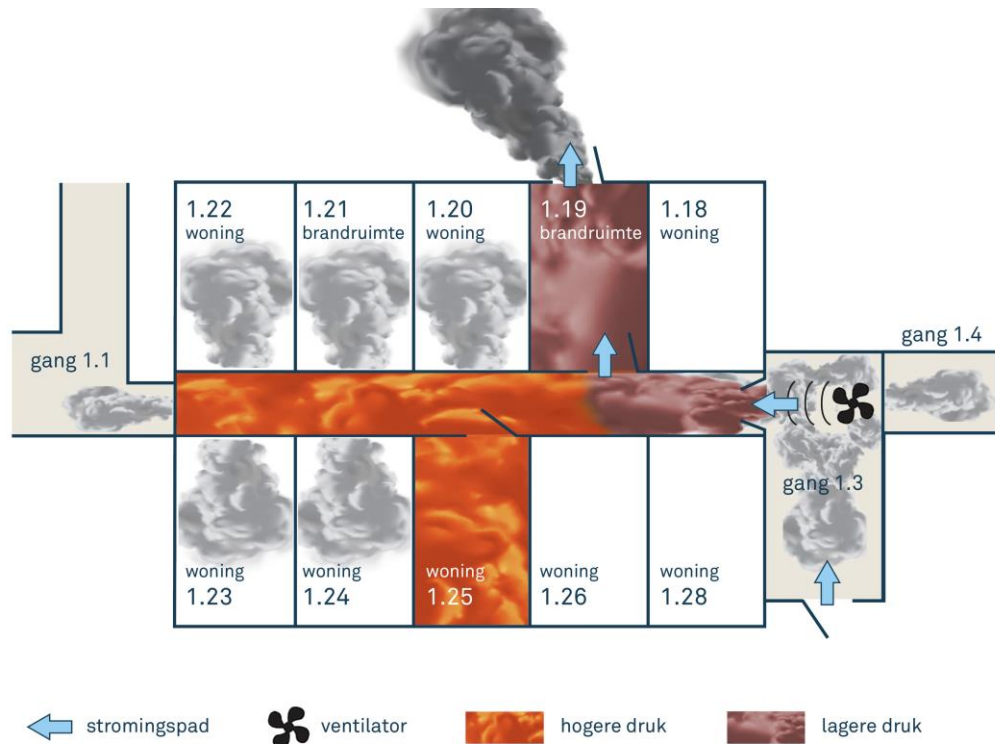


Figuur 6.6 Communicerende vaten



Figuur 6.7 Drukopbouw tijdens mechanisch ventileren

Door de verhoogde druk in de dode ruimte ontstaat rookverspreiding naar de woningen en gangdelen die grenzen aan de dode ruimte. Daarnaast zorgt een overschot aan drukopbouw door de ventilator voor rookverspreiding naar het gangdeel waar de ventilator staat en het gangdeel dat daaraan grenst. Dit wordt geïllustreerd in figuur 6.8. Een suboptimaal stromingsprofiel veroorzaakt hier een extra vervuiling van de aanvalsweg, en tevens van één van de vluchtroutes.



Figuur 6.8 Drukoverschot tijdens mechanisch ventileren

Met betrekking tot stromingsprofielen en dode ruimten bij mechanisch ventileren is de hypothese: hoe langer de afstand tussen in- en uitstroomopening is en hoe groter de dode ruimten zijn, hoe meer opmenging, hoe groter het volume rook en hoe moeilijker het effect van mechanisch ventileren in te schatten is.

Menselijke fouten

Tijdens de testen is het een aantal keer voorgekomen dat er per abuis een fout is gemaakt door de inzetploeg tijdens het ventileren. Denk hierbij aan het te snel of te langzaam openen van een raam, het starten van de ventilator terwijl het stromingsprofiel nog niet klaar was of het laten dichtwaaien van een deur. In de analyse van de resultaten is voor deze fouten gecorrigeerd, of er is rekening gehouden met de effecten van deze fouten.

Deze menselijke fouten hebben een sterke toename veroorzaakt van gasconcentraties en een afname van de zichtlengte in gang 1.3 en 1.4. Er kan hierbij een parallel worden getrokken met de praktijk: tijdens een inzet kunnen ook fouten worden gemaakt bij het mechanisch ventileren. Ventileren tijdens of na een inzet blijkt een precisiekus waarvoor binnen de repressieve werkelijkheid vaak te weinig tijd is of wordt genomen. De hoeveelheid tijd die wordt genomen voor voorbereiding en uitvoering van mechanisch ventileren strookt niet met de impact op rookverspreiding die deze techniek heeft.

Tweede ventilator

Het plaatsen en aanzetten van de tweede ventilator is in een aantal testen verantwoordelijk geweest voor een sterke toename van gasconcentraties in gangen die aan gang 1.2 grenzen, en dat terwijl er geen rook zichtbaar was op de te ventileren gang. Ook het ventileren van op zicht rookvrije ruimten kan dus invloed hebben op de rookverspreiding.

6.7.4 Analyse van de invloed van de inzet op evacuatie routes

Alhoewel het effect van evacueren slechts in beperkte mate is getest, kan op basis van de resultaten wel een uitspraak worden gedaan over de optimale evacuatie routes in termen van (verdere) rookverspreiding en de invloed op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Zichtbaar is dat de condities op gang 1.2 veilig evacueren van (onbeschermd) personen niet toelaten. Ook is er een verschil te zien tussen de mate van rookverspreiding naar gangdelen achter (deels) geopende scheidingen (door de brandweerinzet) aan de zijde waar de inzetploeg de gang binnenkomt, en naar gangdelen achter gesloten scheidingen aan de zijde van gang 1.1. Bij veel testen wordt de evacuatie route via de aanvalsweg van de brandweer (zijde gang 1.3) bedreigd door hoge concentraties CO, maar ook het trappenhuis aan de zijde van gang 1.1 bevat soms concentraties van soms wel honderden ppm's CO.

Iedere scheiding die geopend wordt, zorgt voor extra rookverspreiding naar een tot op dat moment relatief rookvrij gedeelte van het gebouw. Het is daarom van belang verdere verspreiding te voorkomen door scheidingen zoveel mogelijk gesloten te laten (het zo min mogelijk vervuilen van 'schoon' gebied). Het horizontaal evacueren van personen uit woningen in de nabijheid van de brandruimte zal dus via de aanvalsweg van de brandweer moeten gebeuren om zo rookverspreiding naar het trappenhuis aan de zijde van gang 1.1 te voorkomen. Evacuatie over een met rook gevulde gang heeft niet de voorkeur. Horizontaal ontruimen kan alleen wanneer de vluchtroutes veilig zijn in termen van gasconcentraties. Een alternatief hierbij is het gebruik van vluchtmaskers.

Er moet worden opgemerkt dat het bepalen van evacuatie routes, en daarmee het scheiden van de aanvalsweg van de brandweer en de route die vluchtende personen nemen, een belangrijke taak is die veel vraagt van het denkvermogen van de aanwezige commandovoerders.

Om te kunnen bepalen of verticaal evacueren via het balkon een veiliger optie is, is nader onderzoek nodig. Uit onderzoek naar reddingen bij woningbranden (Brandweeracademie, 2020b) komt naar voren dat ook op het balkon sprake kan zijn van een hevige rookdichtheid. Verticaal evacueren via het balkon is overigens ook niet altijd uitvoerbaar: dit vereist namelijk de mogelijkheid om redvoertuigen dichtbij en aan de zijde van een balkon op te stellen, en die mogelijkheid is er lang niet altijd. Voorts speelt de hoogte van het gebouw een rol: handladders zijn eigenlijk alleen effectief tot en met een tweede verdieping en redvoertuigen reiken niet boven de 30 meter.

6.8 Overige resultaten

Naast de besproken paragrafen zijn er overige resultaten die relevant zijn voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen of voor de vertaling daarvan naar de (brandweer)praktijk. Deze worden daarom opgesomd in deze paragraaf.

6.8.1 Naverkenning

Er is na het einde van de test en na ventilatie door de veiligheidsploeg gemeten of het veilig was om het pand weer te betreden. Deze metingen lieten zien dat er op diverse momenten op de meest uiteenlopende plekken nog CO aanwezig was, ondanks het langdurig natuurlijk en mechanisch ventileren. Voorbeelden hiervan zijn badkamers op alle verdiepingen, kamers met open ramen op de begane grond, gangen in verder afgelegen delen van het

gebouw en de regieruimte. Alhoewel deze metingen geen onderdeel uitmaakten van de test, kunnen zij worden aangemerkt als resultaat, dat in de eerste plaats de grilligheid toont van rookverspreiding: het blijkt niet mogelijk om te voorspellen waar in het gebouw rook zich naartoe verspreidt. In de tweede plaats toont dit aan dat het verdrijven van (onzichtbare) rookgassen vraagt om een zeer grondige verkenning van het gebouw.

6.8.2 Zichtbare rook ≠ koolstofmonoxide

Voor het vaststellen van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden en de prioritering in ontruiming is het nodig om een verkenning uit te voeren in woningen en gangen. Op zicht wordt dan vastgesteld tot waar de (zichtbare) rook zich heeft verspreid. De resultaten laten echter zien dat het mogelijk is dat er een concentratie CO hangt in een ruimte, terwijl er geen zichtbare rook aanwezig is. Dit is in lijn met de theorie: CO is immers een onzichtbaar gas. Het vaststellen van rookverspreiding in een verkenning kan dus niet enkel op basis van zicht, maar moet worden ondersteund met metingen.

6.8.3 Lokale verschillen

Er is waargenomen dat rookverspreiding zeer lokaal kan zijn. Hierbij kan worden geconcludeerd: hoe verder van de brandruimte, hoe grilliger en lokaler de rookverspreiding. Ook kan rookverspreiding kortdurend en langdurend voorkomen. Voorbeelden hiervan zijn:

- > Een substantieel verschil in gasconcentraties links en rechts op de gang direct grenzend aan de brandruimte.
- > Een kortdurende concentratie CO op de begane grond die binnen een minuut weg is.
- > Een gang op de derde verdieping waar links niets gemeten wordt en rechts langdurig een concentratie CO hangt (>200 ppm).
- > Een badkamer waar een relevante concentratie CO hangt (>100 ppm), terwijl in de woonkamer niets gemeten is.

Aangezien het slecht voorspelbaar is waar deze effecten optreden en omdat CO onzichtbaar is, zal er moeten worden gekozen voor een zeer brede verkenning in alle ruimten van het gebouw, inclusief het meten op CO. Alleen op deze manier kan het verspreidingsgebied van de rook worden vastgesteld, en op grond daarvan worden bepaald welke gebieden moeten worden ontruimd. De conclusie is, dat de brandweer niet alleen overal in het gebouwdeel zal moeten verkennen en meten, maar ook dat er op meerdere plekken in een ruimte of gang moet worden gemeten om eventuele lokale verschillen op te merken.

6.9 Samenvatting

Rookverspreiding buiten de brandruimte is de standaard en niet de uitzondering. De condities in de vluchtroutes op de eerste verdieping waar de brand is, zijn voor de start van de brandweerinzet al bedreigd, waardoor zelfstandig (onbeschermd) vluchten vaak niet meer mogelijk is. In diverse woningen is reeds bij de start van de inzet sprake van levensbedreigende of fatale omstandigheden, en anders ontstaan deze tijdens de inzet. Een brandweerinzet blijkt noodzakelijk te zijn voor de veiligheid van de personen in het door rookverspreiding bedreigde deel van het woongebouw.

Het overkoepelende doel van de brandweerinzet moet zijn om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van de personen zo groot mogelijk te maken. Dit doel kan worden

bereikt door personen te evacueren, brand te bestrijden en verdere rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken.

De stand van de deur naar de brandruimte is bepalend voor de afweging die moet worden gemaakt ten aanzien van de inzetactie. Wanneer de deur naar de brandruimte openstaat bij aankomst van de brandweer, blijkt een prioriteit op blussing het best te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Wanneer de deur naar de brandruimte bij aankomst van de brandweer echter dicht zit, blijkt het leggen van de prioriteit bij redding het best.

Het is belangrijk voor de brandweer om zich te realiseren dat alle acties die zij doet in meer of mindere mate rookverspreiding veroorzaken, zowel horizontaal als verticaal. Het lopen over met rook gevulde gangen, het openen en sluiten van deuren en het uitvoeren van blusacties veroorzaken allemaal in bepaalde mate rookverspreiding. Dominant hierbij is mechanisch ventileren; dit is in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook, en met name van CO.

Aanvullende risicobeheersende maatregelen in combinatie met een gesloten deur naar de brandruimte zorgen naast een vermindering van rookverspreiding door het gebouw in de vluchtfase óók voor een verminderde invloed van de brandweer op de rookverspreiding tijdens de inzetfase. Dergelijke maatregelen zorgen er echter tegelijk voor dat warmte en rook tijdens een buitenverkenning minimaal of niet zichtbaar zijn.

Een grote uitdaging voor de brandweer ligt bij het vaststellen welk deel van het woongebouw ontruimd moet worden en via welke routes dit moet gebeuren. Rookverspreiding is, naarmate een ruimte zich verder van de bron bevindt, zeer onvoorspelbaar. Daarnaast wil de afwezigheid van zichtbare rook niet zeggen dat er geen verstikkende gassen aanwezig kunnen zijn. De enige manier om vast te stellen welke woningen, gangen en vluchtroutes veilig zijn, is door het doen van een uitgebreide verkenning en van een uitvoerige meting in het gebouw. Het ontruimen van verdiepingen of delen van het gebouw ligt hierbij voor de hand, alhoewel dit ook kan zorgen voor een verdere rookverspreiding.



7 Generaliseerbaarheid

7.1 Inleiding

In eerdere hoofdstukken zijn de resultaten weergegeven van het praktijkonderzoek naar rookverspreiding zoals dat is uitgevoerd op de specifieke testlocatie. Het doel van dit onderzoek is het in brede zin in kaart brengen van het effect van rookverspreiding in relatie tot risicobeheersende maatregelen en vormen van brandbestrijding op vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand in een woongebouw met inpandige gangen. Daarom is het van belang om aandacht te besteden aan de mate van generaliseerbaarheid – oftewel de externe validiteit – van het praktijkonderzoek. In dit hoofdstuk wordt daarom de mate van generaliseerbaarheid van de resultaten besproken.

In paragraaf 2.6.3 is al aangegeven dat de externe validiteit van het onderzoek gevormd wordt door:

- > Ecologische validiteit: de mate waarin de onderzoeksresultaten uit een onderzoek overeenkomen met de alledaagse praktijk.
- > Generaliseerbaarheid van de steekproef: is de steekproef representatief voor de populatie?
- > Betekenisvaliditeit: de mate waarin een begrip meet wat er onder dat begrip moet worden verstaan / wat de betekenis van dat begrip is (betekenisexclusiviteit). Dit onderdeel van de externe validiteit is al in paragraaf 2.6.3 en de hoofdstukken 3, 4 en 5 besproken. Op grond daarvan kan worden beoordeeld dat de betekenisvaliditeit van dit onderzoek hoog is.

Aan de hand van de ecologische validiteit, de generaliseerbaarheid van de steekproef en de betekenisvaliditeit wordt uiteindelijk de mate van generaliseerbaarheid bepaald.

7.2 Generaliseerbaarheid van de steekproef

Ten aanzien van de generaliseerbaarheid van de steekproef kunnen er op het eerste oog belangrijke beperkingen worden aangewezen: het praktijkonderzoek is immers slechts in één gebouw uitgevoerd met één vastgesteld scenario en brandobject, terwijl er in werkelijkheid veel verschillende uitvoeringen van woongebouwen met inpandige gangen te vinden zijn, de brandstof divers is en het aantal potentiële brandscenario's bijna oneindig groot. Tegelijk mag gesteld worden dat, hoewel de testlocatie in Oudewater een specifieke vorm en indeling heeft, dit type gebouwen in Nederland veel voorkomt en dat er – mede op basis van de resultaten – geen aanleiding is om te veronderstellen dat bijvoorbeeld een gang die iets breder is tot een fundamenteel ander resultaat zou leiden.

Er is omwille van de vergelijkbaarheid en betrouwbaarheid van het onderzoek slechts één scenario getest, maar er is geen reden om aan te nemen dat dit scenario niet realistisch is of een principieel verkeerd beeld geeft van de werkelijkheid. Omdat bovendien het scenario bij iedere brand verschillend is vanwege de omstandigheden die op dat moment een rol spelen,

kan de vraag gesteld worden of bijvoorbeeld een verdubbeling of verdrievoudiging van het aantal scenario's in het onderzoek in verhouding tot het totaal aantal potentiële scenario's, tot een fundamentele toename van de generaliseerbaarheid zou leiden. Het antwoord op die vraag zal hoogstwaarschijnlijk nee zijn.

Tot slot mag geconcludeerd worden dat de generaliseerbaarheid van de gekozen brandstof (wel) groot is: door de keuze van een bank en organische brandstof is een volledig beeld ontstaan van de spreiding van het effect van rookverspreiding bij het verbranden van materiaal dat veel rook produceert tot het verbranden van materiaal dat weinig rook produceert. Bovendien is in paragraaf 1.5.1 al geconstateerd dat bij 25 procent van de fatale branden banken of matrassen betrokken zijn.

7.3 Ecologische validiteit

De rapportage *Trends om van te leren* (Brandweeracademie & Brandweer Nederland, 2017, p. 8) stelde dat “de belangrijkste constatering is dat de rookverspreiding veel groter is dan we op basis van huidige kennis en ervaring verwachten. Ook de opleidingen en oefeningen zijn vooral gericht op de brand en de branduitbreiding; er is veel minder aandacht voor de rook en rookverspreiding. Onterecht blijkt nu uit de casussen. Via kanalen, (lift)schachten en ventilatiesystemen, maar ook via (ondeugdelijke) bouwkundige brandpreventieve voorzieningen en door een brandweerinzet kan de rook zich verspreiden.”

In *Branden in seniorencomplexen: regelgeving en praktijk* (Brandweeracademie, 2016a, p. 17) werd ten aanzien van het uitgangspunt (uit de bouwregelgeving) ‘de rook blijft tenminste 30 minuten binnen het appartement’ geconcludeerd: “Dit uitgangspunt wordt veel vaker ontkracht (dan het vorige uitgangspunt over de Branduitbreiding). Ook al blijft de brand binnen de grenzen van het brandcompartiment (c.q. het appartement), dan hoeft dit nog niet te gelden voor de rook. De rook kan zich verspreiden door een groot gedeelte van het seniorencomplex en zelfs andere appartementen binnendringen, terwijl de brand zich niet verder verspreidt.”

Het praktijkonderzoek in Oudewater is ontworpen op basis van deze onderzoeken van praktijkincidenten, waarmee een fundering is gelegd voor de ecologische validiteit. Om te bepalen in hoeverre deze opzet geslaagd is, worden in deze paragraaf een aantal recente praktijkvoorbeelden van rookverspreiding afgezet tegen de onderzoeksresultaten. Op die wijze kan worden getoetst of en in hoeverre bevindingen in de onderzoeksetting afwijken van de praktijk. In *Trends om van te leren* en *Branden in seniorencomplexen* is al vastgesteld dat rookverspreiding een veel voorkomend fenomeen is. Dit hoeft daarom niet opnieuw te worden aangetoond. Wel is het relevant te vergelijken hoe de rookverspreiding plaatsvindt. Hiertoe zijn vijf recente branden geselecteerd waarbij sprake is geweest van rookverspreiding bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen. Deze branden zijn niet allemaal in een woning ontstaan. Dit is echter ook maar beperkt relevant aangezien er wél rookverspreiding naar binnen plaatsvond en bekeken is hoe de rook zich verspreid heeft en in hoeverre dit overeenkomt met de bevindingen van het praktijkonderzoek.

Omdat er gedurende een daadwerkelijke brand niet of nauwelijks metingen plaatsvinden, kan er alleen sprake zijn van een kwalitatieve vergelijking, zowel onderling tussen incidenten als met de resultaten van dit praktijkonderzoek. Voor deze vergelijking is gebruikgemaakt

van TBO³⁸- en evaluatierapporten van de betrokken brandweerkorpsen. Hierbij dient de kanttekening gemaakt te worden dat alleen TBO- en evaluatieverslagen zijn gebruikt van die incidenten waar rookverspreiding heeft plaatsgevonden. Het is niet uitgesloten dat er ook incidenten hebben plaatsgevonden waarbij de rookverspreiding relatief beperkt is gebleven en waarbij er geen TBO- of incidentrapportage is opgesteld. De bevindingen van deze kwalitatieve vergelijking zijn hieronder weergegeven in tabel 7.1.

Tabel 7.1 Praktijkincidenten met rookverspreiding

	Harm Smeengekade (Zwolle, 2020) ³⁹	Grote Beer (Rotterdam, 2020) ⁴⁰	Söderblomflat (Rotterdam, 2017) ⁴¹	Wittebrug (Poeldijk, 2018) ⁴²	Heycop (Breukelen, 2018) ⁴³
Type gebouw	Seniorenflat	Woongebouw	Woongebouw	Woongebouw	Woongebouw
Aantal bouwlagen	8	5	20	5	6
Bewoners	(Zeer) kwetsbaar	Algemeen en kwetsbaar	Algemeen en kwetsbaar	Kwetsbaar	(Zeer) kwetsbaar
Locatie brand	Balkon 1 ^e verdieping, naar binnen geslagen	Appartement 5 ^e (bovenste) verdieping	Woning 7 ^e verdieping	Fietsenberging	Gestart op balkon 1 ^e verdieping, naar binnen geslagen
Eindomvang brand	2 woningen bij brand betrokken	1 woning	1 woning	1 scooter en enkele dozen oud papier	1 woning
Voordeur brandruimte	Dicht	Open	Open	Open	Open
Rook in vluchtroute bij brandruimte	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Rook in woningen brandverdieping	?	Ja	Ja	Ja	Beperkt
Rook in vluchtroute andere verdiepingen	Ja	Nee	Ja	Ja	Ja
Rook in woningen andere verdiepingen	?	Nee	Ja	Ja	Nee

³⁸ Team Brandonderzoek.

³⁹ Gebaseerd op infosheet brandonderzoek Veiligheidsregio IJsselland.

⁴⁰ Gebaseerd op 'Grootschalige ontruiming na kleine brand', Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond.

⁴¹ Gebaseerd op onderzoeksrapport Brand Söderblomflat Rotterdam, Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond.

⁴² Gebaseerd op Brandonderzoeksrapport Wittebrug, Veiligheidsregio Haaglanden.

⁴³ Gebaseerd op Brand woongebouw 't Heycop Breukelen, Veiligheidsregio Utrecht.

Rookscheidingen	Niet gewerkt of open blijven staan	Deels open blijven staan	Vlucht-trappenhuis is rookvrij gebleven	Doorbroken tijdens vluchten	Regelmatig open geweest bij ontruiming
Rookverspreiding via ventilatie	Ja	?	Ja	Ja	Beperkt
Rookverspreiding via kieren/naden	Ja	Ja	Ja	Ja	Beperkt
Brandweerinzet	Transitional attack	Offensief binnen	Offensief binnen	Offensief binnen	Offensief binnen
Omvang inzet	12 TS	8 TS	12 TS	4 TS	13 TS
Reddingen/ evacuatie	Via interne vluchtroutes	Via balkon	Via interne vluchtroutes + vluchtbalkons	Via interne vluchtroutes	Via interne vluchtroutes
Brandweerinzet bijgedragen aan rookverspreiding	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Bijzonderheid		Complex pand (split-level-constructies)	Hoarding zorgt voor extra en langdurige rook		
Scenario meest te vergelijken met:	Maximale ventilatie, offensief binnen	Deur open, offensief binnen	Deur open, Offensief binnen	Deur open, offensief binnen	Maximale ventilatie, offensief binnen

Een vergelijking van tabel 7.1 met de resultaten van de hoofdstukken 3, 4 en 5 laat zien dat de rookverspreiding bij de vijf geselecteerde praktijkincidenten grotendeels overeenkomstig is met de wijze van rookverspreiding zoals vastgesteld tijdens het praktijkonderzoek in Oudewater.

- > Bij alle incidenten vindt in de praktijk zowel horizontale als verticale rookverspreiding plaats.
- > De deur (open / dicht) blijkt ook in de praktijk een dominante factor bij rookverspreiding, met name op de verdieping waar de brand plaats vindt. De (voor)deur van de brandruimte blijft bij ontvluchting in de praktijk regelmatig openstaan.
- > Ook in die gevallen waar de voordeur van de brandruimte gesloten is / blijft, is echter sprake van rookverspreiding. Rookverspreiding vindt dan plaats via kieren, naden en ventilatiesystemen.
- > Personen in de andere woningen raken daar ingesloten door rookverspreiding en een aantal maal stroomt er rook die woningen in.
- > De brandweer wordt bij aankomst geconfronteerd met vergevorderde rookverspreiding en is genoodzaakt om met zeer veel eenheden het gebouw te ontruimen.
- > Bij de vijf incidenten heeft de brandweerinzet op bepaalde plekken een verdere rookverspreiding veroorzaakt, doordat rookscheidingen geopend moesten worden voor de ontruiming of om een aanvalsweg naar de brand te creëren.

Tegelijk kunnen er ook verschillen geconstateerd worden tussen de experimenten en de vijf praktijkincidenten.

- > Bij meerdere incidenten is sprake van een brand die van buiten naar binnen geslagen is. Dit scenario is niet getest. De vraag is echter in hoeverre dit invloed heeft gehad op de verspreiding van rook in het gebouw.
- > In een aantal incidenten heeft een grote (open) leiding- of liftschaft een rol gespeeld. Deze waren in de testlocatie niet aanwezig in het bouwdeel dat gebruikt is voor het onderzoek.
- > Er is veelal sprake van een grotere hoeveelheid vuurlast dan één bank. In combinatie met omstandigheden waardoor de brand meer zuurstof krijgt en wind op het pand staat, zorgt dit voor meer en langduriger rookverspreiding, zelfs meer dan in het geteste scenario van variant 8 (balkondeur en deur open, maximale ventilatie).
- > Bij meerdere incidenten heeft het geruime tijd geduurd voordat de brandweerinzet kon starten, doordat aanwezige personen voor het vluchten gebruikmaakten van de aanvalsweg of geassisteerd moesten worden. De inzetfase is dus in een aantal gevallen later gestart dan de (aangenomen) 20 minuten van het praktijkonderzoek.

In hoeverre deze verschillen gevolgen hebben gehad voor het patroon en de omvang van de rookverspreiding, kan achteraf niet worden vastgesteld. De praktijk laat in ieder geval zien dat de gekozen scenario's voor het praktijkonderzoek zeker niet te positief / optimistisch zijn.

Achteraf is het alleen indirect mogelijk de effecten van rookverspreiding in termen van vlucht- en overlevingsmogelijkheden vast te stellen: omdat er geen metingen zijn uitgevoerd, kunnen er bijvoorbeeld geen berekeningen van het dosistempo (van onder andere CO) worden uitgevoerd. Tegelijk is wel bij veel incidenten vastgelegd dat personen met een inhalatietrauma naar het ziekenhuis moesten worden vervoerd en/of door de rook moesten vluchten. Op grond daarvan mag worden aangenomen dat ook bij deze vijf branden tenminste sprake is geweest van een belemmerde ontvluchting.

7.4 Conclusie

Geconcludeerd wordt dat de generaliseerbaarheid van de steekproef niet hoog is, maar dat de ecologische validiteit en de betekenisvaliditeit van het onderzoek wél hoog zijn. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat de bevindingen niet voldoende generaliseerbaar zijn naar andere woongebouwen met inpandige gangen. Een kanttekening die hierbij moet worden gemaakt, is dat praktijkincidenten laten zien dat lokale omstandigheden tot een uniek patroon van rookverspreiding leiden.

Hoewel de resultaten van dit onderzoek op hoofdlijnen inzicht geven in maatregelen die de meeste of minste invloed op rookverspreiding hebben, zijn zij, waarschijnlijk met uitzondering van galerijflats met besloten galerijen, niet zomaar generaliseerbaar naar andere bouwtypen. Elementen uit het onderzoek zijn wel bruikbaar om vragen ten aanzien van brandveiligheid in andere typen gebouwen zoals bijvoorbeeld portiekflats⁴⁴ te beantwoorden. Hierbij kan gedacht worden aan het effect van open of gesloten deuren, rookverspreidingsroutes en de werking van risicobeheersende maatregelen.

⁴⁴ Woningen die rechtstreeks te bereiken zijn vanuit het trappenhuis.



8 Conclusie

In dit hoofdstuk worden op basis van de vorige hoofdstukken de deelvragen beantwoord die centraal hebben gestaan in dit onderzoek, elke in een afzonderlijke subparagraaf. In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk wordt de hoofdvraag beantwoord.

8.1 Beantwoording van de deelvragen

8.1.1 Hoe kunnen vlucht- en overlevingsmogelijkheden gedefinieerd worden?

Het voorkomen van slachtoffers bij brand wordt bepaald door de mogelijkheid voor aanwezige personen om veilig te kunnen vluchten of de brand te overleven totdat ze gered worden. In een brandsituatie is het namelijk van belang dat de beschikbare tijd (ASET⁴⁵) groter is dan de benodigde tijd (RSET⁴⁶) (Instituut Fysieke Veiligheid, 2017). Bepalend voor de beschikbare tijd voor vluchten en overleven zijn de condities waaraan personen in de betrokken ruimten worden blootgesteld en hun kwetsbaarheid voor deze condities.

De condities die de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in geval van brand beïnvloeden zijn:

- > irriterende en verstikkende gassen
- > warmte
- > zicht.

Deze brandcondities kunnen leiden tot belemmerde vluchtmogelijkheden, een levensbedreigende situatie of zelfs een fatale situatie (zie figuur 8.1).



Figuur 8.1 Schema van vlucht- en overlevingsmogelijkheden van slachtoffers bij brand

De grenswaarden die de overgang vormen tussen de onderscheiden situaties kunnen op basis van verschillende standaarden worden vastgesteld. In de methodes in deze standaarden gaat het veelal om de verhouding tussen een concentratie of een dosis en de

⁴⁵ ASET = Available Safe Escape Time.

⁴⁶ RSET = Required Safe Escape Time.

limiet voor die concentratie of dosis waarbij de vlucht- en overlevingsmogelijkheden worden bedreigd. In de grenswaarden tussen de situaties kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende groepen (subpopulaties) die ieder een eigen gevoeligheidsfactor (sf) hebben voor irriterende en verstikkende gassen, voor warmte en voor een belemmering van hun zicht. In dit rapport zijn de groepen 'algemeen', 'kwetsbaar' en 'zeer kwetsbaar' onderscheiden. De vlucht- en overlevingsmogelijkheden kunnen gedefinieerd worden op basis van de situaties uit figuur 8.1, de bijbehorende grenswaarden en de hiervoor genoemde groepen. In tabel 8.1 is het resultaat weergegeven. Voor een nadere toelichting zie paragraaf 1.3.4, 1.3.5 en 2.5.2.

Tabel 8.1 Overzicht van grenswaarden volgens SFPE

Brandconditie	Methode	Belemmerend			Levensbedreigend			Fataal		
		Ze er kw ets ba ar	kw ets ba ar	Al ge me en	Ze er kw ets ba ar	kw ets ba ar	Al ge me en	Ze er kw ets ba ar	kw ets ba ar	Al ge me en
Irriterende gassen	FIC/FLD	0,1	0,3	1,0	0,5	1,5	5	0,1	0,3	1,0
Verstikkende gassen	FED _{IN}	-	-	-	0,1	0,3	1,0	0,2	0,6	2,0
Warmte	FED _{heat}	0,1	0,3	1,0	0,8	2,4	8,0	1,2	3,6	12,0
Zicht	FEC _{smoke}	0,1	0,3	1,0	-	-	-	-	-	-

8.1.2 Welk brandverloop en welke rookverspreiding mogen in het woongebouw verwacht worden op basis van simulaties?

Brandverloop op basis van de simulaties

Op basis van de simulaties wordt geconcludeerd dat bij de simulatie met de deur open een nagenoeg brandstofbeheerst brandverloop verwacht mag worden. Bij de simulatie met de deur dicht mag een zuurstofbeheerst brandverloop verwacht worden.

Rookverspreiding op basis van de simulatie met de deur open

Er is op de eerste verdieping rookverspreiding te zien naar alle (in de simulatie geprojecteerde) ruimten, met uitzondering van woning 1.24. Ook op de overige verdiepingen en begane grond is rookverspreiding te zien in de gangen, de woningen boven of onder de brandruimte en de woning die een gedeeld ventilatiekanaal heeft met de gang. De ventilatiekanalen spelen in de simulatie een belangrijke rol in de rookverspreiding door het gebouw.

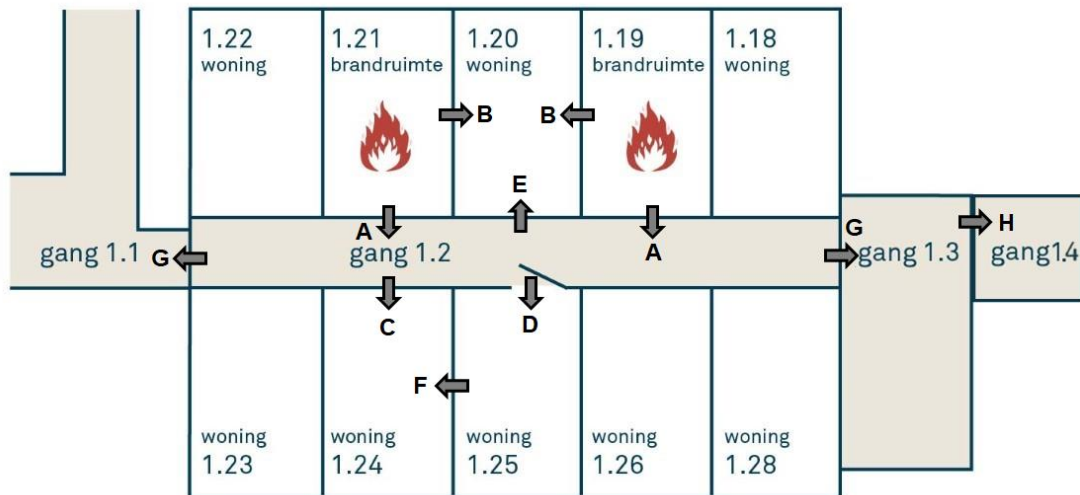
Rookverspreiding op basis van de simulatie met de deur dicht

Ook bij deze simulatie spelen de ventilatiekanalen een belangrijke rol in de rookverspreiding door het gebouw. Het openen van de deur van de brandruimte naar gang 1.2 gedurende 30 seconden is bepalend voor de rookverspreiding naar gang 1.2. Bij de simulatie met de deur

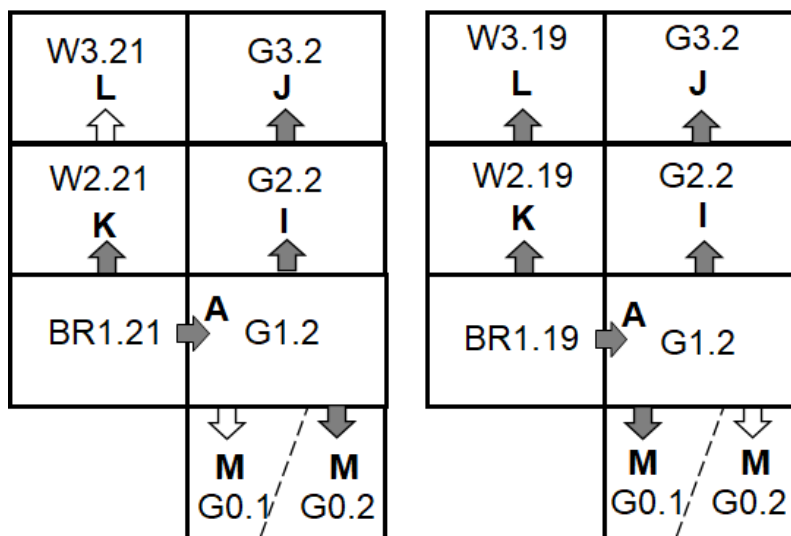
dicht blijft de rookverspreiding op de overige verdiepingen beperkt tot de gangen en de woningen boven of onder de brandruimte.

8.1.3 Hoe vindt in de praktijk rookverspreiding plaats bij brand in het woongebouw en welke factoren bepalen deze rookverspreiding?

Rookverspreiding buiten de brandruimte heeft bij alle testen plaatsgevonden via diverse horizontale en verticale (sub)routes (zie figuur 8.2 en figuur 8.3).



Figuur 8.2 Routes van horizontale rookverspreiding op de eerste verdieping



Figuur 8.3 Routes van verticale rookverspreiding over meerdere verdiepingen

Hierbij gaat het om zowel horizontale als verticale rookverspreiding naar verschillende ruimten in het woongebouw. Dit betekent dat er bij een brand in slechts een deel van één bank in één ruimte toch op meerdere plaatsen in het woongebouw een risicovolle situatie ontstaat.

In dit onderzoek heeft er meer rookverspreiding horizontaal plaatsgevonden dan verticaal. Hoewel er bij veel testen op andere verdiepingen rookverspreiding is geconstateerd, zijn de

visueel waargenomen hoeveelheden en gemeten concentraties gassen lager dan op de verdieping van de brand. Daarnaast is de verticale rookverspreiding minder consistent dan de horizontale en verloopt de rookverspreiding tijdens de inzetfase grilliger dan tijdens de vluchtfase. Het lijkt erop dat er naast de brandweerinzet meer variabelen en factoren de rookverspreiding beïnvloeden.

Rookverspreiding in het algemeen vindt hoofdzakelijk plaats via (open) deuren, ventilatiekanalen en wandcontactdozen. Horizontale rookverspreiding vindt vooral plaats via deuren: de meeste rookverspreiding is zichtbaar bij openstaande deuren of tijdens het openen van deuren. Verticale rookverspreiding geschiedt vooral via ventilatiekanalen en wandcontactdozen.

Iedere opening tussen ruimten veroorzaakt rookverspreiding, waarbij een grote opening voor snellere en grotere hoeveelheden rookverspreiding zorgt. De (mate van) rookverspreiding wordt beïnvloed door de onderstaande factoren.

- > De samenstelling van het brandobject: organische of synthetische brandstof. Organische brandstof zorgt voor veel minder rookproductie dan een synthetische brandstof.
- > Het openen dan wel gesloten houden van deuren is van invloed op de verspreiding van grote hoeveelheden rook. Een gesloten deur beperkt de rookverspreiding.
- > Andere openingen en doorvoeren in de scheidingsconstructie zijn beperkter van invloed op de verspreiding van rook. Hoe kleiner de opening of doorvoer, hoe minder de rookverspreiding die erdoor veroorzaakt wordt.
- > De aanwezigheid van een mobiele watermist en/of rookwerende scheiding beperkt de verspreiding van rook.
- > De specifieke locatie van de brandruimte is van invloed op de verticale rookverspreiding.
- > De brandweerinzet heeft invloed op de rookverspreiding door het openen van deuren en gebruiken van ventilatoren.

Rook bestaat uit vaste, vloeibare en gasvormige deeltjes. Veelal verspreiden deze zich gezamenlijk en is er op dezelfde plek sprake van zichtbare rook (roetdeeltjes en vloeistofdeeltjes) en van onzichtbare rookgassen. Soms verspreiden gassen en deeltjes zich echter verschillend en kon vastgesteld worden dat in diverse ruimten geen of nauwelijks zichtbare rook aanwezig was, terwijl er in die ruimten wél CO werd gemeten. Ook het omgekeerde is op een aantal plekken geconstateerd: zichtbaar aanwezige rook, maar geen gemeten CO.

Geconcludeerd wordt dat rook zich snel door het woongebouw verspreidt en dat rookverspreiding een onvoorspelbaar fenomeen is, in het bijzonder op grotere afstand van de brandruimte. In combinatie met het gegeven dat niet alle rook zichtbaar is, maakt dit rookverspreiding moeilijk in te schatten als het gaat om haar omvang en ernst.

8.1.4 Welk effect heeft de geconstateerde rookverspreiding op de vluchten en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties van kwetsbaarheid?

Een bank in brand zorgt binnen 4 tot 7 minuten voor een fatale situatie in de brandruimte. In de gang naast de brandruimte wordt vrijwel direct na het openen van de deur van de brandruimte ($t = 5$ minuten) een situatie bereikt waarin vluchten voor personen in andere woningen ernstig wordt belemmerd, doordat de gang zich binnen enkele seconden met rook vult en het zicht minimaal wordt. Er worden in de gang zodanig hoge concentraties

verstikkende en irriterende gassen gemeten, dat er een levensbedreigende situatie ontstaat, in het bijzonder voor (zeer) kwetsbare groepen.

Personen in de overige woningen langs dezelfde gang zitten 'vast' in hun woning nadat de deur van de brandruimte geopend is (geweest). Vanuit de gang kan de rook zich verder verspreiden naar deze overige woningen en naar andere gangen op dezelfde verdieping. In deze woningen (waar geen brand is), kan een fatale situatie ontstaan door rook die de woning binnenkomt, met name voor (zeer) kwetsbare groepen. De rookverspreiding naar andere gangen zal vooral optreden als de deuren tussen deze gangen (kort) worden geopend, bijvoorbeeld door personen die het gebouw ontvluchten of in de gang willen kijken wat er aan de hand is. Op die manier kan ook voor personen in andere woningen verderop in het gebouw een belemmerde ontvluchting ontstaan.

Ook naar de overige verdiepingen vindt rookverspreiding plaats. Hoewel deze rookverspreiding volgens de gehanteerde analysemethodiek niet leidt tot een belemmerde ontvluchting, zijn er wel verhoogde CO-concentraties gemeten op deze verdiepingen.

8.1.5 In hoeverre zijn aanwezige en toekomstige rookwerende scheidingen, een mobiel watermiststelsel en meubilair van organisch materiaal effectief in het verbeteren van vlucht- en overlevingsmogelijkheden in het woongebouw voor personen met verschillende gradaties in kwetsbaarheid bij brand?

Een inventaris van organisch materiaal in plaats van synthetisch materiaal (een bank met schuimvulling) blijkt de grootste beperking van de rookproductie en daarmee van rookverspreiding op te leveren. Hierdoor is deze maatregel het meest effectief in het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen in alle ruimten. Desondanks leidt een brand in meubilair van organisch materiaal voor alle groepen na enige tijd (6 tot 14 minuten) tot een belemmerde ontvluchting in de gang als de deur van de brandruimte openstaat.

Een mobiele watermist is eveneens een effectieve maatregel voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Als de deur van de brandruimte na het vluchten open blijft staan is de verbetering in vergelijking met een situatie zonder een mobiele watermist groter voor de algemene groep dan voor de (zeer) kwetsbare groepen. Als de deur na het vluchten weer wordt gesloten, is er sprake van een verbetering voor alle groepen.

Het sluiten van de deur van de brandruimte na het vluchten als maatregel levert geen of nauwelijks een verbetering op van de vluchtmogelijkheden. In de gang is na het openen van de deur sprake van een belemmerde ontvluchting voor alle groepen. De maatregel levert wel een verbetering op voor de overlevingsmogelijkheden in de overige niet aan de brandruimte grenzende woningen met een gesloten deur. Voor alle groepen is in de niet aan de brandruimte grenzende woningen sprake van een overleefbare situatie tijdens de eerste 20 minuten. In woningen grenzend aan de brandruimte of woningen met een geopende deur is dit niet het geval.

Het toepassen van een specifieke rookwerende scheiding levert in vergelijking met het gesloten houden van de deur niet of nauwelijks een verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op. Tijdens het vluchten is het openen van de deur van de brandruimte gedurende 30 seconden een bepalende factor voor het verslechteren van de

omstandigheden in de gang en de aan de gang grenzende woningen. Een rookwerende scheiding als maatregel is effectiever als deuren tijdens de gehele brand gesloten blijven. Een aandachtspunt is daarnaast dat de druk in de brandruimte flink kan toenemen, zowel vóór het openen van de deur (tot meer dan 300 pascal), als na het sluiten van de deur (tot meer dan 1000 pascal). Dit kan leiden tot rookverspreiding via andere routes.

Geconstateerd wordt dat geen van de geteste (aanvullende) risicobeheersende maatregelen zelfstandig in staat is om in alle situaties een voldoende verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden te bieden voor alle groepen. Veelal wordt met een individuele maatregel vooral een verbetering bereikt voor de algemene groep, terwijl voor de (zeer) kwetsbare groepen maar weinig of geen verbetering kon worden vastgesteld.

In aanvulling op de beoordeling van individuele maatregelen is bepaald in welke mate combinaties van maatregelen tot een verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden leiden. Deze staan hieronder opgesomd in volgorde van effectiviteit.

- 1) Een inventaris van organisch materiaal in combinatie met een gesloten deur.
- 2) Een mobiele watermist in combinatie met een gesloten deur of een mobiele watermist in combinatie met een rookwerende scheiding en een gesloten deur.
- 3) Een gesloten deur in combinatie met een rookwerende scheiding.

Geconcludeerd wordt dat een combinatie van een bron- en effectmaatregel voldoende effectief is voor het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen (opties 1 en 2 uit bovenstaande opsomming). Een individuele effectmaatregel of een combinatie van effectmaatregelen is niet voldoende om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van (zeer) kwetsbare groepen te verbeteren.

8.1.6 Welke inzetactie van de brandweer leidt bij brand in het woongebouw tot de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden?

Voor de start van de brandweerinzet is in veel gevallen al sprake van een belemmerde ontvluchting op de eerste verdieping, waardoor zelfstandig vluchten vaak niet meer mogelijk is. In diverse woningen zijn of ontstaan levensbedreigende omstandigheden. Een brandweerinzet (redden en blussen) is noodzakelijk voor de veiligheid van alle personen in het woongebouw.

Voor aanvang van de brandweerinzet heeft er tijdens alle testen al rookverspreiding plaatsgevonden buiten de brandruimte. Deze omstandigheid dient daarom de uitgangspositie te zijn voor de brandweerinzet. De omvang en ernst van de rookverspreiding zijn echter moeilijk vast te stellen door de complexiteit van het gebouw, de grilligheid van de rookverspreiding en het feit dat geen zichtbare rook níet wil zeggen dat er geen sprake is van een onveilige situatie voor de aanwezige personen. De enige manier om vast te stellen welke woningen, gangen en vluchtroutes veilig zijn, is door het doen van een uitgebreide verkenning en meting in het woongebouw.

Naast het bestrijden van de brand moet het doel van de brandweerinzet zijn om verdere rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken. Het bij aankomst van de brandweer open of gesloten zijn van de deur van de brandruimte is bepalend voor de keuze van de inzetactie om deze doelstellingen te behalen. Wanneer de deur naar de brandruimte openstaat bij

aankomst van de brandweer, blijkt blussen voor redden het meest optimaal te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Wanneer de deur naar de brandruimte echter dicht zit, blijkt redden voor blussen het meest zinvol te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Iedere actie van de brandweer veroorzaakt echter verdere rookverspreiding, zowel horizontaal als verticaal. Het lopen door met rook gevulde gangen, openen en sluiten van deuren en blusacties leiden in bepaalde mate allemaal tot rookverspreiding naar aangrenzende ruimten. Mechanisch ventileren heeft een dominante invloed en in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het naar meerdere ruimten en verdiepingen (verder) verspreiden van rook, en dan met name van CO.

Risicobeheersende maatregelen in combinatie met een gesloten deur van de brandruimte zorgen naast een vermindering van rookverspreiding door het gebouw tijdens de vluchtfase óók voor een verminderde rookverspreiding door de brandweer tijdens de inzetfase.

8.1.7 In hoeverre zijn de resultaten generaliseerbaar naar woongebouwen met inpandige gangen?

Geconcludeerd wordt dat de generaliseerbaarheid van de steekproef niet hoog is, maar dat de ecologische validiteit en de betekenisvaliditeit van het onderzoek wél hoog zijn. Er is daarom geen reden om aan te nemen dat de bevindingen niet voldoende generaliseerbaar zijn naar andere woongebouwen met inpandige gangen. Een kanttekening die hierbij moet worden gemaakt, is dat praktijkincidenten laten zien dat lokale omstandigheden tot een afwijkend patroon van rookverspreiding leiden.

Hoewel de resultaten van dit onderzoek op hoofdlijnen inzicht geven in maatregelen die de meeste of minste invloed op rookverspreiding hebben, zijn zij – waarschijnlijk met uitzondering van galerijflats met besloten galerijen – niet zomaar generaliseerbaar naar andere bouwtypen. Diverse elementen uit het onderzoek zijn echter wel bruikbaar om vragen ten aanzien van de brandveiligheid in andere typen gebouwen, zoals bijvoorbeeld portiekflats, te beantwoorden. Hierbij kan gedacht worden aan het effect van open of gesloten deuren, rookverspreidingsroutes en de werking van risicobeheersende maatregelen.

8.2 Beantwoording van de hoofdvraag

Wat is het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen en hoe kan rookverspreiding beperkt worden?

Zoals de praktijk laat zien, is rookverspreiding buiten de brandruimte de standaard en zeker niet de uitzondering. Tijdens dit onderzoek vond rookverspreiding naar de rest van het gebouw al na 2 minuten na het ontstaan van de brand plaats door kieren, naden en doorvoeren. Deze rookverspreiding werd versneld door het (kortdurend) openen van de deur van de brandruimte en vond vrijwel gelijktijdig horizontaal en verticaal plaats. Dit betekent dat een incident zich ook bij een beperkte brand op meerdere plaatsen in het woongebouw ontwikkelt. De (mate van) rookverspreiding is afhankelijk van de volgende factoren:

- > het brandobject: organische of synthetische brandstof

- > het openen of gesloten houden van deuren
- > andere openingen en doorvoeren in de scheidingsconstructie
- > de aanwezigheid van (aanvullende) risicobeheersende maatregelen (een mobiele watermist en/of rookwerende scheiding)
- > de locatie van de brandruimte
- > de brandweerinzet.

De exacte rookverspreiding is sterk afhankelijk van de lokale omstandigheden.

De rookverspreiding beïnvloedt de vlucht- en overlevingsmogelijkheden op de volgende locaties van het woongebouw:

- > *De gang grenzend aan de woning waar de brand is*
De vluchtmogelijkheden voor personen in woningen grenzend aan de gang worden vrijwel direct na het openen van de deur van de brandruimte (t = 5 minuten) ernstig belemmerd, doordat de gang zich binnen seconden met rook vult. In de gang is sprake van zo weinig zicht en zulke hoge concentraties verstikkende en irriterende gassen dat een fatale situatie ontstaat.
- > *Overige woningen grenzend aan de gang*
Personen in de overige woningen langs dezelfde gang zitten 'vast' nadat de deur van de brandruimte geopend is (geweest). Ook in deze overige woningen (waar geen brand is), kan een fatale situatie ontstaan door rook die de woning binnenkomt. Dit geldt in het bijzonder voor situaties waarbij (zeer) kwetsbare groepen betrokken zijn.
- > *De rest van het gebouw*
Het effect van de rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in andere bouwdelen en op andere verdiepingen van het gebouw is in dit onderzoek beperkt. Dit betekent echter niet dat er geen sprake is van rookverspreiding naar andere bouwdelen en verdiepingen. Op diverse plaatsen zijn namelijk verhoogde CO-concentraties gemeten, die tot gezondheidsschade kunnen leiden als mensen er langdurig aan worden blootgesteld. In het geval van een incident zijn dergelijke omstandigheden aanleiding om over te gaan tot ontruiming van (grote delen van) het gebouw.

Rookverspreiding kan beperkt worden door het treffen van risicobeheersende maatregelen. Wat betreft de geteste maatregelen kan geconcludeerd worden dat alleen een combinatie van bron- en effectmaatregelen effectief is om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor alle groepen voldoende te verbeteren. De combinatie van het beperken van synthetisch materiaal (met name schuimen) in de inventaris en het sluiten van de deuren heeft de meeste invloed op het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Een mobiele watermist in combinatie met het sluiten van de deuren is ook effectief. Alleen een effectmaatregel, zoals het sluiten van de deur of een rookwerende scheiding, is niet voldoende om de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van (zeer) kwetsbare groepen te verbeteren. Risicobeheersende maatregelen in combinatie met een gesloten deur naar de brandruimte zorgen naast een vermindering van rookverspreiding door het gebouw in de vluchtfase óók voor verminderde rookverspreiding door de brandweer tijdens de inzetfase.

Rookverspreiding buiten de brandruimte vindt al plaats voor aankomst van de brandweer en dient daarom de uitgangspositie te zijn voor de brandweerinzet. De omvang en ernst van de rookverspreiding zijn echter moeilijk vast te stellen door de complexiteit van het gebouw, de grilligheid van de rookverspreiding en het feit dat de afwezigheid van zichtbare rook niet wil zeggen dat er geen sprake is van een onveilige situatie voor de aanwezige personen.

De enige manier om vast te stellen welke woningen, gangen en vluchtroutes veilig zijn, is het doen van een uitgebreide verkenning inclusief meting in het woongebouw.

Naast het bestrijden van de brand moet het doel van de brandweerinzet zijn om verdere rookverspreiding zoveel mogelijk te beperken. Het open of gesloten zijn van de deur van de brandruimte is bepalend voor de keuze van de inzetactie om deze doelstellingen te behalen. Wanneer bij aankomst van de brandweer de deur naar de brandruimte openstaat, blijkt blussen voor redden het meest optimaal te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Wanneer de deur naar de brandruimte echter dicht zit, blijkt redden voor blussen het meest zinvol te zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Iedere actie van de brandweer veroorzaakt echter verdere rookverspreiding, zowel horizontaal als verticaal. Het lopen door met rook gevulde gangen, openen en sluiten van deuren en blusacties leiden allemaal in bepaalde mate tot rookverspreiding naar aangrenzende ruimten. Mechanisch ventileren heeft een dominante invloed en is in bijna alle gevallen verantwoordelijk voor het verder verspreiden van rook, en met name CO, naar andere ruimten en verdiepingen.



9 Discussie

Net als zoveel andere onderzoeken, kent ook dit onderzoek verwachte en minder verwachte resultaten. In de volgende paragraaf worden de resultaten nader geïnterpreteerd (9.1). Hierbij wordt onder andere ingegaan op mogelijke verklaringen voor de resultaten en de samenhang met het theoretisch kader. In paragraaf 9.2 wordt ingegaan op de beperkingen van het onderzoek. In de laatste paragraaf (9.3) is een aantal suggesties voor vervolgonderzoek opgenomen.

In hoofdstuk 10 wordt nader ingegaan op de wijze waarop de resultaten van dit onderzoek van belang zijn voor de vakgebieden brandpreventie en brandweerkunde.

9.1 Interpretatie van de resultaten

9.1.1 Rookverspreiding

Uit de resultaten blijkt dat een brand in een deel van een bank al kan leiden tot een snelle horizontale en verticale rookverspreiding in een woongebouw met inpandige gangen.

Dit resultaat met betrekking tot de rookverspreiding komt overeen met de verwachting die is gebaseerd op praktijkincidenten (zie onder andere de inleiding) en op eerder uitgevoerd onderzoek (zie hoofdstuk 1). Uit deze incidenten en onderzoeken blijkt dat een kleine brand al kan leiden tot een snelle rookverspreiding door het een gebouw. Verder blijkt uit de resultaten dat de rookverspreidingsroutes veelal via geopende deuren of naden en kieren rondom gesloten deuren, wandcontactdozen en ventilatiekanalen lopen. Ook dit sluit grotendeels aan bij de verwachtingen, met uitzondering van de horizontale en verticale rookverspreiding via wandcontactdozen die niet direct werd verwacht. Een mogelijke verklaring hiervoor is de uitvoering van de elektrische installatie in de testlocatie, omdat het erop lijkt dat tussen de woningen directe verbindingen via de wandcontactdozen aanwezig zijn. De exacte uitvoering van de elektrische installatie is echter onbekend.

De mate van verticale rookverspreiding naar andere verdiepingen is niet geheel in overeenstemming met de verwachtingen. Op basis van praktijkcasussen en de simulaties werd een grotere hoeveelheid verticale rookverspreiding verwacht dan de onderzoeksresultaten laten zien. Hoewel er in dit onderzoek wel degelijk sprake is van verticale rookverspreiding naar andere verdiepingen, is deze relatief beperkt en grillig. Op basis van het onderzoek kan niet direct verklaard worden wat de oorzaak van deze beperkte rookverspreiding en grilligheid is.

Mogelijke verklaringen zijn de invloed van specifieke gebouwkenmerken (zoals de hoogte van het gebouw en het aantal verdiepingen, het ventilatiesysteem en de indeling van het gebouw) en van weersinvloeden. Bij gebouwen met meer verdiepingen en andere ventilatiesystemen dan de testlocatie kan er sprake zijn van een groter schoorsteeneffect en andere drukverschillen die een grotere verticale rookverspreiding tot gevolg hebben (Jacoby et al., 2016). Weersinvloeden zoals temperatuurverschillen tussen binnen en buiten en

andere winddrukken op het gebouw kunnen ook een grotere verticale rookverspreiding tot gevolg hebben. Deze weersinvloeden zijn (ook) bij een werkelijke brand in een woongebouw natuurlijk situatieafhankelijk.

9.1.2 Vlucht- en overlevingsmogelijkheden

De rookproductie van een kleine brand (in een bank) is zodanig dat de vlucht- en overlevingsmogelijkheden al snel verslechteren na het openen van de deur van de brandruimte. Al binnen 3 minuten na het openen van deze deur is de situatie in de gang fataal. Uit eerdere onderzoeken was al bekend dat branden in gestoffeerd meubilair grote hoeveelheden rook produceren. Het effect op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de woning waarin de brand zich bevindt, voldeed dan ook aan de verwachtingen en is in overeenstemming met eerder uitgevoerd onderzoek (Brandweeracademie, 2015c; Fire Service Academy, 2017).

De verwachting was daarnaast dat de rookproductie en de daaraan gekoppelde rookverspreiding tot een belemmering van vluchtroutes zouden leiden. Vooraf was echter niet verwacht dat deze rook ook een dergelijk groot effect op de overlevingsmogelijkheden *buiten* de brandruimte zou hebben. In de gang zijn tussen 2 tot 4 minuten na het open van de deur van de brandruimte bijvoorbeeld CO-concentraties met pieken tussen de 17.000 tot 30.000 ppm gemeten. Vanaf 4 minuten na het openen van de deur tot het einde van de vluchtfase zijn de gemeten concentraties constant ongeveer 10.000 ppm. Dergelijke concentraties CO kunnen binnen tientallen seconden tot enkele minuten overlijden tot gevolg hebben. Een combinatie van verstikkende gassen kan al binnen enkele tot tientallen seconden leiden tot overlijden. Uit de metingen van het RIVM blijkt dat er ook grote hoeveelheden waterstofcyanide (HCN) zijn aangetroffen in de rook. HCN is ongeveer 25 keer toxischer dan CO. Hoewel in deze rapportage het effect van HCN op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden niet is meegenomen, kan op basis van de metingen van het RIVM gesteld worden dat de invloed van de rook op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden dus nóg groter zal zijn.

De resultaten laten daarnaast zien dat de vlucht- en overlevingsmogelijkheden door risicobeheersende maatregelen verbeterd kunnen worden. Niet elke individuele maatregel is hiervoor echter even effectief (voor alle groepen). Hierbij moet worden opgemerkt dat hoe eerder ingegrepen wordt in de brand en rookproductie, hoe effectiever de maatregel is en dat combinaties van bron- en effectmaatregelen het meest effectief zijn. Tot nog toe was een veel gehoorde opvatting dat maatregelen in een woning vooral effectief zijn voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden van personen in die specifieke ruimte. Dit onderzoek laat duidelijk zien dat deze maatregelen juist noodzakelijk zijn om voor een verbetering van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in de *omliggende* woningen te zorgen.

Dit onderzoek kon niet aantonen dat rookwerende scheidingsdeuren de vlucht- en overlevingsmogelijkheden verbeteren. Uit de resultaten blijkt namelijk dat met het openen van de deur van de brandruimte de rookwerende scheidingsdeur rondom de brandruimte wordt doorbroken. Indien de deur van de brandruimte gesloten blijft, kan een rookwerende scheidingsdeur wél de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in omliggende ruimten verbeteren. De rookwerende scheidingsdeur rondom andere woningen is alleen getest in die situatie dat de deur van de brandruimte 30 seconden is geopend. De meerwaarde van een rookwerende scheidingsdeur rondom andere woningen op de overlevingsmogelijkheden in die andere woningen is mogelijk groter als de deur van de brandruimte gedurende een langere tijd geopend blijft.

Het langer openen van de deur van de brandruimte is echter niet logisch, gezien vanuit het oogpunt dat de rookverspreiding in het gebouw beperkt moet worden. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de deuren van de andere woningen met de rookwerende scheiding in zo'n geval gesloten dienen te blijven.

9.1.3 Brandweerinzet

Voorafgaand aan het onderzoek werd niet verwacht dat de brandweerinzet een zodanig grote invloed op de rookverspreiding zou hebben als is geconstateerd. Bij aankomst van de brandweer was al sprake van een behoorlijke rookverspreiding, zodat elke actie van de brandweer in het gebouw daar automatisch effect op had. Dit begon met het openen van rookscheidingen om bij de brand te kunnen komen, gevolgd door het blussen van de brand en waar nodig het redden of evacueren van personen, en tot slot het ventileren van het gebouw. Een logische verklaring hiervoor is dat er bij iedere actie deuren geopend moeten worden en er vervolgens beweging door – en daarmee verdere verspreiding van – rook plaatsvindt.

De brandweer kiest vaak voorafgaand aan het betreden van een gebouw welke tactiek gevolgd zal worden: redden of blussen. Los van het feit dat dit onderzoek aantoont welke tactiek in welke situatie leidt tot de meest optimale vlucht- en overlevingsmogelijkheden, leidt dit onderzoek ook tot waardevolle conclusies ten aanzien van het moment waarop deze keus gemaakt zou moeten worden. Dit moet namelijk niet van tevoren gebeuren, maar pas als de eerste ploeg voor de deur van de brandruimte staat en daar constateert dat de deur open of gesloten is. Dit betekent dat een andere benadering van de besluitvorming nodig is.

Niet verwacht was dat (juist) ventileren voor een verdere verspreiding van de rook zorgt, ook naar ruimten die tot op dat moment (relatief) rookvrij waren. Ventileren van een gebouw blijkt niet eenvoudig te zijn, terwijl er wel vaak eenvoudig over wordt gedacht. Wat zéker niet verwacht was, was het onderscheid tussen zichtbare en onzichtbare rook. De conclusie 'geen zichtbare rook betekent niet dat er geen gevaar is', is waardevolle nieuwe kennis voor het optreden bij brand in het algemeen. Dit laat eens te meer zien dat zicht niet altijd de beste raadgever is, terwijl dit wel het primaire zintuig is op basis waarvan gehandeld wordt.

9.2 Beperkingen van het onderzoek

Dit onderzoek kent een aantal beperkingen, die een gevolg zijn van de keuzes die vooraf en tijdens de uitvoering gemaakt zijn. Deze beperkingen worden hier in drie stappen besproken. Allereerst worden algemene beperkingen van het onderzoek genoemd, waarna de beperkingen ten aanzien van de primaire keuzes die zijn gemaakt bij het vaststellen van de onderzoeksopzet aan bod komen. Tot slot komen de beperkingen van de secundaire keuzes aan de orde.

9.2.1 Algemene beperkingen

Een algemene beperking is dat er 'slechts' 19 testen zijn uitgevoerd in een specifiek gebouw en met een specifiek brandscenario, terwijl zowel uit experimenten als uit de praktijk bekend is dat het brandscenario, de rookverspreiding en de effecten op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden sterk afhankelijk zijn van een groot aantal factoren. Het was echter onmogelijk om al deze factoren in alle variaties te onderzoeken. Ondanks het feit dat het 'maar' 19 testen betreft, zijn dit aantal en de bijbehorende varianten voor

praktijkonderzoek (op deze schaal) erg uitgebreid. Daarnaast is onder andere door het dubbel testen van alle varianten gestreefd naar voldoende betrouwbaarheid van de resultaten.

9.2.2 Primaire keuzes bij het maken van de onderzoeksopzet

In het onderzoek zijn keuzes gemaakt ten aanzien van risicobeheersende maatregelen en de tactieken gebruikt voor de brandweerinzet. Dit zijn primaire keuzes, aangezien zij bepaald hebben hoe het onderzoek vormgegeven is.

Andere risicobeheersende maatregelen, zoals rookbeheersingssystemen (ontrokingssystemen), drukvereffeningssystemen en andere soorten brandbeheersingsinstallaties, evenals andere combinaties van maatregelen kunnen ook effectief zijn in het verbeteren van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Hoewel niet alle systemen en combinaties van maatregelen in dit onderzoek zijn meegenomen, dragen de gevonden resultaten mogelijk wel bij aan inzicht in de mate waarin andere (combinaties van) risicobeheersende maatregelen effect zouden kunnen hebben.

Ditzelfde geldt ook voor andere inzet tactieken van de brandweer: er zijn meerdere inzet tactieken dan alleen de keuzes 'blussen voor redden' en 'redden voor blussen' en het is voorstelbaar dat deze andere tactieken ook bruikbaar kunnen zijn om branden in woongebouwen te bestrijden. Denk hierbij aan offensief buiten bij een uitslaande brand (maximale ventilatie) en het redden / evacueren van personen van buitenaf door middel van handladders of redvoertuigen. Ook andere keuzes binnen de geteste tactieken of de inzet van hulpmiddelen hierbij (bijvoorbeeld de smokestopper) kunnen tot andere resultaten leiden. De gevonden resultaten bieden echter wel inzicht in de haalbaarheid en meerwaarde van deze andere inzet tactieken.

9.2.3 Secundaire keuzes bij het maken van de onderzoeksopzet

Met de secundaire keuzes wordt bedoeld op de invulling van de testopzet die nodig is om de primaire keuzes goed te kunnen onderzoeken. De secundaire keuzes ten aanzien van de testopstelling en het gehanteerde tijdschema worden hier besproken.

Testopstelling

De gebruikte testopstelling in dit onderzoek heeft specifieke brand- en gebouwenkenmerken die van invloed zijn geweest op de resultaten, zoals de afmetingen van ruimten, het brandscenario, de wijze van ventilatie (natuurlijke ventilatie) en de bouwwijze en -periode van het gebouw.

De omvang van de brandruimte is met 21 vierkante meter klein voor een gemiddelde woning. Voor een woonkamer in een woning is dit echter een gemiddelde omvang. Het volume van de brandruimte is van invloed op het brandscenario en de bijbehorende rookproductie en rookverspreiding. Indirect betekent dit dat de omvang van de brandruimte ook van invloed is op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Verder zijn in het onderzoek de condities in de brandruimte op ongeveer 2,5 meter van het brandobject gemeten. Een andere locatie van de meetinstallatie, bijvoorbeeld dicht bij het brandobject, zou zeker van invloed zijn geweest op de meetresultaten in de brandruimte.

Het volume van de brandruimte is zoals verwacht werd maar beperkt van invloed op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden buiten de brandruimte; met name het openen van de

deur van de brandruimte, het tijdstip waarop dit plaatsvindt en de duur van openstaan zijn bepalend.

Een andere vorm of ander volume van de gang grenzend aan de woningen zou wel van invloed kunnen zijn op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. De geteste gang is met 19 meter lang en 1,8 meter breed echter wel representatief voor gangen in woongebouwen. Hoewel de omvang van de brandruimte en de gang dus van invloed kunnen zijn geweest op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden blijkt uit dit onderzoek dat met name de rookproductie door de bron en het openen van de deur van de brandruimte van invloed zijn op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden in en buiten de brandruimte.

De keuze voor twee verschillende brandruimten heeft ook invloed gehad op de resultaten. Zo blijkt dat er (lokale) verschillen zijn tussen de rookverspreiding vanuit de beide brandruimten naar andere ruimten. Dit kan deels worden toegeschreven aan een verschil in de kieren en naden in de scheidingen rondom de brandruimten, en deels aan het verschil in positie ten opzichte van andere ruimten. Door het uitvoeren van meerdere testen en de toegepaste analysemethode is zoveel mogelijk rekening gehouden met deze verschillen.

Ook een ander brandscenario zou andere resultaten kunnen geven. Naast praktische bezwaren tegen oneindig variëren, was het voor het vergelijken van de rookverspreiding noodzakelijk dat het brandscenario zoveel mogelijk identiek was. Om een vergelijkbaar brandscenario te kunnen uitvoeren, is voor 17 van de 19 testen gekozen voor een identiek brandobject (de bank) en een identieke wijze van ontsteking (de plaats van ontsteking en de ontstekingsbron). Al deze keuzes zijn bepalend geweest voor het gehanteerde brandscenario. Het gekozen brandscenario is zeker realistisch. Zie hiervoor het theoretisch kader (paragraaf 1.2).

Voor twee testen is gedroogd gestapeld vurenhout als brandobject gebruikt, dat vergelijkbaar is met materiaal van een traditionele bank van organisch materiaal. Om het brandvermogen-scenario van een traditionele bank te reproduceren, is het hout op een specifieke wijze gestapeld. Een andere materiaalkeuze en/of stapeling zouden kunnen leiden tot andere resultaten. Met name de materiaalkeuze of de samenstelling van materialen in een traditionele bank is van invloed op de rookproductie (roet en gassen). Hoewel gedroogd vurenhout als materiaal niet geheel overeenkomt met een traditionele bank van bijvoorbeeld katoen, wol en hout, geven de resultaten een goede indicatie van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden bij brand in een traditionele bank.

De plaats van de mobiele watermist ten opzichte van het brandobject heeft invloed op de mate van effectiviteit van deze installatie. Immers: als deze recht tegenover de bank zou staan, zou dit waarschijnlijk een betere blussing tot gevolg hebben. De gekozen positie vertegenwoordigt een 'gemiddelde', zodat er geen onevenredig positieve of negatieve invloed op de uitkomsten van de testen is uitgeoefend. Een andere locatie van de watermist zou daarom vermoedelijk ook alleen op detailniveau leiden tot een andere mate van effectiviteit.

Aanpassingen aan de brandruimten voorafgaand en tijdens het onderzoek kunnen ook van (beperkte) invloed zijn geweest op de resultaten. Hierbij wordt bedoeld op het bekleden van de brandruimte (de gevel en een deel van het plafond) met brandwerende beplating en het aanbrengen en verwijderen van rookwerende scheidingen tussen de testen. Deze

aanpassingen kunnen van invloed zijn geweest op het ventilatieprofiel van de brandruimten en daarmee op het brandscenario en de bijbehorende rookverspreiding. Ook kan dit invloed hebben gehad op het externe warmteprofiel van het gebouw, hetgeen de rondomverkenning beïnvloed kan hebben.

Zoals in het theoretisch kader is weergegeven, zijn er in de internationale literatuur verschillende methoden beschikbaar voor het bepalen van de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Daarnaast is binnen de wetenschap discussie over welke methoden en grenswaarden het beste kunnen worden gehanteerd. Er bestaat bijvoorbeeld discussie over de grenswaarden zelf, de duur van de blootstelling aan (brand)condities en de interactie tussen verschillende condities en het effect daarvan op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Andere of nieuwe inzichten in bijvoorbeeld grenswaarden kunnen leiden tot andere resultaten. Naar oordeel van de onderzoekers geven de gehanteerde methoden en grenswaarden echter een goed inzicht in de vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor verschillende groepen personen. Zoals al eerder is aangegeven, zijn de methoden en grenswaarden gehanteerd voor de gemeten grootheden (temperatuur, warmtestraling, zichtlengte, zuurstof, koolstofmonoxide, koolstofdioxide en stikstofoxiden). Er zijn echter veel meer verbrandingsgassen die van invloed kunnen zijn op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden, zoals waterstofcyanide, waterstofchloride, formaldehyde, acroleïne, et cetera). Daarnaast kan bijvoorbeeld de combinatie van het inademen van roet en gassen van invloed zijn op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. Verder moet worden opgemerkt dat de grenswaarden voor de verschillende groepen geen harde grenswaarden voor individuen zijn: zij geven slechts een indicatie van de beschikbare tijd voor vluchten (ASET) voor een groep. Of een bepaald persoon wel of niet kan vluchten of de brand wel of niet overleeft, is afhankelijk van diverse plaats- en persoonsgebonden kenmerken.

Een ander belangrijk aspect waarmee rekening moet worden gehouden bij het lezen van de resultaten is dat condities op een beperkt aantal posities en hoogtes zijn gemeten. Hoewel er in dit onderzoek sprake is van een groot aantal meetpunten, zijn in de brandruimte en de andere woningen de gassen op één positie en één hoogte gemeten. Binnen een ruimte kan er sprake zijn van lokale verschillen in concentraties. Afhankelijk van de meetpositie kan dit zowel een positief als negatief effect hebben op de resultaten voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden.

Tijdschema voor de vlucht- en inzetfase

Ten aanzien van de specifieke invulling van het scenario en het daaraan gekoppelde tijdschema voor de vlucht- en inzetfase, zijn ook beperkingen te noemen. Dit is een direct gevolg van het gegeven dat vanaf het moment dat een brand ontstaat, een steeds groter wordend aantal factoren van invloed is op de uitkomst van de brand en de rookverspreiding.

De eerste beperking wordt gevormd door de invulling van het tijdschema voor vluchten en alarmeren. De volgende onderdelen van dit schema zijn van invloed op de resultaten:

- > de ontdekkings- en alarmeringstijd van de brand
- > de besluitvormingstijd en de vluchttijd binnen de brandruimte
- > het openen van de deur van de brandruimte, het tijdstip waarop dit gebeurt en de tijdsduur die het openstaan in beslag neemt.

In dit onderzoek is uitgegaan van ontdekking en alarmering door een werkende rookmelder binnen 3 minuten na het ontstaan van de brand. Voor de besluitvormingstijd en vluchtijd binnen de woning is uitgegaan van 2 minuten. Deze uitgangspunten kunnen vanuit verschillende perspectieven worden bekeken. Niet in alle woningen zijn op dit moment bijvoorbeeld werkende rookmelders aanwezig, waardoor het langer kan duren voor de brand wordt ontdekt en personen op de vlucht slaan. Aan de andere kant kan een brand eerder ontdekt worden dan na 3 minuten, zeker als de bewoner zich in de buurt van het brandobject bevindt. Of de deur van de brandruimte wordt geopend hangt bijvoorbeeld af van de mogelijkheid tot vluchten. Het tijdstip van openen is afhankelijk van de eerdergenoemde ontdekkings- en alarmeringstijd, en de tijdsduur van openstaan kan bijvoorbeeld afhankelijk zijn van het aantal personen dat door de deur moet vluchten, het gedrag van deze personen en de uitvoering van het sluitingsmechanisme van de deur (wel of niet zelfsluitend en de uitvoering en aansturing van de zelfsluitendheid).

Al deze factoren hebben invloed op de rookverspreiding en daarmee op de resultaten van het onderzoek. Terugkijkend kan worden gesteld dat iedere keuze die gemaakt is ten aanzien van het tijdschema tegelijkertijd realistisch, te positief en te negatief kan zijn geweest, omdat álle scenario's theoretisch mogelijk zijn. Vanuit het gegeven dat in de nabije toekomst rookmelders verplicht zijn en sinds kort gedeeltelijk een zelfsluitendheid van deuren⁴⁷ wordt voorgeschreven, en omdat het aantal zelfstandig wonende kwetsbare personen in woongebouwen met inpandige gangen alleen maar zal toenemen, is het gekozen tijdschema echter op de eerste plaats realistisch.

Eenzelfde beschouwing kan gemaakt worden ten aanzien van het tijdsfad waarop de brandweerinzet is vormgegeven. Ook de brandweerinzet, en in het bijzonder de snelheid daarvan, is van veel factoren afhankelijk. Om te beginnen is een belangrijke factor de hoeveelheid tijd die nodig is voor ontdekking en melding (een snelle ontdekking en melding leiden tot een kleinere brand en minder rookverspreiding bij aankomst dan een late melding). Vervolgens zijn de opkomsttijd en snelheid waarmee ter plaatse de situatie kan worden ingeschat bepalend, maar ook de vraag of de brandweer personen moet assisteren bij hun evacuatie. Veel praktijkincidenten laten immers zien dat de eerste brandweereenheid het eerste tijdvak alleen maar bezig is met ondersteunen bij evacueren. Al deze factoren hebben invloed op het tijdsfad (en de wijze van optreden). Dat maakt des te duidelijker dat keuzes moesten worden gemaakt in de opzet en uitvoering van het onderzoek.

Ook de wijze van optreden van de brandweer is in de praktijk van veel factoren afhankelijk: de mate waarin een ploeg bekend is met het gebouw, de specifieke uitrusting, de specifieke vakbekwaamheid et cetera. In de technische uitvoering van de tactieken zoals die zijn geformuleerd, kunnen aanknopingspunten voor discussie worden gevonden. Overeind blijft echter het doel van dit onderzoek, dat gaat om het resultaat van de tactiek, en niet om de uitvoering daarvan. Daarop moet echter één uitzondering worden genoemd: er is geen gebruikgemaakt van een smokestopper. Deze keuze kan echter goed verdedigd worden, omdat hier al eerder onderzoek naar is gedaan en omdat dit hulpmiddel maar in een aantal korpsen gebruikt wordt.

Het ventileren van een gebouw blijkt op grond van dit onderzoek geen eenvoudige klus, en bovendien een handeling die bij kan dragen aan een verdere rookverspreiding. Ook ten aanzien van het ventileren zijn keuzes gemaakt, waaronder de technische uitvoering (zoals

⁴⁷ Rookmelders worden voor zowel bestaande bouw als voor nieuwbouw per 1 juli 2022 voorgeschreven en een zelfsluitendheid van deuren is per 1 juli 2020 vereist voor nieuwbouw.

de plek waarop de ventilator is geplaatst) en het ventilatiepad. Daarnaast is er sprake geweest van een verschil in uitvoering tussen een aantal testen. Dit ondersteunt de conclusie dat ventileren vaak verdere (onbedoelde) rookverspreiding tot gevolg heeft.

9.2.4 Conclusie ten aanzien van de beperkingen van dit onderzoek

Hoewel alle hierboven genoemde beperkingen van invloed zijn op de resultaten van dit onderzoek, zijn de gemaakte keuzes representatief voor de praktijk, niet te conservatief of te gunstig gekozen en daarmee te verantwoorden. Het is dan ook terecht om op basis hiervan te concluderen dat de resultaten zeer waardevol zijn voor het kunnen doen van algemene uitspraken over het effect van rookverspreiding op de vlucht- en overlevingsmogelijkheden, over de verschillen in effectiviteit van risicobeheersende maatregelen en over de invloed van de brandweerinzet op de rookverspreiding.

9.3 Vervolgonderzoek

In dit onderzoek zijn veel aanknopingspunten voor vervolgonderzoek gevonden. In deze paragraaf worden alleen de belangrijkste aanknopingspunten genoemd:

- > Dit onderzoek heeft zich gefocust op de beschikbare tijd voor vluchten en overleven in ruimten (ASET). Omdat de vraag of veilig vluchten of overleven nog mogelijk is, afhangt van de vergelijking tussen de beschikbare (ASET) en de benodigde tijd (RSET), wordt geadviseerd om nader onderzoek te doen naar de RSET.
- > Er is nader onderzoek gewenst naar het effect van risicobeheersende maatregelen die geen deel uit hebben gemaakt van dit onderzoek op het beperken van rookverspreiding. Hierbij kan bijvoorbeeld het effect van luchtdicht bouwen op rookverspreiding worden betrokken.
- > Ook wordt geadviseerd om nader onderzoek te doen naar specifieke factoren die van invloed zijn op de rookverspreiding, zoals het effect van verschillende ventilatiesystemen in combinatie met een groot aantal verdiepingen.
- > Daarnaast is het wenselijk nader onderzoek uit te voeren naar het ventileren van gebouwen na brand. Het onderzoek heeft laten zien dat dit niet eenvoudig is. In vervolgonderzoek kan nagegaan worden of er andere methoden zijn die tot een beter resultaat leiden.
- > Nader onderzoek naar de haalbaarheid van het stay-in-place principe en de maatregelen die daarvoor nodig zijn, is gewenst.
- > De resultaten van dit onderzoek kunnen gebruikt worden om simulatiemodellen voor branduitbreiding en rookverspreiding te optimaliseren en te valideren. Op grond van geoptimaliseerde modellen kan mogelijk een deel van het hiervoor genoemde vervolgonderzoek worden uitgevoerd zonder full-scale-testen te hoeven doen.



10 Duiding

10.1 Inleiding

Dit onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen met inpandige gangen is zeer omvangrijk gebleken, zowel wat betreft de uitvoering als de analyse. Het onderzoek heeft zeer veel resultaten opgeleverd die een belangrijke bijdrage leveren aan de kennis op het gebied van brandpreventie en brandbestrijding in woongebouwen.

We kunnen in het algemeen concluderen dat rookverspreiding in woongebouwen een serieus probleem is. De laatste decennia wordt in de praktijk steeds vaker waargenomen dat de rookverspreiding zoveel is toegenomen ten opzichte van vroeger, dat echt kan worden gesproken van veranderde omstandigheden. Deze praktijkobservaties worden bevestigd in dit praktijkgerichte onderzoek. De branden van nu zijn niet meer de branden van vroeger. Bij moderne branden komt veel meer rook vrij, en de branden zijn sneller ventilatiegecontroleerd. Steeds vaker is het vluchten een groot probleem en veel meer dan vroeger moeten gebouwen worden ontruimd. De brandweer staat vaak voor een duivels dilemma: moet met de beperkte capaciteit aan brandweermensen en materieel eerst de brand worden bestreden, of eerst het gebouw worden ontruimd?

In dit hoofdstuk wordt betekenis gegeven aan de conclusies van dit onderzoek. Wat kunnen we zeggen over de betekenis van dit onderzoek voor de dagelijkse praktijk waar de brandpreventieadviseurs en incidentbestrijders voor staan bij het voorkomen, beperken en bestrijden van branden in woongebouwen, waarin we zien dat rookverspreiding een zorgwekkend probleem is. Wat is de betekenis van de resultaten van dit onderzoek voor de bouwregelgeving? Of om het concreter te zeggen: hoe moeten we met de lessen geleerd uit dit onderzoek aankijken tegen de bestaande regels om rookverspreiding tegen te gaan in het huidige Bouwbesluit 2012 en vanaf 2022 in het Besluit Bouwwerken Leefomgeving (BBL)? En kunnen we met de inzichten die we verkregen hebben wel volstaan met alleen te kijken naar de bouwregelgeving of heeft het ook zijn weerslag in andere regelgeving?

10.2 Betekenis voor de brandpreventie en de regelgeving

10.2.1 Nieuwe eisen in het Besluit Bouwwerken Leefomgeving

Tussen wetenschap en beleid bestaat altijd een spanning. Steeds vaker willen we dat beleid, vaak vertaald in wet- en regelgeving, een wetenschappelijke onderbouwing kent. Maar als er een wetenschappelijke onderbouwing komt die niet strookt met het tot dan gevoerde of gewenste beleid, wordt het lastig voor beleidsmakers om deze nieuwe wetenschappelijke inzichten zomaar in te vlechten in bestaand beleid, in regelgeving en procedures. Dat realiseren we ons ook. Daar waar in dit onderzoek wordt geconstateerd dat de uitgangspunten en veronderstellingen die aan de huidige eisen ten grondslag liggen niet stroken met de huidige werkelijkheid van rookverspreiding, is dat zeker geen waardeoordeel over de vigerende voorschriften. Wel een nadrukkelijk appèl om deze voorschriften te evalueren en na te denken over de toekomstbestendigheid van deze voorschriften.

Twee preventieve voorzieningen die in tegenstelling tot het huidige Bouwbesluit 2012 in nieuwbouwsituaties voorgeschreven gaan worden in het BBL zijn rookwerende scheidingsdeuren met daarin rookwerende woningtoegangsdeuren (Sa / S200) en de zelfsluitendheid van deze deuren. De voorschriften voor de rookdoorgang zijn in het BBL overgenomen in lijn met het 'Advies normcommissie NEN 6075 rookdoorgangscriteria' over Sa / S200. Aan dat advies ligt een onderzoek van Efectis ten grondslag. Het Bouwbesluit heeft sinds de invoering in 1992 het aspect rookwerendheid / rookdoorgang van een scheidingsconstructie geregeld via de brandwerendheid ervan. In de praktijk betekent dit dat rookwerende constructies substantiële hoeveelheden rook mogen doorlaten.

In het onderzoek van Efectis was reeds geadviseerd om de S200-prestatie van deuren zoveel mogelijk te combineren met een voorschrift voor de zelfsluitendheid ervan. De zelfsluitendheid van deuren in woongebouwen met een corridor is per 1 juli 2020 geregeld in het Bouwbesluit 2012. In de toelichting bij het Staatsblad is aangegeven dat de zelfsluitendheid zorgt dat een toegangsdeur niet open blijft staan bij het vluchten uit een brandende woning. Hierdoor wordt de rookverspreiding in de aansluitende inpandige vluchtroutes beperkt. Uit de experimenten is gebleken dat deze voorzieningen zeker een toegevoegde waarde hebben voor een gemiddelde bewonersgroep, maar dat deze beperkter van waarde zijn voor kwetsbare en zeer kwetsbare bewoners.

Vanaf 1 juli 2022 wordt het ook bij bestaande woningen verplicht om één of meerdere rookmelders in de woning te hebben. Rookmelders verkorten de ontdekkingstijd en alarmeringstijd in veel gevallen aanzienlijk. Bij de experimenten is al uitgegaan van de aanwezigheid van een rookmelder in de woning. In dat opzicht is dus al uitgegaan van een gunstige omstandigheid ten aanzien van de ontdekking van de brand en het moment van vluchten door de bewoner van de woning waar het brandt.

10.2.2 Luchtdicht bouwen

Om ongewenst warmteverlies te voorkomen, worden steeds meer eisen gesteld aan de luchtdichtheid van gebouwen. In de praktijk wordt de luchtdichtheid vrijwel altijd gerealiseerd in de thermische schil (gevel, dak, begane grondvloer) van het gebouw. Indien sprake is van passief bouwen of van andere vormen van zeer energiezuinig bouwen is een verregaande luchtdichtheid nodig. Ter vergelijking: voor woningen met een inhoud van 500 m³ mag de lucht volumestroom bij klasse 3 maximaal 30 dm³/s zijn. Ingevolge het Bouwbesluit 2012 is 200 dm³/s toegestaan.

Dit luchtdicht bouwen heeft invloed op drukverschillen die bij een brand in een woning ontstaan. En deze drukverschillen hebben weer invloed op de rookverspreiding en demogelijkheden om de woning te ontvluchten. Uit de experimenten is naar voren gekomen dat de mate van rookverspreiding in het gebouw afhankelijk lijkt te zijn van de verhouding tussen de lektheid van de inwendige en uitwendige scheidingsconstructie. Naarmate de buitengevel meer lekdicht is, is er sprake van een groter verschil tussen de interne en externe lektheid en zal de rookverspreiding in het gebouw toenemen. Hoge druk in de woning kan bij luchtdichte gebouwen problemen opleveren voor de ontvluchting, omdat de naar binnen draaiende deur door de druk (tijdelijk) niet meer geopend kan worden (Hostikka & Janardhan, 2017). Bij de praktijkexperimenten heeft deze situatie zich echter niet voorgedaan.

10.2.3 Dweilen met de kraan open

Dit spreekwoord gaat zeker op als we ons alleen focussen op het beperken van de verspreiding van rook, zoals beoogd wordt met de beide hiervoor genoemde maatregelen en niets doen aan de rookproductie. Bij de experimenten is de in Nederland meest verkochte bank genomen als brandobject. Dat is niet voor niets zo gekozen, omdat uit de statistiek blijkt dat brand in een bank of matras tot de meeste slachtoffers leidt. Het is ook niet voor niets dat de brandweer zich (ook internationaal) druk maakt over de brandbaarheid en rookproductie van deze producten. Maar door de beleidsmakers en wetgever worden het voorkomen van de productie van rook en het beperken van de verspreiding van rook nog steeds gezien als twee separate onderwerpen, beheerd door verschillende ministeries. Dit onderzoek heeft onmiskenbaar aangetoond dat maatregelen die de rookverspreiding beperken alleen optimaal werken als er ook maatregelen genomen worden om de productie van rook te beperken. Om dus bij beeldspraak te blijven: we kunnen blijven dweilen wat we willen, maar zolang we de kraan niet dichtdraaien zien we alleen positieve effecten van de nieuwe maatregelen in het BBL bij een gemiddelde bewonersgroep. Als we ook willen dat de maatregelen ook positieve effecten hebben voor kwetsbare bewoners, zoals ouderen, moet er ook iets gedaan worden aan het beperken van de rookproductie.

Kunnen we dan niet alleen volstaan met alleen het aanpakken van de producten die een grote rookproductie veroorzaken, zoals banken en matrassen? Want als er geen of nauwelijks rook geproduceerd wordt, hoeft de verspreiding van rook ook niet tegengegaan te worden. Branduitbreiding en rookontwikkeling zo dicht mogelijk bij de bron aanpakken geeft het meeste effect. In theorie is dit juist, maar in praktische zin onuitvoerbaar. Er zijn te veel onderdelen van de inventaris die brandbaar zijn en rook kunnen ontwikkelen. Weliswaar minder dan banken en matrassen, maar nog steeds substantieel zodat ook daartegen rookverspreiding beperkende maatregelen genomen moeten worden.

10.2.4 Eigen verantwoordelijkheid achter de voordeur

Een van de beleidsuitgangspunten is dat er zo min mogelijk voorgeschreven wordt ten aanzien van de brandveiligheid achter de voordeur. De overheid wil zo min mogelijk inbreuk maken op de privacy van de bewoners. Dat is op zich een goed en verdedigbaar streven. Er wordt daarbij wel van uitgegaan dat als bewoners onvoorzichtig omgaan met de brandveiligheid in hun eigen woning, de gevolgen van een eventuele brand beperkt blijven tot die woning. Dat dat heden ten dage niet meer opgaat, blijkt echter al uit de vele praktijkgevallen waarin rook zich snel buiten de woning verspreidt. Maar deze experimenten hebben nog iets anders aangetoond dat daarmee samenhangt, namelijk dat een brandende bank in een woning fataal kan zijn voor bewoners van andere woningen in het woongebouw. De terechte vraag die daarom gesteld moet worden, is of het principe van eigen verantwoordelijkheid achter de voordeur dan nog wel in de volle breedte vol te houden is. Of moeten er van rechtswege toch eisen gesteld worden aan de brandbaarheid en rookontwikkeling van matrassen en banken (lees: bekleed meubilair in algemene zin) in woningen?

10.2.5 Kwetsbaarheid van de voorzieningen

Uit de experimenten is naar voren gekomen welke voorzieningen of maatregelen, of welke combinaties van voorzieningen en/of maatregelen, het meest effectief zijn en welke dat het minst zijn. Er is daarbij geen rekening gehouden met de kwetsbaarheid van de voorziening of maatregel. Het in stand houden van de voorziening is natuurlijk een factor die medebepalend is voor een goede werking ervan in de praktijk gedurende langere tijd.

Het niet sluiten van een deur of het ongedaan maken van de zelfsluitende functie is in de praktijk vaak een bepalende factor voor de mate van rookverspreiding en voor de vlucht- en overlevingsmogelijkheden. En het is niet alleen een gebrek aan kennis of onderhoud waardoor een voorziening niet in stand gehouden wordt. Veelal is het ook het ongemak van de voorziening in het dagelijks gebruik. Ook uit de reconstructie van de brand in juli 2017 in de Grenfell Tower in Londen bleek dat de bestendigheid van de voorziening van grote invloed is geweest op de mate van rookverspreiding. Het is dan ook belangrijk om de faalkans van de voorziening mee te laten wegen bij de keuze voor de voorschriften in de bouwregelgeving. Het risico wordt dan wel gevormd door het product van de kans en het effect, maar het effect wordt dus mede bepaald door de kwaliteit van de voorziening en de acceptatie van de voorziening door de bewoners.

10.2.6 Vluchten of blijven zitten

Door de toenemende vergrijzing in de woongebouwen wordt het steeds moeilijker om het uitgangspunt van het Bouwbesluit dat personen bij brand tijdig en veilig het gebouw kunnen verlaten, te blijven realiseren. Er wordt daarom al enige tijd gezocht naar alternatieven; kortere ganglengtes, gebruik van liften en het bij brand in de woningen waar het niet brandt blijven zitten (stay-in-place). Om die reden is in dit onderzoek niet alleen gekeken naar de vluchtmogelijkheden, maar ook naar de overlevingsmogelijkheden. Eerder werd door de Brandweeracademie al vastgesteld dat er voor het toepassen van dit zogenoemde stay-in-place principe tenminste iets gedaan moet worden aan:

- > het beperken van de rookproductie
- > het voorkomen dat rook zich vanuit de brandende woning verspreidt
- > dat de bewoners van de niet brandende woning in hun woning moeten blijven en gedurende de gehele brand niet hun voordeur moeten openen.

Uit de experimenten is gebleken dat voor het beperken van de rookproductie een brandbeheersingsinstallatie niet voldoende is; de brandende inventaris zou gewoonweg minder rook moeten produceren. Verder is gebleken dat het opengaan van de toegangsdeur van de brandende woning leidt tot veel rookverspreiding naar de gang, met aansluitend zichtbare en niet-zichtbare rookverspreiding naar de andere woningen. De experimenten geven dus nog geen sluitend advies over de omstandigheden voor het veilig kunnen toepassen van het stay-in-place principe. Bovendien is het gedrag van de bewoners buiten beschouwing gelaten in dit onderzoek, terwijl we weten dat het gedrag een medebepalende factor is. Een klein beetje rook in een woning geeft nog steeds goede overlevingsmogelijkheden, maar de kans is groot dat men dan toch de woningtoegangsdeur opent. En dan verslechteren de omstandigheden snel. Ook de brand in de Grenfell Tower in Londen heeft aangetoond hoe kwetsbaar het systeem van stay-in-place kan zijn. Op dit ogenblik voert de Brandweeracademie een promotieonderzoek uit naar het beïnvloeden van het gedrag van ouderen.

10.3 Betekenis voor de incidentbestrijding

10.3.1 Rookverspreiding in relatie tot incidentbestrijding

Er zijn vele factoren die van invloed zijn op de rookverspreiding. Denk daarbij onder andere aan de winddruk, de (buiten) temperatuur, het al dan niet aanwezig zijn van schachten en kokers, het open of juist gesloten zijn van deuren en de luchtdichtheid van de woning en het gebouw. Ook de activiteiten van de brandweer zelf hebben invloed op de verspreiding van

rook door het gebouw. De meeste van deze factoren zijn lastig beheersbaar. Daarmee is het zeer moeilijk te voorspellen of te bepalen hoe de rook zich in een bepaald gebouw zal verspreiden en of en in welke mate dit in andere woningen en vluchtroutes in het gebouw effect zal hebben. De voorspelbaarheid van de rookverspreiding neemt verder af naarmate de rook zich verder door het gebouw verspreidt. Daarnaast blijkt uit de experimenten dat ook daar waar geen rook zichtbaar is nog steeds gevaarlijke concentraties van toxische gassen (voornamelijk CO) aanwezig kunnen zijn.

Voor de eerst aankomende bevelvoerder(s) en de Ovd leidt dit tot een lastige opgave. Het is bij aankomst op het brandadres niet meteen duidelijk waar de brand zich bevindt en hoe groot deze is. Een kleine brand kan al tot veel rookverspreiding leiden, en die rook kan uit iedere opening komen. Doordat rook zich zowel in de vluchtroutes als in de overige woningen kan verspreiden, is het meer dan voorheen aannemelijk dat bewoners hun woning zelfstandig verlaten en proberen te vluchten. De eerste bevelvoerder staat dan voor een duivels dilemma: eerst op zoek naar de brand en die blussen, of toch eerst het gebouw ontruimen. Dit betekent dus ook iets voor de benodigde slagkracht bij een brandmelding uit een woongebouw: die moet erop afgestemd zijn om gelijktijdig de woningen op de brandverdieping te kunnen ontruimen, de brandhaard te zoeken en andere verdiepingen te verkennen. Gezien de onvoorspelbaarheid van de rookverspreiding is een preventieve ontruiming van bouwdelen waar (nog) geen rook zichtbaar is niet ondenkbaar. Een relatief kleine brand in een woongebouw met inpandige gangen vergt, gezien de resultaten van dit onderzoek, een aanzienlijke inzet van personeel en materieel. Het verdient aanbeveling hiervoor een richtinggevend kader op te stellen.

10.3.2 Meten is weten

De mate van rookverspreiding en de plaatsen in het gebouw waar zich gevaarlijke concentraties kunnen bevinden, zijn zeer onvoorspelbaar. Dit alles maakt dat het verzamelen van de feiten bij een brand in een woongebouw met inpandige gangen buitengewoon belangrijk is. Uit de experimenten is ook gebleken dat daar waar geen rook zichtbaar is, nog steeds gevaarlijke concentraties van toxische gassen (voornamelijk CO) aanwezig kunnen zijn. Dat is een nieuw inzicht dat betekent dat tijdens en na een brand in een woongebouw niet meer de zichtbare rook bepalend is voor het gevaargebied, maar dat overal moet worden gemeten (op CO).

Het meten van met name de CO-concentratie in het gehele gebouw is praktisch gezien de enige manier om objectief te bepalen of er geëvacueerd dient te worden en of het gebouw weer veilig genoeg is.

10.3.3 De inzetactiek

Uit de experimenten is naar voren gekomen dat elke inzet van de brandweer leidt tot een verbetering van de situatie ten opzichte van de testen zonder inzet. De samenleving verwacht dat de brandweer optreedt en gelukkig kan de brandweer dus ook onder deze omstandigheden met haar optreden enig verschil maken.

Het blijkt echter zeer ingewikkeld te zijn om van buitenaf een goede inschatting te maken van de beste inzetactiek. Hoe binnen het gebouw het beste kan worden opgetreden, kan eigenlijk pas worden besloten als de situatie binnen bekend is. Er ligt daarom een groot belang bij de verkenning. Welke routes zijn nog voldoende rookvrij? Is de deur naar de woning open of dicht? Zijn er andere vluchtroutes? De leidinggevend en manschappen, in

het bijzonder op de brandverdieping, moeten deze factoren kennen om een passende inzet te kunnen uitvoeren.

Het brandweeroptreden is één van de factoren die van invloed zijn op de rookverspreiding. Het openen van deuren, in het bijzonder van de trappenhuizen, en zelfs het bewegen door met rook gevulde gangen hebben invloed op de verspreiding van rook. Meer dan voorheen zullen de brandweerploegen aandacht moeten hebben voor het rookvrij houden van vluchtroutes door het voorkomen van niet noodzakelijke acties en het dichthouden van deuren.

In deze experimenten is de werking en toepassing van smokestoppers niet onderzocht. Er zijn wel diverse bronnen die aangeven dat smokestoppers een mogelijke (deel)oplossing kunnen zijn. Een smokestopper neemt echter de kern van het probleem niet weg: de rook heeft zich meestal al verspreid vóór aankomst van de brandweer. De smokestopper zou dus alleen helpen in het beperken van een (nog) verdere verspreiding.

10.3.4 Ontruimen / evacueren

Zoals hiervoor al gezegd, is uit de experimenten gebleken dat de rookverspreiding veel groter is dan op grond van oude ervaringen zou worden verwacht. Daarnaast is deze ook onvoorspelbaar en kan, ook als er geen zichtbare rook is, de situatie nog steeds niet veilig genoeg zijn, zeker voor de meest kwetsbaren.

Deze constatering vraagt ook om aandacht voor de veiligheid van onbeschermdde hulpverleners als BHV'ers en politie bij het evacueren van bewoners. Ook voor hen geldt niet meer de automatische conclusie dat een afwezigheid van zichtbare rook betekent dat zij veilig kunnen werken. Ook voor onbeschermdde hulpverleners geldt dat alleen meten (op CO) kan leiden tot een objectieve beoordeling van veiligheidsrisico's.

Het is van belang de ontruimingsroutes zo schoon mogelijk te houden. Het openen van scheidingen moet zo veel mogelijk worden beperkt. Het is echter niet uitgesloten dat horizontale ontruiming voor de meest kwetsbaren al niet meer mogelijk is. Daarom moet er worden gemeten in de ontruimingsroute. Een alternatieve route of het beschermen van de bewoners zou hier uitkomst kunnen bieden. Bij het inzetplan hoort daarom ook het vaststellen en scheiden van de vlucht- en aanvalswegen.

Verticale evacuatie en ontruiming via de buitenzijde is, indien mogelijk, een goed alternatief voor horizontale evacuatie. In afwachting van evacuatie kan bewoners geadviseerd worden bij het open raam te gaan staan of op het balkon. Indien dat allemaal niet mogelijk is, kan het gebruik van vluchtmaskers in veel gevallen een oplossing zijn, maar dit is afhankelijk van het meetresultaat in de vluchtroute.

10.3.5 Ventileren

Op dit moment is het snel blussen van de brand en daarna ventileren een veel gehanteerde tactiek. De experimenten hebben een verrassend inzicht opgeleverd over ventileren na brand. Gebleken is dat door het ventileren een onverwacht averechts effect kan optreden. Voorheen werd er altijd vanuit gegaan dat overdrukventilatie een goede en werkbare manier was om rook uit vluchtroutes en woningen te verdrijven. Nu blijkt dat waar geen rook zichtbaar is er toch een relevante concentratie CO aanwezig kan zijn, en dat deze door de

inzet van ventilatoren juist nog verder kan worden verspreid door het gebouw en naar de tot dan toe schone woningen. Zomaar ventileren is daarom niet aan te bevelen.

In feite is ventileren een complexe activiteit, waarbij de stromingsprofielen net zo onvoorspelbaar zijn als de rookverspreiding zelf. Het opstellen van een ventilatieplan zou een oplossing kunnen zijn, maar dit vergt inhoudelijke kennis. Verder onderzoek naar het effect van stroming in gebouwen door overdrukventilatoren zou input voor een dergelijk plan kunnen leveren.

In elk geval is zomaar ergens een overdrukventilator inzetten niet meer aan de orde. Het openen van zo veel mogelijk ruimten en ramen in die ruimten terwijl gelijktijdig wordt gemeten wat de effecten zijn lijkt een mogelijkheid te zijn die vooralsnog beter is dan niets doen om de rook af te voeren. Of het toepassen van hydraulische ventilatie ook een oplossing is, kan op basis van deze resultaten niet worden vastgesteld, maar ook ventileren door onderdruk te creëren kan theoretisch leiden tot onvoorspelbare stromingen. Nader onderzoek naar stromingen in gebouwen is nodig om hierover meer kennis op te bouwen.

10.4 Tot slot

In 2014 heeft de Brandweeracademie in Zutphen praktijkexperimenten uitgevoerd in eengezinswoningen. Een belangrijke conclusie van dat onderzoek was dat de exacte wijze van brandverloop en rookverspreiding van veel factoren afhankelijk zijn. Diezelfde conclusie geldt ook voor deze experimenten. Als de deur later of eerder wordt geopend, als de deur langer of korter dan 30 seconden wordt geopend, als het raam iets minder of iets verder geopend is, als de samenstelling van de vuurlast anders is: dit alles is medebepalend voor het brandverloop en de rookverspreiding. En evenals in 2014 het geval was, kan ook nu vastgesteld worden dat de conclusies over de rookverspreiding algemeen geldend zijn.

De inzichten die we met dit onderzoek hebben opgedaan, verdiepen de kennis en helpen de brandweer om veiliger en effectiever op te treden. Zij ondersteunen elementen die in de praktijk ook al werden waargenomen, maar waar nog geen algemene brandbestrijdingsprincipes voor waren ontwikkeld. Daarmee zijn we nu een stap verder gekomen.

De rijksoverheid heeft aangegeven geen voorstander te zijn van aparte brandveiligheidsmaatregelen voor kwetsbare personen (zoals ouderen), maar liever algemeen geldende brandveiligheidsvoorschriften te hanteren. Kijkend naar de resultaten van dit onderzoek naar rookverspreiding is de vraag gerechtvaardigd of door dit streven de brandveiligheid in algemene zin wel verbeterd wordt, maar juist niet of onvoldoende voor de kwetsbare bewoners. Uit het onderzoek blijkt immers dat individuele (effect)maatregelen wel leiden tot betere vlucht- en overlevingsmogelijkheden voor de gemiddelde bewoner, maar niet of slechts zeer beperkt voor de kwetsbare en zeer kwetsbare bewoners. En juist deze groepen zijn oververtegenwoordigd in de statistieken van fatale woningbranden. Bovendien zal hun aantal de komende jaren alleen nog maar toenemen.

Het wordt tijd dat we de kraan dicht draaien en dan pas gaan dweilen.

Verklarende woordenlijst

Verklarende woordenlijst	
ASET	Available Safe Escape Time: de beschikbare tijd voor vluchten of overleven bij brand.
Basisscenario	Een brand die ontstaat in een bank, waarbij geen sprake is van risicobeheersende maatregelen, geen brandweerinzet wordt gedaan, en een (fictieve) aanwezige persoon vlucht en hierbij de deur van de woning open laat staan.
BBL	Het toekomstige Besluit Bouwwerken Leefomgeving.
Brandcondities	Conditie waaraan personen in geval van brand worden blootgesteld: toxische (rook)gassen, warmte en visuele beperkingen ten gevolge van rook (zicht).
Brandobject	Object waarin de brand ontstaat.
Brandruimte	Woning waarin de brand ontstaat.
Crib no. 5	Crib no. 5 is ontstoken volgens het protocol in de norm British BS 5852:2006.
Gevoeligheidsfactor (sf)	De mate van kwetsbaarheid voor irriterende en verstikkende gassen, warmte en visuele beperkingen voor de drie groepen: algemene groep (sf = 1), kwetsbare groep (sf = 0,3) en zeer kwetsbare groep (sf = 0,1).
Groep	In dit onderzoek wordt uitgegaan van drie groepen (subpopulaties): een algemene groep, kwetsbare groep en zeer kwetsbare groep.
Inzefase	Fase waarin de brandweerinzet plaatsvindt. Deze fase volgt direct op de vluchtfase, vanaf t = 20 minuten tot het einde van de test (t = 55 minuten).
Mechanische ventilatie	Ventileren van het gebouw tijdens de inzefase (na de blussing) door gebruik te maken van elektrische ventilatoren.
Natuurlijke ventilatie	Het ventileren van een gebouw(deel) door gebruik te maken van de stroming die ontstaat door druk- en temperatuurverschillen veroorzaakt door de brand.
Onbelemmerde ontvluchting	Dit is gelijk aan een vrije ontvluchting. Zie figuur 1.3 voor een toelichting.
Operationele tijd brandweer	De tijd van het ontstaan van de brand tot aan het moment dat men kan starten met de initiële actie.
Praktijkexperimenten	Het geheel van de testen; alle negentien testen.

Risicobeheersende maatregelen	Brand- of rookbeperkende voorzieningen. In dit onderzoek een gesloten deur, een mobiele watermist, een organische vuurlast en een rookwerende scheiding.
Rook	Een mengsel van roetdeeltjes, vloeistofdruppels (zoals water) en gassen. De gassen in de rook kunnen bestaan uit ontledingsgassen, verbrandingsgassen en omgevingslucht.
Rookwerende scheiding	In het onderzoek zijn twee rookwerende scheidingen getest: een rookwerende scheiding die reeds aanwezig was in het gebouw conform bestaande bouw en een rookwerende scheiding conform nieuwe eisen in het toekomstige BBL; er is een rookwerende deur geplaatst (S200) en naden en luchtlekken in zowel de in- als uitwendige (scheidings)constructie zijn afgedicht.
RSET	Required Safe Escape Time: de benodigde tijd voor vluchten of overleven bij brand.
Sa of S200	De rookwerendheid van een scheiding (Ra of R200) tussen ruimten is afhankelijk van de rooklekkage (Sa of S200) van de verschillende componenten in deze scheiding (bijvoorbeeld kieren en naden rondom deuren, doorvoeringen, aansluitingen en ventilatiekanalen).
Tactiek	In dit onderzoek wordt onderscheid wordt gemaakt tussen twee tactieken: een offensieve binneninzet (de brand wordt geblust voordat de brandweer start met de ontruiming) en een defensieve binneninzet (de deur van de brandruimte wordt gesloten en personen worden geëvacueerd / gered, daarna wordt de brand geblust). Als er geen brandweerinzet plaatsvindt, wordt na het einde van de test de brandhaard geblust.
Test	Iedere individuele test die is uitgevoerd (met een totale duur van 55 minuten).
Ventilatieprofiel	De mate waarin er zuurstof bij de brandhaard kan komen door openingen (deuren, ramen, kieren en ventilatiekanalen) in de brandruimte en het woongebouw.
Vlucht- en overlevingsmogelijkheden	In dit onderzoek worden vier situaties in relatie tot vlucht- en overlevingsmogelijkheden meegenomen: vrije / onbelemmerde ontvluchting, belemmerde ontvluchting, levensbedreigende situatie en fatale situatie.
Vluchtfase	Vanaf start test (t = 0 minuten) tot t = 20 minuten; vanaf het ontstaan van de brand tot de start van de inzet door de brandweer.
Vorderen	Oprukken naar de brandhaard / voortbewegen door de rook (en duisternis) richting de brandruimte.

Literatuurlijst

- Ahrens, M. (2017). *U. S. Experience with Sprinklers*. Quincy: NFPA.
- Arvidson, M. (2017). *An evaluation of residential sprinklers and water mist nozzles in a residential area fire scenario*. Borås: RISE.
- Babrauskas, V. (2016). Heat release rates. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 799–905). New York: Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Beyler, C. (2002). Flammability Limits of Premixed and Diffusion Flames. In P. J. DiNenno (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third Edition*. Quincy: NFPA.
- Brandweer Nederland. (2012). *Handboek brandbeveiligingsinstallaties*. Arnhem: IFV.
- Brandweer Rotterdam-Rijnmond. (2019). *Sociaaleconomisch brandrisico. Een onderzoek met CBS microdata*. Rotterdam: Veiligheidsregio Rotterdam-Rijnmond.
- Brandweeracademie-IFV. (2019a). Leergang bevelvoerder - ELO. Retrieved from <https://elo.brandweer.nl>
- Brandweeracademie-IFV. (2019b). Leergang manschap A - ELO. Retrieved June 1, 2020, from <https://elo.brandweer.nl>
- Brandweeracademie. (2014a). *Brand in Het Lichtpunt*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2014b). *Brandpreventie voor repressief leidinggevendenden*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2014c). *Kwadrantenmodel voor gebouwbrandbestrijding*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2015a). *Brand in De Notenhout*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2015b). *Gebrand op inzicht: Een onderzoek naar de effectiviteit van rookmelders*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2015c). *Het kan verkeren. Beschrijvend onderzoek naar brandontwikkeling en overleefbaarheid bij woningbranden*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2016a). *Branden in seniorencomplexen: regelgeving en praktijk*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2016b). *Casuïstiek ondergeventileerde branden*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2018a). *10 jaar fatale woningbranden onderzocht*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2018b). *De hernieuwde kijk op brandbestrijding. Voorheen de "theorie van de voorspelbare afloop"*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2019a). *Risicogroepen en brandveiligheid*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2019b). *Risicogroepen en rookverspreiding*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2020a). *Basisprincipes van brandbestrijding*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie. (2020b). *Reddingen bij brand 2016-2018*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2017). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2019). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren 2*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Nederlandse Brandwonden Stichting. (2015a). *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid. Deelrapport 1: De omvang van de problematiek*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Nederlandse Brandwonden Stichting. (2015b). *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid. Deelrapport 2: De risicofactoren en oorzaken*. Arnhem: IFV.
- Brandweeracademie, & Nederlandse Brandwonden Stichting. (2015c). *De invloed van vergrijzing op brandveiligheid. Deelrapport 3: Oplossingsrichtingen*. Arnhem: IFV.
- British Automatic Fire Sprinkler Association (BAFSA). (2010). *Sprinklers for Safer Living: The Benefits of Automatic Fire Suppression Systems in Residential Care Premises*. Sheffield: Ove Arup & Partners Ltd.
- Centraal Bureau voor de Statistiek. (2012). *Brandweerstatiek 2012*. Den Haag. Retrieved

- from <https://www.cbs.nl/nl-nl/publicatie/2013/48/brandweerstatistiek-2012>
- Drenth, P. J. D., & Sijsma, K. (2006). Validiteit en betekenis. In P. J. D. Drenth & K. Sijsma (Eds.), *Testtheorie. Inleiding in de theorie van de psychologische test en zijn toepassingen*. (pp. 328–395). Houten: Bohn Stafleu van Loghum.
https://doi.org/10.1007/978-90-313-6540-1_8
- Exova WarringtonFireGent NV, & Universiteit Gent. (2016). *Brandveiligheid in ouderenvoorzieningen: Onderzoek naar de doelmatigheid van alternatieve brandveiligheidsmaatregelen in nieuwe zorgconcepten*. Brussel: VIPA.
- Fire Service Academy. (2017). *Impression tests upholstered furniture and mattresses*. Arnhem: IFV.
- Hadjisophocleous, G. V., & Mehaffey, J. R. (2016). Fire scenarios. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 1262–1289). New York: Springer.
- Hagen, R., Karemaker, M., Larsson, I., Hörnqvist, A., Brants, D., Elorza, J., ... de Witte, L. (2017). *Fire safety of upholstered furniture and mattresses in the domestic area: European fire services recommendations on test methods*. Retrieved from https://www.f-e-u.org/upload/database/Fire_safety_of_upholstered_furniture_and_mattresses_in_the_domestic_area.pdf
- Herpen, R. van, Rojas Garces, C., & Braber-Vossestein, M. den. (2018). *Waardering sprinklerbeveiliging voor veiligheid van gebouwgebruikers in geval van brand*. Utrecht en Zwolle: Niemand Raadgevende Ingenieurs B.V.
- Herpen, R. van, & Witte, L. de. (2015). *Toolbox brandweerinzet. Consequenties per gebouwtype voor opkomsttijden en brandweerinzet*. Zwolle: Niemand Raadgevende Ingenieurs B.V.
- Hostikka, S., Janardhan, R. K., Riaz, U., & Sikanen, T. (2017). Fire-induced pressure and smoke spreading in mechanically ventilated buildings with air-tight envelopes. *Fire Safety Journal*, 91, 380–388. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.006>
- Instituut Fysieke Veiligheid. (2017). *Basis voor brandveiligheid. De onderbouwing van brandbeveiliging in gebouwen*. (2e ed.). Arnhem: IFV.
- Instituut Fysieke Veiligheid, & Nederlandse Brandwonden Stichting. (2016). *Brandveiligheid en vergrijzing*. Arnhem: IFV.
- ISO 13571. (2012). *Life-threatening components of fire - Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Jacoby, D., LeBlanc, D., Tubbs, J., & Woodward, A. (2016). Considerations for coordinating and interfacing fire protection and life safety systems. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 1740–1785). New York: Springer.
- Kerber, S. (2010). *Impact of Ventilation on Fire Behavior in Legacy and Contemporary Residential Construction*. Northbrook: Underwriters Laboratories.
- Kerber, S., & Madrzykowski, D. (2009). *NIST Technical Note 1629. Fire Fighting Tactics Under Wind Driven Fire Conditions: 7-Story Building Experiments*. Gaithersburg: NIST.
- Kuligowski, E. D. (2016). Human behavior in fire. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 2070–2115). New York: Springer.
- Lambert, K. (2012). *Brandbestrijding: Bevelvoering & Tactiek*. CFBT-BE.
- Lambert, K. (2015). *Inleiding tot ventilatietechnieken*. CFBT-BE.
- Li, S. C., Chen, Y., & Li, K. Y. (2011). A mathematical model on adjacent smoke filling involved sprinkler cooling to a smoke layer. *Safety Science*, 49(5), 670–678.
<https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.01.001>
- Liempd, R. van. (2015). *Kwantitatieve vergelijkende studie van de impact van verschillende maatregelen op de overlevingskans in geval van een brand in een appartement*. Masterscriptie Universiteit Gent.
- Madrzykowski, D., & Kerber, S. (2010). Wind-Driven Fire Research: Hazards and Tactics. *Fire Engineering*, 163(3), 79–94.
- Meulenbelt, J., de Vries, I., & Joore, J. C. A. (1996). *Behandeling van acute vergiftigingen, praktische richtlijnen*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012a). *Bouwbesluit 2012*.

- Retrieved from <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>
Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012b). *Het Bouwbesluit 2012 Vluchten bij brand*.
- Moore-Bick, M. (2019). *Grenfell tower inquiry: phase 1 report overview. Report of the public inquiry into the fire at Grenfell tower on 14 June 2017*. OGL.
- National Research Council. (2001). *Standing Operating Procedures for Developing Acute Exposure Guideline Levels for Hazardous Chemicals*. Washington: National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/10122>
- Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra. (2008). *Zelfredzaamheid bij brand. Tien mythen ontkracht*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- Nederlands Instituut voor Bedrijfs hulpverlening. (2019). *Leerstof basiscursus bedrijfs hulpverlener* (22nd ed.). Rotterdam: NIBHV.
- Netwerk Kwalitatief Onderzoek AMC-UvA. (2002). *Richtlijnen voor kwaliteitsborging in gezondheids(zorg)onderzoek: Kwalitatief onderzoek*. Amsterdam.
- Purser, D. A., & McAllister, J. L. (2016). Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed., pp. 2308–2428). New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- Rijksoverheid. (2017). Besluit veiligheidsregio's. Retrieved June 24, 2020, from <https://wetten.overheid.nl/BWBR0027844/2017-12-01>
- Rijksoverheid. (2020). Rookmelders straks ook verplicht voor bestaande bouw. Retrieved June 1, 2020, from <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2020/02/27/'rookmelders-straks-ook-verplicht-voor-bestaande-bouw'>
- Ronchi, E., & Nilsson, D. (2013). Fire evacuation in high-rise buildings: a review of human behaviour and modelling research. *Fire Science Reviews*. <https://doi.org/10.1186/2193-0414-2-7>
- Shipp, M., & Clark, P. (2006). *ODPM Final Research Report: BD2456 Sprinkler effectiveness in care homes*. Watford. Retrieved from www.bre.co.uk
- Society of Fire Protection Engineers. (2016). *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. (M. J. Hurley, Ed.) (5th ed.). New York: Springer.
- Sundström, B. (1996). *Fire safety of upholstered furniture: The final report on the CBUF research programme*. London: Interscience Communication Limited.
- Svensson, S. (2002). A study of tactical patterns during fire fighting operations. *Fire Safety Journal*, 37(7), 673–695. [https://doi.org/10.1016/S0379-7112\(02\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0379-7112(02)00027-9)
- Tanaka, T. (2016). Vent Flows. In M. J. Hurley (Ed.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering* (5th ed.). New York: Springer.
- Tang, Z., Fang, Z., Yuan, J. P., & Merci, B. (2013). Experimental study of the downward displacement of fire-induced smoke by water sprays. *Fire Safety Journal*, 55, 35–49. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.10.014>
- Tang, Z., Vierendeels, J., Fang, Z., & Merci, B. (2013). Description and application of an analytical model to quantify downward smoke displacement caused by a water spray. *Fire Safety Journal*, 55, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.10.012>
- Tromp, A. J., & van Mierlo, R. J. M. (2013). *Fire safety engineering: handboek voor de bouw*. Delft: Eburon.
- Wales, D. G., Thompson, O. F., Hulse, L. M., & Galea, E. R. (2015). From data to difference – considering the application of a large-scale database of human behaviour in accidental dwelling fires. In *Human Behaviour in Fire 2015: Proceedings of the 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire*. Retrieved from <http://www.worldcat.org/title/human-behaviour-in-fire-6th-international-symposium-28th-30th-september-2015-downing-college-cambridge-uk/oclc/952541954>
- Weinschenk, C., Stakes, K., & Zevotek, R. (2017). *Impact of Fire Attack Utilizing Interior and Exterior Streams on Firefighter Safety and Occupant Survival: Air Entrainment*. Columbia: UL Firefighter Safety Research Institute.
- Zevotek, R. (2015). Ventileren door brandweer – Begrijpen van branddynamica als de sleutel tot effectieve ventilatie. In *FSS Congres*. Arnhem: Instituut Fysieke Veiligheid.
- Zoonen, E. E. (2020). *WoOn2018; huishoudens en rookmelders*. Beverwijk: Nederlandse Brandwondenstichting.

Instituut Fysieke Veiligheid
Brandweeracademie
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
www.ifv.nl
026 355 24 10

