

Herijking enkele vluchtroute woongebouwen



Nederlandse Academie voor
Crisisbeheersing en Brandweezorg
Postbus 7010
6801 HA Arnhem
Kemperbergerweg 783, Arnhem
www.nipv.nl
info@nipv.nl
026 355 24 00

Colofon

© Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV), 2024

Auteurs	P. van Rede, P.J. van der Graaf, R. van Herpen (TU/e), L. de Witte
Contactpersoon	P.J. van der Graaf
Opdrachtgever	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Contactpersoon	M. Balk en S. Bakx
Datum	9 april 2024

Wij hechten veel belang aan kennisdeling. Delen uit deze publicatie mogen dan ook worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding.

Het Nederlands Instituut Publieke Veiligheid is bij wet vastgelegd onder de naam Instituut Fysieke Veiligheid.

Samenvatting

Aanleiding en onderzoeksvraag

De Onderzoeksraad voor Veiligheid heeft onderzoek gedaan naar een brand op nieuwjaardag van 2020 in een galerijflat in Arnhem. In het verslag is aanbevolen om de uitgangspunten voor brandveiligheid met betrekking tot de enkele vluchtroute te herijken, zodanig dat rekening wordt gehouden met het scenario waarbij, sneller dan nu wordt verondersteld, vuur en/of rook in een (deels) enkelvoudige vluchtroute terechtkomt of terechtkomen. Ter invulling van deze aanbeveling heeft het NIPV begin 2022 een vooronderzoek uitgevoerd naar enkele vluchtroutes in woongebouwen. In dat onderzoek is een eerste aanzet gegeven voor een dergelijke herijking. Die eerste aanzet is in het voorliggende onderzoek uitgebreid. De volgende hoofdvraag heeft daarbij centraal gestaan:

Hoe kan de enkele vluchtroute in woongebouwen worden herijkt en vertaald naar oplossingsrichtingen voor de bouwregelgeving?

Met het beantwoorden van die vraag is invulling gegeven aan de aanbeveling van de Onderzoeksraad voor Veiligheid.

Onderzoeksopzet

Er zijn verschillende onderzoeksmethoden gebruikt:

- > Er is een literatuuronderzoek uitgevoerd om de uitgangspunten voor (enkele) vluchtroutes te herijken.
- > Er zijn een kwalitatieve en kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd om het persoonlijk risico in situaties met een enkele vluchtroute te vergelijken met een referentie. Aan de hand van de resultaten van die analyses zijn oplossingsrichtingen voorgesteld.

Kwalitatieve risicoanalyse

Voor de kwalitatieve risicoanalyse is gebruikgemaakt van een 'wat-als-analyse', waarbij expertbeoordelingen zijn gebruikt om het persoonlijk risico in de referentiesituatie en verschillende vormen van een enkele vluchtroute in te schatten. Er is gekeken naar de volgende aspecten: het aantal woningen dat gebruikmaakt van de vluchtroute, rookverspreiding, loopafstand, looprichting, blootstellingsduur en redundantie.

Er is aandacht besteed aan drie brandscenario's:

1. Brand in een woning grenzend aan de vluchtroute.
2. Brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute, zoals een meterruimte.
3. Brand in de vluchtroute.

Kwantitatieve risicoanalyse

De kwantitatieve risicoanalyse is uitgevoerd voor de referentiesituatie en een vorm van de enkele vluchtroute waarvan de verschillen met de referentie als het grootst zijn ingeschat:

een portieksituatie met een verschillend aantal bouwlagen. De analyse is uitgevoerd door gebeurtenissen in het verwachte brand- en vluchtverloop structureel te plaatsen in een gebeurtenisboom en aan de verschillende gebeurtenissen waarschijnlijkheden toe te kennen. Een serie opeenvolgende gebeurtenissen vormt een scenario met een totale waarschijnlijkheid en consequentie. De totale waarschijnlijkheid van een brandscenario (of: de kans op een bepaald scenario) is het product van alle waarschijnlijkheden van de opeenvolgende gebeurtenissen, zoals het al dan niet sluiten van de voordeur van de woning waarin de brand zich bevindt.

De consequentie van een scenario is ingeschat aan de hand van eerder uitgevoerd experimenteel onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b). Het (deel)risico van een scenario wordt dan gevormd door het product van de waarschijnlijkheid en de consequentie van dat scenario. De risico-index (het totale risico van de situatie die is weergegeven in de gebeurtenisboom) wordt verkregen door de (deel)risico's van alle scenario's te sommeren. Door keuzes en de aard van de methode is er sprake van een bepaalde onzekerheid van de resultaten. Daarom is een gevoeligheidsanalyse van de gekozen variabelen (waarschijnlijkheden en consequenties) een onderdeel van de kwantitatieve risicoanalyse.

De kwantitatieve risicoanalyse is alleen uitgevoerd voor het scenario 'brand in een woning grenzend aan de vluchtroute'. De scenario's 'brand in de vluchtroute' en 'brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute' zijn alleen kwalitatief beoordeeld. Voor die scenario's wordt een kwantitatieve beoordeling weinig zinvol geacht, omdat de vluchtroute in die gevallen naar verwachting snel onbruikbaar wordt.

Resultaten

Verduidelijking uitgangspunten vluchtroutes

Een aantal aspecten is relevant voor de mogelijkheid om veilig gebruik te kunnen maken van een (enkele) vluchtroute. Die aspecten zijn in dit onderzoek:

- > *De omstandigheden in de vluchtroute:* uit literatuuronderzoek blijkt dat de zichtlengte, de concentraties giftige gassen en temperaturen in de vluchtroute bepalend zijn of een (enkele) vluchtroute veilig kan worden gebruikt. Als de zichtlengte voldoende is (5-10 meter) kan deze doorgaans als maatgevend voor toxicologische en thermische effecten van de rook op personen worden gezien, gegeven een relatief korte blootstellingsduur. Uitgaande van een zichtlengte van 5-10 m is een separate beoordeling van de toxicologische en thermische effecten vaak niet nodig.
- > *De tijdsduur dat een vluchtroute beschikbaar moet zijn voor ontvluchting:* uitgangspunt van het Bbl is dat een vluchtroute gedurende langere tijd (20 minuten voor bestaande bouw en 30 minuten voor nieuwbouw) door vluchtende personen kan worden gebruikt. Er zijn geen redenen gevonden om aan te nemen dat die tijdsduur onvoldoende is. Dit betekent overigens niet dat personen gedurende 30 minuten veilig moeten kunnen verblijven in de vluchtroute, maar dat zij gedurende deze 30 minuten de vluchtroute moeten kunnen gebruiken om te vluchten. Uit dit onderzoek blijkt dat dit binnen de huidige (technische) uitgangspunten van het Bbl niet altijd het geval is; met name in scenario's waarin de deur van de woning waarin de brand zich bevindt niet sluit, is veilig vluchten niet mogelijk vanwege toxicologische en thermische fysiologische effecten.

Daarnaast neemt in die gevallen waarin de deur wel sluit de zichtlengte in de vluchtroute vaak ver af, waardoor oriëntatie niet altijd goed mogelijk is.

- > *Een beperkt risico op brand in de vluchtroute:* zowel uit eerder uitgevoerd onderzoek als uit casuïstiek blijkt dat branden in vluchtroutes onvoldoende kunnen worden uitgesloten op basis van het Bbl en bijbehorende naleving. In een voorgenomen wijziging van het Bbl is daarom een verduidelijking van de voorschriften voor brandbare materialen in vluchtroutes opgenomen (artikel 6.15a). Op basis daarvan is het risico op een brand in een vluchtroute voldoende beperkt. Een nadere aanpassing van de uitgangspunten is daarom niet noodzakelijk.
- > In het Bbl wordt als uitgangspunt gehanteerd dat vluchtende personen met ingehouden adem vluchten en met een snelheid van 1 m/s voortbewegen. Deze uitgangspunten stroken niet met de literatuur; daarin staat aangegeven dat doorgaans wordt doorgeademd tijdens het vluchten en dat de loopsnelheid significant lager ligt (afhankelijk van de omstandigheden waar doorheen wordt gevluht). Het is dus nodig de uitgangspunten in de bouwregelgeving te herzien om ze overeen te laten komen met de literatuur.
- > Uit dit onderzoek blijkt dat voldoen aan de prestatie-eisen van het Bbl niet betekent dat 100 % gegarandeerd kan worden dat personen veilig kunnen vluchten. Het is denkbaar dat in de herijking van de uitgangspunten voor de kwaliteit van de vluchtroute ook een indicatie van de betrouwbaarheid wordt verbonden.

Een voorstel voor een herijking van de uitgangspunten op basis van voornoemde is gegeven in paragraaf 3.4 van deze rapportage.

Risicoanalyses

Referentiesituatie

Uit de kwalitatieve risicoanalyse blijkt in het geval van de referentiesituatie het volgende:

- > Of veilig kan worden gevluht in de referentiesituatie, is afhankelijk van het al dan niet sluiten van de deur van de woning waarin de brand zich bevindt.
- > De loopafstand in de vluchtroute bedraagt maximaal 15-18 meter en hangt af van de plaats waar de vluchtroute wordt betreden (in het midden of aan het eind). De blootstellingsduur aan de rook is afhankelijk van de loopafstand en -snelheid. De loopsnelheid wordt bepaald door de zichtlengte in de vluchtroute.
- > De aanwezigheid van een tweede vluchtroute zorgt ervoor dat, wanneer de deur tussen de woning waarin de brand zich bevindt en de vluchtroute open blijft staan, niet langs die openstaande deur hoeft te worden gevluht.
- > De gevolgen van een brand in een kleinere ruimte die grenst aan de vluchtroute (bijvoorbeeld een meterruimte) en een brand in de vluchtroute zijn zodanig dat kort na het ontstaan van de brand de vluchtroute niet meer bruikbaar is.

De kwantitatieve risicoanalyse bevestigt de uitkomsten van de kwalitatieve analyse en geeft de volgende aanvullende inzichten:

- > Personen die de vluchtroute halverwege betreden, dragen een hoger persoonlijk risico (risico-index is 0,21) dan de personen die de vluchtroute aan het einde van de vluchtroute betreden (risico-index is 0,17), omdat de laatste groep een kortere afstand hoeft af te leggen en dus een beperktere blootstellingsduur heeft.
- > Ongeacht de locatie waarop de vluchtroute wordt betreden, is de waarschijnlijkheid dat veilig kan worden gevluht 80 % binnen de kaders van de gehanteerde methode. Die kans wordt volledig bepaald door de waarschijnlijkheid dat de deur van woning waar de brand zich bevindt sluit.

Enkele vluchtroutes

In de risicoanalyses zijn de volgende vormen van een enkele vluchtroute beoordeeld:

- > portieksituatie (3, 4 of 5 bouwlagen)
- > veiligheidsvluchtroute met corridor in u-vorm
- > doodlopend einde als onderdeel van een corridor.

Uit de kwalitatieve risicoanalyse blijkt het volgende:

- > De rookverspreiding in de portieksituatie is erg afhankelijk van de geometrie van het trappenhuis en van de bouwlaag waarop de brand zich bevindt; een brand op een bouwlaag hoger in het gebouw resulteert in een ander rookvolume dan een brand lager in het gebouw. Als gevolg daarvan is er ook sprake van verschillende gasconcentraties en temperaturen. In de andere beoordeelde vormen van een enkele vluchtroute is de rookverspreiding vergelijkbaar met de referentiesituatie.
- > De loopafstanden in verschillende vormen van een enkele vluchtroute zijn 40 meter (portieksituatie), 15-18 meter (veiligheidsvluchtroute) en 5 meter (doodlopend einde).
- > In de portieksituatie is geen sprake van redundantie wat betreft vluchtroutes. In de situatie met een veiligheidsvluchtroute is alleen sprake van een redundante vluchtrichting in het eerste deel van de corridor; er is geen sprake van een redundante vluchtroute. Er is maar één trappenhuis, dat wél beter beschermd is tegen de indringing van rook in vergelijking met de andere vormen van een enkele vluchtroute. In het doodlopend einde kan er vanaf het punt dat het doodlopend einde wordt verlaten twee richtingen op worden gevluht; ofwel het trappenhuis in, ofwel door de corridor naar het andere trappenhuis toe. Op het moment dat een brand- of rookscheiding wordt doorgegaan, is sprake van twee vluchtroutes.

De resultaten voor de kwantitatieve risicoanalyse waarin een portieksituatie is bestudeerd, bevestigen de resultaten uit de kwalitatieve analyse. Daarnaast blijkt het volgende:

- > De berekende risico-index voor personen die op de begane grond de vluchtroute betreden is vanwege de beperktere loopafstand en blootstellingsduur lager dan voor personen die de vluchtroute op de bovenste bouwlaag betreden. Deze personen (begane grond) hebben dus een lager persoonlijk risico dan de andere personen.
- > In aanvulling op het vorige punt is de kans dat veilig kan worden gevluht binnen de kaders van de onderzoeksmethode voor de hoogstgelegen bouwlagen 76 % tot 80 % en voor de laagstgelegen bouwlagen 93 % tot 100 %.
- > Het sluiten van de deur van de woning waarin de brand zich bevindt, nadat bewoners zijn gevluht, is bepalend voor de kans dat veilig kan worden gevluht. De kans dat niet veilig kan worden gevluht is op de hoogstgelegen verdiepingen grofweg gelijk aan de aangenomen waarschijnlijkheid dat de deur open blijft staan. Met name personen op de hoger gelegen verdiepingen kunnen niet veilig vluchten als die deur open blijft, ongeacht de bouwlaag waarop de brand zich bevindt. Voor personen die starten met vluchten lager in het trappenhuis is wel relevant op welke bouwlaag de brand zich bevindt.
- > Een lager trappenhuis resulteert niet per definitie in een lager gemiddeld persoonlijk risico. Tijdens de brand worden echter meerdere personen bedreigd, waardoor het groepsrisico ook relevant is. Hoewel het groepsrisico niet expliciet beoordeeld is, neemt dat naar verwachting wel af, omdat er bij een lager trappenhuis minder personen worden bedreigd door de brand.

Vergelijking referentie en vormen van enkele vluchtroutes

In de kwalitatieve risicoanalyse zijn verschillende verschijningsvormen van een enkele vluchtroute vergeleken met de referentiesituatie. In de kwantitatieve risicoanalyse is specifiek een portieksituatie vergeleken met de referentiesituatie. In de volgende alinea's zijn de conclusies van de vergelijkende analyses samengevat.

Uit de kwalitatieve vergelijking blijkt het volgende:

- > Een situatie met een *portiektrappenhuis* leidt wat betreft verschillende aspecten tot een hoger persoonlijk risico dan de referentiesituatie (rookverspreiding, loopafstand, looprichting, blootstellingsduur en redundantie). Daarnaast zijn er (iets) minder woningen aangewezen op de vluchtroute in vergelijking met de referentie.
- > Een situatie met een *doodlopend einde* leidt op onderdelen tot een hoger persoonlijk risico (vanwege het ontbreken van redundantie van de vluchtroute) en op onderdelen tot een lager persoonlijk risico (beperkte loopafstand, -richting en blootstellingsduur) dan de referentiesituatie. Voor wat betreft het aspect 'rookverspreiding' is het doodlopend einde vergelijkbaar met de referentie. Daarnaast zijn er minder woningen aangewezen op de vluchtroute in vergelijking met de referentie.
- > Een situatie met een *veiligheidsvluchtroute* leidt wat betreft één aspect tot een hoger persoonlijk risico dan de referentiesituatie: het ontbreken van een redundante vluchtroute in het trappenhuis zelf. Daarbij wordt wel opgemerkt dat de kans dat die vluchtroute onbruikbaar wordt bij een woningbrand kleiner is dan in de referentiesituatie. Op de andere aspecten leidt de veiligheidsvluchtroute tot een lager persoonlijk risico (aantal woningen) of vergelijkbaar persoonlijk risico (rookverspreiding en loopafstand, looprichting en blootstellingsduur).
- > Zowel in het geval van de referentiesituatie als de verschillende vormen van een enkele vluchtroute zal een brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute (bijvoorbeeld een meterruimte) of een brand in de vluchtroute resulteren in het onbruikbaar worden van de vluchtroute.

Uit de kwantitatieve risicoanalyse blijkt het volgende:

- > De risico-index van een portieksituatie is gemiddeld genomen over de hoogte van het trappenhuis lager dan de risico-index van de referentie. De spreiding van de risico-index over de verschillende bouwlagen is echter (veel) groter dan in de referentiesituatie.
- > Als een beoordeling wordt uitgevoerd voor de specifieke bouwlagen van een portiektrappenhuis, blijkt dat de bovenste bouwlagen een hogere risico-index hebben dan de referentie (29 % tot 59 % hoger, afhankelijk van het aantal bouwlagen van het portiektrappenhuis). De woningen op de begane grond van een portiektrappenhuis hebben een lagere risico-index (59 % tot 88 % lager) dan de referentie vanwege de kortere loopafstand en beperktere blootstelling.
- > Desondanks is de waarschijnlijkheid dat veilig kan worden gevlucht niet veel lager in een portiektrappenhuis dan in de referentiesituatie. In een portieksituatie is het daarentegen wel zo dat als in een brandscenario niet veilig kan worden gevlucht, de consequentie van dat brandscenario hoger is dan in de referentiesituatie.

Oplossingsrichtingen

Op basis van de resultaten van de risicoanalyses zijn verschillende oplossingsrichtingen beschouwd, die allemaal tot doel hebben het persoonlijk risico van de vormen met een

enkele vluchtroute in overeenstemming te brengen met de referentiesituatie. Voor de portieksituatie worden de volgende oplossingsrichtingen voorgesteld:

- > *Beperken van het aantal bouwlagen*: het beperken van het aantal bouwlagen zorgt ervoor dat de maximale loopafstand door het trappenhuis wordt beperkt. Daardoor neemt de blootstellingsduur af. Hoewel uit de kwantitatieve analyse blijkt dat dit niet perse resulteert in een afname van het gemiddelde persoonlijk risico, neemt het risico dat wordt gedragen door alle bewoners wel af (groepsrisico).
- > *Verhogen van de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur*: het verkleinen van het risico dat de deur van de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan, nadat deze is geopend, zorgt voor een afname van het persoonlijk risico in het trappenhuis. Dit kan door de zekerheid dat de deur sluit te vergroten, bijvoorbeeld door het zelfsluitend mechanisme op de deur door zowel een rookmelder in de woning als in het trappenhuis aan te laten sturen.

Voor een doodlopend einde kan daarnaast worden overwogen om de lengte van het doodlopende einde te verruimen tot een loopafstand van 15 meter van een woningtoegangsdeur. Voorwaarde hierbij is dat de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur wordt verhoogd overeenkomstig de hierboven beschreven oplossingsrichting. Ten slotte blijkt uit de kwalitatieve analyse dat een brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute (bijvoorbeeld een meterruimte) snel kan resulteren in het onbruikbaar worden van die vluchtroute. Dit risico kan worden verkleind door een dergelijke ruimte brand- en rookwerend af te scheiden van de vluchtroute.

Conclusie

- > De omstandigheden (zichtlengte, temperatuur en gasconcentraties) waarin veilig kan worden gevlucht door vluchtroutes en de tijdsduur dat die vluchtroutes moeten kunnen worden gebruikt na het ontstaan van de brand zijn gedefinieerd. Die definitie is vervolgens gebruikt om de uitgangspunten bij vluchtroutes uit gebouwen te herijken.
- > Middels risicoanalyses is een vergelijking gemaakt tussen een referentie (een corridorsituatie) en verschillende vormen van enkele vluchtroutes. Uit die analyses blijkt dat met name in portieksituaties sprake is van een hoger persoonlijk risico dan in de referentie. In de andere bestudeerde verschijningsvormen van een enkele vluchtroute is dat persoonlijk risico beperkt hoger (doodlopend einde) of gelijk of lager (veiligheidsvluchtroute) aan de referentie.
- > Op basis van de uitkomsten van de risicoanalyses zijn oplossingsvoorstellen gedaan om het persoonlijk risico in enkele vluchtroutes te verlagen. Het blijkt dat het beperken van het maximaal aantal bouwlagen/aantal woningen in een portiektrappenhuis en het betrouwbaarder uitvoeren van de brand- en rookscheidingen tussen de woningen en het trappenhuis de meest geschikte oplossingen zijn om het persoonlijk risico in overeenstemming te brengen met de referentiesituatie. De loopafstand in een doodlopend einde kan worden vergroot naar 15 meter, mits de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur wordt verhoogd. Ten slotte wordt aanbevolen om kleine ruimten die grenzen aan de (enkele) vluchtroute zoals meterruimten brand- en rookwerend uit te voeren.

Inhoud

	Samenvatting	3
	Inleiding	11
1	Theoretisch kader	14
1.1	Samenvatting vooronderzoek	14
1.2	Ontvluchtingsconcept	15
1.3	Voorschriften vluchten woongebouwen	17
1.4	Rookverspreiding bij woningbranden	21
1.5	Effecten van brand en rook op personen	23
1.6	Betrouwbaarheid ontvluchtingsconcept	25
1.7	Vluchten en vluchtroutes in de praktijk	26
1.8	Gebeurtenissenboom en risico-index	28
2	Onderzoeksopzet	30
2.1	Opzet en methoden	30
2.2	Uitgangspositie	32
2.3	Variabelen voor kwalitatieve analyse	37
2.4	Variabelen voor kwantitatieve analyse	38
2.5	Gevoeligheidsanalyse	45
2.6	Kwaliteit van het onderzoek	46
3	Verduidelijking uitgangspunten vluchtroutes	48
3.1	Omstandigheden bruikbaarheid vluchtroute	48
3.2	Tijdsduur bruikbaarheid vluchtroute	49
3.3	Beperkt risico brand in vluchtroute	51
3.4	Voorzet herijking uitgangspunten	51
4	Kwalitatieve analyse	53
4.1	Aantal woningen dat is aangewezen op vluchtroute	53
4.2	Rookverspreiding	56
4.3	Loopafstand, -snelheid, -richting en blootstellingsduur	58
4.4	Redundantie vluchtroutes	61
4.5	Samenvatting	64
5	Kwantitatieve analyse	69
5.1	Referentiesituatie: corridor	69
5.2	Portieksituatie met 3, 4 of 5 bouwlagen	72
5.3	Vergelijking referentie en portiek	78
5.4	Gevoeligheidsanalyse	81
5.5	Conclusie kwantitatieve analyse	84
6	Oplossingsrichtingen	86
6.1	Bepalende aspecten persoonlijk risico in vluchtroute	86
6.2	Oplossingsrichtingen	88
6.3	Oplossingsrichtingen voor specifieke situaties met een enkele vluchtroute	93

7	Conclusie	96
7.1	Verduidelijking uitgangspunten enkele vluchtroute	96
7.2	Persoonlijk risico gebouwgebruikers	98
7.3	Oplossingsrichtingen	101
7.4	Beantwoording hoofdvraag	102
7.5	Voorstellen voor vervolgonderzoek	106
8	Discussie	103
8.1	Algemeen	103
8.2	Kwantitatieve risicoanalyse	104
	Literatuurlijst	107
	Bijlage 1: Consequentie-klassen per scenario	109
	Bijlage 2: Rekenresultaten rookverspreidingsscenario's	111
	Bijlage 3: Rekenresultaten gevoeligheidsanalyse	112

Inleiding

Aanleiding

In de nieuwjaarsnacht van 2020 brak in een galerijflat met een vluchtroute in Arnhem brand uit, nadat in de entreehal klein vuurwerk was afgestoken. De Onderzoeksraad voor Veiligheid (OvV) heeft onderzoek uitgevoerd naar deze brand en doet in het onderzoeksrapport tien aanbevelingen. Ten aanzien van de toepassing van een enkele vluchtroute in woongebouwen heeft de OvV de minister van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties (BZK) het volgende aanbevolen:

Aanbeveling OvV

“Herijk de bestaande uitgangspunten voor brandveiligheid zodanig dat rekening wordt gehouden met het scenario waarbij, sneller dan nu wordt verondersteld, vuur en/of rook in een (deels) enkelvoudige vluchtroute ontstaat en/of terechtkomt. Verwerk het resultaat van deze herijking in de wet- en regelgeving op het gebied van brandveiligheid.” (Onderzoeksraad voor Veiligheid, 2021, p. 88).

In opdracht van het Ministerie van BZK heeft het NIPV begin 2022 een vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022) uitgevoerd naar enkele vluchtroutes in woongebouwen. In de conclusie daarvan is een eerste aanzet gedaan voor de herijking van de uitgangspunten voor een enkele vluchtroute. Aanbevolen is om een betere verbinding aan te brengen tussen het algemene doel van de brandveiligheidsvoorschriften, de functionele eis met betrekking tot vluchten en de verschillende uitgangspunten die ten grondslag liggen aan een enkele vluchtroute. Deze betere verbinding kan worden gemaakt door de uitgangspunten voor een enkele vluchtroute in woongebouwen te verduidelijken. Verder is in het vooronderzoek aanbevolen om rekening te houden met veranderende omstandigheden (zoals een toename van kwetsbare doelgroepen, snellere rookverspreiding) en verschillende brandscenario's (in de woning, in een andere ruimte aan de vluchtroute en in de vluchtroute). Ten slotte zijn in het onderzoek opties gegeven voor de manier waarop het resultaat van de herijking vertaald kan worden in wet- en regelgeving op het gebied van brandveiligheid. Het doel van die vertaling is om de wet- en regelgeving voor een enkele vluchtroute weer aan te laten sluiten op de huidige praktijk waarbij rekening wordt gehouden met veranderende omstandigheden en verschillende brandscenario's.

Enkele vluchtroute

In dit onderzoek is de term 'enkele vluchtroute' gebruikt. Daarmee wordt de situatie bedoeld waarbij vanaf een woningtoegangsdeur in een woongebouw slechts in één richting kan worden gevlucht. Dit betekent, dat er in horizontale zin sprake is van een zogenaamd 'doodlopend eind'. In verticale zin betreft dit (onder andere) een zogenaamd 'portiektreppenhuys', waarbij de woningen direct op het trappenhuis uitkomen en waarin slechts in één richting naar het aansluitende terrein kan worden gevlucht.

Opdracht en onderzoeksvragen

Na het uitvoeren van het vooronderzoek heeft het Ministerie van BZK aan het NIPV gevraagd om ook onderzoek te doen naar de daadwerkelijke herijking van de enkele vluchtroute in woongebouwen. Dit betreft het voorliggende onderzoek, waarin de herijking is uitgewerkt en vertaald naar oplossingsrichtingen voor de bouwregelgeving.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt:

Hoe kan de enkele vluchtroute in woongebouwen worden herijkt en vertaald naar oplossingsrichtingen voor de bouwregelgeving?

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden, zijn de volgende deelvragen gesteld:

1. Onder welke omstandigheden mag nog verwacht worden dat personen kunnen vluchten in een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert?
2. Wat betekent 'gedurende langere tijd door vluchtende personen kan worden gebruikt'?
3. Wat wordt bedoeld met 'geen groot risico op het uitbreken en ontwikkelen van brand'?
4. Wat is het te verwachten persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van twee onafhankelijke vluchtroutes (referentiesituatie)?
5. Wat is het te verwachten persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van een enkele vluchtroute?
6. Hoe verhoudt het te verwachten veiligheidsniveau in een enkele vluchtroute zich tot het te verwachten veiligheidsniveau met twee vluchtroutes?
7. Wat zijn oplossingsrichtingen om de wet- en regelgeving omtrent het toepassen van een enkele vluchtroute weer aan te laten sluiten op de huidige praktijk met veranderende omstandigheden?

Voor de beantwoording van de onderzoeksvragen zijn verschillende onderzoeksmethoden gebruikt. Deze worden nader toegelicht in hoofdstuk 1.

Afbakening

In de Nederlandse bouwregelgeving wordt er waar het gaat om het niveau van de eisen onderscheid gemaakt in nieuw te bouwen gebouwen (nieuwbouwniveau), verbouw, tijdelijke bouw en bestaande gebouw (bestaande bouwniveau). In het vooronderzoek is voorgesteld om de eisen voor bestaande bouw pas te herijken wanneer dat voor nieuwbouw is gedaan. In dit onderzoek is daarom enkel gekeken naar de verhoudingen tussen ontvluchtingsprincipes met twee vluchtroutes en met een enkele vluchtroute binnen de kaders van het nieuwbouwniveau.

In dit onderzoek wordt voor het persoonlijk risico van vluchtende personen gekeken naar de blootstelling aan rook. De gevolgen daarvan verschillen per persoon. De lichamelijke gesteldheid is daarbij een bepalende factor (SFPE, 2019, p. 68). Uit literatuuronderzoek uitgevoerd tijdens het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b) is gebleken dat de condities waaraan personen worden blootgesteld en hun kwetsbaarheid bepalend zijn voor de beschikbare tijd voor vluchten en overleven. In dat onderzoek zijn de groepen 'algemeen', 'kwetsbaar' en 'zeer kwetsbaar' onderscheiden. In het onderhavige onderzoek is ervan uitgegaan dat de bewoners van de woningen bij brand gemiddeld zelfredzaam zijn en bovendien geen verhoogde

kwetsbaarheid voor blootstelling aan rook en warmte hebben. Het uitgangspunt met betrekking tot zelfredzaamheid is ook het uitgangspunt van de bouwregelgeving, waarin wordt uitgegaan van een situatie waarbij bewoners kunnen vluchten via een vloer, trap of hellingbaan, zonder dat gebruik hoeft te worden gemaakt van een lift (artikel 1.1 van Bouwbesluit 2012) (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2014). Het onderzoek heeft dus geen betrekking op de 'kwetsbare' en 'zeer kwetsbare' doelgroep.

In dit onderzoek is onder andere gebruikgemaakt van een vergelijkende kwantitatieve methode om het veiligheidsniveau tussen een enkele vluchtroute en een referentiesituatie met twee vluchtroutes te vergelijken. Dit betekent dat de uitkomsten als een relatieve vergelijking moeten worden gezien en geen inzicht geven in het daadwerkelijke persoonlijk risico.

De omstandigheden in de brandruimte of woning waarin de brand zich bevindt zijn in dit onderzoek niet beoordeeld. Dit is nader toegelicht in paragraaf 2.2.

Gebouwen waarin meer dan 20 meter wordt overbrugd moeten voordat de trappenhuizen bereikt worden, zijn voorzien van een rooksluis die zorgt voor een beperking van de rookverspreiding naar de trappenhuizen. Dergelijke gebouwen zijn niet meegenomen in dit onderzoek. Eventuele vereiste rooksluizen voor liften zijn ook niet meegenomen.

Leeswijzer

Hoofdstuk 1 geeft een beschouwing van de kennis over vluchtroutes en vluchten en van de beoordeling van het persoonlijk risico. In hoofdstuk 2 wordt uiteengezet welke methoden zijn toegepast in dit onderzoek en welke keuzes daarbij zijn gemaakt. In hoofdstuk 3 is een voorstel beschreven met betrekking tot het verduidelijken van de uitgangspunten van de enkele vluchtroute. Hoofdstuk 4 en 5 bevatten respectievelijk een kwalitatieve en kwantitatieve analyse waarbij de referentiesituatie met twee vluchtroutes is vergeleken met een situatie met een enkele vluchtroute. In de kwantitatieve analyse is gebruikgemaakt van gebeurtenissenbomen om het persoonlijk risico inzichtelijk te maken. Op basis van de resultaten uit hoofdstuk 4 en 5 zijn in hoofdstuk 6 mogelijke oplossingsrichtingen beschreven om wet- en regelgeving voor enkele vluchtroutes weer aan te laten sluiten op de huidige praktijk met veranderende omstandigheden. In hoofdstuk 7 worden de onderzoeksvragen beantwoord en in hoofdstuk 8 is een discussie opgenomen.

1 Theoretisch kader

In dit hoofdstuk is het theoretisch kader uitgewerkt, dat de basis vormt van het uitgevoerde onderzoek en is gebaseerd op een literatuuronderzoek. Hierin komen eerder uitgevoerde onderzoeken naar rookverspreiding en vluchtveiligheid in woongebouwen aan de orde, alsmede wetenschappelijke literatuur met betrekking tot veilig vluchten in geval van brand. Verder worden de voorschriften uit het Bouwbesluit 2012 en het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) die gelden voor vluchtroutes van woongebouwen behandeld. Ten slotte komen de achtergronden van de toegepaste onderzoeksmethodes aan de orde.

1.1 Samenvatting vooronderzoek

In het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022) zijn in paragraaf 1.2.3 conclusies getrokken ten aanzien van de uitgangspunten voor een enkele vluchtroute die gekozen zijn bij totstandkoming van de bouwregelgeving. De conclusies zijn gebaseerd op de integrale nota van toelichting bij het Bouwbesluit 2012 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023) en het daaraan ten grondslag liggende onderzoek *Achtergronden bij de voorschriften voor ontvluchting* (van Calis & Coppens, 2009). In het vooronderzoek zijn de conclusies als volgt verwoord:

Vooronderzoek enkele vluchtroute

“Een enkele vluchtroute kan voor nieuwbouw worden toegestaan mits deze enkele vluchtroute een ‘gegarandeerd veiligheidsniveau’ heeft. Dit ‘gegarandeerde veiligheidsniveau’ wordt in de Nota van toelichting bij het Bouwbesluit als volgt verder uitgewerkt:

- 1. de enkele vluchtroute kan gedurende langere tijd (ten minste 20 of 30 minuten) door vluchtende personen worden gebruikt*
- 2. de route biedt voldoende bescherming tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het subbrandcompartiment waarin de brand woedt (brand- en rookwerendheid van wanden, vloeren en plafonds)*
- 3. in een ruimte waardoor een beschermde vluchtroute voert, mag geen groot risico zijn op het uitbreken en ontwikkelen van brand.*

Daarnaast geldt voor vluchten binnen een subbrandcompartiment nog het uitgangspunt dat mensen met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen. Dat betekent dus dat gedurende langere tijd (zie bovenstaande uitgangspunten), met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook moet kunnen worden gelopen. Onduidelijk is of dit uitgangspunt ook geldt voor vluchten buiten het subbrandcompartiment. Gezien de systematiek lijkt dit echter wel aannemelijk” (Brandweeracademie, 2022, p. 17).

De onderdelen 1 en 2 moeten ervoor zorgen dat bij het scenario ‘brand in woning’ de aanwezige personen in de (andere) woningen voldoende tijd hebben om via de enkele vluchtroute veilig te vluchten. Punt 3 moet ervoor zorgen dat er geen brand ontstaat in de vluchtroute. Paragraaf 3.3.3 van het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022, p. 38) geeft aan dat aan punt 1 en 2 niet of moeilijk voldaan kan worden door een van de volgende gewijzigde omstandigheden:

- > Extramuralisering en vergrijzing
- > Meer rookproductie door gewijzigde brandstoffen en verdergaande rookverspreiding ondanks de strengere eisen ten aanzien van rookwerendheid.

Aan punt 3 kan ook nog niet of moeilijk worden voldaan, omdat vluchtroutes worden ingericht met brandbare materialen (hoewel dit niet is toegestaan), en omdat er steeds meer ontstekingsbronnen in de vluchtroutes aanwezig zijn (Brandweeracademie, 2022, p. 38).

Ten slotte wijst het vooronderzoek op de combinatie van genoemde 3 punten:

Vooronderzoek enkele vluchtroute

“Deze aspecten (gewijzigde omstandigheden ten opzichte van de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de mogelijkheid voor een enkele vluchtroute) zijn elk op zichzelf al risicoverhogend. In de praktijk komen deze drie aspecten echter ook juist vaak in combinatie voor. In de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de voorschriften voor een enkele vluchtroute wordt onvoldoende rekening gehouden met deze aspecten, waardoor vluchten via de enkele vluchtroute bij zowel een brand in de woning als brand in de vluchtroute niet meer mogelijk is” (Brandweeracademie, 2022, p. 38).

In hoofdstuk 4 van het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022, pp. 44–47) is een voorzet gegeven voor de herijking van de uitgangspunten voor een enkele vluchtroute. Tevens is aanbevolen om de uitgangspunten van een enkele vluchtroute te verduidelijken, zodoende dat herleidbaar is binnen welke kaders een enkele vluchtroute acceptabel is.

1.2 Ontvluchtingsconcept

In deze paragraaf worden het doel en de uitgangspunten besproken van het ontvluchtingsconcept uit de bouwregelgeving (Bouwbesluit 2012 en Bbl). Paragraaf 1.2.1 behandelt de fundamentele brandveiligheidsdoelen en uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de brandveiligheidsvoorschriften (van het Bouwbesluit 2012 en Bbl). In paragraaf 1.2.2 zijn de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan (enkele) vluchtroutes opgenomen.

1.2.1 Doel en uitgangspunten brandveiligheidsvoorschriften

In paragraaf 6.5 van de integrale toelichting de Staatsbladen is beschreven dat het doel van de brandveiligheidsvoorschriften tweeledig is:

- > het voorkomen van slachtoffers bij brand
- > het voorkomen dat een brand zich uitbreidt naar een ander perceel.

De voorschriften die zijn opgenomen in het Bouwbesluit 2012 en het Bbl dragen elk op een bepaalde manier bij aan het algemene doel (daartoe worden bijvoorbeeld concrete prestatie-eisen gesteld aan materiaalgedrag bij brand en sterkte van de bouwconstructie). De voorschriften die de doelen moeten bewerkstelligen zijn rond algemene uitgangspunten geformuleerd; deze zijn in onderstaand kader weergegeven.

Algemene uitgangspunten Bouwbesluit 2012 en Bbl

- > Binnen 15 minuten na het ontstaan van een brand moet die brand zijn ontdekt en moeten de door die brand bedreigde personen en de brandweer zijn gealarmeerd.
- > Binnen 15 minuten na die alarmering moeten de door de brand bedreigde personen zonder hulp van de brandweer kunnen vluchten.

- > De brandweer is aanwezig en operationeel binnen 15 minuten na het melden van de brand.
- > De brandweer moet de brand binnen 60 minuten na het ontstaan onder controle hebben, hetgeen inhoudt dat voorkomen wordt dat de brand verder uitbreidt. Op dat moment moeten de laatste door de brand bedreigde personen met behulp van de brandweer zijn gered.

In de Nota van toelichting bij het Besluit bouwwerken leefomgeving (Bbl) staat daarbij expliciet beschreven dat voornoemde een tijdsmodel betreft met betrekking tot vluchten en hulpverlening, waarbij van de brandveiligheidsvoorschriften voor nieuw te bouwen gebouwen is uitgegaan. In een advies van de Adviescommissie Toepassing en Gelijkwaardigheid Bouwvoorschriften (ATGB) is dit als volgt verwoord:

ATGB-advies

“De fictieve uitgangspunten die in § 6.5 van de Integrale nota van toelichting zijn beschreven, zijn weliswaar uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de brandveiligheidsvoorschriften van Bouwbesluit 2012, maar zijn geen uitgangspunten waaraan het desbetreffende bouwwerk zelf moet voldoen. Het zijn evenmin uitgangspunten die bij de toepassing van een gelijkwaardige oplossing moeten worden betrokken: het zijn immers niet de fundamentele overheidsdoelen die ten grondslag liggen aan de brandveiligheidsvoorschriften van Bouwbesluit 2012” (ATGB, 2021, p. 6).

Uit bovenstaande blijkt dat door brand en rook bedreigde personen in eerste instantie zonder hulp van de brandweer moeten kunnen vluchten. Dit sluit aan bij hetgeen beschreven in hoofdstuk 1 van het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022).

1.2.2 Uitgangspunten voorschriften (enkele) vluchtroutes

In het vooronderzoek naar de herijking van de enkele vluchtroute wordt de vluchtmethodiek in de bouwregelgeving voor nieuwbouw als volgt verwoord:

Vooronderzoek enkele vluchtroute

“In de Nota van toelichting van het Bouwbesluit 2012 wordt onderscheid gemaakt in ‘beschermde vluchtroutes’ en ‘extra beschermde vluchtroutes’. In algemene zin is daarin aangegeven: “Een subbrandcompartiment moet in principe altijd minimaal één vluchtroute hebben die buiten het subbrandcompartiment ten minste 20, 30 of soms zelfs 60 minuten bruikbaar is voor veilig vluchten”. Welke kwaliteit of omstandigheden een ‘bruikbare’ vluchtroute moet hebben om veilig vluchten mogelijk te maken is daarbij niet aangegeven. De prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012, die gelden voor (extra) beschermde vluchtroutes geven een doorkijk naar wat hiermee is beoogd:

- > *de vluchtroute biedt voldoende bescherming tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het subbrandcompartiment waarin de brand woedt (brand- en rookwerendheid van wanden, vloeren en plafonds),*
- > *in een ruimte waardoor een beschermde vluchtroute voert mag geen groot risico zijn op het uitbreken en ontwikkelen van brand.*

Daarnaast geldt nog voor vluchten binnen een subbrandcompartiment het uitgangspunt dat mensen met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen”(Brandweeracademie, 2022, p. 15).

Bron Nota van toelichting Bbl

“De grenswaarde van 30 m hangt samen met het uitgangspunt dat mensen 30 seconden met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen” (Brandweeracademie, 2022, p. 26).

De loopsnelheid van 1 m/s ligt ten grondslag aan de maximale loopafstanden binnen een subbrandcompartiment die in de bouwregelgeving zijn voorgeschreven voor nieuwbouw. Een onderbouwing van dit uitgangspunt is echter niet gegeven. Gelet op de uitgangspunten met betrekking tot de kwaliteit van vluchtroutes wordt men verondersteld voldoende veilig te zijn buiten het bedreigde subbrandcompartiment, in ieder geval gedurende de tijdsduur die noodzakelijk is om te vluchten.

In het vooronderzoek is daarnaast het volgende aangegeven:

Vooronderzoek enkele vluchtroute

“Wanneer op een beschermde vluchtroute veel mensen zijn aangewezen, moet de vluchtroute extra worden beschermd. In een woongebouw is de mate van bescherming in een buiten een woning gelegen vluchtroute niet afhankelijk gesteld van het aantal personen dat op die vluchtroute is aangewezen” (Brandweeracademie, 2022, p. 15).

Volgens het Bouwbesluit 2012 moeten vluchtroutes in woongebouwen altijd zijn uitgevoerd als ‘extra beschermde vluchtroutes’.

“Dit geldt ook voor een vluchtroute uit een brandcompartiment waarin mensen slapen of anderszins aan bed gebonden zijn. Er is dan namelijk extra tijd nodig om veilig te kunnen vluchten, en dus extra bescherming om die tijd te kunnen waarborgen. Ook een trappenhuis in een portieksituatie moet bij nieuwbouw een extra beschermde vluchtroute zijn (Brandweeracademie, 2022, p. 15).

In het uitgevoerde vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022) is geconcludeerd dat, conform de uitgangspunten voor veilig vluchten binnen het Bouwbesluit 2012, een enkele vluchtroute uit een woonfunctie kan worden geaccepteerd als deze enkele vluchtroute een ‘gegarandeerd veiligheidsniveau’ heeft:

Vooronderzoek enkele vluchtroute

“Dit ‘gegarandeerde veiligheidsniveau’ is in de Nota van toelichting bij het Bouwbesluit als volgt verder uitgewerkt:

- > *de enkele vluchtroute kan gedurende langere tijd (ten minste 20 of 30 minuten) door vluchtende personen worden gebruikt*
- > *de route biedt voldoende bescherming tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het subbrandcompartiment waarin de brand woedt (brand- en rookwerendheid van wanden, vloeren en plafonds)*
- > *in een ruimte waardoor een beschermde vluchtroute voert, mag geen groot risico zijn op het uitbreken en ontwikkelen van brand” (Brandweeracademie, 2022, p. 17).*

Voornoemde uitgangspunten zijn in de prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012 vertaald naar technische brandveiligheidsvoorzieningen. Volgens het Bouwbesluit 2012 zijn verschillende verschijningsvormen van een enkele vluchtroute in een woonfunctie toegestaan.

1.3 Voorschriften vluchten woongebouwen

In deze paragraaf zijn de voorschriften met betrekking tot vluchten voor woongebouwen uit het Bbl opgenomen. Hierbij is een onderverdeling gemaakt in de voorschriften voor

vluchtroutes (paragraaf 1.3.1) en de gebruiksvoorschriften voor vluchtroutes (paragraaf 1.3.2).

1.3.1 Voorschriften vluchtroutes

De voorschriften voor vluchtroutes zijn voor nieuwbouw gegeven in artikel 4.64 tot en met 4.71 van het Bbl. Op basis van deze voorschriften kan de volgende onderverdeling in vluchtroutes worden gemaakt.

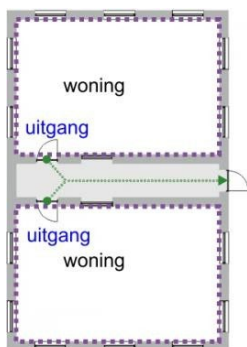
Horizontaal 'doodlopend eind'

Artikel 4.69, eerste tot en met derde lid, geeft de basisvoorwaarden voor een 'extra beschermde vluchtroute'.

Artikel 4.69, eerste tot en met derde lid

1. Een vluchtroute is vanaf de uitgang van het subbrandcompartiment waarin de vluchtroute begint een extra beschermde vluchtroute, tenzij die uitgang rechtstreeks grenst aan het aansluitende terrein.
2. De in het eerste lid bedoelde vluchtroute voert niet langs een beweegbaar constructieonderdeel van een andere woonfunctie dan de woonfunctie waarin de vluchtroute begint. Dit geldt niet bij de toegang van een woonfunctie die recht tegenover de toegang ligt van de woonfunctie waarin de vluchtroute begint.
3. De in het eerste lid bedoelde vluchtroute voert niet door een trappenhuis.

In het eerste lid van dit artikel is geregeld dat een vluchtroute vanaf de uitgang van de woning altijd extra beschermd moet zijn. Het tweede lid van dit artikel staat een 'kort horizontaal doodlopend eind' toe in extra beschermde vluchtroutes. Voorwaarde is wel dat de woningtoegangsdeuren ter plaatse van het 'doodlopend eind' recht tegenover elkaar moeten liggen. Dat het eerste en tweede lid betrekking hebben op een 'horizontale' vluchtroute, blijkt uit het derde lid, waarin is aangegeven dat de bedoelde vluchtroute niet door een trappenhuis mag voeren. In Figuur 1.1 is het een mogelijke verschijningsvorm van de horizontale doodlopend eind weergegeven.



Figuur 1.1 Visualisatie doodlopend einde (Hellendoorn et al., 2015)

Twee portiek-varianten

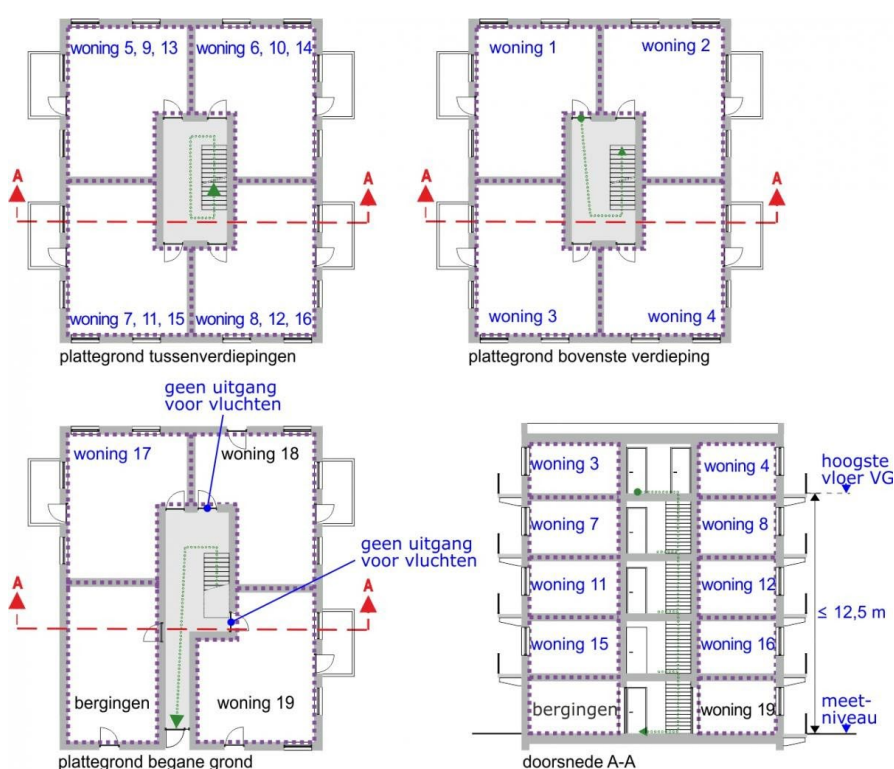
Wanneer sprake is van een zogenaamde 'portiek-situatie', dan mag de vluchtroute wel door een trappenhuis voeren en moeten de uitgangen van de op die route aangewezen woningen wel rechtstreeks aan het trappenhuis grenzen. Dit is geregeld in artikel 4.69, vierde lid.

Artikel 4.69, vierde lid

Het tweede en derde lid gelden niet als de route door een trappenhuis voert, de uitgangen van de op die route aangewezen woonfuncties rechtstreeks aan het trappenhuis grenzen, op die route alleen woonfuncties en nevengebruiksfuncties daarvan zijn aangewezen, en de uitgang van het trappenhuis rechtstreeks grenst aan het aansluitende terrein en:

- a) er niet meer dan zes woonfuncties en nevengebruiksfuncties daarvan voor personen bereikbaar zijn door het trappenhuis en geen vloer van een verblijfsgebied van die woonfuncties hoger ligt dan 6 m boven het meetniveau; of
- b) de totale gebruiksoppervlakte van de woonfuncties en nevengebruiksfuncties daarvan die voor personen bereikbaar zijn door het trappenhuis:
 - 1) ten hoogste 800 m² is;
 - 2) geen vloer van een verblijfsgebied van die woonfuncties hoger ligt dan 12,5 m boven het meetniveau; en
 - 3) geen van die woonfuncties een gebruiksoppervlakte heeft van meer dan 150 m².

In Figuur 1.2 is een portiek-situatie volgens artikel 4.69 lid 4b weergegeven.



Figuur 1.2 Visualisatie portieksituatie (Hellendoorn et al., 2015)

Twee vluchtroutes en veiligheidsvluchtroute

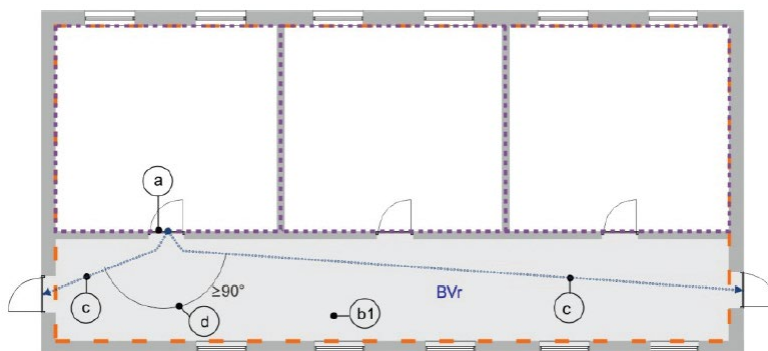
Artikel 4.71 van het Bbl regelt de aanwezigheid van twee vluchtroutes, of van een veiligheidsvluchtroute. Artikel 4.71 lid 1 tot en met 3 gaat in op twee vluchtroutes. In het kader hieronder is artikel 4.71 weergegeven.

Artikel 4.71

1. Als op een vluchtroute een tweede vluchtroute begint zijn de artikelen 4.68, 4.69, eerste tot en met zesde lid, en 4.70 niet van toepassing vanaf het punt dat de twee vluchtroutes door verschillende ruimten voeren.
2. Buiten het brandcompartiment waarin de in het eerste lid bedoelde tweede vluchtroute begint, voeren de twee vluchtroutes niet door eenzelfde brandcompartiment.
3. In afwijking van het eerste en tweede lid kunnen de twee vluchtroutes vanaf de uitgang van het subbrandcompartiment waarin de eerste vluchtroute begint door dezelfde ruimte voeren als:
 - a. die ruimte aan die uitgang van het subbrandcompartiment grenst;

- b. de vluchtroutes in die ruimte beschermde vluchtroutes en voor zover deze buiten een brandcompartiment liggen extra beschermde vluchtroutes zijn;
 - c. de loopafstand in die ruimte gemeten over beide vluchtroutes ten hoogste 30 m is als de ruimte besloten is; en
 - d. de vluchtroutes in verschillende richtingen voeren.
4. In afwijking van het eerste lid kunnen de twee vluchtroutes door dezelfde ruimte voeren voor zover de vluchtroute een veiligheidsvluchtroute is.
 5. De in het vierde lid bedoelde veiligheidsvluchtroute voert alleen door een trappenhuis.

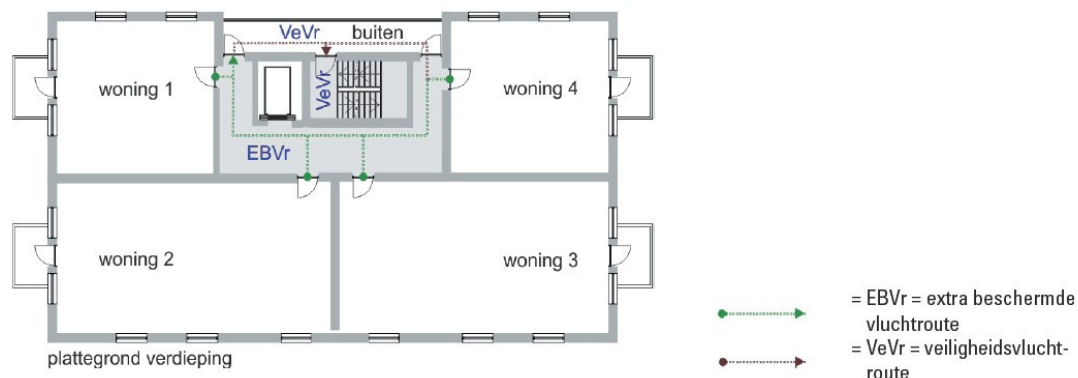
In Figuur 1.3 is een corridorsituatie met twee vluchtroutes volgens artikel 4.71 lid 3 weergegeven.



Figuur 1.3 Twee vluchtroutes volgens artikel 4.71 lid 1 tot en met 3 (Hellendoorn et al., 2015)

Lid 4 en 5 van artikel 4.71 regelen de mogelijkheid van een veiligheidsvluchtroute. Een veiligheidsvluchtroute is een variant waarbij vanaf de woningtoegangsdeur via twee vluchtroutes in twee vluchtrichtingen gevlucht kan worden, die vervolgens via een niet-besloten ruimte uitkomen in een trappenhuis waardoor een enkele vluchtroute voert.

In Figuur 1.4 is een veiligheidsvluchtroute volgens artikel 4.71 weergegeven.



Figuur 1.4 Visualisatie veiligheidsvluchtroute (Hellendoorn et al., 2015)

1.3.2 Gebruiksvoorschriften vluchtroutes woongebouwen

Het Bbl geeft een aantal voorschriften voor het gebruik van vluchtroutes. Dit betreffen:

- > Artikel 6.4 (specifieke zorgplichtbepaling)

Artikel 6.4

Degene die weet of redelijkerwijs kan vermoeden dat als gevolg van het gebruik een van de volgende situaties kan ontstaan, is verplicht alle maatregelen te nemen die redelijkerwijs kunnen worden gevraagd om te voorkomen dat:

- a. brandgevaar wordt veroorzaakt;*
- b. bij brand een gevaarlijke situatie wordt veroorzaakt;*
- c. de melding van, alarmering bij of bestrijding van brand wordt belemmerd;*
- d. het gebruik van vluchtmogelijkheden bij brand wordt belemmerd;*
- e. het redden van personen of dieren bij brand wordt belemmerd; en*
- f. er op een andere manier gevaar voor de brandveiligheid ontstaat of voortduurt*

- > Artikel 6.14 (aankleding), waarin is aangegeven dat aankleding (zoals vloerbedekking, gordijnen en versiering) geen brandgevaar mag opleveren.

Per 1 juli 2024 worden artikel 6.15a en artikel 6.23a van kracht, met daarin specifieke voorschriften over spullen in de gang:

- > Artikel 6.15a (geen brandgevaarlijke objecten in vluchtroute woongebouw) luidt als volgt:

Artikel 6.15a (geen brandgevaarlijke objecten op vluchtroute woongebouw)

1. In een gemeenschappelijk verkeersruimte van een woongebouw waardoor een vluchtroute voert zijn geen brandgevaarlijke objecten aanwezig. Onder brandgevaarlijke objecten worden in ieder geval verstaan:

- a. meubilair;*
- b. fietsen en scootmobielen;*
- c. afvalstoffen en kratten; en*
- d. decoratie.*

2. In afwijking van het eerste lid, aanhef en onder a en d, is meubilair en decoratie toegestaan als het:

- a. van metaal, steenachtig materiaal of glas is;*
- b. materiaal dat onbrandbaar is volgens NEN 6064; of*
- c. materiaal dat voldoet aan brandklasse A1 als bedoeld in NEN-EN 13501-1.*

3. Het is eerste lid is niet van toepassing op:

- a. objecten voor bewegwijzering en informatie aan de bewoners;*
- b. een foto, een schilderij of een andere afbeelding met een oppervlakte van ten hoogste 0,5 m² bij de toegang van een woning; en*
- c. een deurmat met een oppervlakte van ten hoogste 0,5 m² bij de toegang van een woning.*

- > Artikel 6.23a (geen belemmerende objecten in vluchtroute woongebouw) luidt als volgt:

Artikel 6.23a

In een gemeenschappelijk verkeersruimte van een woongebouw waardoor een vluchtroute voert zijn geen objecten aanwezig die het vluchten belemmeren. Onder objecten die het vluchten belemmeren worden in ieder geval verstaan objecten waardoor de bouwkundige vrije breedte van de verkeersruimte wordt ingeperkt, tenzij er ten minste een beschikbare breedte van 0,85 m overblijft.

1.4 Rookverspreiding bij woningbranden

In 2019 heeft de Brandweeracademie grootschalige praktijkexperimenten uitgevoerd met als doel het in kaart brengen van de rookverspreiding in een woongebouw met inpandige

gangen (Brandweeracademie, 2020b). Met betrekking tot eerder onderzoek is in het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen het volgende beschreven:

Rookverspreiding in woongebouwen

“Uit onderzoek naar reddingen bij brand, fatale woningbranden (Brandweeracademie, 2018) 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 of ruimte waarin de brand is ontstaan. Daarnaast is rookinhalatie de meest voorkomende oorzaak van letsel (Brandweeracademie, 2020a). Bij fatale woningbranden is in een groot deel van de gevallen sprake van rookverspreiding over meerdere ruimten en/of verdiepingen (Brandweeracademie, 2018). Doorgaans is bij aankomst van de brandweer sprake van rookverspreiding over meerdere verdiepingen. 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)” (van Liempd et al., 2022, p. 25).

Lucht- en rookverplaatsing vinden plaats onder invloed van drukverschillen. De stroming vindt daarbij altijd plaats van hoge naar lage druk. De hoeveelheid rook die door een opening stroomt, is afhankelijk van de grootte van het drukverschil, maar ook van de geometrie van de opening. In het geval van brand wordt het drukverschil (in de brandruimte) primair veroorzaakt door het uitzetten van de door de brand opgewarmde lucht. Ook de lekkagehoeveelheid door de scheidingsconstructies van de brandruimte is van belang voor de drukopbouw en dus voor de rookverspreiding. In essentie geldt: hoe hoger het drukverschil en hoe lekker de scheidingsconstructies, hoe meer rook er door de scheidingsconstructies stroomt (Merci & Beji, 2016).

Op een grotere afstand van de brand wordt de stroming van rook vaak niet meer (volledig) gedictieerd door de brand. In die gevallen kunnen natuurlijke luchtstromen (zoals het schoorsteeneffect of wind) of geforceerde luchtstromen (zoals mechanische ventilatiesystemen) zorgen voor drukverschillen en dus verplaatsing van lucht en rook.

In de praktijkexperimenten naar rookverspreiding bleek sprake te zijn van rookverspreiding buiten de brandruimte via diverse routes, zowel horizontale als verticale. Horizontaal vond er meer rookverspreiding plaats dan verticaal:

Rookverspreiding in woongebouwen

“Hoewel er bij veel testen op andere verdiepingen rookverspreiding is geconstateerd, waren de visueel waargenomen hoeveelheden en gemeten concentraties lager dan op de verdieping van de brand. Daarnaast was de verticale rookverspreiding minder consistent dan de horizontale rookverspreiding en verliep de rookverspreiding tijdens de inzetfase grilliger dan tijdens de vluchtfase. Het lijkt erop dat naast de brandweerinzet, meer variabelen en factoren de rookverspreiding beïnvloeden”. (Brandweeracademie, 2020b, p. 3)

Tevens is in dat onderzoek beschreven:

“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”. (Brandweeracademie, 2020b, p. 3)

Uit de bestudeerde literatuur en uitgevoerde praktijkexperimenten blijkt dat een direct aan de brandruimte grenzende vluchtroute niet zonder meer voldoende is gevrijwaard van rook. De mate van verontreiniging hangt sterk af van onder andere de brandstof, het openen en sluiten van deuren en eventuele aanvullende preventieve voorzieningen zoals een automatische blusinstallatie. In diverse experimenten zijn in de vluchtroute temperaturen en gasconcentraties gemeten die bij een korte blootstellingsduur kunnen leiden tot nadelige effecten op mensen. Daarnaast is uit alle experimenten gebleken dat het zicht in de vluchtroute kort na het openen van de deur tussen de brandruimte en de corridor grotendeels wordt weggenomen door de aanwezigheid van rook (Brandweeracademie, 2020b).

Tijdstip betreden vluchtroute na rookverspreiding

Uit het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen blijkt dat de mate van verontreiniging van vluchtroutes en daarmee de blootstelling van vluchtende personen afhankelijk is van het tijdstip waarop de vluchtroute wordt betreden nadat rook de vluchtroute is ingestroomd. Kort na het openen van de deur van het appartement waarin de brand zich bevindt, zal de rook zich snel in de corridor verspreiden. Door drukverschillen zullen de temperatuur en de concentratie giftige gassen hoger in de ruimte toenemen. Hierdoor is de blootstelling aan de gevolgen van rook hoofdhogte maatgevender dan op een lager niveau in de vluchtroute. Na verloop van tijd zal de rook afkoelen als gevolg van warmteverliezen naar de omgeving; er ontstaat een uniformere verdeling van temperatuur en rookgassen over de hoogte van de rooklaag waardoor ook op andere hoogtes in de ruimte sprake kan zijn van een bedreigende situatie. Door de verspreiding over het volume van de ruimte kan de concentratie op hoofdhogte echter afnemen. Personen die op een later moment besluiten te vluchten, kunnen dus te maken krijgen met lagere gasconcentraties en temperaturen dan personen die op een eerder moment vluchten (Brandweeracademie, 2020b).

1.5 Effecten van brand en rook op personen

In het geval van brand is de blootstelling aan rook en warmte doorgaans de meest urgente bedreiging voor de persoonlijke veiligheid. Met name producten van (onvolledige) verbranding in rook, zoals roet, koolmonoxide (CO) en waterstofcyanide (HCN) kunnen leiden tot acute nadelige (veelal fysiologische) effecten die de mogelijkheid tot veilig vluchten kunnen beïnvloeden, waaronder (SFPE, 2019, p. 41):

- > beperkt zicht door verduistering als gevolg van rook
- > beperkt zicht, pijn en moeilijke ademhaling door irriterende stoffen in rook
- > verlies van bewustzijn en verstikking door het inademen van giftige gassen
- > pijn door de thermische belasting van de huid en luchtwegen, zowel veroorzaakt door convectieve als stralingsflux.

Over het algemeen kan worden gesteld dat wordt doorgeademd tijdens het vluchten en dat ingeademde verstikkende gassen zoals CO de zuurstofopname van het bloed beperken, doordat ze zich eenvoudig binden aan rode bloedcellen (daarbij wordt in het geval van CO carboxyhemoglobine of COHb gevormd). Als gevolg daarvan krijgen vitale organen zoals de hersenen onvoldoende zuurstof, met verlies van bewustzijn en uiteindelijk overlijden tot gevolg. De inname van HCN resulteert doorgaans in toxische verstikking. Ook kunnen lagere zuurstofconcentraties aanwezig zijn in de rook. Die verlaagde concentraties resulteren in hypoxie, hetgeen verlies van bewustzijn en uiteindelijk overlijden tot gevolg

heeft. Ten slotte bevatten verbrandingsgassen kooldioxide (CO₂), dat zelf bij relatief lage concentraties niet giftig is, maar wel resulteert in een verhoogde ademhaling. Die verhoogde ademhaling resulteert in een verhoogde inname van de overige wél giftige gassen.

Blootstelling aan warmte kan leiden tot hitteberoertes, pijn en brandwonden aan de huid en beschadiging van de luchtwegen. In het geval van blootstelling aan warmte bij brand zijn er doorgaans twee warmtetransportmechanismen relevant: warmtestraling en warmtestroming (convectie). Bij een hoge warmtestralingsflux kan pijn na een korte blootstellingduur optreden. Bij een nog hogere stralingsintensiteit en/of een langere blootstellingsduur kunnen er brandwonden ontstaan. Bij convectieve blootstelling (blootstelling aan lucht of rook met hoge temperaturen) kan het luchtwegstelsel beschadigen en kunnen brandwonden ontstaan. De luchtvochtigheid is daarbij relevant. Een hitteberoerte kan optreden bij langere blootstellingsduren. In situaties waarbij gevlucht wordt door een ruimte met beperkte hoogte (zoals vaak het geval is in woongebouwen) wordt door de rook gevlucht. In die gevallen is warmtetransport door convectie (stroming) veelal maatgevender dan straling. Een veelgebruikt acceptatiecriterium in het geval er wordt gevlucht door rook is een temperatuur lager dan 80°C (Boverket, 2013).

Zowel in het geval van blootstelling aan toxische gassen als aan warmte is de blootstellingsduur in combinatie met de concentratie relevant. Zo hoeft een kortstondige blootstelling aan CO niet direct te resulteren in levensbedreigende omstandigheden. Naarmate meer CO wordt ingeademd, neemt het COHb-gehalte in het bloed toe. Uiteindelijk resulteert een te hoog COHb-gehalte in verlies van bewustzijn. Om deze reden wordt in de beoordeling van de blootstelling aan rook veelal gewerkt met een aanpak op basis van een dosis. Ook voor warmte kan een dergelijke aanpak worden gebruikt. Een methode om deze dosis en daarmee de effecten van brand en rook op vluchtende personen inzichtelijk te maken, is de Fractional Effective Dose-methode (hierna: FED). In eerdere uitgevoerde onderzoeken is gebruikgemaakt van deze FED-methode (Brandweeracademie, 2020b; van Liempd et al., 2022). Voor een nadere toelichting op deze methode wordt verwezen naar deze onderzoeken.

Roet in rook heeft een verduisterende werking, waardoor de zichtlengte wordt beperkt. Ook kunnen er stoffen in de rook zitten, die irriterend werken op de ogen en ademhalingswegen. Als gevolg hiervan wordt vluchten bemoeilijkt. Uit literatuur (SFPE, 2019) blijkt dat de loopsnelheden van personen in met rook gevulde ruimten afnemen ten opzichte van loopsnelheden onder normale omstandigheden.

Acceptatiecriterium voor zicht

In de toegepaste brandveiligheidskunde wordt vaak een acceptatiecriterium voor zicht gebruikt om te beoordelen of veilig vluchten mogelijk is. Dat acceptatiecriterium heeft vaak een tweeledig doel: enerzijds moet oriëntatie tijdens het vluchten goed mogelijk zijn en anderzijds wordt een zichtlengte vaak gebruikt als benadering voor de giftigheid van de rook. Bij een zichtlengte van 5-10 meter (voor reflecterende objecten) kan vaak gedurende langere periodes veilig worden gevlucht, zonder dat er toxicologische gevolgen optreden. De zichtlengte wordt in die gevallen maatgevend verondersteld, en niet de toxicologische effecten (SFPE, 2019, p. 62).

Bij een zichtlengte van circa 3 meter neemt de loopsnelheid over een horizontale vloer mogelijk af tot 0,3 m/s, terwijl deze onder normale omstandigheden circa 1,2 m/s kan zijn. Een afnemende loopsnelheid resulteert in een langere blootstellingsduur aan rook, met

mogelijk onvermogen tot vluchten als gevolg. De loopsnelheid over trappen is onder normale omstandigheden lager dan over een horizontale vloer. Bij beperkt zicht neemt de loopsnelheid mogelijk nog verder af dan in vergelijking met een horizontale vloer. Er bestaan echter onvoldoende data om die loopsnelheid met betrouwbaarheid te kunnen kwantificeren. Bovendien neemt het risico op struikelen toe onder beperkt zicht en op trappen (SFPE, 2019).

De vatbaarheid voor de nadelige gevolgen van warmte en rook zijn persoonsafhankelijk. Zo kunnen bijvoorbeeld kinderen en mensen met longaandoeningen zoals astma of COPD al nadelige effecten ervaren bij significant lagere bloedconcentraties COHb dan gezonde personen. Ook kunnen ouderen door een dunnere opperhuid sneller brandwonden oplopen. In dit onderzoek zijn de gevolgen voor kwetsbare personen (een populatie met verhoogde vatbaarheid) niet beoordeeld.

1.6 Betrouwbaarheid ontvluchtingsconcept

In het onderzoek 'Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid' (van Liempd et al., 2022) is onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept. Daarover wordt het volgende gesteld:

Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

"Om de risico's van een ontvluchtingsconcept nader te duiden is voor de verschillende doelgroepen onderzoek gedaan naar de betrouwbaarheid van het concept. Een 'betrouwbaar ontvluchtingsconcept' is een concept waarbij alle bewoners binnen 30 minuten op een veilige plaats zijn en vandaar naar de openbare weg kunnen vluchten, ook de laatste persoon die gaat vluchten. Wanneer de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept voor een bepaalde doelgroep kleiner is dan 100 %, betekent dit dat het risico bestaat dat niet alle personen het gebouw veilig kunnen verlaten. Het is overigens geen uitgangspunt van de bouwregelgeving dat het ontvluchtingsconcept 100 % betrouwbaar moet zijn. Ook al wordt voldaan aan de prestatie-eisen van Bouwbesluit / Bbl, dan kan er nog sprake zijn van restrisico's" (van Liempd et al., 2022, pp. 105–106).

Op basis van de resultaten is in genoemd onderzoek het volgende aangegeven over de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept:

Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

"De betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept met de huidige voorzieningen volgens het Bouwbesluit 2012 bedraagt op basis van de gehanteerde methode voor de algemene doelgroep ongeveer 71 tot 93 %. Dit betekent dat in de meeste gevallen de benodigde veilige vluchttijd korter is dan de beschikbare veilige vluchttijd, waardoor een veilige ontvluchting mogelijk is. Er blijft echter een altijd faalkans bestaan van 7 tot 21¹ %" (van Liempd et al., 2022, p. 106).

Hoewel de gevonden betrouwbaarheid uit het onderzoek met betrekking tot het ontvluchtingsconcept niet in absolute zin moet worden gezien, geeft ze wel een indicatie. Het onderzoek laat zien dat een corridorsituatie volgens de nieuwbouwvoorschriften, rekening houdend met rookverspreiding, in de meeste gevallen een veilige ontvluchting mogelijk

¹ Dit staat foutief in het rapport waarnaar wordt verwezen en dient 29 % te zijn.

maakt voor de algemene doelgroep. Desalniettemin is er ook voor de algemene doelgroep een kans dat veilig vluchten niet mogelijk is.

1.7 Vluchten en vluchtroutes in de praktijk

In deze paragraaf worden het vluchtgedrag en het gebruik van vluchtroutes besproken. Paragraaf 1.7.1 behandelt het menselijk gedrag voorafgaande en tijdens het vluchten. In paragraaf 1.7.2 wordt ingegaan op het gebruik van vluchtroutes.

1.7.1 Vluchtgedrag

In het onderzoek naar rookverspreiding en persoonlijke veiligheid is onder ander het volgende opgenomen over vluchtgedrag:

Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

“Onderzoek naar menselijk gedrag heeft aangetoond dat elke handeling die in een bepaalde situatie wordt uitgevoerd, het resultaat is van een gedrags- of besluitvormingsproces. Onderzoek naar evacuaties bij brand in gebouwen laat zien dat ook hier geldt dat personen, voordat ze een actie uitvoeren, bepaalde signalen opmerken, de situatie en het risico definiëren en inschatten op basis van die signalen en vervolgens een besluit nemen over wat te doen. Factoren die de fases van dit besluitvormingsproces beïnvloeden zijn onder andere:

- > factoren die beïnvloeden of het individu een signaal waarneemt en,*
- > factoren die van invloed zijn op wat voor soort interpretatie van de situatie en het risico het individu vormt en,*
- > factoren die het besluit over een actie beïnvloeden*

Gedrag tijdens vluchten bij brand is ook het resultaat van een dergelijk gedragsproces. Elk proces begint met nieuwe signalen en informatie uit de fysieke en sociale omgeving. Deze signalen moeten worden waargenomen en vervolgens worden geïnterpreteerd, waarna wordt besloten welke actie (of geen actie) wordt ondernomen (Kuligowski, 2009).

In de literatuur worden verschillende factoren genoemd die invloed hebben op het interpreteren van een situatie als risicovol. Dit zijn onder andere: ervaring met brand of ervaring met ontruimingsoefeningen, leeftijd en geslacht. Zo interpreteren ouderen en vrouwen een situatie eerder als risicovol in dan jongeren en mannen. Ook factoren als tijdsdruk en de aanwezigheid van dierbaren in het gebouw vergroten de kans dat een persoon een risico voor zichzelf of voor anderen voelt (Kuligowski, 2009). Kennis van evacuatieroutes in een gebouw kan daarentegen de kans dat een bewoner de situatie als risicovol interpreteert juist verkleinen” (van Liempd et al., 2022, p. 20).

Naast het besluitvormingsproces en het interpreteren van de situatie is ook bekend dat personen niet direct beginnen met vluchten. Het onderzoek naar rookverspreiding en persoonlijke veiligheid zegt hier het volgende over:

Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

“In de praktijk zien we dat personen niet altijd direct vluchten in geval van brand. Zo bellen bewoners eerst de brandweer, gaan anderen waarschuwen of redden, spullen verzamelen, de brand nader onderzoeken, of proberen om zelf de brand te blussen (Garrett, 1999)(Wales et al., 2015). Ook het horen van een brandalarm leidt niet altijd tot directe ontvluchting. Zeker wanneer een brandalarm in het verleden soms een loze melding gegeven heeft, kan het afgaan van het alarm geïnterpreteerd worden als ‘niets aan de hand’, wat maakt dat personen pas op een later moment zullen vluchten(Wales et al., 2015).” (van Liempd et al., 2022, p. 21).

Als er wel gevlucht wordt, moet dit mogelijk door de rook. Het onderzoek naar rookverspreiding en persoonlijke veiligheid geeft hierover het volgende aan:

Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid

“In het algemeen wordt ervan uitgegaan dat het overbodig is om te benadrukken wat de gevaren van rook en giftige gassen zijn, omdat personen weten dat brandgevaarlijk is. In praktijksituaties blijken personen zich echter minder bewust te zijn van de gevaren dan verondersteld wordt. Ten eerste blijkt het lastig te zijn om de snelheid van brandontwikkeling in te schatten (Brandweeracademie, 2020b). Daarnaast blijkt dat personen de gevaren van rook niet onderkennen. Hoewel uit onderzoek is gebleken dat het erg risicovol kan zijn om door rook te vluchten (Brandweeracademie, 2020b), blijken personen dit in de praktijk wel te doen. Een voorbeeld: tijdens de ontvluchting van de twee torens van het WTC in 1991 bleek dat in de ene toren 94 % en in de andere toren 70 % van de aanwezigen door de rook vluchtte. Bijna 50 % van de geïnterviewde personen die uit het WTC waren gevlucht, gaven zelfs aan dat zij tot het eindpunt door de rook hadden gelopen. Andere onderzoeken naar dit gedrag tonen aan dat personen die bekend zijn met het gebouw waarin de brand woedt, eerder geneigd zijn om door de rook te vluchten dan personen die onbekend zijn met het gebouw (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid Nibra, 2008).” (van Liempd et al., 2022, p. 21).

Uit onderzoek is echter ook bekend dat zichtbelemmering en irriterende stoffen in de rook het menselijk gedrag wel kunnen beïnvloeden. Zo is gebleken dat in 30 % van de gevallen personen ervoor kiezen niet door rook te vluchten, indien de zichtlengte minder is dan 3 meter, ook al gaat het om de enige vluchtroute uit het gebouw (SFPE, 2019, p. 46).

1.7.2 Gebruik van vluchtroutes

Uitgangspunt van de bouwregelgeving is dat de kans en de gevolgen van brand in een (extra beschermde) vluchtroute verwaarloosbaar zijn, zie ook paragraaf 1.3.2.

Uit onderzoek (Brandweeracademie, 2021a) naar de vluchtroutes van 32 woongebouwen blijkt echter dat er in een groot deel van deze woongebouwen spullen in de vluchtroute en/of het trappenhuis staan die geclassificeerd kunnen worden als brandgevaarlijk. Daarnaast kunnen obstakels in de vluchtroute het vluchten ook belemmeren, zoals een scootmobiel die de gang (deels) blokkeert. Obstakels in de vluchtroute verminderen de efficiëntie van het vluchten. Door het weghalen van (brandgevaarlijke) spullen in de vluchtroute kan de vluchtveiligheid in gebouwen worden verbeterd (Brandweeracademie, 2021a).

Uit de praktijk blijkt dus dat bewoners de hal of gang (vluchtroute) gebruiken als opslag voor inventaris of de betreffende ruimte voorzien van aankleding. Zij zien de hal of gang als het ware als een verlengstuk van de eigen woning en hebben vaak geen kennis van de eventuele risico's die dit met zich mee kan brengen. Adequaet beheren van de brandveiligheid van een gebouw is daarom essentieel. De *Leidraad brandveilig beheer van woongebouwen* kan gebouweigenaren helpen om deze risico's weg te nemen en bewoners aan te spreken op hun gedrag (van der Graaf et al., 2023).

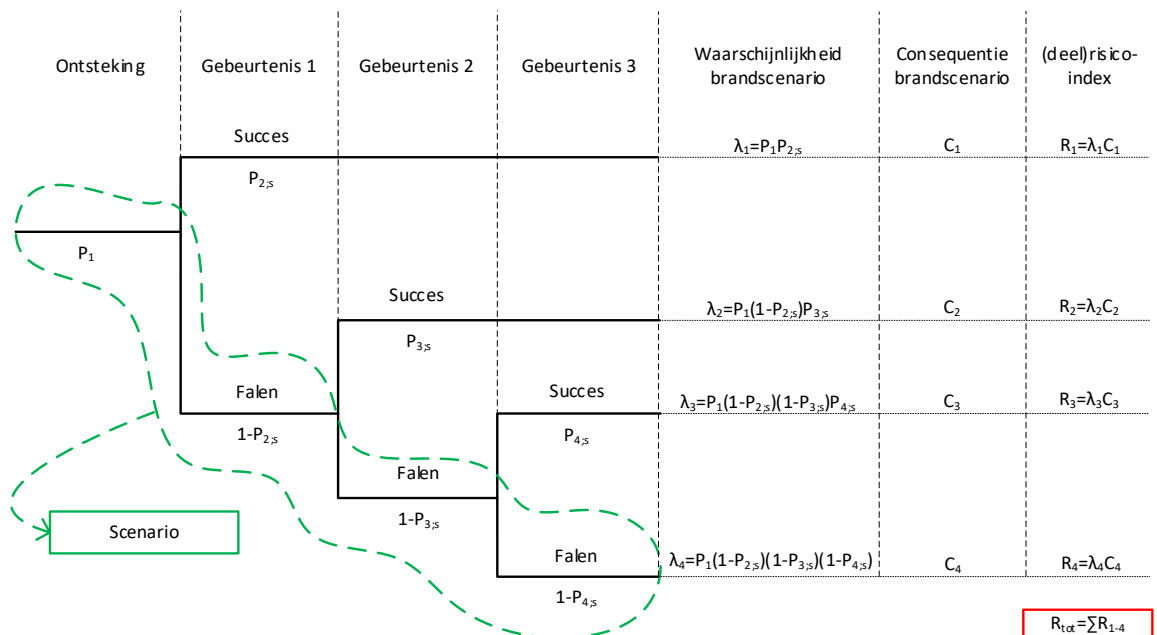
De gevolgen van een brand in een vluchtroute of in een ruimte (bijvoorbeeld een meterkast) die is gelegen aan de vluchtroute kunnen vergaand zijn door het ontbreken van een fysieke rook- en brandwerende barrière tussen de brand en de besloten vluchtroute. De vluchtroute kan snel volstromen met rook, waardoor veilig vluchten niet meer mogelijk is, zelfs al gaat het om een relatief kleine brand. In die gevallen zijn personen genoodzaakt in de woning te blijven, in afwachting van redding door de brandweer. De casuïstiek die is opgenomen in het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022) leidt tot dezelfde conclusie: vluchten is bij een brand in een vluchtroute niet veilig mogelijk. Of de vluchtroute een of meerdere uitgangen

heeft en welke vorm de vluchtroute heeft, is daarin minder relevant en leidt hooguit tot kleine verschillen. Gezien het voorgaande worden in het Bbl per 1 juli 2024 twee nieuwe gebruiksvoorschriften van kracht (artikel 6.15a en artikel 6.23a); deze zijn reeds weergegeven in paragraaf 1.3.2.

1.8 Gebeurtenissenboom en risico-index

Een mogelijkheid om de branduitbreiding en rookverspreiding inzichtelijk te maken is via een gebeurtenissenboom. Alle branden beginnen immers met een ontsteking (door bijvoorbeeld een elektrische storing of een weggegooid sigaret). Nadat de brand begonnen is, kan deze zich op verschillende manieren ontwikkelen: groter worden, zich verspreiden naar andere voorwerpen of ruimten of doven als gevolg van zuurstof- of brandstoftekort. Hetzelfde geldt voor de productie en verspreiding van rook: rook kan zich verspreiden door de ruimte of naar andere ruimten. Zowel branduitbreiding als rookverspreiding kunnen uiteenlopende gevolgen hebben voor personen in het gebouw, zie paragraaf 1.6. Diverse gebeurtenissen kunnen de gevolgen van brand beïnvloeden. In een gebeurtenissenboom is elke combinatie van mogelijke gebeurtenissen een scenario (SFPE, 2023).

In figuur 1.5 hieronder is een voorbeeld van een gebeurtenissenboom weergegeven.



Figuur 1.5 Weergave van een generieke gebeurtenissenboom

Het linkerdeel van de boom wordt gebruikt om de gebeurtenissen inzichtelijk te maken. De uitkomst van dit deel is de frequentie of waarschijnlijkheid van een bepaald scenario. In het tweede deel van de boom wordt per scenario de consequentie van dat scenario bepaald. De consequenties van een scenario worden gevormd door de potentiële nadelige gevolgen van dat scenario. Afhankelijk van het doel van de risicoanalyse kunnen de consequenties verschillend worden uitgedrukt (bijvoorbeeld als financiële schade of aantal slachtoffers). De frequentie en de consequentie bepalen samen het risico van een scenario. Door de frequentie per gebeurtenis en de consequentie per scenario te bepalen, kan het risico

worden gekwantificeerd. Het totale risico is de sommatie van de deelrisico's van alle scenario's.

Elk scenario kan worden weergegeven als:

- > Een beschrijving van het scenario (S_i), met de gebeurtenissen in dat scenario.
- > Een inschatting van de frequentie (λ_i), hetgeen aangeeft hoe vaak het scenario wordt verwacht (vaak uitgedrukt per jaar).
- > Een inschatting van de consequenties (C_i) van dat scenario.

Het product van de frequentie en de consequentie kenmerkt het deelrisico dat bij een scenario hoort. Het totale risico dat hoort bij een situatie kan dan worden bepaald als de som van de deelrisico's van alle scenario's:

$$Risico = \sum_{alle\ S} \lambda_i C_i$$

2 Onderzoeksopzet

In dit hoofdstuk wordt de opzet van het onderzoek toegelicht. Er staat beschreven welke onderzoeksmethoden zijn toegepast en welke uitgangspunten daarbij gehanteerd zijn.

2.1 Opzet en methoden

In deze paragraaf worden de algemene opzet en de onderzoeksmethoden nader toegelicht.

2.1.1 Algemene opzet

De algemene onderzoeksopzet bestaat uit vijf stappen:

- > Stap 1: verduidelijken uitgangspunten vluchten
- > Stap 2: inschatting van het persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van twee vluchtroutes (referentiesituatie)
- > Stap 3: inschatting van het persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van een enkele vluchtroute
- > Stap 4: vergelijk veiligheidsniveau enkele vluchtroute met twee vluchtroutes
- > Stap 5: vertalen naar oplossingsrichtingen voor wet- en regelgeving.

Stap 1 heeft tot doel een betere verbinding aan te brengen tussen het algemene doel van de bouwregelgeving en de daaraan gerelateerde functionele eisen en uitgangspunten met betrekking tot veilig vluchten. De uitgangspunten met betrekking tot veilig vluchten worden daartoe verduidelijkt. De invulling van de verduidelijking is gebaseerd op het theoretisch kader in hoofdstuk 1.

In de stappen 2 tot en met 4 wordt een systematische vergelijking uitgevoerd tussen een referentiesituatie met (ten minste) twee vluchtroutes en situaties met een enkele vluchtroute. Het doel van de vergelijking is een uitspraak te doen over het (relatieve) persoonlijk risico van gebouwgebruikers in een situatie met verschillende verschijningsvormen van een enkele vluchtroutes in relatie tot een referentiesituatie met twee vluchtroutes. De vergelijking wordt kwalitatief en op onderdelen ook kwantitatief uitgevoerd. In paragraaf 2.1.2 en 2.1.3 wordt dit nader toegelicht. In stap 5 worden de uitkomsten uit de vergelijking vertaald naar oplossingsrichtingen voor wet- en regelgeving. Hierbij is het doel om de eisen voor de enkele vluchtroute aan te laten sluiten op de huidige praktijk, waarbij ook veranderende omstandigheden omtrent een snellere rookverspreiding in ogenschouw worden genomen.

2.1.2 Kwalitatieve analyse

De kwalitatieve analyse is een beschrijvende analyse gestructureerd rond een 'wat-als'-aanpak (SFPE, 2023, p. 49), waarbij mogelijke brandscenario's en consequenties daarvan worden beschreven. De gebruikte variabelen in deze analyse worden nader toegelicht in paragraaf 2.3.

2.1.3 Kwantitatieve risicoanalyse

Ter ondersteuning van de kwalitatieve analyse is in dit onderzoek tevens een semi-kwantitatieve risicoanalyse op basis van gebeurtenisbomen gebruikt om verschillende typen vluchtroutes te vergelijken (zie ook paragraaf 1.8).

Gebeurtenissen

In de gebeurtenissenboom kunnen diverse gebeurtenissen worden opgenomen die optreden in een scenario. In dit onderzoek zijn de gebeurtenissen afgestemd op het vluchten van personen. De gekozen gebeurtenissen zijn nader toegelicht in paragraaf 2.4.

Waarschijnlijkheid en consequentie

Voor de kans op een scenario gegeven een brand, wordt in dit onderzoek de term 'waarschijnlijkheid' van een scenario gebruikt, zie paragraaf 1.8. De waarschijnlijkheid van bepaalde afzonderlijke gebeurtenissen binnen een scenario (zoals het sluiten of open blijven staan van een rookwerende deur) bepaalt de uiteindelijke waarschijnlijkheid van een scenario.

Frequentie en waarschijnlijkheid

In de literatuur (ISO, 2018; SFPE, 2023) wordt de kans op een bepaald brandscenario vaak de 'frequentie' van het brandscenario genoemd. De frequentie geeft doorgaans aan hoe waarschijnlijk het is dat een brandscenario zich voordoet binnen een bepaald tijdsbestek. Dat tijdsbestek is direct gekoppeld aan de kans op het ontstaan van brand (bijvoorbeeld $1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar). Als de kans op een brand gelijk is aan 1, kan zodoende niet gesproken worden van een bepaalde frequentie van een scenario, maar van een waarschijnlijkheid van een scenario, gegeven een brand. In dat geval wordt het risico niet volledig beoordeeld en wordt gesproken van een risico-index van een scenario.

Naast de waarschijnlijkheid wordt in de gebeurtenissenbomen gewerkt met de consequentie van een scenario. De consequentie van een scenario wordt gevormd door de potentiële impact van dat scenario zoals aangegeven in paragraaf 1.8. In dit onderzoek wordt met de consequentie de mogelijkheid tot veilig vluchten inzichtelijk gemaakt.

Zowel de waarschijnlijkheid per gebeurtenis als de consequentie per scenario worden ingeschat in de gebeurtenissenbomen. Een nadere toelichting op de gebruikte variabelen voor deze inschatting wordt gegeven in paragraaf 2.4

Risico-index

Elk scenario heeft een ingeschatte waarschijnlijkheid en een ingeschatte consequentie. Het deelrisico van een scenario (S) wordt gevormd door de vermenigvuldiging van deze waarschijnlijkheid (λ van scenario i) en de consequentie (C van scenario i), zie ook Figuur 1.5 in paragraaf 1.8. De risico-index van een situatie wordt gevormd door de som van de (deel)risico's van de scenario's in die situatie. De index is een maat voor het risico van een situatie, maar is geen weergave van een absoluut veiligheidsniveau. De risico-index is als volgt bepaald:

$$Risico - index = \sum_{alle\ S} \lambda_i C_i$$

Omdat voor alle beoordeelde situaties eenzelfde aanpak is gehanteerd, kan de risico-index worden gebruikt als relatieve maat voor de vergelijking van de vluchtsituaties (zoals situaties

met een enkele vluchtroute of twee vluchtroutes). In deze aanpak wordt geen onderscheid gemaakt tussen scenario's met een lage waarschijnlijkheid en een hoge waarschijnlijkheid.

Persoonlijk (individueel) en groepsrisico

Door te werken met een risico-index is het niet mogelijk om onderscheid te maken tussen een individueel en groepsrisico. Daarnaast is de bouwregelgeving geformuleerd rondom individueel risico en kent geen groepsrisico, zodat er ook om die reden in dit onderzoek geen onderscheid tussen wordt gemaakt. Bovendien ontbreekt het in Nederland aan maatschappelijk geaccepteerde grenswaarden omtrent risicoacceptatie voor bijvoorbeeld het groepsrisico, waardoor een beoordeling op die manier (nog) niet mogelijk is. Een kwantitatieve of kwalitatieve weging van de scenario's op zichzelf, bijvoorbeeld door de toepassing van FN-curves (Frequency and Number of victims), kan wel worden gebruikt om dat onderscheid te kunnen maken.

2.2 Uitgangspositie

In deze paragraaf is de uitgangspositie beschreven; dit betreft de uitgangspunten die voor de uitgevoerde analyse gelijk zijn.

2.2.1 Algemeen

Bij het beoordelen van het persoonlijk risico wordt de ontvluchting beoordeeld vanuit de niet direct door brand bedreigde woning. Het gaat dus om personen die vluchten uit een andere woning dan de woning waarin zich de brand bevindt. Die keuze is gemaakt, omdat de vluchtroute nog grotendeels gevrijwaard is van rook op het moment dat de vluchtende personen uit de woning waarin zich de brand bevindt de woningtoegangsdeur openen. Zij worden maar beperkt blootgesteld aan rook. De omstandigheden in de woning waarin zich de brand bevindt, zijn vaak bepalend voor de blootstelling aan rook van deze personen.

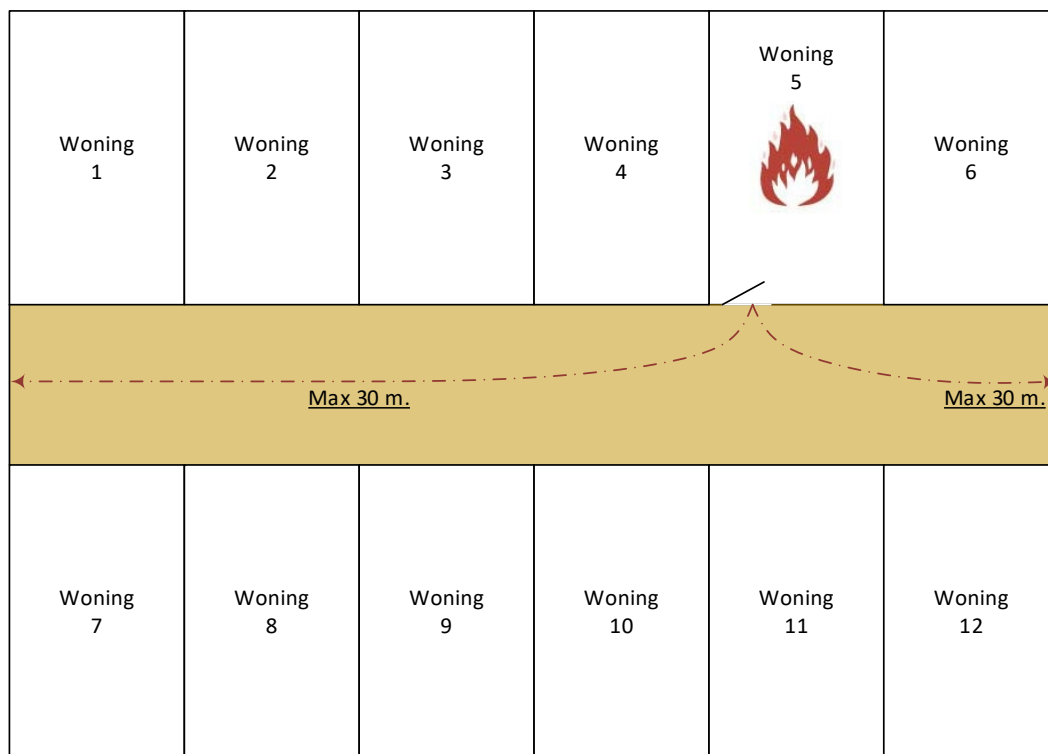
Zoals in paragraaf 2.1 is aangegeven, wordt voor het inschatten van het persoonlijk risico een systematische vergelijking uitgevoerd tussen een referentiesituatie met (ten minste) twee vluchtroutes en situaties met een enkele vluchtroute. De uitgangspunten van deze referentiesituatie en de beoordeelde enkele vluchtroutes worden in de volgende paragrafen beschreven.

2.2.2 Referentiesituatie

Als referentiesituatie wordt een corridorontsluiting gebruikt, die voldoet aan de eisen voor vluchtroutes uit artikel 4.71 lid 1 tot en met 3 uit Bbl zoals beschreven in paragraaf 1.3.1. In figuur 2.1 is de situatie schematisch weergegeven. Het betreft een woongebouw met een inpandige corridor waarop woningen uitkomen. In de corridor met een maximale lengte van 30 m kan vanuit de woningen in twee richtingen worden gevlucht, waarna een brand- of rookscheiding wordt gepasseerd. Vervolgens kan via deze vluchtroute verder worden gevlucht. In de referentiesituatie wordt gekozen voor een beukmaat² per woning van circa vijf meter³. Dit betekent dat er maximaal 12 woningen grenzen (zes aan elke zijde) aan de corridor.

² De beukmaat is de bruto breedte van de woning.

³ Kleinere beukmaten, zoals soms het geval bij modulaire bouw, leiden tot een verhoging van het aantal woningen dat gebruikmaakt van de vluchtroute.



Figuur 2.1 Ontvluchtingsprincipe in corridor conform het Bouwbesluit 2012

De corridorsituatie is gebruikt als referentie in dit onderzoek, omdat:

- > de situatie in essentie veel lijkt op een situatie met één vluchtroute; men vlucht immers het eerste deel door dezelfde ruimte. Die ruimte kan zich, net als in de situatie met één vluchtroute, (gedeeltelijk) vullen met rook. Hierdoor is in deze situatie blootstelling aan rook mogelijk, net zoals dat het geval is in een situatie met één vluchtroute. Het belangrijkste verschil is dat vluchtende personen in de corridor keuze hebben om twee richtingen op te vluchten en er veelal horizontaal wordt gevlucht (dit in tegenstelling tot bijvoorbeeld bij een portiekwoning).
- > het een veelvuldig toegepast vluchtconcept betreft.
- > er uit reeds eerder uitgevoerde onderzoeken veel informatie beschikbaar is over het persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij een corridor-situatie (Brandweeracademie, 2020b; van Liempd et al., 2022).

Bouwlagen in de referentiesituatie

Als randvoorwaarde in de vergelijking wordt voor de referentiesituatie uitgegaan van één bouwlaag. Dit is een vereenvoudiging, omdat de rookverspreiding zich mogelijk niet beperkt tot één bouwlaag. Afhankelijk van bijvoorbeeld directe openingen (vides) of indirecte openingen (ventilatiekanalen) tussen de corridors op de verschillende bouwlagen kan rook zich ook naar andere bouwlagen verspreiden. Er is gekozen om deze vereenvoudiging door te voeren vanwege onderstaande redenen.

Bezien vanaf andere bouwlagen dan de bouwlaag waar de brand zich bevindt

- > Significante rookverspreiding van de corridor naar aangrenzende ruimten (trappenhuisen of andere corridors) door lage drukverschillen zal alleen optreden als er sprake is van relatief grote openingen die permanent open of veelvuldig gedurende langere tijd geopend zijn.

- > Het persoonlijk risico van gebouwgebruikers die van andere bouwlagen vluchten, is in deze aangrenzende ruimten lager of in het ongunstigste geval gelijk aan het risico op de beoordeelde bouwlaag.

Bezien vanaf de bouwlaag waar de brand zich bevindt

- > Bij rookverspreiding over meerdere bouwlagen kan het risico voor de beoordeelde bouwlaag afnemen, doordat dezelfde hoeveelheid rook zich verspreidt over een groter volume (van Liempd et al., 2022).
- > Bij het vluchten door de corridor is sprake van een korte blootstellingsduur in delen van de vluchtroute, en door de relatief lage bezetting in woongebouwen zijn wachttijden voor bijvoorbeeld trappenhuizen niet te verwachten.

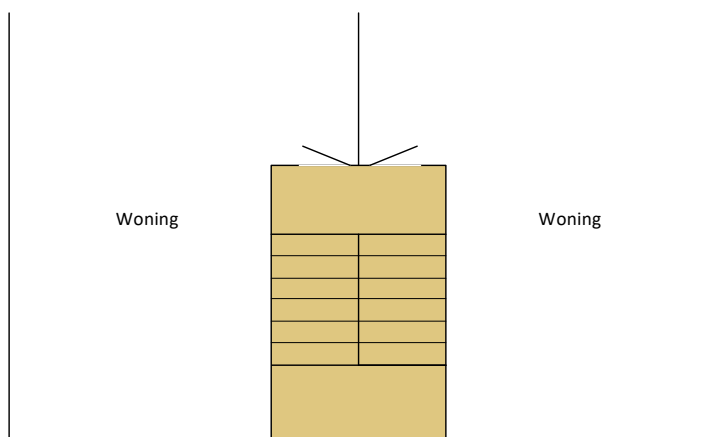
2.2.3 Beoordeelde vormen met enkele vluchtroutes

Voor het inschatten van het persoonlijk risico in de vergelijking wordt gebruikgemaakt van verschillende situaties met een enkele vluchtroute. De volgende vormen met enkele vluchtroutes zijn beoordeeld:

- > een woongebouw met een portiektrappenhuis
- > een woongebouw met een veiligheidstrappenhuis
- > een woongebouw met een doodlopend eind aan een corridorontsluiting.

Portiektrappenhuis

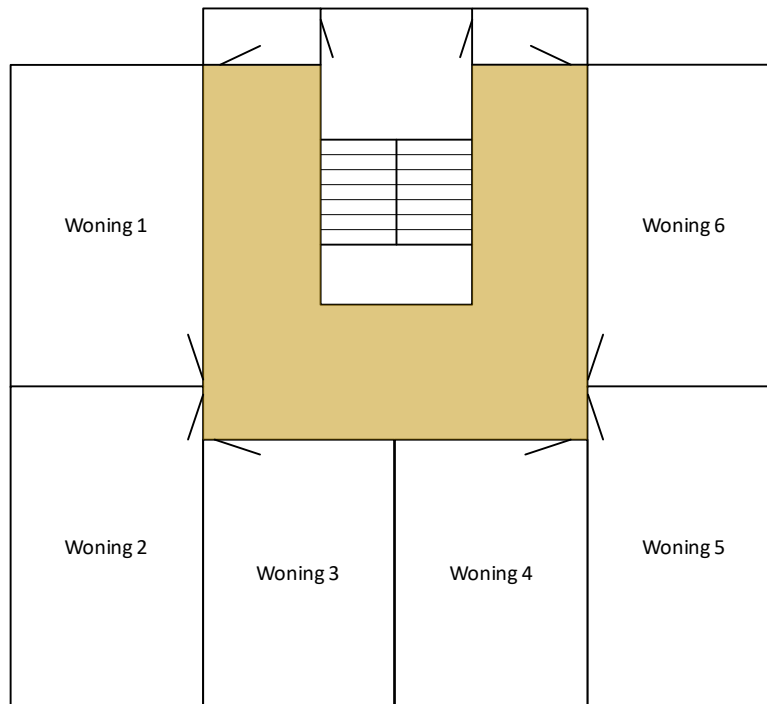
In de gekozen situatie komen de woningen rechtstreeks uit op het trappenhuis. Er is gekozen voor een situatie waarin, bij een verdiepingshoogte van drie meter, maximaal vijf bouwlagen rechtstreeks ontsluiten op het trappenhuis. Op elke bouwlaag zijn twee woningen aanwezig van 80 m². Dit betekent dat in totaal tien woningen rechtstreeks uitkomen op het trappenhuis. Het totale oppervlak van de woningen bedraagt 800 m². De schematische situatie van het ontvluchtingsprincipe van één bouwlaag is weergegeven in figuur 2.2. De gekozen uitvoering voldoet aan artikel 4.69 lid 4b van het Bbl, zie paragraaf 1.3.1.



Figuur 2.2 Schematische weergave gekozen indeling bouwlaag portiektrappenhuis

Veiligheidsvluchtroute

In de gekozen situatie komen de woningen uit op een 'u-vormige' corridor. Via deze corridor kan via twee routes een bordes worden bereikt. Het bordes ligt in de buitenlucht (niet-besloten ruimte) en via dit bordes kan gevlucht worden naar het trappenhuis. Er is gekozen voor een situatie waarbij zes woningen uitkomen op de corridor. De schematische situatie van het ontvluchtingsprincipe van één bouwlaag is weergegeven in figuur 2.3. De oplossing voldoet aan artikel 4.71 lid 1 tot en met 5 uit het Bbl, zoals beschreven in paragraaf 1.3.1.



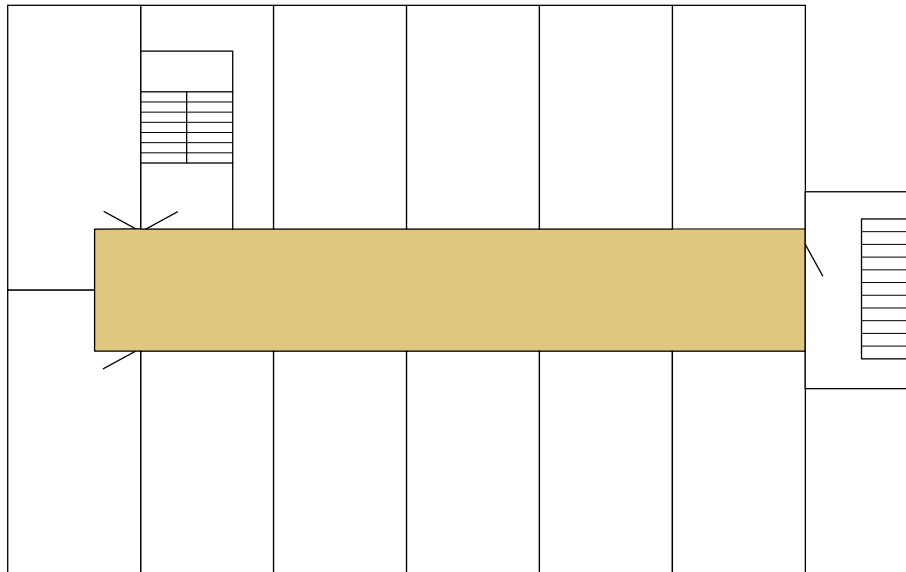
Figuur 2.3 Schematische weergave gekozen indeling bouwlaag veiligheidstrappenhuis

Combinatie van vluchtroutes

De gekozen situatie uit figuur 2.3 is een combinatie tussen de referentiesituatie en een enkele vluchtroute. Het eerste deel van de vluchtroute in de corridor voldoet aan artikel 4.71 lid 3. In dit deel van het ontvluchtingsprincipe is sprake van twee vluchtroutes in verschillende richtingen. In het veiligheidstrappenhuis komen beide vluchtroutes samen en is sprake van één vluchtroute. Deze enkele vluchtroute voldoet aan artikel 4.71 lid 4 en 5 van het Bbl.

Doodlopend eind

In de oplossing met een doodlopend eind is gekozen voor een situatie die voldoet aan artikel 4.69 lid 1 tot en met 3 uit het Bbl, zoals beschreven is in paragraaf 1.3.1. Deze situatie lijkt op de corridorontsluiting, maar aan de kopse zijde van de corridor kan niet in twee richtingen, maar slechts in één richting gevlucht worden. Er is gekozen voor een situatie waarbij twee woningen rechtstreeks uitkomen op het einde van een corridor, en de lengte van dit doodlopende eind van de corridor beperkt is tot de breedte van maximaal één woning. De woningtoegangsdeuren van beide woningen liggen recht tegenover elkaar. In de gang is de enkele vluchtroute beperkt tot aan de deur van het trappenhuis. Ter hoogte van de deur van het trappenhuis kan in twee richtingen gevlucht worden: naar het trappenhuis of door de corridor naar een andere vluchtroute aan het andere eind van de corridor. De schematische situatie van het doodlopende eind is weergegeven in figuur 2.4.



Figuur 2.4 Schematische weergave gekozen indeling bouwlaag doodlopend eind⁴

Andere varianten

De gekozen situaties met enkele vluchtroutes zijn mogelijke situaties die rechtstreeks voldoen aan de prestatie-eisen voor enkele vluchtroutes van het Bbl. Er zijn echter nog andere varianten denkbaar. Dit kunnen andere varianten van de gekozen situaties zijn of combinaties daarvan. In dit onderzoek is gekozen om als randvoorwaarde uit te gaan van gangbare situaties uit de praktijk. Hier zijn echter geen gegevens over beschikbaar.

WBDBO en WRD

Zowel in de referentiesituatie als de beoordeelde situaties met een enkele vluchtroute moeten de scheidingsconstructies tussen de woningen onderling en tussen de woningen en de corridor brand- en rookwerend worden uitgevoerd. Tussen de woningen onderling en tussen de woningen en de veiligheidsvluchtroute geldt een WBDBO-eis van 60 minuten en een WRD-eis van R200 in de richting vanuit de woningen naar de veiligheidsvluchtroute. Voor de andere situaties heeft de vluchtroute de status 'extra beschermde vluchtroute' en geldt een WBDBO-eis van 30 minuten en WRD-eis van R200 in de richting vanuit de woning naar de vluchtroute (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2023).

2.2.4 Uitgangspositie voor kwantitatieve analyse

Omdat de kwantitatieve risicoanalyse ondersteunend is aan de kwalitatieve risicoanalyse, gelden er een aantal specifieke uitgangspunten. De kwantitatieve risicoanalyse is alleen uitgevoerd voor een situatie met een portiektrappenhuis, omdat uit het vooronderzoek (Brandweeracademie, 2022) blijkt dat over deze situatie de grootste onduidelijkheid bestaat met betrekking tot het persoonlijk risico van gebouwgebruikers.

Zoals in paragraaf 2.1.2 is aangegeven, wordt voor de kwantitatieve risicoanalyse gebruikgemaakt van gebeurtenissenbomen. De waarschijnlijkheid in deze analyse kan worden gezien als de kans op een scenario, gegeven een brand. In de vergelijking van het persoonlijk risico tussen situaties wordt in de kwantitatieve risicoanalyse uitgegaan van brand in een woning. Vanwege de vergelijkende aard van het onderzoek is de

⁴ De lengte van het doodlopend eind is niet per definitie gelijk aan één deurbreedte, zoals weergegeven in de afbeelding. Er is daarnaast een variant denkbaar waarbij het doodlopend einde aan de linkerzijde ook aan de rechterzijde aanwezig is. In dat geval zijn er geen 2, maar 4 woningen aangewezen op een doodlopend einde.

daadwerkelijke kans op brand minder relevant, omdat die voor alle woningen grofweg gelijk is. Die kans is daarom gesteld op 1 (uitgangspunt: er is brand). De waarschijnlijkheid is dus de kans op een scenario bij brand.

Frequentie en waarschijnlijkheid

In de literatuur (ISO, 2018; SFPE, 2023) wordt de kans op een bepaald brandscenario vaak de 'frequentie' van het brandscenario genoemd. De frequentie geeft doorgaans aan hoe waarschijnlijk het is dat een brandscenario zich voordoet binnen een bepaald tijdsbestek. Dat tijdsbestek is direct gekoppeld aan de kans op het ontstaan van brand (bijvoorbeeld $1,3 \cdot 10^{-4}$ per jaar). Als de kans op een brand gelijk is aan 1, kan zodoende niet gesproken worden van een bepaalde frequentie van een scenario, maar van een waarschijnlijkheid van een scenario, gegeven een brand. In dat geval wordt het risico niet volledig beoordeeld en wordt gesproken van een risico-index van een scenario.

Naast de waarschijnlijkheid is in de gebeurtenissenbomen gewerkt met de consequentie van een scenario. Er is gekozen om de ingeschatte consequenties te baseren op experimentele data uit het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b). In dit onderzoek is voor wat betreft het brandobject en het brandverloop in de woning niet verder gedifferentieerd.

Brandobject

In de resultaten van het onderzoek naar rookverspreiding zijn de gevolgen van een relatief kleine brand in een gebouw met een interne corridor inzichtelijk gemaakt. Het brandobject betrof een tweezitsbank, die in een van de appartementen tot ontbranding is gebracht bij steeds dezelfde uitgangspositie en verschillende brandveiligheidsvoorzieningen.

Het scenario van een brand in de vluchtroute of in een kleinere ruimte grenzend aan de vluchtroute (zoals een meterkast) is in de kwantitatieve risicoanalyse niet beoordeeld. De gevolgen van een brand aldaar op de omstandigheden in de vluchtroute kunnen zodanig zijn, dat veilig vluchten al snel niet meer mogelijk is. Het uitvoeren van een kwantitatieve risicoanalyse wordt daardoor als niet zinvol ingeschat.

Voor het openen van de deur tussen de woning waar de brand zich bevindt en de corridor wordt uitgegaan van hetzelfde tijdstip (5 minuten na het ontstaan van de brand), zoals gehanteerd in het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b).

2.3 Variabelen voor kwalitatieve analyse

In de kwalitatieve analyse worden de verschillende situaties van vluchtroutes onderling vergeleken op de volgende aspecten:

1. Aantal woningen aangewezen op vluchtroute

Het aantal woningen dat is aangewezen op de vluchtroute is bij benadering een maat voor het aantal personen dat gebruikmaakt van de vluchtroute. Hoe hoger het aantal personen dat is aangewezen op de vluchtroute, hoe hoger het risico in de vluchtroute.

2. Rookverspreiding

Hoe de rook zich verspreidt door de vluchtroute heeft gevolgen voor de temperatuur en gasconcentraties daarin, en is daarom bepalend voor de totale blootstelling. Hoe hoger de temperatuur en gasconcentraties, hoe hoger het persoonlijk risico in de vluchtroute.

3. *Loopafstand, loopsnelheid en blootstellingsduur (aan rook)*
De loopafstand door rook en de snelheid waarmee gelopen wordt, bepalen samen de blootstellingsduur. Hoe langer de blootstellingsduur, hoe hoger het persoonlijk risico in de vluchtroute.
4. *Vluchtrichting in relatie tot redundantie vluchtroutes*
De aanwezigheid van een tweede vluchtroute (redundantie) leidt tot vermindering van het persoonlijk risico ten opzichte van een situatie met één vluchtroute; er kan in veel gevallen een kortere route worden gekozen en er hoeft in dat geval nooit langs de brandende woning te worden gevluht.

Daarbij is per aspect tevens beschouwd wat de gevolgen van het falen van de brandveiligheidsvoorzieningen zijn.

Naast deze aspecten is in de vergelijking gebruikgemaakt van de volgende drie scenario's:

1. *Brand in een woning*
Een brand in een aan de vluchtroute gelegen woning zal resulteren in verontreiniging van de vluchtroute met rook.
2. *Brand in een ruimte die grenst aan de vluchtroute*
Een brand in een ruimte zoals een meterkast die grenst aan de vluchtroute, zal resulteren in verontreiniging van de vluchtroute met rook.
3. *Brand in de vluchtroute*
Een brandend object in de vluchtroute zal resulteren in verontreiniging van de vluchtroute met rook.

In alle scenario's zullen vluchtende personen door een verontreinigde vluchtroute moeten lopen. Voor deze drie scenario's is beoordeeld wat het persoonlijk risico is dat hoort bij de betreffende omstandigheden

2.4 Variabelen voor kwantitatieve analyse

In deze paragraaf worden de variabelen beschreven die zijn gehanteerd in de kwantitatieve risicoanalyse. In de kwantitatieve risicoanalyse wordt uitgegaan van de volgende (volgorde) van gebeurtenissen:

1. *Ontsteking*
Uitgangspunt is dat de brand ontstaat als gevolg van ontsteking. De kans daarop is zodoende 1.
2. *Het sluiten van de zelfsluitende deur*
De rookverspreiding naar de vluchtroute wordt grotendeels bepaald door het al dan niet sluiten van de zelfsluitende deur, nadat deze geopend is door de vluchtende bewoner(s). Uit eerder onderzoek naar rookverspreiding blijkt dat, indien de woningtoegangsdeur van de woning waarin de brand woedt open blijft staan nadat de bewoners van die woning zijn gevluht, er omstandigheden ontstaan die een veilige ontvluchting onmogelijk maken (Brandweeracademie, 2020b). Het sluiten van de zelfsluitende deur is zodoende een gebeurtenis in de gebeurtenisbomen.
3. *Tijdstip waarop wordt gestart met vluchten*
Uit eerder onderzoek blijkt dat de omstandigheden in de vluchtroute variëren in de tijd. Kort na het openen van de deur zijn temperaturen en gasconcentraties hoger als gevolg van warmteverliezen en het mengen van rook met de lucht in de vluchtroute, dan enige

tijd later. Zodoende is het moment waarop de vluchtroute betreden wordt een gebeurtenis in de gebeurtenisbomen.

4. *Locatie waar vandaan wordt gevlucht*

De locatie waarvandaan wordt gevlucht bepaalt de loopafstand tot de volgende brand- en rookscheiding en daardoor de blootstellingsduur aan rook. In de referentiesituatie is gedifferentieerd tussen het starten met vluchten vanaf het midden of meer op het uiteinde van de corridor. In de portieksituatie is per bouwlaag beoordeeld wat de consequenties en waarschijnlijkheid zijn.

5. *Korte of lange vluchtroute wordt gekozen*

In de referentiesituatie kan, afhankelijk van het punt waarvandaan gestart wordt met vluchten, een korte of lange vluchtroute worden gekozen. De lengte van de vluchtroute bepaalt de blootstellingsduur en dus de uiteindelijke consequentie. Deze gebeurtenis geeft de redundantie in vluchtroutes van de referentiesituatie weer.

In de volgende paragraaf wordt de gekozen waarschijnlijkheid per gebeurtenis nader toegelicht.

2.4.1 Verdeling waarschijnlijkheid gebeurtenissen

Om de waarschijnlijkheid van een bepaalde gebeurtenis kwantitatief te definiëren is informatie nodig over de kans dat de gebeurtenis (zoals het open blijven staan van deuren met een zelfsluitend mechanisme) zich voordoet. Gegevens daaromtrent zijn schaars en zijn bovendien niet altijd goed bruikbaar voor dit onderzoek. Zo kunnen ze gebaseerd zijn op een steekproef die niet representatief is voor Nederland of verzameld zijn voor een ander doel dan hier relevant is (bijvoorbeeld voor het beoordelen van brandwerendheid in plaats van rookwerendheid). In dit onderzoek is de kans daarom ingeschat door de onderzoekers.

Er is gewerkt met een basis kansverdeling in vijf klassen (0,1 – 0,2 – 0,5 – 0,8 – 0,9). Door voor een klassenindeling te kiezen, wordt de inschatting van de waarschijnlijkheden minder gevoelig voor onzekerheid. Bovendien maakt ze een systematische gevoeligheidsanalyse mogelijk, die nader beschreven wordt in paragraaf 2.5. In tabel 2.1 en 2.2 zijn de gekozen variabelen met betrekking tot de gehanteerde kansverdelingen voor de waarschijnlijkheid van zowel de referentiesituatie als de situatie met een portiektrappenhuis opgenomen. Daarbij is tevens opgenomen welke standaardafwijking is gehanteerd voor de gevoeligheidsstudie.

Tabel 2.1 Variabelen kansverdelingen waarschijnlijkheid referentiesituatie

Nr.	Gebeurtenis	Waarschijnlijkheid [-]	Onwaarschijnlijkheid [-]	Standaardafwijking [-]
1	Ontstaan brand (zie paragraaf 2.2.4)	1	0	n.v.t.
2	Het sluiten van de zelfsluitende deur	0,8	1-0,8 = 0,2	± 0,1
3	Tijdstip start vluchten bij gesloten deur	0,2 (snel)	0,8 (traag)	± 0,1
	Tijdstip start vluchten bij open deur	0,5 (snel)	0,5 (traag)	± 0,2

Nr.	Gebeurtenis	Waarschijnlijkheid [-]	Onwaarschijnlijkheid [-]	Standaardafwijking [-]
4	Locatie start vluchten	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	n.v.t.
5	Keuze voor lange of korte vluchtroute	0,8 (korte route)	0,2 (lange route)	± 0,1

Tabel 2.2 Variabelen kansverdeling waarschijnlijkheid situatie portiektrappenhuis

Nr.	Gebeurtenis	Waarschijnlijkheid [-]	Onwaarschijnlijkheid [-]	Standaardafwijking [-]
1	Ontstaan brand (zie paragraaf 2.2.4)	1	0	n.v.t.
2	Locatie brand	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	n.v.t.
3	Het sluiten van de zelfsluitende deur	0,8	0,2	± 0,1
4	Locatie start vluchten	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	Discreet, zie beschrijving verder in paragraaf	n.v.t.
5	Tijdstip start vluchten bij gesloten deur	0,2 (snel)	0,8 (traag)	± 0,1
	Tijdstip start vluchten bij open deur	0,5 (snel)	0,5 (snel)	± 0,2

Gebeurtenis: het sluiten van de zelfsluitende deur

De mate van rookverspreiding naar de vluchtroute wordt grotendeels bepaald door het wel of niet sluiten van de deur tussen de woning waarin zich de brand bevindt en de vluchtroute. Volgens de nieuwbouweisen van het Bbl moet de woningtoegangsdeur zelfsluitend zijn uitgevoerd. De betrouwbaarheid van het mechanisme wordt bepaald door gebruikerskenmerken (bijvoorbeeld onklaar maken) en technische onvolkomenheden (bijvoorbeeld defecten in de detectie-installatie of aansturing of in het zelfsluitende mechanisme).

Doordat het mechanisme alleen in werking treedt bij brand, is de waarschijnlijkheid dat het onklaar wordt gemaakt door gebruikers relatief klein. Tevens kan gesteld worden dat, bij regulier onderhoud conform de NEN 2555, de kans dat er technische manco's optreden in de installatie klein is, maar wel kan optreden. De betrouwbaarheid wordt ingeschat op 80 % (0,8). Dit is wellicht een enigszins conservatief uitgangspunt, maar sluit aan bij gegevens uit de literatuur (British Standards Institution, 2019).

Gebeurtenis: locatie brand en locatie start vluchten, discrete waarschijnlijkheden

Twee gebeurtenissen in de gebeurtenisbomen kunnen worden uitgedrukt in discrete waarschijnlijkheden, omdat die worden bepaald door de uitgangspositie (bijvoorbeeld het aantal woningen of bouwlagen). Het betreft de volgende gebeurtenissen:

- > **Startlocatie vluchten:** De locatie waarvandaan wordt gevlucht bepaalt zowel in de referentiesituatie als in de portieksituatie de blootstellingsduur als gevolg van de loopafstand in de vluchtroute. De waarschijnlijkheid dat iemand start met vluchten vanaf een bepaalde locatie is als volgt bepaald:
 - **Referentiesituatie:** er zijn twaalf woningen aangewezen op de vluchtroute. Tegenover elkaar gelegen vluchtroutes hebben dezelfde loopafstanden. De waarschijnlijkheid op een bepaalde startlocatie is dan $1/6$. Er is gedifferentieerd in twee startlocaties: in het midden van de corridor en op $1/4$ (of $3/4$) van de lengte van de corridor. Een nadere specificatie leidt niet tot relevante verschillen.
 - **Portieksituatie:** de totale loopafstand in de vluchtroute wordt met name bepaald door de bouwlaag waar gestart wordt met vluchten. De waarschijnlijkheid dat wordt gestart met vluchten op een van die bouwlagen is dan gelijk aan de ratio tussen het aantal woningen waaruit wordt gevlucht op de bouwlaag en het totale aantal woningen waaruit wordt gevlucht in het trappenhuis. De woning waarin de brand zich bevindt, telt hierin niet mee.
- > **Locatie brand:** de locatie van de brand is medebepalend voor de rookverspreiding in het portiektrappenhuis. Omdat de ontstaanskans van brand in alle woningen grofweg gelijk wordt verondersteld, is de waarschijnlijkheid van brand op een bepaalde bouwlaag gelijk aan de ratio tussen 1 en het aantal bouwlagen in het portiektrappenhuis. In de referentiesituatie is de locatie van brand minder relevant voor de rookverspreiding. Deze is daarom niet nader beoordeeld.

Dit resulteert in de volgende discrete kansen:

Tabel 2.3 Discrete kansen gehanteerd in referentiesituatie

Onderdeel	Discrete waarschijnlijkheid [-]
Start vluchten midden corridor	$1/6$
Start vluchten uiteinde corridor	$5/6$

* Zie bovenstaande beschrijving voor toelichting verdeling.

Tabel 2.4 Discrete kansen gehanteerd in portiektrappenhuis

Onderdeel	Discrete waarschijnlijkheid [-]		
	Drie bouwlagen	Vier bouwlagen	Vijf bouwlagen
Start vluchten brandverdieping	$1/5$	$1/7$	$1/9$
Start vluchten overige verdiepingen	$2/5$	$2/7$	$2/9$
Brandlocatie	$1/3$	$1/4$	$1/5$

Gebeurtenis: tijdstip start vluchten

Voor wat betreft het tijdstip (moment) van vluchten vanuit de woningen is gedifferentieerd tussen een snelle en tragere ontvluchting. Op welk moment de vluchtroute wordt betreden, is afhankelijk van het moment van alarmeren en de tijd tussen het alarmeren en het starten van het vluchten. Het alarmeren kan geschieden door derden (waarschuwen door vluchtende burenen), door het opmerken van rookverspreiding of door alarmering door detectie (in de eigen woning). Alarmering of het opmerken van rookverspreiding vindt eerder plaats in het geval de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan. Dan zal er immers sprake zijn van enige rookverspreiding van de vluchtroute naar de aangrenzende woningen (waar de brand niet is ontstaan). In die gevallen is het aannemelijk dat eerder gestart wordt met vluchten, hetgeen resulteert in een andere kansverdeling. Op basis hiervan zijn de kansverdelingen in tabel 2.1 en 2.2. gekozen.

Betreden vluchtroute

Het betreden van de vluchtroute na een bepaalde tijd na het openen van de toegangsdeur van de woning waarin de brand zich bevindt, moet in samenhang met de consequentie voor blootstelling worden gezien. De omstandigheden kunnen namelijk na verloop van tijd in de vluchtweg veranderen. Starten met vluchten kort na het openen van de deur van de woning waar brand woedt, kan dus leiden tot een andere consequentie dan wanneer langer gewacht wordt met vluchten. In paragraaf 2.4.2 wordt hier nader op ingegaan.

Gebeurtenis: keuze voor lange of korte vluchtroute

In de referentiesituatie kan, na het betreden van de vluchtroute, in twee richtingen worden gevlucht. Zeker als de woning waaruit wordt gevlucht zich aan een van beide kopse zijden van de corridor bevindt, is de loopafstand in de corridor in potentie beperkt. Hoewel het kiezen van een bepaalde route van veel factoren afhankelijk kan zijn, wordt de waarschijnlijkheid voor het kiezen van de korte route ingeschat op 80 % (0,8).

2.4.2 Consequentie per scenario

Zoals in paragraaf 2.2.4 is aangegeven, is de consequentie per scenario afgeleid van experimentele gegevens uit het onderzoek naar rookverspreiding in woongebouwen (Brandweeracademie, 2020b).⁵ Op basis van de experimentele data is beoordeeld wat de mate van blootstelling is tijdens de periode dat personen zich in de vluchtroute begeven. De consequentie van de blootstelling aan rook is afhankelijk van de volgende factoren:

- > De temperatuur en de concentratie aan toxische gassen in de vluchtroute.⁶
- > De vluchttijd door de vluchtroute en daarmee de duur van de blootstelling.

Temperatuur en concentratie toxische gassen

Bij het bepalen van de consequentiestappen zijn met betrekking tot de temperatuur en concentratie toxische gassen de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- > Voor de beoordeling van de effecten van toxische gassen zijn alleen de effecten van koolmonoxide (CO) en CO₂ (hyperventilatie) meegenomen.
- > Hoewel de tijdens de experimenten gemeten waarden behoorlijk fluctueerden in de tijd, is in dit onderzoek gekozen om te rekenen met statische waarden. Daarbij is uitgegaan van

⁵ Er is gebruikgemaakt van de data van testvarianten die overeenkomen met de voorzieningen uit de bouwregelgeving, dus met rookwerende scheiding, open en sluitende deur. Het betreffen testnummer 12 en 17 uit het rapport *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020b).

⁶ Een beoordeling van de zichtlengte in de enkele vluchtroute is niet mogelijk, omdat daarvoor informatie over de rookdichtheid noodzakelijk is. Die is niet voorhanden. Bovendien is als uitgangspunt genomen dat door de rook wordt gevlucht en dat personen zich met een minimale snelheid voortbewegen, waardoor de zichtlengte minder relevant is.

maatgevende piekwaarden rond het beoordelingsmoment, vanwege het vergelijkende karakter van dit onderzoek.

- > Er is uitgegaan van een situatie waarin de grootheden uniform zijn over het rookvolume.
- > De experimentele data zijn ook gebruikt voor het inschatten van de consequentie voor de portieksituatie. De data zijn geëxtrapoleerd naar een verticale vluchtroute (portiek) door waarden van gasconcentraties en temperaturen te corrigeren op basis van het verwachte rookvolume, zie 'rookverspreidingsscenario's' later in deze paragraaf. Hierbij wordt voorbijgegaan aan verschillen in bijvoorbeeld (de-)stratificatie, warmtetransport en drukverschillen tussen brandruimte en vluchtroute, waardoor de methode hooguit indicatief is. Vanwege het vergelijkende karakter van dit onderzoek is een nauwkeuriger inschatting van de rookverspreiding echter niet noodzakelijk en kan deze indicatieve methode worden gebruikt.

Betreden vluchtroute en consequentie

Zoals in paragraaf 2.4.1 is aangegeven, heeft het tijdstip van betreden van de vluchtroute ook invloed op de consequentie van de blootstelling. Voor het tijdstip van betreden is onderscheid gemaakt in snel en traag betreden van de vluchtroute:

- > *Snel betreden*
100 seconden na het openen van de toegangsdeur van de woning waarin zich de brand bevindt. Rond die tijd zijn de omstandigheden in de vluchtroute het meest kritisch voor de ontvluchting.
- > *Traag betreden*
Na 600 seconden na het openen van de toegangsdeur van de woning waarin zich de brand bevindt. Rond die tijd is er sprake van min of meer uniforme omstandigheden in de vluchtroute en zijn de gasconcentraties en temperaturen op hoofdhoogte lager dan bij snel betreden. Na die tijd veranderen de omstandigheden nauwelijks meer.

Vluchttijd en blootstellingsduur

De vluchttijd bepaalt de blootstellingsduur en is daarom belangrijk voor de hoeveelheid warmte of toxische gassen waaraan de vluchtende personen worden blootgesteld. In dit onderzoek zijn de volgende uitgangspunten gekozen om de blootstellingsduur te bepalen:

- > Enkel de blootstelling in de vluchtroute is bepaald, omdat deze maatgevend wordt geacht voor mensen die niet zijn in de woning waarin de brand zich bevindt (van Liempd et al., 2022). De blootstelling in de eigen woning is buiten beschouwing gelaten; die is nader beoordeeld in het onderzoek *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* (van Liempd et al., 2022).
- > De loopsnelheid in de vluchtroute is bepalend voor de vluchttijd en dus voor de blootstellingsduur. Er is uitgegaan van een loopsnelheid van 0,3 m/s voor de bepaling van de blootstellingsduur, zowel voor het vluchten over een vlakke vloer als over een trap, omdat er in alle gevallen sprake is van sterk beperkt zicht. Uit de experimentele data blijkt dat het zicht op hoofdhoogte in de corridor voor het openen van die deur zodanig is, dat de volledige corridor waarneembaar is, terwijl kort na het openen de zichtlengte sterk terugloopt (zichtlengte < 5 m).
- > Uitgangspunt is daarnaast dat er geen obstakels in de vluchtroute aanwezig zijn, die het vluchten kunnen belemmeren.
- > De loopafstand is bepaald over de kortste weg tussen de toegangsdeur van de woning en de uitgang van de vluchtroute. Voor de portieksituatie wordt hierbij uitgegaan van de loopafstand dóór de rook bij de drie verschillende rookverspreidingsscenario's uit Figuur 2.5.

De gevolgen van de blootstelling aan rook, rekening houdend met deze factoren, kunnen aan de hand van de Fractional Effective Dose-methode (FED) worden bepaald. De methode is toegelicht in paragraaf 1.5. Voor het inschatten van de consequenties is gebruikgemaakt van deze FED-methode, waarbij gekozen is voor een waardering in vijf stappen. Op deze wijze kan effectief onderscheid worden gemaakt in situaties met beperkte en vergaande blootstelling, zonder dat de indruk wordt gewekt dat de resultaten een uiterst nauwkeurig karakter hebben. De klassen zijn opgenomen in Tabel 2.5. Dit zijn specifiek voor dit

onderzoek gekozen waarden waarmee de relatieve vergelijking is uitgevoerd. In de tabel is tevens aangegeven welke standaardafwijking is gehanteerd voor de gevoeligheidsanalyse (beschreven in paragraaf 2.5).

Gezondheidsbedreigende en lethale consequenties

Uit eerder onderzoek komt een waarde voor de FED van 0,3 naar voren waarbij de algemene populatie wordt verondersteld veilig te kunnen vluchten (van Liempd et al., 2022). Door de waarschijnlijkheid van scenario's met een consequentie-klasse boven 0,3 te sommeren, wordt de totale waarschijnlijkheid verkregen van situaties waarin niet veilig kan worden gevlucht. Zo kunnen de gebeurtenisbomen niet alleen op hoofdlijnen met elkaar worden vergeleken, maar kan ook de kans op gezondheidsbedreigende, potentieel fatale consequenties onderling worden vergeleken.

Tabel 2.5 Uitgangspunten waardering FED en consequenties

Bereik FED [-]	Effect op personen	Numerieke consequentie [-]	Standaardafwijking [-]
0 < 0,03	Geen blootstelling	0,015	± 0,01
≥ 0,03 < 0,1	Beperkt, niet gezondheidsbedreigend	0,065	± 0,03
≥ 0,1 < 0,3	Potentieel gezondheidsbedreigend	0,2	± 0,08
≥ 0,3 < 0,5	Gezondheidsbedreigend, potentieel immobiel	0,4	± 0,08
≥ 0,5	Immobil, potentieel lethaal ⁷	1	± 0,4

Acceptatiecriteria

De FED waarboven wordt verondersteld dat veilig vluchten niet meer mogelijk is, is op 0,3 gesteld en is ontleend aan de literatuur (Purser & McAllister, 2016). Dat veilig vluchten mogelijk is, wil niet per definitie zeggen dat er geen hinder ondervonden wordt tijdens het vluchten. Daarvoor zou een lager acceptatiecriterium kunnen worden gekozen. Ook kan – bij wijze van veiligheidsfactor – worden overwogen een lager acceptatiecriterium te kiezen als uit de gevoeligheidsanalyse een grote onzekerheid blijkt. Dit is niet gedaan in dit onderzoek.

Rookverspreidingsscenario's portiektreppenhuus

De rookverspreiding in een portiektreppenhuus is anders dan in de referentiesituatie. Er kan niet per definitie worden uitgegaan van uniforme condities op alle bouwlagen in het treppenhuus. Om deze verschillen inzichtelijk te maken en mogelijke onzekerheid hieromtrent te beperken, zijn drie verschillende scenario's gebruikt bij de bepaling van de consequenties: twee extremen (stratificatie en uniforme menging) en een gemiddeld scenario (uitgezakte rooklaag). Er zijn geen dynamische rookvolumes verondersteld, hetgeen betekent dat gedurende de vluchtduur sprake is van een gelijkblijvend rookvolume.

⁷ In eerder uitgevoerde onderzoeken (Brandweeracademie, 2020b; van Liempd et al., 2022) is de term fataal gebruikt. In dit onderzoek is lethaal gebruikt. Daarmee wordt hetzelfde bedoeld.

De volgende drie scenario's zijn gehanteerd:

1. **Stratificatie:** waarbij hete rook zich onder het plafond van het trappenhuis verzamelt. Hierbij is ervan uitgegaan dat, gedurende de vluchtduur, de onderzijde van de rooklaag ligt op ten minste 1 meter gemeten vanaf de vloer van de verdieping waarop de brand is ontstaan.
2. **Uitgezakte rooklaag:** situatie als bij 'stratificatie', met als afwijking dat de onderzijde van de rooklaag gelegen is op 1 meter boven de vloer van de verdieping ónder de brandruimte.
3. **Uniforme menging:** het volume van het trappenhuis vult zich volledig met rook, ongeacht de bouwlaag waarop de brand ontstaat.

De rookverspreidingsscenario's zijn voor een brand op de eerste verdieping hieronder grafisch weergegeven.



Figuur 2.5 Rookverspreidingsscenario's: [1] linksboven: stratificatie, [2] linksonder: uitgezakte rooklaag, [3] rechtsboven: uniforme menging

2.5 Gevoeligheidsanalyse

Uit de voorgaande paragrafen blijkt dat de gekozen variabelen enige mate van onzekerheid of spreiding kennen. De onzekerheid is een gevolg van de herkomst van de data die zijn gebruikt als uitgangspunt. Zo is een deel van de aangehouden kansverdelingen ingeschat, hetgeen onzekerheid introduceert. Tevens is een aantal consequenties gebaseerd op (geëxtrapoleerde) experimentele data, die op een eenvoudige wijze zijn vertaald naar een

concrete consequentie voor dit onderzoek. De extrapolatie en vereenvoudigde aanpak resulteren tevens in een onzekerheid.

Om de onzekerheid van de gehanteerde variabelen in dit onderzoek op waarde te schatten, is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd. Als uitgangspunt is daarbij genomen dat de spreiding van de stochastische variabelen een normaalverdeling volgt en dat inschatting van de gemiddelde waarden door de onderzoekers in ieder geval binnen één standaarddeviatie (SD) van de werkelijkheid ligt. De gehanteerde standaarddeviaties zijn weergegeven in tabellen 2.1, 2.2 en 2.3. De gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd door voor elke stochastische variabele de kwantitatieve risicoanalyse te herhalen, waarbij elke gemiddelde waarde gevarieerd is met haar standaardafwijking ($\mu+SD$). Dit is voor elke stochastische variabele herhaald, waarna uit alle variaties in de uitkomsten de kansverdeling van de risico-index is bepaald.

Stochastische variabelen

De variabelen die een spreiding kennen, noemen we stochastische variabelen.

Er geldt per stochastische variabele (χ_i):

- > Gemiddelde waarde (μ): $\bar{\chi}_i$
- > Variatiecoëfficiënt (V): V_i de standaardafwijking bij gemiddelde waarde van 1
- > Standaardafwijking (SD): $s_i = \bar{\chi}_i * V_i$
- > Variatie: $d\chi_i$

In de gevoeligheidsanalyse is vervolgens elke stochastische variabele afzonderlijk gevarieerd met haar standaardafwijking. Vervolgens is per brandscenario bij de variatie $d\chi_i$ de invloed op de risico-index bepaald.

- > Variatie: $dRisico - index^2$
- > Standaardafwijking (SD) $\sqrt{\sum dRisico - index^2}$ SD van scenario

Door vervolgens de standaardafwijking van elk scenario te sommeren, wordt de totale standaardafwijking van de risico-index verkregen. Een onderlinge vergelijking van de rekenresultaten op een bepaalde percentiel-waarde geeft een indicatie van de gevoeligheid van de analyse voor de onzekerheid van stochasten.

Er is gekozen om daarbij een 80-percentiel te hanteren, dat onder andere in Eurocode 1 (CEN, 2013) gezien wordt als een voldoende veilig uitgangspunt voor spreiding in de vuurbelasting van gebouwen.

2.6 Kwaliteit van het onderzoek

In elk onderzoek worden keuzes gemaakt die de uitkomst kunnen beïnvloeden. Daarnaast is er altijd sprake van enige mate van onzekerheid in de uitkomsten. In deze paragraaf worden onzekerheden en keuzes benoemd en wordt de invloed daarvan op de uitkomsten beschouwd.

De gebruikte onderzoeksmethoden zijn in dit rapport gestructureerd beschreven, evenals de keuzes die daarbij gemaakt zijn. Daarmee is een hoge mate van navolgbaarheid van het onderzoek nagestreefd. Uitwerking van zowel de kwalitatieve als de kwantitatieve analyses is eerst binnen het onderzoeksteam besproken, waarna de analyses verder zijn uitgewerkt. De berekeningen van de kwantitatieve analyse zijn gecontroleerd door zowel de opsteller als andere onderzoekers. Op die manier is de kwaliteit van de analyses geborgd.

Er is zowel een kwalitatieve als kwantitatieve analyse vergelijkende analyse gebruikt om resultaten te verkrijgen. De twee methodieken zijn ondersteunend aan elkaar en zijn daarnaast ingezet als controlemiddel; significant andere uitkomsten zouden immers mogelijk kunnen duiden op hiaten in de beredenerings- of berekeningsmethode. Op deze manier is de kwaliteit van de uitkomsten van het onderzoek zo goed mogelijk geborgd.

De keuze voor de referentiesituatie en situaties met een enkele vluchtroute is gebaseerd op een verwachting van de onderzoekers: zij zijn van mening dat de situaties het meest representatief zijn voor de Nederlandse bouwvoorraad. Een andere verschijningsvorm of indeling van de vluchtroutes zou tot andere resultaten kunnen leiden; er kan dan immers sprake zijn van een ander rookvolume en dus van andere temperaturen en gasconcentraties. Door een aantal verschijningsvormen van de enkele vluchtroute te vergelijken met de referentie en die verschijningsvormen te baseren op wat is toegestaan binnen de kaders van de bouwregelgeving, wordt een zo breed mogelijk toepassingsgebied van de onderzoeksresultaten nagestreefd.

Zoals beschreven in paragraaf 2.4.1 zijn de waarschijnlijkheden voor de gebeurtenissen in dit onderzoek (grotendeels) gebaseerd op een inschatting van het onderzoeksteam, mede als gevolg van het ontbreken van voldoende betrouwbare brandveiligheidsstatistieken. In die inschatting zit een bepaalde onzekerheid. Door voor wat betreft de waarschijnlijkheid van gebeurtenissen uit te gaan van vijf klassen en die klassen consequent te gebruiken bij zowel de referentiesituatie als de portieksituatie worden de gevolgen van die onzekerheid vanwege het vergelijkende karakter van het onderzoek minder relevant. Daarnaast is een gevoeligheidsstudie uitgevoerd, waarbij de gevolgen van de onzekerheid voor wat betreft de waarschijnlijkheden zijn beoordeeld.

De consequenties van een brand en de bijbehorende rookverspreiding zijn gebaseerd op de meetresultaten uit het onderzoek *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020b). De metingen uit dat onderzoek hadden een specifiek doel en zijn zodoende uitgevoerd met specifieke randcondities, zoals het op gezette tijden openen van de deur en het gebruik van een bank als brandobject. Het is maar de vraag of die randcondities voldoende representatief zijn voor de in dit onderzoek voorkomende situaties en scenario's. Hetzelfde geldt voor de vertaling van de meetresultaten van de corridor naar portieksituaties. Door uit te gaan van vijf consequentie-klassen wordt een hoge zekerheid van de omstandigheden in de vluchtroute echter minder belangrijk. Ook voor de consequenties is een gevoeligheidsstudie uitgevoerd, waarbij de gevolgen van de onzekerheid voor wat betreft de consequenties zijn beoordeeld.

3 Verduidelijking uitgangspunten vluchtroutes

In hoofdstuk 1 'Theoretisch kader' zijn de uitgangspunten van het Bbl die ten grondslag liggen aan de (enkele) vluchtroutes en de prestatie-eisen zelf beschreven. In dat hoofdstuk zijn ook de meest recente inzichten over rookverspreiding bij woningbranden, gevolgen van rook op mensen, menselijk gedrag bij brand en het gebruik van vluchtroutes in de praktijk beschreven. In het vooronderzoek naar de enkele vluchtroute (Brandweeracademie, 2022) is reeds geconcludeerd dat de praktijk met veranderende omstandigheden (zoals beschreven in het theoretisch kader) niet meer overeenkomt met de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de voorschriften voor een enkele vluchtroute.

In dit hoofdstuk worden de volgende aspecten behandeld die betrekking hebben op de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de (enkele) vluchtroute:

- > De omstandigheden waaronder nog verwacht mag worden dat personen kunnen vluchten in een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert (zie paragraaf 3.1).
- > De betekenis van 'gedurende langere tijd door vluchtende personen kan worden gebruikt' (zie paragraaf 3.2).
- > De betekenis van 'geen groot risico op het uitbreken en ontwikkelen van brand' (paragraaf 3.3).

De antwoorden op deze vragen kunnen worden gebruikt om de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de (enkele vluchtroutes) in het Bbl te herijken en te verwerken in de toelichting daarvan.

3.1 Omstandigheden bruikbaarheid vluchtroute

Uit hoofdstuk 1 blijkt dat de mate van verontreiniging van de vluchtroute samen met menskenmerken (mate van kwetsbaarheid) bepalend is voor de veiligheid tijdens het vluchten. In gevallen waar vanuit een brandwoning door een besloten vluchtroute moet worden gevlucht, zal altijd sprake zijn van een bepaalde mate van verontreiniging van de vluchtroute; de deur van de woning zal immers enige tijd openstaan. Ook kan er door drukverschillen rook door naden en kieren in de scheiding naar de vluchtroute lekken. Het geheel uitsluiten van rookverspreiding naar de vluchtroute is dus niet mogelijk; er zal altijd sprake zijn van een bepaalde mate van verontreiniging, ook als voldaan wordt aan de minimale nieuwbouweisen van het Bbl.

In het Bbl is niet beschreven onder welke omstandigheden nog verwacht mag worden dat personen die behoren tot de algemene doelgroep nog kunnen vluchten in een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert. Uit de literatuurstudie in hoofdstuk 1 blijkt dat de effecten van rook (warmte, gassen en zicht) bepalen of veilig door een verontreinigde vluchtroute kan worden gevlucht. Zichtbelemmering door roet en mogelijke irriterende producten in de rook zorgen ervoor dat vluchten bemoeilijkt wordt, met bijvoorbeeld een afnemende loopsnelheid tot gevolg. Bij een bepaalde mate van zichtbelemmering of irritatie

kan het vluchten ernstig worden belemmerd en kunnen personen besluiten om te stoppen of om te keren. Ook kan een met dichte rook gevulde ruimte personen doen besluiten om helemaal niet te vluchten.

Een veelgebruikt acceptatiecriterium voor de temperatuur in het geval wordt gevlucht door rook is 80°C (Boverket, 2013). In de toegepaste brandveiligheidskunde wordt vaak een acceptatiecriterium voor zicht gebruikt om te beoordelen of veilig vluchten mogelijk is. Dat acceptatiecriterium heeft vaak een tweeledig doel: enerzijds moet oriëntatie goed mogelijk zijn en anderzijds wordt een zichtlengte vaak gebruikt als benadering voor de giftigheid van de rook. In ruimten met zichtlengten van 5-10 meter (voor reflecterende objecten) kunnen mensen vaak gedurende langere periodes veilig verblijven, zonder dat er toxicologische nadelige gevolgen optreden (SFPE, 2019). De zichtlengte is in die gevallen maatgevend, en niet de toxicologische effecten. In veel gevallen zijn thermische gevolgen ook beperkt als in de vluchtroute sprake is van een zichtlengte van 5-10 meter.

Vanuit die optiek is het logisch om de omstandigheden waaronder nog verwacht mag worden dat personen kunnen vluchten te koppelen aan een maximale temperatuur en een minimale zichtlengte die in de gang aanwezig moet zijn.

3.2 Tijdsduur bruikbaarheid vluchtroute

Uit hoofdstuk 1 blijkt dat aan 'gedurende langere tijd' in het Bbl een tijdsperiode is verbonden, namelijk: ten minste 20 of 30 minuten. Opgemerkt wordt dat de bruikbaarheid van 20 minuten is verbonden aan bestaande bouw en 30 minuten aan nieuwbouw. Welke kwaliteit of omstandigheden een 'bruikbare' vluchtroute moet hebben om veilig vluchten mogelijk te maken, is daarbij niet aangegeven.

In het theoretisch kader in hoofdstuk 1 is bovendien aangegeven dat een enkele vluchtroute voor nieuwbouw kan worden toegestaan mits deze enkele vluchtroute een 'gegarandeerd veiligheidsniveau' heeft. Aan dit 'gegarandeerde veiligheidsniveau' wordt in de Nota van toelichting eveneens een tijdsduur verbonden, namelijk "dat de enkele vluchtroute gedurende langere tijd (ten minste 20 of 30 minuten) door vluchtende personen kan worden gebruikt" en dat "de route voldoende bescherming biedt tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het subbrandcompartiment waarin de brand woedt (brand- en rookwerendheid van wanden, vloeren en plafonds)".

Daarnaast geldt nog het uitgangspunt dat mensen met ingehouden adem en een snelheid van 1 m/s door een ruimte met rook kunnen lopen; dit zou dus 'gedurende langere tijd' (zie bovenstaande uitgangspunten) moeten kunnen.

Kortom, aan 'gedurende langere tijd bruikbaar' en 'een gegarandeerd veiligheidsniveau' zijn in het Bbl verbonden:

- > een tijdsduur (minimaal 30 minuten)
- > een veronderstelde loopsnelheid (1 m/s)
- > voldoende bescherming tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het subbrandcompartiment waarin de brand woedt.

Tijdsduur van de bruikbaarheid

De tijdsduur dat de vluchtroute van een woongebouw moet kunnen worden gebruikt is lastig te voorspellen, omdat er doorgaans geen gedeelde brandmeld- en ontruimingsalarm-installatie aanwezig is. Het moment dat de brand wordt opgemerkt door vluchtende personen is dan erg afhankelijk van de ernst van rookverspreiding. Ook alarmering door (uit de woning waarin zich de brand bevindt) vluchtende personen is van belang. In het onderzoek *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* is als gemiddeld uitgangspunt genomen dat 80 % van de personen binnen 15 minuten na het ontstaan van de brand is beginnen met vluchten (van Liempd et al., 2022). Op basis van de daarin gehanteerde kansverdeling zijn alle bewoners gestart met vluchten na circa 30 minuten. De genoemde uitgangspunten kennen geen wetenschappelijke basis, omdat ze gebaseerd zijn op een expertoordeel. Desalniettemin zijn er geen redenen om aan te nemen dat een ontruiming van een woongebouw significant langer duurt. Op basis van voornoemde ligt het daarom voor de hand een bruikbaarheidsduur van vluchtroutes van 30 minuten op te nemen in de herijking.

Dat een vluchtroute gedurende ten minste 30 minuten bruikbaar moet zijn, betekent niet dat personen gedurende 30 minuten in de vluchtroute moeten kunnen verblijven, maar dat ze gedurende een periode van 30 minuten na het ontstaan van de brand door deze vluchtroute een loopafstand van maximaal 30 m kunnen afleggen. Voor personen die tijdens deze 30 minuten vluchten (direct na het ontstaan van de brand of na enige tijd), moet de vluchtroute bruikbaar blijven tot 30 minuten na het ontstaan van de brand.

De veronderstelde loopsnelheid van 1 m/s

Uit hoofdstuk 1 blijkt dat de veronderstelde loopsnelheid van 1 m/s in een met rook gevulde ruimte geen realistisch uitgangspunt is. Uit de literatuur blijkt dat in veel gevallen de loopsnelheid lager ligt. Ook het uitgangspunt dat met ingehouden adem wordt gevlucht blijkt niet realistisch te zijn. Het ligt daarom voor de hand om in de herijking van de uitgangspunten geen veronderstelde loopsnelheid op te nemen.

Voldoende beschermd tegen binnendringen van brand en rook

De bescherming tegen het binnendringen van brand en rook vanuit een woning waarin zich de brand bevindt in de richting van een vluchtroute, wordt in het Bbl voor nieuw te bouwen bouwwerken als volgt geborgd:

- > een WBDBO-eis van ten minste 30 minuten
- > een rookwerendheidseis (R200)
- > de verplichting van een woningtoegangsdeur die bij brand automatisch sluit.

Uit hoofdstuk 1 blijkt dat de betrouwbaarheid van het ontvluchttingsconcept voor de algemene doelgroep, mede gebaseerd op deze voorzieningen, geen 100 % bedraagt. Het is daarom denkbaar dat in de herijking van de uitgangspunten aan de tijdsduur van de bruikbaarheid ook een indicatie van de betrouwbaarheid wordt verbonden. Daarmee wordt inzichtelijk gemaakt dat, ook al voldoet een woongebouw aan de prestatie-eisen van het Bouwbesluit 2012, dit niet betekent dat met zekerheid gegarandeerd kan worden dat personen veilig kunnen vluchten. Daarnaast maakt een indicatie van de betrouwbaarheid een meer doelgerichte beoordeling van de vluchtveiligheid mogelijk, binnen de kaders van het gelijkwaardigheidsbeginsel.

3.3 Beperkt risico brand in vluchtroute

De kans op brand in een vluchtroute is sterk afhankelijk van de aanwezigheid van ontstekingsbronnen en van brandbare materialen en objecten. Een rolstoel brengt bijvoorbeeld een beperkter risico op brand met zich mee dan een scootmobiel. Bovendien is de kans op ontsteking sterk afhankelijk van de aard van de vuurlast. Een bank met een polyurethaan-vulling zal sneller vlamvatten en meer rook produceren dan een houten variant vanwege de eigenschappen van het materiaal. Uit eerder uitgevoerd onderzoek blijkt echter, dat de aanwezigheid van brandbare materialen in vluchtroutes eerder regel is dan uitzondering (Brandweeracademie, 2021a). Bovendien blijkt uit de casuïstiek dat branden in vluchtroutes met enige regelmaat voorkomen (Brandweeracademie, 2022). Het is daarom urgent om de kans op brand in vluchtroutes in te perken.

Het Bouwbesluit 2012 kende een zogenaamd 'restrisico-artikel' voor brandgevaar en ontwikkeling van brand (artikel 7.10), dat qua inhoud vergelijkbaar is met het nieuwe zorgplichtartikel 6.4 van het Bbl, zie paragraaf 1.3.2. Strekking daarvan is dat het verboden is om brandgevaar of een bij brand gevaarlijke situatie te veroorzaken. Dit betreft een functioneel geredigeerd voorschrift dat niet praktisch toepasbaar en handhaafbaar is gebleken. Dit blijkt ook uit het onderzoek *Vluchten uit woongebouwen* (Brandweeracademie, 2021b), dat laat zien dat in veel onderzochte woongebouwen spullen in de gang staan die brandgevaar of een bij brand gevaarlijke situatie kunnen veroorzaken.

Om die reden heeft het Ministerie van BZK besloten een verduidelijking van de voorschriften voor brandbare materialen in vluchtroutes op te nemen in de Bouwregelgeving (artikel 6.15a, zie paragraaf 1.3.2) met daarin enkele uitzonderingen (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2022). Daarnaast is in artikel 6.14 van het Bbl voorgeschreven dat aankleding (zoals vloerbedekking, gordijnen en versiering) geen brandgevaar mag opleveren. Met deze (geactualiseerde) voorschriften worden brandveiligheidsrisico's met betrekking tot een brand in de vluchtroute verder beperkt en kan worden verondersteld dat er 'geen groot risico op het uitbreken en ontwikkelen van brand' meer is in de vluchtroute. Uitgangspunt daarbij is dat het voorschrift adequaat wordt nageleefd en gehandhaafd.

3.4 Voorzet herijking uitgangspunten

In de vorige paragrafen is geanalyseerd onder welke omstandigheden nog verwacht mag worden dat personen kunnen vluchten in een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert (paragraaf 3.1) en wat het betekent dat de vluchtroute gedurende langere tijd door vluchtende personen moet kunnen worden gebruikt (paragraaf 3.2). Op basis daarvan kunnen de uitgangspunten die ten grondslag liggen aan de (enkele) vluchtroute in het Bbl als volgt worden verduidelijkt.

Een enkele vluchtroute is voor nieuw te bouwen woongebouwen toegestaan, mits deze gedurende ten minste 30 minuten door vluchtende personen kan worden gebruikt. Tijdens deze 30 minuten moet er een bepaalde zichtlengte zijn. Om de blootstellingsduur aan (giftige) rook te beperken, geldt daarnaast dat vluchtende personen na het ontstaan van de brand door de vluchtroute een loopafstand van maximaal 30 meter mogen afleggen. Zicht, verstikkende gassen en warmte zijn factoren die het risico van rook voor de ontvluchting bepalen.

Het risico wordt bepaald door de rookverspreiding vanuit de brandruimte naar de aangrenzende besloten vluchtroute. Voor het ontvluchtingsconcept is zicht in een dergelijke vluchtroute veelal de bepalende factor. Verwacht mag worden dat personen die behoren tot de algemene doelgroep veilig door de vluchtroute kunnen vluchten als de zichtlengte ten minste 5-10 m bedraagt. Een dergelijke zichtlengte zorgt voor voldoende oriëntatie, beperkt de kans op omkeren naar de woning en beperkt het risico van gezondheidsschade door toxische gassen. Niet uitgesloten kan worden dat direct na het openen van de woningtoegangsdeur van de woning waarin zich de brand bevindt een beperktere zichtlengte aanwezig is. Daarnaast is blootstelling aan hoge temperaturen een bepalend aspect of veilig door rook kan worden gevlucht. Een veelgebruikt acceptatiecriterium daarvoor is een temperatuur van 80 °C.

De vluchtroute moet voldoende beschermd zijn tegen het binnendringen van hitte en rook vanuit het brandcompartiment waarin de brand woedt. Deze bescherming wordt gerealiseerd door de WBDBO-eisen (beperken van branduitbreiding en hittestraaling naar de vluchtroute) en WRD-eisen (beperken van rookverspreiding naar de vluchtroute) die volgens het Bbl gelden tussen een woning waarin zich de brand bevindt en de (enkele) besloten vluchtroute. Omdat de woningtoegangsdeuren tussen de woning en de vluchtroute zelfsluitend worden uitgevoerd, sluiten ze automatisch als vluchtende personen de woning hebben verlaten. Daardoor vindt er slechts gedurende korte tijd rookverspreiding plaats vanuit de woning waarin zich de brand bevindt naar de vluchtroute. Uit onderzoek blijkt dat de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsconcept voor de algemene doelgroep, mede gebaseerd op deze voorzieningen, geen 100 % bedraagt. Dit betekent dat, ook al voldoet een woongebouw aan de prestatie-eisen van het Bbl, niet 100 % gegarandeerd kan worden dat personen veilig kunnen vluchten.

Ten slotte mag in de ruimte waardoor een beschermde vluchtroute voert, geen groot risico zijn op het uitbreken en ontwikkelen van brand en rook. Met de volgende voorschriften worden brandveiligheidsrisico's met betrekking tot een brand in de vluchtroute verder beperkt en kan worden verondersteld dat er 'geen groot risico op het uitbreken en ontwikkelen van brand' is in de vluchtroute:

- > Artikel 6.4 van het Bbl met de specifieke zorgplichtbepaling over het voorkomen van een brandgevaarlijke situatie in de vluchtroute.
- > Artikel 6.14 waarin is geregeld dat aankleding (zoals vloerbedekking, gordijnen en versiering) geen brandgevaar mag opleveren.
- > Artikel 6.15a (per 1 juli 2024) waarin is geregeld dat er geen brandgevaarlijke objecten in de vluchtroute van een woongebouw mogen zijn.
- > Artikel 6.23a (per 1 juli 2024) waarin is geregeld dat er geen belemmerende objecten in de vluchtroute woongebouw van een woongebouw mogen zijn.

4 Kwalitatieve analyse

In dit hoofdstuk wordt de referentiesituatie kwalitatief vergeleken met de verschillende verschijningsvormen van situaties met één vluchtroute (zie paragraaf 2.2.3). De gehanteerde methodiek is beschreven in paragraaf 2.1.2.

Deze vergelijking is uitgevoerd aan de hand van de volgende beoordelingsaspecten:

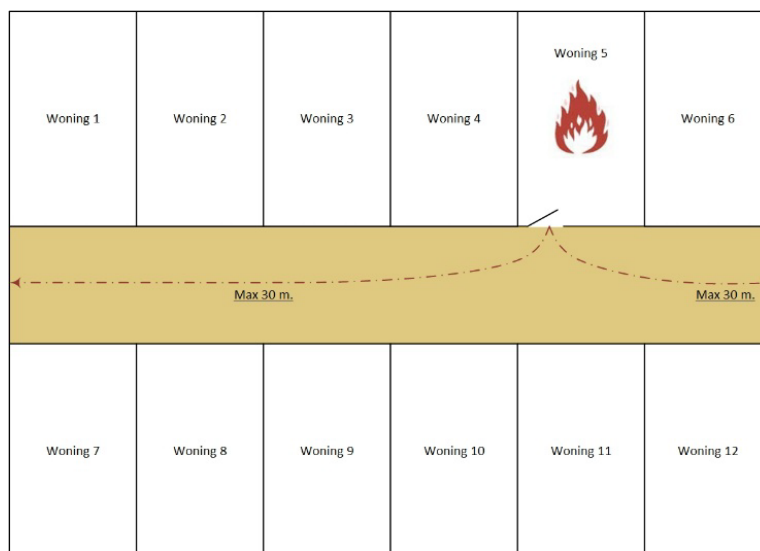
- > aantal woningen dat is aangewezen op vluchtroute: paragraaf 4.1
- > rookverspreiding: paragraaf 4.2
- > koopafstand, loopsnelheid en blootstellingsduur: paragraaf 4.3
- > redundantie van de vluchtroutes: paragraaf 4.4.

Bij het vergelijken van de referentiesituatie met de situatie met één vluchtroute is het scenario 'brand in een woning' als uitgangspunt genomen. Daar waar van toepassing, worden in de desbetreffende paragraaf in een kader de verschillen met het scenario 'brand in de vluchtroute' en met het scenario 'brand in een ruimte die grenst aan de vluchtroute' behandeld.

4.1 Aantal woningen dat is aangewezen op vluchtroute

Referentiesituatie

In de gekozen referentiesituatie (zie Figuur 4.1) komen er 12 woningen uit op de besloten vluchtroute. Dit aantal woningen wordt beperkt door de maximale lengte van de corridor (circa 30 meter) in combinatie met de gekozen beukmaat van 5 meter per woning.

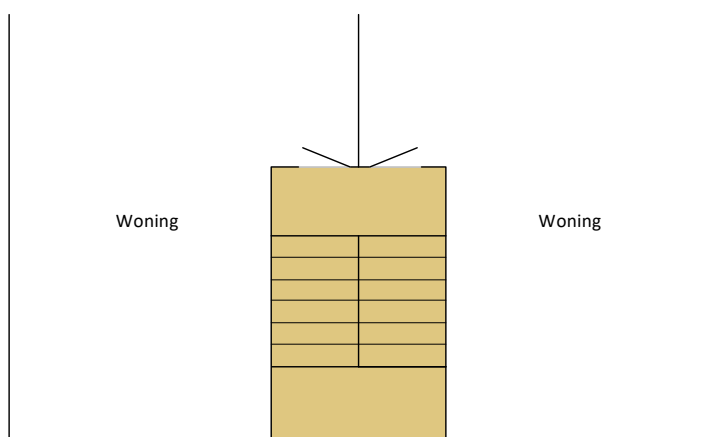


Figuur 4.1 Referentiesituatie

Portiektrappenhuis

In de beoordeelde portieksituatie (zie Figuur 4.2) zijn er 2 woningen per bouwlaag. Uitgaande van 5 bouwlagen betekent dit een totaal van 10 woningen met een totale gebruiksoppervlakte van 800 m² die zijn aangewezen op de enkele vluchtroute. Dit betekent dat er in een portiektrappenhuis minder woningen op de vluchtroute uitkomen in vergelijking met de referentiesituatie.

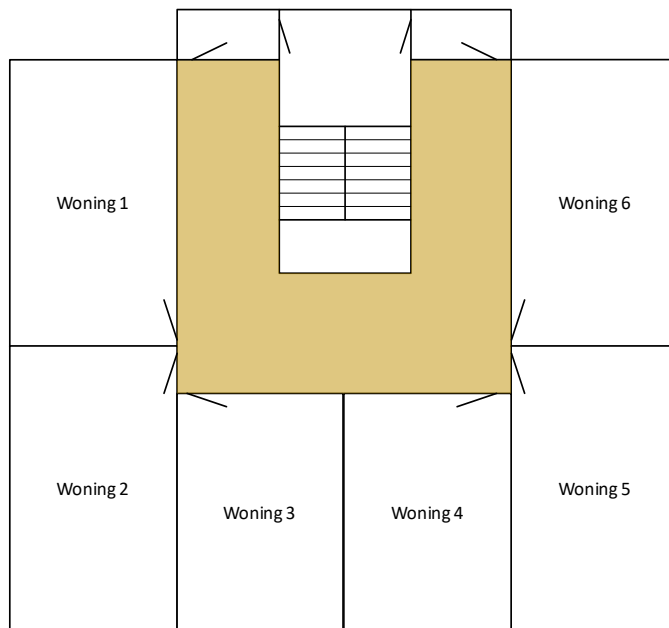
De vraag kan worden gesteld of het aantal woningen een juist criterium is op basis waarvan de portieksituatie wordt vergeleken met de referentiesituatie. Niet het aantal woningen is immers bepalend voor het risico, maar het aantal personen (groepsrisico). Hierop wordt verder ingegaan in de discussie (hoofdstuk 8).



Figuur 4.2 Eén verdieping van een portiektrappenhuis, maximaal aantal bouwlagen bedraagt 5

Veiligheidstrappenhuis

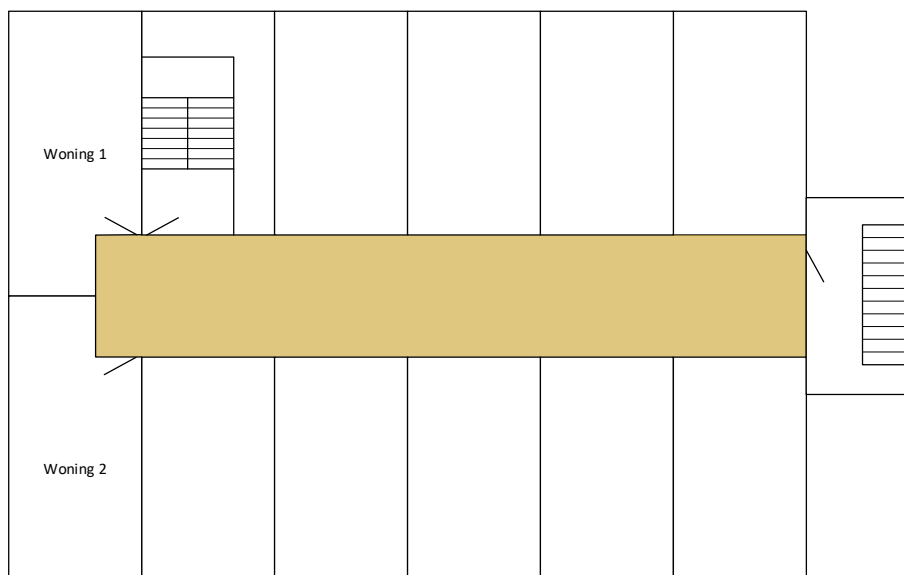
Uitgaande van het ontsluitingsprincipe met een veiligheidstrappenhuis is het aantal woningen dat is aangewezen op het trappenhuis in beginsel niet beperkt. Wel is het aantal woningen dat uitkomt op de besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuis, evenals de referentiesituatie, per bouwlaag beperkt. De besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuis betreft namelijk een rondgaande corridor met aan één zijde woningen, die aan beide uiteinden aansluiting geeft op het veiligheidstrappenhuis. De loopafstand door deze besloten vluchtroute mag evenals in de referentiesituatie maximaal 30 m zijn. Hiervan uitgaande zal het aantal woningen per bouwlaag, mede afhankelijk van het ontwerp, ongeveer de helft bedragen. Uitgangspunt is dat er 6 woningen uitkomen op de besloten vluchtroute voor de veiligheidsvluchtroute.



Figuur 4.3 Veiligheidsvluchtroute

Corridor met doodlopend eind

Op een corridor met doodlopend eind mogen maximaal 2 woningen met tegenover elkaar gelegen woningtoegangsdeuren zijn gelegen. Dat betekent dus aan weerszijden van de corridor maximaal één woning. Dit betreft een kleiner aantal dan in de referentiesituatie.



figuur 4.4 Corridor met doodlopend einde aan linkerzijde

Samenvattend

Samenvattend kan gesteld worden dat in alle situaties met een enkele vluchtroute er minder woningen zijn aangewezen op de vluchtroute dan in de referentiesituatie.

4.2 Rookverspreiding

Referentiesituatie

Uit het onderzoek *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020b) blijkt dat een brand in een woning die aan een vluchtroute grenst, vergaande verontreiniging van de naastgelegen corridor tot gevolg kan hebben. De mate van verontreiniging is afhankelijk verschillende factoren, zoals:

- > het type brandstof (bijvoorbeeld een bank met kunststof schuimvulling en/of andere materialen)
- > de mate van brandontwikkeling en rookproductie
- > of de woningtoegangsdeur van de woning waarin de brand woedt wordt geopend, en zo ja: op welk moment dit gebeurt én de tijd dat de deur openstaat.

De mate van verontreiniging wordt bepaald door de rookverspreiding via de (geopende) woningtoegangsdeur. De experimentele resultaten laten namelijk het volgende zien:

Situatie na het openen van de woningtoegangsdeur (deur blijft open staan)

Als de deur na het ontvluchten uit de woning waarin de brand zich bevindt, open blijft staan, resulteert dit in de volgende condities:

- > sterk beperkt zicht in korte tijd na het openen van de deur
- > na verloop van tijd zodanige temperaturen en gasconcentraties dat niet veilig door de vluchtroute kan worden gevluht. Bij een langer verblijf in de vluchtroute (corridor) zijn deze condities levensbedreigend.

Situatie na het sluiten van de deur na korte tijd

Als de deur na het ontvluchten van de woning waarin zich de brand bevindt na een korte tijd (binnen 30 seconden) wordt gesloten, resulteert dit in de volgende condities:

- > verbeterd zicht in de vluchtroute ten opzichte van een situatie met een geopende deur. Het zicht is in veel gevallen echter nog onvoldoende om goede oriëntatie mogelijk te maken.
- > zodanige temperaturen en gasconcentraties dat de situatie voor een algemene doelgroep sterkt verbeterd en de condities niet levensbedreigend zijn bij blootstellingsduren die te verwachten zijn bij het vluchten.

Het sluiten van de deur beperkt de rookverspreiding naar de vluchtroute, maar kan nog steeds voor een belemmerde ontvluchting zorgen. Deze belemmering is echter minder groot dan bij een openstaande deur. Zie ook paragraaf 1.5 en de herijking van de uitgangspunten in hoofdstuk 3, waarin reeds is aangegeven dat 'zicht' de bepalende factor is met betrekking tot vluchten boven 'toxiciteit en 'warmte'. De acceptabele grenswaarde van de zichtlengte wordt namelijk veel eerder bereikt dan de acceptabele grenswaarde voor toxiciteit en warmte. Dit is ook het geval wanneer de deur wordt gesloten.

Vanuit de besloten vluchtroute kan vervolgens rookverspreiding plaatsvinden naar de vluchtrappenhuizen die zich aan weerszijden hiervan bevinden. De rookverspreiding zal echter beperkt zijn door lage drukverschillen. Wanneer de deur naar het vluchtrappenhuis door vluchtende personen geopend wordt, kan gedurende de tijd dat de deur open is wel enige rookverspreiding plaatsvinden naar het trappenhuis. Deze is echter minder groot dan de rookverspreiding vanuit de woning waarin zich de brand bevindt naar de besloten vluchtroute.

Wanneer er sprake is van het scenario 'brand in de vluchtroute', dan is vluchten via de besloten vluchtroute vaak niet veilig mogelijk. Een bank in brand zorgt binnen 4 tot 7 minuten voor een fatale situatie in de brandruimte (Brandweeracademie, 2020b). Dit is reeds beschreven in hoofdstuk 1.

Portiektreppenhuus

De rookverspreiding in een portiektreppenhuus is anders dan de referentie met een corridor. In tegenstelling tot een situatie met een corridor kan er voor een portiektreppenhuus namelijk met het oog op de rookverspreiding onderscheid gemaakt worden tussen branden op de verschillende verdiepingen. Hierbij geldt (onder andere) het volgende:

- > Als gevolg van de beïnvloeding van de rookstroom door bordessen en trappen mengt de rook veel omgevingslucht in ('opmenging'). Hierdoor neemt het rookvolume toe en neemt de temperatuur van de rook af.
- > Bij een brand in een woning op de begane grond zal het effect van opmenging groter zijn dan bij een brand op een hoger gelegen verdieping. Bij een brand in een woning op de begane grond zal doorgaans een groot deel van het trappenhuus onder de rook komen te staan, terwijl bij een brand in een woning op een hoger gelegen verdieping aan het trappenhuus een meer gestratificeerde rooklaag zal ontstaan (minder opmenging). De gemiddelde temperaturen en gasconcentraties in het rookvolume bij een brand op de begane grond (opgemengde situatie) zullen als gevolg daarvan ook lager zijn dan bij een brand in een woning op een hoger gelegen verdieping (gestratificeerde situatie).
- > Of de temperaturen en gasconcentraties in een portiektreppenhuus hoger zijn dan in de corridor, is sterk afhankelijk van de afmetingen van het trappenhuus en de bouwlaag waarop de brand zich bevindt. Die parameters bepalen immers het rookvolume.

Dit betekent dat de locatie van de woning waarin zich de brand bevindt (begane grond of hoger gelegen verdieping) bepalend kan zijn voor de temperatuur en gasconcentraties waaraan vluchtende personen worden blootgesteld.

Stratificatie en opmenging

Bij een brand hoog in het trappenhuus zal in eerste instantie alleen het bovenste deel van het trappenhuus zich vullen met rook (verroken). Er is dan sprake van een gestratificeerde situatie met een kleiner rookvolume met daardoor hogere temperaturen en gasconcentraties in vergelijking met een corridorsituatie. Een gestratificeerde situatie is een situatie waarin er duidelijk onderscheid te maken is tussen een rooklaag hoog in de ruimte en een rookvrije zone laag in de ruimte. Na verloop van tijd zal de rook afkoelen en zich naar beneden verspreiden (uitzakken), waardoor er een groter rookvolume ontstaat. Als dezelfde hoeveelheid rook wordt opgemengd over een groter volume, zullen de gasconcentraties in de rook dalen .

Veiligheidstrappenhuus

De rookverspreiding vanuit een woning waarin zich de brand bevindt naar de besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuus is vergelijkbaar met de referentiesituatie als deze besloten vluchtroute dezelfde afmetingen heeft als de referentiesituatie. Rookverspreiding vanuit de besloten vluchtroute naar het veiligheidstrappenhuus kan als volgt plaatsvinden:

- > vanuit de besloten vluchtroute naar de niet-besloten ruimte vóór het veiligheidstrappenhuus.
- > vanuit de niet-besloten ruimte vóór het veiligheidstrappenhuus naar het veiligheidstrappenhuus.

Ten opzichte van de referentiesituatie is er sprake van de volgende verschillen:

- > Voor de scheidingsconstructies met (vlucht)deuren tussen deze ruimten gelden volgens het Bbl geen eisen die resulteren in een brandwerendheid, rookwerendheid en zelfsluitendheid.
- > Rook die terecht komt in de buitenruimte wordt verdund en kan vrij wegstromen. Daardoor zullen de concentraties en temperaturen van de rook in de buitenruimte lager zijn in vergelijking met de referentiesituatie.

Deze verschillen kunnen voor de rookverspreiding de volgende gevolgen hebben:

- > Wanneer de vluchtdeuren gesloten worden, nadat vluchtende personen zijn gepasseerd, zal de rookverspreiding naar het veiligheidstrappenhuis ten opzichte van de vluchttrappenhuizen in de referentiesituatie naar verwachting vergelijkbaar of kleiner zijn. Bij ongunstige windcondities bestaat de kans dat enige rook bij het vluchten door de buitenruimte in het veiligheidstrappenhuis terecht komt. Deze rook zal zijn verdund en heeft lagere concentraties en temperaturen dan in de referentiesituatie.
- > Wanneer de vluchtdeuren open blijven staan, bestaat er – afhankelijk van de gebouwgeometrie en windcondities (windrichting en -snelheid) – een grotere kans dan bij de referentiesituatie dat rook in het veiligheidstrappenhuis terecht komt. De kans op rookverspreiding naar het trappenhuis is beperkt: de zelfsluitende woningtoegangsdeuren beperken reeds de verspreiding van rook vanuit de woning waarin zich de brand bevindt. Het zal daarom gaan om een beperkte hoeveelheid rook die in de buitenlucht wordt verdund en met een lagere temperatuur en concentratie in het veiligheidstrappenhuis terecht kan komen.

Corridor met doodlopend eind

In het geval van een situatie waarin vanaf de woningtoegangsdeur eerst door een inpandige corridor met een doodlopend einde moet worden gevlucht voordat een extra beschermde vluchtroute of veiligheidsvluchtroute wordt betreden, is de rookverspreiding vergelijkbaar met de referentiesituatie. Het doodlopend eind staat immers in open verbinding met de corridor en is derhalve onderdeel van hetzelfde ruimtevolumen.

Doodlopend eind afgescheiden van corridor

In het geval de doodlopende gang met twee tegenover elkaar gelegen woningtoegangsdeuren wordt afgesloten met een brand- en rookwerende scheidingsconstructie en een zelfsluitende deur, dan heeft deze doodlopende gang een kleiner volume dan de referentiesituatie. In dat geval zullen de gasconcentraties en temperaturen van de rook in het doodlopende eind hoger zijn dan de referentiesituatie.

4.3 Loopafstand, -snelheid, -richting en blootstellingsduur

Referentiesituatie

In de referentiesituatie kan er vanaf het punt dat de woning verlaten wordt in de besloten vluchtroute in twee richtingen worden gevlucht. Afhankelijk van de positie van de woning ten opzichte van de beide uitgangen van de corridor én de richting waarin gevlucht wordt, is de loopafstand in de referentiesituatie < 30 m. Wanneer gevlucht wordt vanuit een woning in het midden van de corridor, zal de loopafstand naar een van de uitgangen van de corridor circa de helft van de maximaal af te leggen afstand zijn (15-18 m). Wanneer gevlucht wordt vanuit

een woning die op de kopse zijde van de corridor is gelegen, zal de loopafstand naar een van de uitgangen van de corridor slechts enkele meters zijn.

Volgens het Bbl mag de loopafstand die wordt afgelegd over beide vluchtroutes maximaal 30 m zijn. Dit betekent dat de loopafstand tussen beide uitgangen van de corridor iets langer kan zijn dan 30 meter.

Zoals in paragraaf 1.5 is aangegeven, blijkt uit de literatuur dat de loopsnelheid in een ruimte die gevuld is met rook sterk afneemt ten opzichte van het uitgangspunt van de bouwregelgeving (circa 0,3 in plaats van 1,0 m/s). Uitgangspunt daarbij is dat er geen obstakels in de vluchtroute aanwezig zijn die het vluchten kunnen belemmeren.

Hoe kleiner de loopafstand, des te beperkter de blootstellingsduur, ervan uitgaande dat de loopsnelheid over de afgelegde loopafstand gelijk is. In de referentiesituatie is als uitgangspunt genomen dat blootstelling aan rook over de gehele vluchtweg plaatsvindt.

Portiektreppenhuus

In een portiektreppenhuus kan vanuit een woning slechts in één richting worden gevlucht. De loopafstand is afhankelijk van de locatie van de woning waaruit wordt gevlucht. Zo is de loopafstand in een portiektreppenhuus vanaf de bovenste bouwlaag langer dan wanneer gevlucht wordt vanaf de begane grond.

De maximale loopafstand die vluchtende personen vanaf de vijfde bouwlaag in een portiektreppenhuus moeten afleggen is circa 35-40 m. Vanaf de vierde bouwlaag is die loopafstand circa 25-30 m; dit is langer dan de gemiddelde afstand in de referentiesituatie (circa 15-18 m). De maximale loopafstand die vluchtende personen vanaf de derde bouwlaag in een portiektreppenhuus moeten afleggen is vergelijkbaar met de referentiesituatie (circa 20-25 m).

Evenals in de referentiesituatie geldt dat hoe korter de loopafstand is, hoe beperkter de blootstellingsduur, ervan uitgaande dat de loopsnelheid over de afgelegde loopafstand gelijk is. Voor de bovenste bouwlaag geldt dat een langere loopafstand leidt tot een grotere blootstellingsduur ten opzichte van de referentiesituatie. Voor de loopsnelheid over een trap is in paragraaf 1.5 reeds is aangegeven dat net als bij een vlakke vloer uitgegaan wordt van een lagere loopsnelheid (circa 0,3 m/s in plaats van 1,0 m/s). Daarbij wordt opgemerkt dat het struikelgevaar bij het vluchten over een trap wel groter is.

In een portiektreppenhuus is de rookverspreiding anders dan in de referentiesituatie. Bij de referentiesituatie zal sprake zijn van een uniforme verspreiding van de rook, terwijl dat in een portiek niet het geval is. Oftewel: de locatie van waaruit wordt gevlucht is mede afhankelijk van de blootstellingsduur aan de rook:

- > In het geval er brand is in een woning op de bovenste bouwlaag duurt het enige tijd voordat de rook vanaf de bovenste bouwlaag naar beneden is gezakt. Daarom zullen bewoners op de begane grond pas na enige tijd hinder ondervinden van rookverspreiding.
- > In het geval dat er brand is in een woning op de begane grond, worden vluchtende personen op de verdiepingen van het portiek hieraan direct blootgesteld. Voor de vluchtende personen vanaf de bovenste bouwlaag heeft dit de meeste invloed, omdat de rook daar uiteindelijk blijft hangen. Zoals eerder aangegeven moet vanaf de

bovenste bouwlaag in een portiek ook de langste loopafstand worden afgelegd, waardoor ook de blootstellingsduur voor personen die vluchten uit een dergelijke woning in een portiektrappenhuis het grootst is.

Veiligheidstrappenhuis

Voor het veiligheidstrappenhuis moet onderscheid worden gemaakt in het besloten deel van de vluchtroute in de corridor, het niet-besloten deel van de vluchtroute op het buitenbordes en het besloten deel van de vluchtroute dat wordt afgelegd in het veiligheidstrappenhuis.

De loopafstand, loopsnelheid, looprichting en blootstellingsduur in:

- > de besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuis zijn vergelijkbaar met de referentiesituatie.
- > de niet-besloten buitenruimte vóór het veiligheidstrappenhuis zullen iets gunstiger zijn dan de referentie-situatie (loopafstand: kleiner, loopsnelheid en looprichting: vergelijkbaar; blootstellingsduur: kleiner).
- > het veiligheidstrappenhuis zelf (vergeleken met het besloten trappenhuis in de referentiesituatie): de situatie zijn mogelijk iets gunstiger vanwege de aanwezigheid van een niet-besloten ruimte vóór het veiligheidstrappenhuis.

In paragraaf 4.2 'Rookverspreiding' is aangegeven dat ook richting een veiligheidstrappenhuis rookverspreiding kan plaatsvinden als gevolg van ongunstige windcondities en openstaande deuren. Dit kan ook effect hebben op de loopsnelheid en blootstellingsduur. Verwacht wordt echter dat deze effecten minimaal zijn: de zelfsluitende woningtoegangsdeuren beperken reeds de toetreding van rook vanuit de woning waarin zich de brand bevindt. Het zal daarom gaan om een beperkte hoeveelheid rook die in de buitenlucht wordt verdund en met een lagere temperatuur en concentratie in het veiligheidstrappenhuis terecht kan komen.

Corridor met doodlopend eind

In het geval van een situatie waarin vanaf de woningtoegangsdeur eerst door een inpandige corridor met een doodlopend einde moet worden gevlucht, voordat een extra beschermde vluchtroute of veiligheidsvluchtroute wordt betreden, is er sprake van een aantal verschillen:

- > De loopafstand die moet worden afgelegd door het doodlopende eind is korter (circa 5 m). De maximale loopafstand die vanaf een woning die grenst aan het doodlopende eind tot een uitgang van de besloten corridor moet worden afgelegd is maximaal 30 m (maximaal toegestaan volgens het Bbl).
- > In het doodlopende eind is sprake van slechts één vluchtrichting; na het doodlopende eind kan weer in twee richtingen worden gevlucht.
- > Als gevolg hiervan zal de blootstellingsduur aan de rook korter of ten minste vergelijkbaar zijn met de referentiesituatie.

De loopsnelheid die over een vlakke vloer moet worden afgelegd zal net als de referentiesituatie 0,3 m/s bedragen.

4.4 Redundantie vluchtroutes

Referentiesituatie

In de referentiesituatie kan vanuit de corridor aan twee zijden een trappenhuis worden betreden, zodat er sprake is van twee vluchtroutes. Een tweede vluchtrichting wordt een 'redundante vluchtrichting' genoemd.

- > Wanneer één vluchtrichting in de corridor is geblokkeerd, is er een tweede vluchtrichting beschikbaar.
- > Wanneer er een trappenhuis ná de corridor is geblokkeerd, is er een tweede vluchtroute beschikbaar (zie verder 'Brandscenario 'brand in vluchtroute' in onderstaand kader).

Falende brandveiligheidsvoorzieningen

Wanneer de brandveiligheidsvoorzieningen falen, zodat bijvoorbeeld de woningtoegangsdeur open blijft staan, is de beschikbaarheid van een redundante vluchtrichting van groter belang dan wanneer de woningtoegangsdeur automatisch sluit:

- > Er hoeft niet langs de openstaande woningtoegangsdeur van de woning waarin zich de brand bevindt te worden gevluht.
- > Uit paragraaf 2.4 blijkt dat als de deur openblijft na het ontvluchten van de woning waarin zich de brand bevindt, dit resulteert in zodanige temperaturen en gasconcentraties dat niet veilig door de vluchtroute kan worden gevluht. Met de aanwezigheid van een redundante vluchtrichting in de corridor hoeven vluchtende personen vanuit woningen die dicht bij een van de uitgangen van de corridor liggen (bijvoorbeeld aan een kopse kant van de corridor) slechts een korte afstand af te leggen naar de uitgang van de corridor en staan ze gedurende slechts beperkte tijd bloot aan hogere temperatuur- en gasconcentraties in vergelijking met de situatie dat de woningtoegangsdeur van de brandwoning wordt gesloten.

Brandscenario 'brand in de vluchtroute'

Wanneer er sprake is van een brand in de vluchtroute of in een aan de vluchtroute grenzende ruimte, hebben vluchtende personen de mogelijkheid om niet langs de brand te vluchten, maar om een andere uitgang te kiezen. Dit geldt uiteraard alleen in het geval de omstandigheden in de vluchtroute nog zodanig zijn dat er nog gevluht kan worden.

Portieksituatie

Omdat een portiektrappenhuis slechts één vluchtroute heeft, is er geen sprake van een redundante vluchtrichting en geen sprake van een redundante vluchtroute. Dit betekent het volgende:

- > Als gevolg van het ontbreken van een redundante vluchtrichting: afhankelijk van de bouwlaag van de woning waarin de brand zich bevindt en de bouwlaag waar vanaf moet worden gevluht, moet langs de woningtoegangsdeur van de woning waarin de brand zich bevindt worden gevluht
- > Als gevolg van het ontbreken van een redundante vluchtroute: wanneer het portiektrappenhuis geblokkeerd raakt, is er geen mogelijkheid om via een andere vluchtroute te vluchten (zie verder 'Brandscenario 'brand in vluchtroute' in onderstaand kader).

Falende brandveiligheidsvoorzieningen

Wanneer de toegepaste brandveiligheidsvoorzieningen falen, zodat bijvoorbeeld de woningtoegangsdeur die grenst aan het trappenhuis open blijft staan, is de beschikbaarheid van een redundante vluchtrichting van veel groter belang dan wanneer de woningtoegangsdeur automatisch sluit. In een portieksituatie is de kans dat er langs een openstaande woningtoegangsdeur van een woning waarin zich de brand bevindt moet worden gevluht groter dan in de referentiesituatie.

Brandscenario 'brand in de vluchtroute'

Wanneer er sprake is van een brand in de vluchtroute, is er in een portiektrappenhuis geen andere mogelijkheid om te kunnen vluchten. Overigens is dit mede afhankelijk van de locatie van de brand in het trappenhuis en de locatie van de woning waaruit wordt gevluht. Als de locatie van de woning waaruit wordt gevluht zich bevindt onder de locatie van de brand in het trappenhuis, dan zou mogelijk nog door het trappenhuis gevluht kunnen worden. Dit geldt uiteraard alleen wanneer de omstandigheden in de vluchtroute nog zodanig zijn, dat er nog door de vluchtroute gevluht kan worden. Dit wijkt in principe niet veel af van de referentiesituatie, met als uitzondering dat in die situatie een tweede vluchtrichting beschikbaar is die gebruikt kan worden als de andere richting geblokkeerd is.

Veiligheidstrappenhuis

Bij het veiligheidstrappenhuis kan met het oog op de redundantie van de vluchtrichting en van de vluchtroutes het volgende onderscheid worden gemaakt:

- > Besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuis: er is sprake van een redundante vluchtrichting. Er kan vanuit elke woning immers in twee richtingen naar de niet-besloten ruimten (buitenruimten) voor het veiligheidstrappenhuis worden gevluht.
- > In de niet-besloten buitenruimte voor het veiligheidstrappenhuis is sprake van zowel een redundante vluchtrichting als van een redundante vluchtroute. Door het passeren van de scheidingsconstructie tussen de besloten corridor en de niet-besloten ruimte is de vluchtroute redundant geworden.
- > Het veiligheidstrappenhuis zelf: vanaf het moment dat vanuit de niet-besloten buitenruimte in het veiligheidstrappenhuis wordt gevluht, is er geen sprake meer van een redundante vluchtroute. Wanneer het veiligheidstrappenhuis geblokkeerd raakt, bijvoorbeeld door een brand in het trappenhuis zelf, is er geen keuzemogelijkheid om via een andere vluchtroute te vluchten. Er is wel sprake van een redundante vluchtrichting, maar deze andere vluchtrichting leidt weer naar hetzelfde trappenhuis.

Falende brandveiligheidsvoorzieningen

De gevolgen van falende brandveiligheidsvoorzieningen (bijvoorbeeld een deur die blijft openstaan) zijn in het deel van de besloten vluchtroute vóór het veiligheidstrappenhuis vergelijkbaar met de referentiesituatie.

Brandscenario 'brand in de vluchtroute'

Wanneer er sprake is van een brand in het veiligheidstrappenhuis, is er in het veiligheidstrappenhuis geen andere mogelijkheid om te kunnen vluchten. De kans dat rook vanuit het veiligheidstrappenhuis in de woningen terechtkomt, is echter beperkt. De niet-besloten ruimte fungeert hier als bufferruimte. Zolang brand en rook zich niet verder verspreiden naar de corridor grenzend aan de niet-besloten ruimte, kan enige tijd veilig worden verbleven in de woningen. Deze situatie verschilt van een portieksituatie: bij brand in een portiektrappenhuis kan rook zich mogelijk wél verspreiden naar de woningen

Corridor met doodlopend eind

Omdat er ter plaatse van het doodlopend eind over een loopafstand van circa maximaal 5 m sprake is van slechts één vluchtrichting, is er in het doodlopende eind van de vluchtroute geen sprake van een redundante vluchtroute.

- > Geen redundante vluchtrichting: bij brand in een woning die grenst aan het doodlopende eind moet vanuit de andere woning langs de woningtoegangsdeur van de

- woning waarin de brand zich bevindt worden gevlucht. Zoals eerder toegelicht: dit is met name een risico in het geval van falende brandveiligheidsvoorzieningen.
- > Geen redundante vluchtroute: bij brand in het doodlopende eind is er geen tweede vluchtroute beschikbaar.

In het gedeelte ná het verlaten van het doodlopend eind is er wél sprake van een redundante vluchtrichting en tevens nadat een brand- of rookscheiding is gepasseerd van een redundante vluchtroute. Vanaf dat punt is de situatie vergelijkbaar met de referentiesituatie.

Brandscenario 'brand in een ruimte aangrenzend aan de vluchtroute'

Naast het scenario 'brand in de woning' en 'brand in de vluchtroute' kan er nog sprake zijn van het scenario 'brand in een ruimte aangrenzend aan de vluchtroute' zoals een meterkast. Een brand in een (kleine) ruimte die grenst aan de besloten vluchtroute kan de vluchtroute in potentie onbruikbaar maken door rookverspreiding. De mate van rookverspreiding wordt in zo'n scenario grotendeels bepaald door de kwaliteit van de scheidingsconstructie tussen de kleine ruimte en de vluchtroute. Bij een voldoende luchtdichte scheiding zal de rookverspreiding naar aangrenzende ruimten beperkt zijn.

Ruimten die grenzen aan de besloten vluchtroute kunnen worden onderscheiden in:

- > ruimten die niet brand- en rookwerend zijn afgescheiden van de vluchtroute
- > ruimten die brand- en rookwerend zijn afgescheiden van de vluchtroutes.

Ruimten die niet brand- en rookwerend zijn afgescheiden van de vluchtroutes

Dergelijke ruimten betreffen bijvoorbeeld kleine ruimten zoals meterkasten, met een potentieel brandrisico door de aanwezigheid van ontstekingsbronnen en brandstof (zoals kunststoffen en hout). Het is volgens het Bbl niet verplicht om dergelijke ruimten brand- en rookwerend af te scheiden van de vluchtroute. Dat betekent bijvoorbeeld dat doorvoeringen door de vloer van boven elkaar gelegen meterruimten die grenzen aan de vluchtroute niet brand- en rookwerend hoeven te worden uitgevoerd. Een eenmaal ontstane brand in een dergelijke meterruimte kan dan leiden tot rookverspreiding over meerdere boven elkaar gelegen vluchtroutes.

Ruimten die brand- en rookwerend zijn afgescheiden van de vluchtroutes

Dergelijke ruimten betreffen bijvoorbeeld bergkasten en schachten.

- > Bergkasten moeten brandwerend- en rookwerend worden afgescheiden van de besloten vluchtroute en worden voorzien van een zelfsluitende deur, zodat het risico van rookverspreiding vanuit een dergelijke ruimte bij gesloten toestand van de deur naar de vluchtroute vergelijkbaar is met rookverspreiding vanuit de woning.
- > Tussen een woning en een vluchtroute geldt via een schacht wel een eis voor de rookwerendheid in de richting van de vluchtroute. Wanneer de schacht aan de ene zijde grenst aan een ruimte waarvoor geen eis voor de rookwerendheid geldt en aan de andere zijde grenst aan de vluchtroute, dan kan via deze schacht wel rookverspreiding plaatsvinden richting de besloten vluchtroute. Dat geldt bijvoorbeeld ook voor rookverspreiding via de liftschaft.

4.5 Samenvatting

In de tabel 4.1 op pagina 68 is een samenvatting opgenomen van de vergelijking uit dit hoofdstuk. De linker kolom geeft de beoordelingsaspecten weer die in paragraaf 4.1 t/m 4.4 zijn besproken. In de bovenste rij zijn de referentiesituatie en drie varianten weergegeven. Vervolgens is in de tabel bij elk beoordelingsaspect een waardering van de persoonlijke veiligheid gegeven middels de volgende schaalverdeling:

- ++ hoger dan de referentie
- + beperkt hoger dan de referentie
- 0 referentie
- beperkt lager dan de referentie
- lager dan de referentie

In de tabel zijn de verschillen tussen situaties met een en meerdere vluchtroutes beschreven.

Tabel 4.1 Verschillen tussen situaties met een en meerdere vluchtroutes

	Referentie	Portiek	Veiligheidstrappenhuis	Doodlopend eind (combinatie met corridor)
Aantal woningen ¹⁾	0 (12 woningen)	+ (10 woningen)	+ (6 woningen)	++ (2 woningen)
Rookverspreiding				
-direct achter de woning	0	- ²⁾	0	-
-volgende ruimte	0	n.v.t. (=buiten)	+ (buitenbordes en trappenhuis)	0
Loopafstand	0	- (bovenste bouwlagen)	+ (in alle delen korter)	+ (in het doodlopend eind)
Loopsnelheid	0	- (struikelgevaar trap) ³⁾	0 ⁴⁾	0
Blootstellingsduur	0	- (combi snelheid/afstand)	+ ⁵⁾	0 ⁶⁾
Redundantie				
-vluchtrichting	0	--	0	- (na doodlopend eind: wel)
-vluchtroute	0	--	- ⁷⁾	- (na doodlopend eind: wel)
Totale persoonlijk risico	0	--	+	-

1. Dit betreft het aantal woningen dat op de besloten vluchtroute is aangewezen waaraan de woningen grenzen.
2. De rookverspreiding in een portiek kent een heel ander verloop dan bij de referentiesituatie. Afhankelijk van de brand- en vluchtlocatie is de beoordeling van de rookverspreiding zowel slechter dan de referentie (brandlocatie laag in trappenhuis, vluchtlocatie hoog in trappenhuis) als beperkt beter dan de referentiesituatie (brandlocatie hoog in het trappenhuis, vluchtlocatie laag in het trappenhuis). Gemiddeld zal de rookverspreiding vergelijkbaar zijn.
3. Dit betreft namelijk het mogelijk met rook gevulde portiek waar als extra risico struikelgevaar is.
4. De loopsnelheid op de horizontale delen in de situatie met het veiligheidstrappenhuis is vergelijkbaar met de referentie. De loopsnelheid op de trappen ook, maar met dien verstande dat er het struikelgevaar op trappen groter is.
5. Vanwege de beperktere loopafstand, niet-besloten ruimte en het veiligheidstrappenhuis is onze inschatting dat de blootstellingsduur ten opzichte van de referentie beperkt beter zal zijn.

6. De blootstellingsduur in het doodlopende eind betreft een combinatie tussen de rookverspreiding en de loopafstand. De rookverspreiding zal naar onze inschatting iets groter zijn ten opzichte van de referentiesituatie (rook kan in het doodlopende eind blijven hangen), maar de loopafstand is veel kleiner. Vandaar dat is uitgegaan van eenzelfde blootstellingsduur als de referentie, tevens omdat het doodlopende eind ook uitkomt op een corridor met een groter volume.
7. De situatie met het veiligheidstrappenhuis bestaat uit drie delen (besloten vluchtroute waaraan de woningen grenzen, de niet-besloten buitenruimte vóór het veiligheidstrappenhuis en het veiligheidstrappenhuis zelf). Alles overziend heeft alleen het veiligheidstrappenhuis geen redundante vluchtroute. De overige genoemde ruimten hebben zowel een redundante vluchtrichting als een redundante vluchtroute.

Uit deze paragraaf en uit de samenvattende tabel blijken de volgende zaken.

- > Het persoonlijk risico in de referentiesituatie en de situatie met het veiligheidstrappen- huis zijn gemiddeld genomen vergelijkbaar. De situatie met het veiligheidstrappenhuis is op onderdelen beperkt beter en beperkt slechter dan de referentiesituatie.
- > Zowel de situatie met het portiektrappenhuis als de situatie met het beperkt doodlopend eind zijn slechter dan de referentiesituatie, waarbij de portieksituatie in de samenvatting in de tabel als 'slechter' ten opzichte van de referentie is gekwalificeerd en het doodlopend eind als 'beperkt slechter'.
- > De lokaal slechtere condities als gevolg van rookverspreiding in combinatie met de loopafstand (> 30 m), vluchten over een trap (struikelgevaar) en het ontbreken van redundantie in zowel de vluchtrichting als de vluchtroute leiden voor de portieksituatie tot de kwalificatie 'slechter' in vergelijking met de referentiesituatie. Daartegenover staat dat er meestal in het portiek minder woningen zijn aangewezen op de enkele vluchtroute, en er dus in totaal minder personen worden blootgesteld aan rook aldaar.
- > De beperkt slechtere condities als gevolg van rookverspreiding in combinatie met het ontbreken van redundantie van zowel de vluchtrichting als de vluchtroute in het doodlopend eind leiden voor de situatie met het doodlopend eind tot de kwalificatie 'beperkt slechter' in vergelijking met de referentiesituatie. Daartegenover staat dat de loopafstand in het doodlopend eind beperkt is (en daarmee ook de blootstellingsduur) en dat er ná het passeren van het doodlopend eind weer sprake is van redundantie van zowel de vluchtrichting als de vluchtroute.
- > In het geval de zelfsluitende brand- en rookwerende woningtoegangsdeur functioneert, is er sprake van beperkte rookverspreiding naar de besloten vluchtroutes. Met het sluiten van de woningtoegangsdeur verbetert het zicht in de vluchtroute ten opzichte van een situatie met een openstaande deur. Bovendien is er bij een gesloten woningtoegangsdeur sprake van zodanige temperaturen en gasconcentraties dat de situatie voor een algemene doelgroep sterk verbetert en de condities niet levensbedreigend zijn. Desondanks is de rookverspreiding in de tabel voor de portieksituatie en het doodlopend eind gekwalificeerd als 'beperkt slechter', mede door de situatie die ontstaat als de deur wel open blijft staan. Naar onze inschatting ontstaat echter bij een goed functionerende zelfsluitende brand- en rookwerende woningtoegangsdeur ook in het portiek een situatie die vergelijkbaar is met de referentiesituatie.
- > Het falen van de zelfsluitendheid van de woningtoegangsdeur leidt in zowel de referentiesituatie als in de varianten tot een sterk beperkt zicht in korte tijd na het openen van de deur, en na verloop van tijd tot zodanige temperaturen en gasconcentraties dat niet veilig door de vluchtroute kan worden gevlucht. Bij een langer verblijf in de vluchtroute (corridor, trappenhuis) zijn deze condities levensbedreigend. Dat betekent dat een functionerende zelfsluitende deur van fundamenteel belang is om gedurende langere tijd door een besloten vluchtroute te kunnen vluchten.
- > Het falen van de zelfsluitende woningtoegangsdeur leidt in de portiek-situatie tot het grootste vluchtveiligheidsrisico in vergelijking met de andere situaties:
 - De blootstellingsduur aan de rook is voor de woningen boven in het trappenhuis het grootst (grootste loopafstand in combinatie met de meest ongunstige condities als gevolg van de rookverspreiding).
 - Vanwege het ontbreken van redundantie in de vluchtrichting bestaat de kans dat in een portiektrappenhuis bij een falende zelfsluitende deur langs een openstaande woningtoegangsdeur moet worden gevlucht. Het ontbreken van redundantie in de vluchtroute leidt er bovendien toe dat het trappenhuis geblokkeerd raakt bij brand

aldaar of in een aan het trappenhuis grenzende woning of ruimte zoals een meterruimte.

5 Kwantitatieve analyse

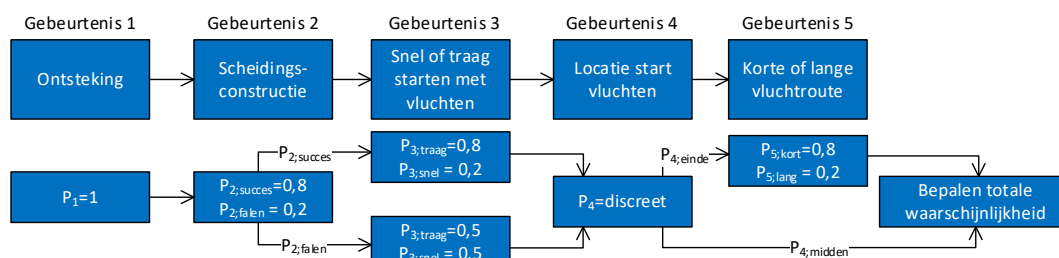
In dit hoofdstuk worden de resultaten van de kwantitatieve risicoanalyse behandeld, zoals beschreven in hoofdstuk 2. Eerst worden de resultaten voor de referentiesituatie behandeld, en vervolgens de resultaten voor een situatie met een portiektrappenhuis. Vervolgens worden de resultaten onderling vergeleken, de resultaten van de gevoeligheidsanalyse gepresenteerd en de mogelijke conclusies daarvan uitgewerkt.

De gebeurtenisbomen zijn op te vragen bij het NIPV. De andere resultaten zijn toegevoegd in de bijlages bij dit rapport.

5.1 Referentiesituatie: corridor

5.1.1 Toelichting variabelen

De waarschijnlijkheid van de verschillende scenario's (een serie van achter elkaar plaatsvindende gebeurtenissen) is bepaald aan de hand van de beschreven waarschijnlijkheden van de gebeurtenissen in dat scenario, zoals weergegeven in Tabel 2.1. Een samenvatting van de gekozen uitgangspunten en de wijze waarop de waarschijnlijkheid is bepaald, is gegeven in de volgende figuur.



Figuur 5.1 Werkvolgorde en uitgangspunten bij bepalen waarschijnlijkheid scenario

Door het systematisch in volgorde zetten van de gebeurtenissen en bijbehorende aftakkingen in de gebeurtenisboom ontstaan er twaalf scenario's. Per scenario is, middels de methode zoals beschreven in paragraaf 2.4.2, de (numerieke) consequentie bepaald. Deze is per scenario in bijlage 1 opgenomen.

5.1.2 Resultaat en beschouwing

In de tabel 5.2 en figuur 5.2 zijn de rekenresultaten voor de referentiesituatie weergegeven, uitgedrukt in een risico-index. De risico-index is de sommatie van alle scenario's waarin de numerieke consequentie is vermenigvuldigd met de waarschijnlijkheid van het optreden ervan.

Leeswijzer rekenresultaten risico-index

In Tabel 5.1, Tabel 5.3, Tabel 5.4 en Tabel 5.6 zijn voor verschillende situaties de rekenresultaten in de vorm van een risico-index opgenomen. Die risico-index is gepresenteerd in de vorm van een gemiddelde dat genomen is over de volledige lengte of hoogte van de vluchtroute. Daarnaast is voor een aantal relevante gebeurtenissen (zoals ontvluchting vanaf het midden van de corridor) uit de gebeurtenisboom een specifieke risico-index gegeven. Die risico-index geldt voor de beschreven gebeurtenis en is verkregen door de relevante scenario's waar de gebeurtenis deel van uitmaakt te sommeren en te delen door de waarschijnlijkheid die bij die gebeurtenis hoort. Op die manier is het mogelijk de waarden onderling te vergelijken.

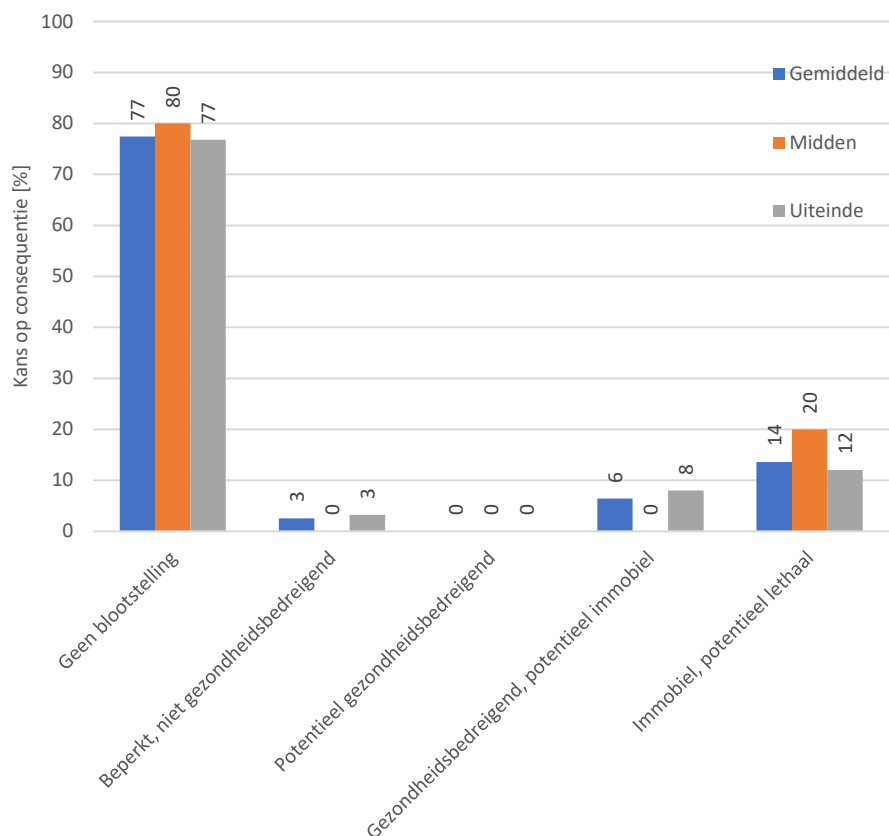
Bijvoorbeeld: in Tabel 5.1 is een aparte risico-index gegeven voor de personen die starten met vluchten in het midden van de corridor. Die personen dragen een hoger risico dan de personen die vluchten aan het uiteinde van de corridor. Die laatste groep draagt echter meer bij aan de gemiddelde risico-index, omdat de waarschijnlijkheid dat men start met vluchten aan het uiteinde van de corridor hoger is dan de waarschijnlijkheid dat men start met vluchten in het midden van de corridor. Zie ook paragraaf 2.4.1.

Tabel 5.1 Rekenresultaten referentiesituatie

	Risico-index [-]
Gemiddelde risico-index	0,17
Ontvluchting midden corridor	0,21
Ontvluchting uiteinde corridor	0,17

Uit de rekenresultaten in Tabel 5.1 blijkt dat personen die de vluchtroute betreden in het midden van de corridor (lees: in het midden wonen) een hoger persoonlijk risico dragen dan de personen die de vluchtroute betreden op het uiteinde van de corridor. Dit verschil is met name het gevolg van de (waarschijnlijk) kortere loopafstand door de corridor voor personen die starten met vluchten op het uiteinde van de corridor. Hoewel zij tevens kunnen kiezen voor de langere vluchtroute, is de waarschijnlijkheid dat zij dat doen kleiner dan de waarschijnlijkheid dat zij de korte vluchtroute kiezen.

De opbouw (waarschijnlijkheid per consequentie) van de risico-index is per consequentie-klasse (bijvoorbeeld geen blootstelling, immobiel enzovoort) nader gespecificeerd in Figuur 5.2. Daaruit blijkt dat voor personen die starten met vluchten in het midden van de corridor met name een hogere waarschijnlijkheid geldt voor de hoogste consequentie-klasse (immobiel, potentieel lethaal).



Figuur 5.2 Nadere specificering opbouw risico-index referentie

Leeswijzer rekenresultaten bij 'kans op consequentie-klasse'

In Tabel 5.2, Tabel 5.5 en Tabel 5.7 zijn de rekenresultaten van de risico-index nader uitgewerkt in de kans op een bepaalde consequentie-klasse gegeven een brand. Daarbij is aangegeven wat de kans op een FED < 0,3 en een FED ≥ 0,3 is. Een onderbouwing bij die waarde is gegeven in paragraaf 2.4.2. In het geval van een FED ≥ 0,3 kan sprake zijn van een beperkte (potentieel gezondheidsbedreigend, FED ≥ 0,3 < 0,5) of vergaande (immobiel, potentieel lethaal, FED ≥ 0,5) overschrijding van de grenswaarde. In de tabel is daarom aangegeven wat het aandeel van de consequentie-klasse aan de overschrijding is. Zo wordt een indicatie gegeven van de ernst van de overschrijding.

Tabel 5.2 Kans op consequentie-klasse in referentie

	Kans op consequentie [%]	
	FED < 0,3 (geen blootstelling / beperkte blootstelling / potentieel gezondheidsbedreigend)	FED ≥ 0,3 (gezondheidsbedreigend / potentieel lethaal)
Gemiddelde waarde	80	20 (6/14)
Ontvluchting midden corridor	80	20 (0/20)

Uit de rekenresultaten blijkt dat personen die door de corridor vluchten in circa 80 % van de scenario's veilig kunnen vluchten. In 20 % van de gevallen zijn de consequenties gezondheidsbedreigend of mogelijk lethaal ($FED > 0,3$). Er is dus sprake van een betrouwbaarheid van 80 %. Wel is de kans op immobiele, mogelijk lethale consequenties circa 8 % hoger wanneer wordt gestart met vluchten in het midden van de corridor, dan wanneer wordt gestart aan het uiteinde daarvan. Uit de resultaten blijkt dat de consequenties van een brand een tweeledig karakter vertonen: óf er is sprake van beperkte blootstelling ($FED < 0,3$), óf er treden vergaande consequenties op ($FED \geq 0,3$). Bepalend daarbij is dat de deur naar de woning waarin zich de brand bevindt daadwerkelijk sluit en gesloten blijft.

De betrouwbaarheid van de zelfsluitendheid van de toegangsdeur van de woningen staat ongeveer gelijk aan de kans dat veilig vluchten mogelijk is. Voorbeeld: het hanteren van een betrouwbaarheid van 90 % voor de zelfsluitende deur resulteert in situatie waarin in 90 % van de gevallen voldoende veilig kan worden gevlucht.

Als de zelfsluitendheid van de deur is gegarandeerd, is de rookverspreiding naar de vluchtroute beperkt, zodat het minder van belang is of er in de vluchtroute wordt gekozen voor de lange of korte loopafstand.

Betrouwbaarheid ontvluchtingsprincipe referentiesituatie, twee methoden

In (Brandweeracademie, 2022b) is de betrouwbaarheid van het ontvluchtingsprincipe middels een ASET-RSET vergelijking inzichtelijk gemaakt. Daaruit bleek, voor een situatie die op hoofdlijnen, gelijk is aan de situatie die hier is onderzocht, een betrouwbaarheid van 71 %, terwijl in dit onderzoek een betrouwbaarheid van 80 % is gevonden. In het genoemde onderzoek uit 2022 is de betrouwbaarheid bepaald door middel van de voorspelling van de brand- en rookverspreiding. In het huidige onderzoek zijn kwalitatieve uitgangspunten met een bandbreedte gehanteerd. Dat maakt een een-op-een vergelijking niet mogelijk, maar de resultaten liggen in dezelfde orde van grootte.

5.2 Portieksituatie met 3, 4 of 5 bouwlagen

In deze paragraaf worden de rekenresultaten voor een portieksituatie met drie, vier of vijf bouwlagen gepresenteerd en toegelicht.

5.2.1 Aantal bouwlagen portieksituatie

Zoals beschreven in de kwalitatieve analyse zijn het aantal bouwlagen van een portiek-trappenhuis en de bouwlaag van de woning waarin de brand aanwezig is medebepalend voor het persoonlijk risico. In een trappenhuis met meer bouwlagen moet vanuit de bovenste woningen een langere loopafstand worden afgelegd. In dat geval zal echter ook een groter en meer verdund rookvolume ontstaan. Een lager trappenhuis heeft dus als voordeel dat de loopafstanden beperkter zijn, maar als nadeel dat de dichtheid van de rook, de gasconcentraties en temperaturen hoger zijn dan in een hoger trappenhuis. In deze paragraaf zijn daarom de risico's voor situaties met drie, vier en vijf bouwlagen inzichtelijk gemaakt. Het gekozen aantal bouwlagen past binnen de kaders van de regelgeving voor nieuwbouw,

waarbij een trappenhuis met vijf bouwlagen de maximaal toegestane hoogte van een portiek is.

5.2.2 Rookverspreidingsscenario's

Zoals in paragraaf 2.4.2 is aangegeven, is voor het inschatten van de consequentie voor de portieksituatie uitgegaan van drie rookverspreidingsscenario's:

1. Stratificatie
2. Uitgezakte rooklaag
3. Uniforme opmenging.

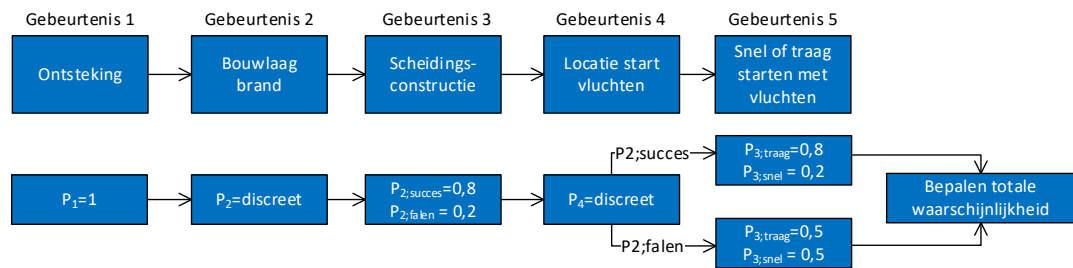
Voor de duidelijkheid en het interpreteren van de resultaten zijn de rookverspreidingsscenario's hieronder nogmaals weergegeven. De uitgangspositie en variabelen met betrekking tot deze scenario's zijn nader beschreven in paragraaf 2.4.2.



Figuur 5.3 Rookverspreidingsscenario's ([1] linksboven: stratificatie, [2] linksonder: uitgezakte rooklaag, [3] rechtsboven: uniforme menging)

5.2.3 Toelichting variabelen

De waarschijnlijkheid van de verschillende scenario's is bepaald aan de hand van beschreven waarschijnlijkheden van de gebeurtenissen in dat scenario, zoals beschreven in Tabel 2.2. Een samenvatting van de gekozen uitgangspunten en de wijze waarop de waarschijnlijkheid is bepaald, worden gegeven in de figuur 5.4 op de volgende pagina.



Figuur 5.4 Werkvolgorde en uitgangspunten bij bepalen waarschijnlijkheid scenario

Door het systematisch op volgorde zetten van de gebeurtenissen en bijbehorende aftakkingen in de gebeurtenisbomen ontstaan er 32 scenario's (drie bouwlagen), 62 scenario's (vier bouwlagen) en 100 scenario's (vijf bouwlagen) voor rookverspreidingsscenario 1 (stratificatie) en 2 (uitgezakte rooklaag). In het geval van rookverspreidingsscenario 3 (uniforme menging) is de bouwlaag waar de brand ontstaat (gebeurtenis 2) niet relevant voor de rekenresultaten en zodoende niet opgenomen in de gebeurtenisbomen. In rookverspreidingsscenario 3 zijn namelijk de temperaturen en gasconcentraties op alle bouwlagen gelijk. In dat geval is sprake van 12 scenario's (drie bouwlagen), 16 scenario's (vier bouwlagen) en 20 scenario's (vijf bouwlagen). Per scenario is, middels de methode beschreven in paragraaf 2.4.2, de consequentie bepaald. De bepaalde consequentie is per scenario in bijlage 1 opgenomen.

5.2.4 Resultaat en beschouwing

In de volgende tabel zijn de rekenresultaten voor de portieksituatie weergegeven, uitgedrukt in een risico-index. De risico-index is de sommatie van alle scenario's waarin de numerieke consequentie is vermenigvuldigd met de waarschijnlijkheid op het optreden ervan.

Tabel 5.3 Rekenresultaten risico-index portieksituatie, locatie start vluchten, met drie, vier en vijf bouwlagen

	Risico-index [-] drie bouwlagen			Risico-index [-] vier bouwlagen			Risico-index [-] vijf bouwlagen		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Rookverspreidingsscenario	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Gemiddelde waarde	0,15	0,18	0,15	0,14	0,13	0,14	0,11	0,11	0,12
Vluchtlocatie begane grond	0,05	0,07	0,07	0,02	0,03	0,05	0,02	0,02	0,04
Vluchtlocatie eerste verdieping	0,15	0,21	0,15	0,08	0,08	0,13	0,03	0,04	0,07
Vluchtlocatie tweede verdieping	0,30	0,27	0,21	0,17	0,21	0,15	0,09	0,11	0,13
Vluchtlocatie derde verdieping	--	--	--	0,32	0,23	0,21	0,16	0,19	0,15
Vluchtlocatie vierde verdieping	--	--	--	--	--	--	0,27	0,22	0,21

De rekenresultaten laten zien dat de bouwlaag waarvandaan wordt gevluht sterk bepalend is voor het persoonlijk risico van de vluchtende personen. Het persoonlijk risico van personen die vanaf de hoogste verdieping in het trappenhuis vluchten, is groter dan het risico van personen die vanaf de begane grond vluchten. Personen die vluchten vanaf de hoogste verdieping hebben een langere blootstellingduur en worden in meer scenario's blootgesteld aan rook. Dit is met name goed zichtbaar in rookverspreidingsscenario's 1 (stratificatie) en 2 (uitgezakte rooklaag). De verschillen zijn minder groot in rookverspreidingsscenario 3 (uniforme menging), omdat de temperaturen en gasconcentraties in alle brandscenario's gelijk zijn. Enkel de blootstellingsduur verschilt in dat geval.

Verschillen tussen rookverspreidingsscenario's

Er bestaan relatief grote verschillen onderling tussen de verschillende rookverspreidingsscenario's. Die scenario's zijn bepalend voor de blootstellingsduur, gasconcentraties, temperaturen en de hoeveelheid bouwlagen die wordt blootgesteld aan rook. Zodoende is ook de locatie waar de brand ontstaat relevant. Dit is weergegeven in tabel 5.4. Afhankelijk van het rookverspreidingsscenario zullen meer bouwlagen worden blootgesteld bij een brand op de begane grond, dan bij een brand op de tweede verdieping. In het geval van het rookverspreidingsscenario waarbij is uitgegaan van uniforme menging is de bouwlaag waar de brand is niet relevant. Daarbij is ongeacht de locatie van de brand hetzelfde rookvolume verondersteld.

Tabel 5.4 Rekenresultaten risico-index, locatie brand, portieksituatie met drie, vier en vijf bouwlagen

	Risico-index [-] drie bouwlagen			Risico-index [-] vier bouwlagen			Risico-index [-] vijf bouwlagen		
	1	2	3*	1	2	3*	1	2	3*
Rookverspreidingsscenario									
Gemiddelde waarde	0,15	0,18	0,15	0,14	0,13	0,14	0,11	0,11	0,12
Brandlocatie begane grond	0,20	0,20	-	0,17	0,17	-	0,13	0,13	-
Brandlocatie eerste verdieping	0,14	0,15	-	0,15	0,15	-	0,14	0,13	-
Brandlocatie tweede verdieping	0,11	0,18	-	0,15	0,12	-	0,12	0,13	-
Brandlocatie derde verdieping	-	-	-	0,08	0,10	-	0,08	0,10	-
Brandlocatie vierde verdieping	-	-	-	-	-	-	0,07	0,08	-

* bij uniforme menging is geen onderscheid gemaakt in brandlocaties.

Toename persoonlijk risico bij lager trappenhuis

Wat tevens opvalt aan de rekenresultaten, is dat het persoonlijk risico toeneemt wanneer het trappenhuis een of twee bouwlagen lager wordt. In het geval van een trappenhuis met drie bouwlagen worden hoge consequenties van rookverspreiding minder uitgemiddeld dan het geval is in een trappenhuis met meer bouwlagen, waardoor ze zwaarder wegen op de gemiddelde risico-index. Daarbij komt dat de waarschijnlijkheid op een bepaald scenario in

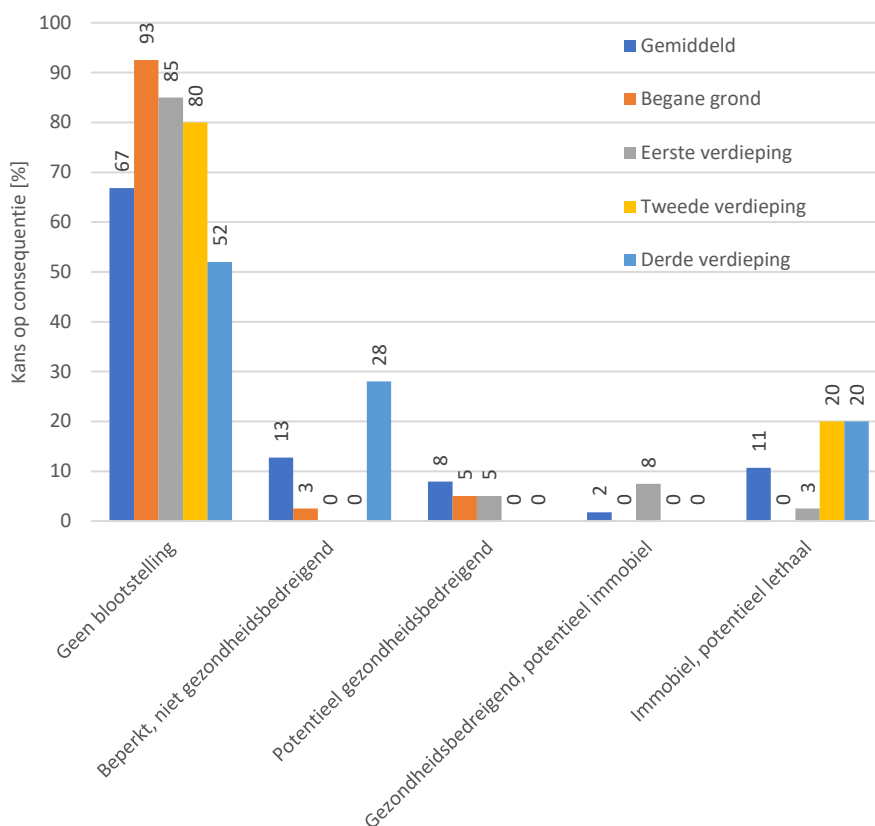
een trappenhuis lager is dan de waarschijnlijkheid van datzelfde scenario in een trappenhuis met minder bouwlagen; doordat voor de waarschijnlijkheid van de ontstaanslocatie van brand is uitgegaan van een discrete verdeling, is die waarschijnlijkheid bij meer bouwlagen lager. Hetzelfde geldt voor de locatie waarvandaan wordt gevluht.

Als in de bepaling van de risico-index was uitgegaan van een meer realistische kans op brand, die vaak wordt weergegeven als kans op ontsteking per vierkante meter of per woning, zou de kans op brand op een verdieping gelijk blijven, ongeacht het aantal bouwlagen. In dat geval resulteert een lager trappenhuis wel degelijk in een lagere risico-index dan een hoger trappenhuis.

Hoewel de loopafstanden in een trappenhuis met minder bouwlagen korter worden in vergelijking met een trappenhuis met meer bouwlagen (afhankelijk van waar wordt gevluht), nemen de temperaturen en gasconcentraties in het lagere trappenhuis wel toe door een beperkter rookvolume. De toegenomen temperaturen en gasconcentraties kunnen in die gevallen zwaarder wegen dan de beperktere blootstellingsduur door de kleinere loopafstand.

Rookverspreidingsscenario 2: uitgezakte rooklaag

In dit onderzoek is uitgegaan van twee extreme rookverspreidingsscenario's (1 en 3) en één scenario dat ertussen ligt (2: uitgezakte rooklaag). In de volgende grafiek (Figuur 5.5) en Tabel 5.5 zijn voor rookverspreidingsscenario 2 de rekenresultaten voor de risico-index nader gespecificeerd per consequentie-klasse. Op die manier kan worden afgeleid wat de kans voor vluchtende personen is op een bepaalde consequentie. De resultaten van de andere rookverspreidingsscenario's zijn opgenomen in bijlage 2.



Figuur 5.5 Nadere specificatie verdeling consequenties, portiek met 4 bouwlagen voor rookverspreidingsscenario 2

Uit de rekenresultaten, weergegeven in Figuur 5.5, valt op te maken dat het sluiten van de deur van de woning waarin de brand zich bevindt essentieel is voor de vluchtveiligheid in het trappenhuis. Bij een gesloten deur is veilig vluchten in 80 % van de gevallen mogelijk; dit is gelijk aan de waarschijnlijkheid dat de deur open blijft staan. Met name op de hoger gelegen bouwlagen resulteert het open blijven staan van de deur in blootstelling aan rook met gezondheidsbedreigende of lethale consequenties. Lager in het trappenhuis is dat minder het geval en is veilig vluchten soms nog mogelijk. In dat geval is de locatie waar de brand is ontstaan relevant (bijvoorbeeld een brand op de tweede verdieping terwijl wordt gevlucht vanaf de begane grond).

In Tabel 5.5 is de kans op een FED hoger of gelijk aan 0,3 weergegeven voor rookverspreidingsscenario 2. Zowel de gemiddelde kans als de kans per verdieping waarvandaan wordt gevlucht zijn gegeven. Ook in dit geval is de spreiding over de verschillende bouwlagen groot. Een voorbeeld daarvan is dat afhankelijk van het aantal bouwlagen van het portiek personen die starten met vluchten op de bovenste bouwlaag 13 % (drie bouwlagen) tot 20 % (vier en vijf bouwlagen) meer risico lopen op gezondheidsbedreigende of mogelijk lethale consequenties ($FED \geq 0,3$) dan personen die starten met vluchten op de begane grond. Andere rookverspreidingsscenario's laten een spreiding van gelijke orde-grootte zien: 10 % (uniforme menging bij vier bouwlagen) tot 24 % (gestratificeerd bij vier bouwlagen). Onafhankelijk van het rookverspreidingsscenario is in ieder geval duidelijk dat de verschillen qua persoonlijk risico over de hoogte van het trappenhuis groot zijn.

Tabel 5.5 Kans op consequentie bij portieksituatie voor rookverspreidingsscenario 2 (zie het blauwe kader op pagina 71 voor leeswijzer bij resultaten)

	Kans op consequentie [%]					
	Drie bouwlagen		Vier bouwlagen		Vijf bouwlagen	
	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheids- bedreigend/ potentieel lethaal)	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheids- bedreigend/ potentieel lethaal)	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheids- bedreigend/ potentieel lethaal)
Gemiddelde waarde	85	15 (2/13)	87	13 (2/11)	89	11 (3/8)
Vluchtlocatie begane grond	93	7 (4/3)	100	0 (0/0)	100	0 (0/0)
Vluchtlocatie eerste verdieping	80	20 (3/17)	85	10 (7/3)	98	2 (2/0)
Vluchtlocatie tweede verdieping	80	20 (0/20)	80	20 (0/20)	86	14 (8/6)

Vluchtlocatie derde verdieping	-	-	80	20 (0/20)	80	20 (4/16)
Vluchtlocatie vierde verdieping	-	-	-	-	80	20 (0/20)

Ten slotte wordt de kans op een FED > 0,3 voor personen die starten met vluchten op de bovenste bouwlagen vrijwel volledig gevormd door de hoogste consequentie-klasse (FED > 0,5), terwijl die op de lageregelegen verdiepingen minder bepalend is. Kortom: als voor personen die starten met vluchten op de bovenste bouwlagen de grens voor de FED van 0,3 wordt overschreden, is er ook sprake van een hoger risico op lethale consequenties dan voor personen die starten met vluchten op een lageregelegen bouwlaag.

5.3 Vergelijking referentie en portiek

In deze paragraaf worden de resultaten van de referentie- en de portieksituatie met elkaar vergeleken.

5.3.1 Rookverspreidingsscenario 2

In eerste instantie zijn voor het portiek de rekenresultaten voor rookverspreidingsscenario 2 gebruikt, omdat deze waarschijnlijk de realiteit het best benaderen. In paragraaf 5.3.2 is nader ingegaan op de andere twee rookverspreidingsscenario's.

Tabel 5.6 Vergelijking risico-index referentie en portieksituatie

	Referentie	3 bouwlagen (relatief verschil met gemiddelde waarde corridor in %)	4 bouwlagen (relatief verschil met gemiddelde waarde in corridor in %)	5 bouwlagen (relatief verschil met gemiddelde waarde in corridor in %)
Gemiddelde waarde	0,17	0,18 (+6)	0,13 (-24)	0,11 (-35)
Vluchtlocatie begane grond	-	0,07 (-59)	0,03 (-82)	0,02 (-88)
Vluchtlocatie eerste verdieping	-	0,21 (+24)	0,08 (-53)	0,04 (-76)
Vluchtlocatie tweede verdieping	-	0,27 (+59)	0,21 (+24)	0,11 (-35)
Vluchtlocatie derde verdieping	-	--	0,23 (+35)	0,19 (+12)
Vluchtlocatie derde verdieping				0,22 (+29)

Uit Tabel 5.6 volgt dat de gemiddelde risico-index van een portiek met drie, vier of vijf bouwlagen niet significant hoger is dan die van de referentie. Sterker nog, de risico-index van een portiek met vier en vijf bouwlagen is respectievelijk 24 % en 35 % lager dan de referentie. Een vergelijking van de gemiddelde waarden doet in eerste instantie vermoeden dat de aanwezigheid van een tweede vluchtroute weinig toevoegt.

De locatie waarvandaan wordt gevlucht, is in een portiek daarentegen meer bepalend voor het persoonlijk risico dan bij de referentie. Nader gespecificeerd is de risico-index voor de bovenste bouwlaag in een portiek met drie of vijf bouwlagen respectievelijk 29 % tot 59 % hoger dan de gemiddelde waarde van de referentie. Hoewel de referentie ook verschillen laat zien waar het gaat om de locatie waarvandaan wordt gestart, zijn die verschillen minder groot dan de verschillen in de portieksituaties. In de corridor is het verschil tussen vluchten vanaf het midden van de corridor vergeleken met het uiteinde van de corridor ongeveer een factor 1,2 (zie paragraaf 5.1.2), terwijl onderlinge verschillen in de portiek uiteenlopen van een factor 4 (drie bouwlagen) tot 11 (vijf bouwlagen).

Redundante vluchtroutes

Niet alleen de locatie waar de vluchtroute wordt betreden is belangrijk in de vergelijking tussen de referentie- en portieksituatie. Ook de redundantie door de aanwezigheid van minimaal twee vluchtroutes is van belang. Buiten het feit dat die redundantie resulteert in kortere loopafstanden door de vluchtroute, hoeven vluchtende personen ook niet langs een openstaande deur naar de brandruimte te vluchten, mocht die open blijven staan. Dicht bij de openstaande deur zal er sprake zijn van hogere temperaturen en gasconcentraties dan op enige afstand van de deur. Omdat er in de bepalingsmethode voor de consequenties is uitgegaan van een rookvolume met een uniforme samenstelling qua temperatuur en gasconcentraties, kan het al dan niet langs de openstaande deur vluchten niet worden meegewogen in de methode. Desondanks is volgens de gebruikte methode veilig vluchten in veel scenario's waarin de deur blijft openstaan niet mogelijk, dus het is maar de vraag in hoeverre de kwantitatieve vergelijking daarmee verandert.

Een nadere specificering van de resultaten uit Tabel 5.10 op basis van de verdeling van de consequenties is gegeven in Tabel 5.7. Daaruit blijkt dat personen boven in een portiektrappenhuis met drie, vier of vijf bouwlagen een gelijke kans hebben op gezondheidsbedreigende of lethale consequenties ($FED \geq 0,3$) dan het geval is in de referentiesituatie. Die kans bedraagt 20 % en is gelijk aan de gekozen waarschijnlijkheid voor het open blijven staan van de toegangsdeur van de woning waarin de brand zich bevindt. Voor personen die starten met vluchten op de bovenste bouwlaag van de portieken wordt de kans op $FED \geq 0,3$ volledig gevormd door de hoogste consequentie-klasse (potentieel lethaal, $FED \geq 0,5$), terwijl de kans op die consequentie-klasse in de referentie 14 % bedraagt. Dat betekent dat personen die starten met vluchten boven in een portiek (ongeacht het aantal bouwlagen) een hogere kans lopen op potentiële, lethale consequenties (ongeveer 6 % meer) dan personen die starten met vluchten in de referentiesituatie.

Tabel 5.7 Kans op consequentie, vergelijking referentie met portiek

	Kans op consequentie [%]							
	Referentie		Portiek 3 bouwlagen		Portiek 4 bouwlagen		Portiek 5 bouwlagen	
	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheidsbedreigend / potentieel lethaal)	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheidsbedreigend / potentieel lethaal)	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheidsbedreigend / potentieel lethaal)	FED<0,3	FED≥0,3 (gezondheidsbedreigend / potentieel lethaal)
Gemiddeld	80	20 (6/14)	85	15 (2/13)	87	13 (2/11)	89	11 (3/8)
Begane grond	-	-	93	7 (4/3)	100	0 (0/0)	100	0 (0/0)
Eerste verdieping	-	-	80	20 (3/17)	85	10 (7/3)	98	2 (2/0)
Tweede verdieping	-	-	80	20 (0/20)	80	20 (0/20)	86	14 (8/6)
Derde verdieping	-	-	-	-	80	20 (0/20)	80	20 (4/16)
Vierde verdieping	-	-	-	-	-	-	80	20 (0/20)

Personen die starten met vluchten op de begane grond in een portiektrappenhuis lopen een kleinere (13 % minder bij drie bouwlagen tot 20 % minder bij vier en vijf bouwlagen) kans op gezondheidsbedreigende of lethale consequenties ($FED \geq 0,3$) in vergelijking met de referentiesituatie. Dat betekent dat in de portieksituatie – ook in bepaalde scenario's waarin de deur van de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan – de aanwezigen veilig kunnen vluchten. Dit is met name het geval bij scenario's met een brand in een hoger gelegen bouwlaag, terwijl wordt gevlucht op een van de bouwlagen onder in het trappenhuis. Dit is in de referentiesituatie niet het geval.

In het portiek is de waarschijnlijkheid van 'potentieel gezondheidsbedreigende' ($FED \geq 0,1 < 0,3$) consequenties met name voor personen die de vluchtroute betreden op hoger gelegen bouwlagen groter dan in de referentiesituatie. Dit is het geval in bepaalde situaties waarin de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt gesloten is en loopafstanden door de rook lang zijn. Die consequentie-klasse is niet apart getoond in Tabel 5.7, maar is wel relevant voor de risico-index.

De verschillen in persoonlijk risico tussen een portiektrappenhuis en de referentiesituatie worden met name veroorzaakt door:

- > De langere vluchtroute en daarmee langere potentiële blootstellingsduur in het portiek. Met name op de bovenste bouwlagen is die duur langer dan in een corridor-situatie. Door de tweede vluchtroute is in de corridor de loopafstand korter dan op de bovenste bouwlagen van een portiek.

- > De totale blootstelling is daarnaast afhankelijk van de wijze waarop rook zich verspreidt over het volume van het portiek. Bij een brand hoger in het trappenhuis zal het rookvolume kleiner, maar zullen temperaturen en gasconcentraties hoger zijn. Personen die vluchten vanaf de hogere verdiepingen komen dan aan hogere temperaturen en gasconcentraties bloot te staan dan personen die vluchten vanaf de begane grond. In de referentiesituatie is de wijze waarop rook zich verspreidt niet (in de aangenomen methode) afhankelijk van de brandlocatie.

5.3.2 Andere rookverspreidingsscenario's

In de vorige paragraaf zijn de resultaten van rookverspreidingsscenario 2 vergeleken met de resultaten voor de corridor. De resultaten van die vergelijking zijn opgenomen in bijlage 2. De grootste afwijking is het feit dat in rookverspreidingsscenario 1 (stratificatie) de personen die starten met vluchten van de bovenste bouwlagen van de portiektrappenhuisen 23 % tot 25 % kans op gezondheidsbedreigende of lethale consequenties ($FED \geq 0,3$) hebben, terwijl dat 20 % is in rookverspreidingsscenario 2. Die verhoogde kans is het resultaat van relatief hoge temperaturen en gasconcentraties in de rooklaag bij een brand op de bovenste verdieping, waarbij de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt gesloten wordt. Die hoge concentraties leiden in dat scenario tot potentieel lethale consequenties. In de andere rookverspreidingsscenario's is dit niet het geval, omdat dan een verspreiding van rook over een groter volume wordt verondersteld.

Verder vertonen de rekenresultaten voor andere rookverspreidingsscenario's nuanceverschillen. Dit impliceert dat de aangenomen wijze waarop rook zich verspreidt door het trappenhuis beperkte consequenties heeft voor de rekenresultaten.

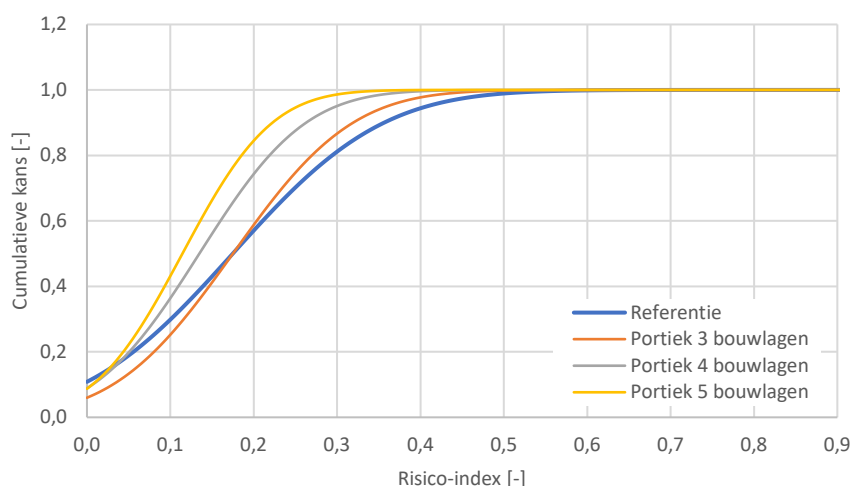
5.4 Gevoeligheidsanalyse

In deze paragraaf wordt de gevoeligheid van de rekenresultaten voor de stochastische variabelen beschreven. Daarbij is gebruikgemaakt van de methode die is beschreven in paragraaf 2.5. Eerst wordt stilgestaan bij de gevolgen voor de gemiddelde risico-index waarna de gevolgen voor de bouwlaag-specifieke index beoordeeld worden. Daarbij is rookverspreidingsscenario 2 gebruikt. Ten slotte worden de rekenresultaten voor de verschillende rookverspreidingsscenario's inzichtelijk gemaakt. De rekenresultaten zijn bijgevoegd in bijlage 3.

Door de wijze waarop de gevoeligheidsstudie is uitgevoerd, is alleen berekend wat de mogelijke spreiding van de gemiddelde risico-index en de bouwlaagspecifieke risico-index is.

5.4.1 Gemiddelde risico-index

De resultaten van de gevoeligheidsanalyse voor de gemiddelde risico-index zijn opgenomen in Figuur 5.6 en Tabel 5.8. Opvallend daaraan is dat de resultaten voor de referentiesituatie meer spreiding laten zien dan de resultaten voor portieksituaties. Als gevolg daarvan is de 80-percentielwaarde van de risico-index voor de referentiesituatie niet ongeveer even hoog (zoals de gemiddelde waarde), maar lager dan die voor het portiektrappenhuis met drie bouwlagen. Voor een portieksituatie met vier of vijf bouwlagen leidt de gevoeligheidsstudie niet tot andere uitkomsten, omdat in die gevallen de spreiding elkaar niet veel ontloopt.



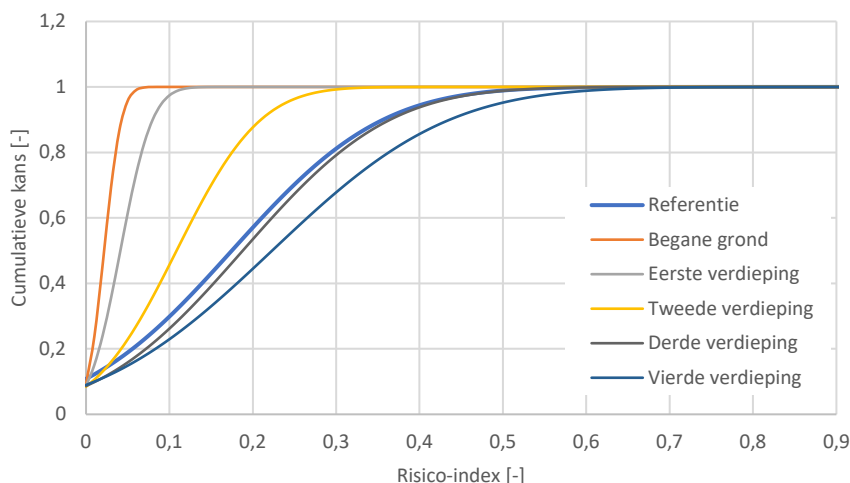
Figuur 5.6 Kansverdeling gemiddelde risico-index

Tabel 5.8 Gemiddelde en 80-percentielwaarden voor de gemiddelde risico-index

Risico-index	Referentie	Portiek 3 bouwlagen	Portiek 4 bouwlagen	Portiek 5 bouwlagen
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,26 (0,18)	0,21 (0,13)	0,18 (0,11)

5.4.2 Bouwlaag-specifieke risico-index

In Figuur 5.7 en Tabel 5.9 zijn de rekenresultaten uitgesplitst per bouwlaag (portiek met vijf bouwlagen) en vergeleken met de referentie. In tegenstelling tot de resultaten uit de vorige paragraaf, resulteert de vergelijking van 80-percentielwaarden wel in dezelfde conclusies dan wanneer de gemiddelde waarden worden gebruikt. Opvallend is dat de rekenresultaten op de begane grond een kleinere spreiding vertonen dan de resultaten op de hoger gelegen verdiepingen. Ditzelfde geldt voor de trappenhuizen met minder bouwlagen (zie bijlage 3). Hieruit blijkt dat met het toenemen van de hoogte van het portiektrappenhuis niet alleen het persoonlijk risico toeneemt, maar ook de onzekerheid van dat risico. De gevoeligheidsanalyse leidt niet tot andere resultaten dan gevonden voor de gemiddelde waarden.



Figuur 5.7 Kansverdeling bouwlaag-specifieke risico-index, vijf bouwlagen

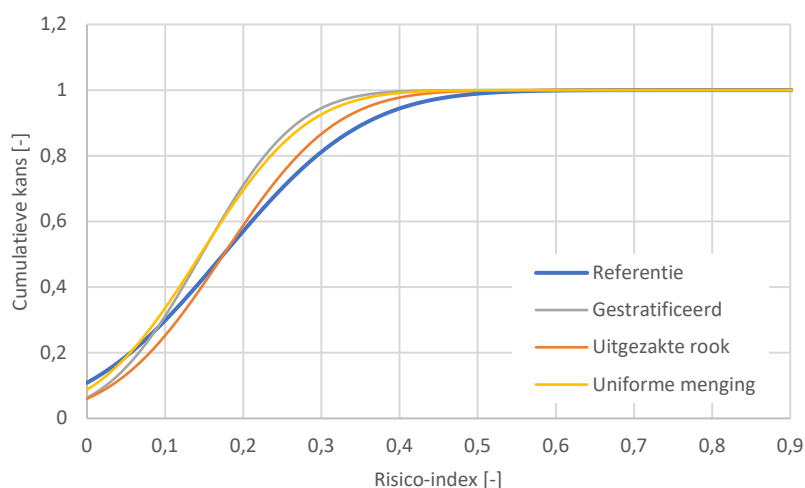
Tabel 5.9 Gemiddelde en 80-percentielwaarden voor de referentie- en portieksituatie (meerdere bouwlagen)

Risiko-index	Referentie	Begane grond	Eerste verdieping	Tweede verdieping	Derde verdieping	Vierde verdieping
Portiek drie bouwlagen						
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,11 (0,07)	0,31 (0,21)	0,40 (0,27)	-	-
Portiek vier bouwlagen						
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,04 (0,03)	0,12 (0,08)	0,32 (0,21)	0,34 (0,23)	-
Portiek vijf bouwlagen						
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,03 (0,02)	0,06 (0,04)	0,17 (0,11)	0,30 (0,19)	0,36 (0,22)

5.4.3 Rookverspreidingsscenario's

Uit de rekenresultaten opgenomen in bijlage 3 blijkt dat de wijze waarop de rookverspreiding van de woning waarin de brand zich bevindt naar het portiektrappenhuis wordt verondersteld, belangrijk is voor de rekenresultaten. In Figuur 5.8 is de spreiding van de rekenresultaten van de verschillende rookverspreidingsscenario's weergegeven voor een portiektrappenhuis met drie bouwlagen. In alle rookverspreidingsscenario's wordt het verschil tussen de referentie en de portieksituatie iets groter.

De gevoeligheidsanalyse leidt niet tot andere resultaten dan gevonden voor de gemiddelde waarden.



Figuur 5.8 Verdeling risico-index per rookverspreidingsscenario, drie bouwlagen

Tabel 5.10 Gemiddelde en 80-percentielwaarden voor verschillende rookverspreidingsscenario's

Risico-index	Referentie	1. Gestratificeerd	2. Uitgezakte rooklaag	3. Uniforme menging
Drie bouwlagen				
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,22 (0,15)	0,26 (0,18)	0,23 (0,15)
Vier bouwlagen				
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,22 (0,14)	0,21 (0,13)	0,23 (0,14)
Vijf bouwlagen				
80-percentiel (gemiddelde waarde)	0,29 (0,17)	0,17 (0,11)	0,18 (0,11)	0,18 (0,12)

5.5 Conclusie kwantitatieve analyse

Binnen de kaders van dit onderzoek is de waarschijnlijkheid dat veilig kan worden gevlucht uit de referentiesituatie 80 %. De betrouwbaarheid wordt grotendeels bepaald door een van de gebeurtenissen in de gebeurtenissenboom: mocht de deur naar de vluchtroute open blijven staan, dan is veilig vluchten in geen van de brandscenario's meer mogelijk. Of men start met vluchten dicht bij het veronderstelde uiteinde van de vluchtroute is in die gevallen slechts beperkt relevant.

Het persoonlijk risico in de portieksituatie is afhankelijk van:

- > **De locatie waar gestart wordt met vluchten**
De bouwlaag waarop wordt gestart met vluchten is bepalend voor het persoonlijk risico. Personen die op de bovenste bouwlaag beginnen te vluchten hebben, afhankelijk van de hoogte van het trappenhuis, meer kans op gezondheidsbedreigende of lethale consequenties ($FED \geq 0,3$) dan personen die starten met vluchten op de begane grond.
- > **Het aantal bouwlagen**
Het aantal bouwlagen van het portiektrappenhuis is bepalend voor de maximale potentiële loopafstand en dus voor de blootstellingsduur. Toch lijkt het persoonlijk risico niet af te nemen als er minder bouwlagen worden verondersteld. In een hoger trappenhuis wordt een groter en dus meer verdund rookvolume verondersteld. Dat laatste zorgt voor beperktere blootstelling. Bovendien worden in portiektrappenhuisen met meer bouwlagen de maatgevende consequenties minder weggemiddeld, omdat de kans daarop doorgaans iets beperkter is.
- > **De bouwlaag waar de brand is**
De locatie van de brand bepaalt in twee van de drie rookverspreidingsscenario's welke bouwlagen er worden blootgesteld aan rook. Bij een brand op de begane grond zullen meer personen worden blootgesteld aan rook dan bij een brand op de tweede verdieping. In het eerste geval ontstaat een groter, meer verdund rookvolume dan in het laatste geval. De locatie van de brand is minder bepalend dan de locatie vanwaar wordt gestart met vluchten.
- > **Het al dan niet sluiten van de deur van de woning waarin de brand zich bevindt**
Net als in de referentiesituatie is het sluiten van de deur nadat is gevlucht bepalend voor het persoonlijk risico.

De portieksituatie verhoudt zich als volgt tot de referentiesituatie:

- > Gemiddeld genomen verschilt het persoonlijk risico in een portieksituatie niet veel van de referentiesituatie, ongeacht het aantal bouwlagen.
- > De locatie waarvandaan gevlucht wordt, is in de portieksituatie grotendeels bepalend voor het persoonlijk risico, terwijl dat in de referentiesituatie minder van belang is.

De gevoeligheidsanalyse geeft ten slotte de volgende inzichten:

- > Het hanteren van de 80-percentielwaarden in plaats van gemiddelde waarden voor de risico-index resulteert niet in andere uitkomsten dan wanneer de gemiddelde waarden worden gebruikt. Hieruit kan worden geconcludeerd dat de spreiding van de stochastische variabelen ongeveer even grote gevolgen heeft voor de referentiesituatie als ze hebben voor de portieksituatie.
- > De onzekerheid van het bouwlaagspecifieke persoonlijk risico neemt sterk toe naarmate de hoogte van het trappenhuis toeneemt.

6 Oplossingsrichtingen

In hoofdstuk 4 is de referentiesituatie kwalitatief vergeleken met de verschillende verschijningsvormen van situaties met een enkele vluchtroute. In hoofdstuk 5 zijn de resultaten van een kwantitatieve risicoanalyse van de referentiesituatie en de portieksituatie vergeleken.

In dit hoofdstuk worden eerst de resultaten uit de kwalitatieve en kwantitatieve analyses kort onderling vergeleken. Daaruit zijn de aspecten die het meest bepalend zijn voor het persoonlijk risico in zowel de referentiesituatie als de situaties met een enkele vluchtroute afgeleid. Die aspecten zijn vervolgens gebruikt bij het formuleren van oplossingsrichtingen voor de verschillende situaties met een enkele vluchtroute. Ten slotte is per geanalyseerde variant met een enkele vluchtroute aangegeven welke oplossingsrichtingen (het meest) effectief zijn. Daarbij wordt primair ingegaan op de scenario's 'brand in de woning' en 'brand in een ruimte grenzend aan de vluchtroute'. Het brandscenario 'brand in de vluchtroute' is niet nader behandeld in dit hoofdstuk, omdat hier reeds eisen met nadere gebruiksbeperkingen van vluchtroutes voor worden opgenomen in de bouwregelgeving (zie paragraaf 1.7.2). Opgemerkt wordt dat de effectiviteit van die eisen sterk afhangt van naleving en handhaving.

6.1 Bepalende aspecten persoonlijk risico in vluchtroute

Om oplossingsrichtingen voor te kunnen stellen, wordt in deze paragraaf eerst uiteengezet wat de meest bepalende aspecten voor het persoonlijk risico in de vluchtroute zijn, ongeacht de verschijningsvorm van de enkele vluchtroute. Die aspecten zijn afgeleid uit de onderlinge vergelijking en combinatie van de resultaten uit de kwalitatieve en kwantitatieve analyse; ze worden in paragraaf 6.2 vertaald naar oplossingsrichtingen.

De omstandigheden in de vluchtroute

Uit zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse blijkt dat de omstandigheden waaraan vluchtende personen worden blootgesteld in de vluchtroute medebepalend zijn of veilig kan worden gevlucht. Lagere temperaturen en concentraties leiden in zowel de kwantitatieve als kwalitatieve analyse tot beperktere consequenties. De omstandigheden zijn een gevolg van de hiervoor beschreven bepalende aspecten; zo zal het beperken van de brandontwikkeling leiden tot een beperking van de verontreiniging in de vluchtroute.

De brand en omstandigheden in de brandruimte

De oorzaak van de rookverspreiding (en dus van het persoonlijk risico), namelijk de brand, is voor de referentie en voor de beoordeelde varianten met een enkele vluchtroute hetzelfde. Met dit uitgangspunt is in de kwalitatieve en kwantitatieve analyse namelijk niet gevarieerd. De brand, het brandvermogen, de drukopbouw en de mate van verontreiniging in de brandruimte als gevolg van de brand liggen echter wel ten grondslag aan de omstandigheden in de vluchtroute. Het ligt daarom voor de hand ook oplossingsrichtingen te formuleren die daarop ingrijpen.

Het sluiten van de woningtoegangsdeur en de waarschijnlijkheid daarvan

In zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse leidt het sluiten van de woningtoegangsdeur kort na het ontvluchten van de woning waarin de brand zich bevindt zowel bij de referentiesituatie als bij de varianten met een enkele vluchtroute tot beperkte rookverspreiding naar de besloten vluchtroute. In beide situaties is geen sprake van condities in de vluchtroute die veilig vluchten onmogelijk maken. Het open blijven staan van die deur leidt in veel van de beoordeelde scenario's daarentegen tot een situatie waarin veilig vluchten niet mogelijk is. Het sluiten van de woningtoegangsdeur is daarom grotendeels bepalend voor het persoonlijk risico.

Daarnaast zijn ook het tijdstip waarop de deur geopend wordt en de tijdsduur dat die open blijft staan bepalend voor de rookverspreiding naar de vluchtroute. Daarin is in de risicoanalyses niet gevarieerd, omdat die zijn gebaseerd op de resultaten van het onderzoek *Rookverspreiding in woongebouwen* (Brandweeracademie, 2020b) waarin die aspecten ook niet zijn gevarieerd. Het is dus niet mogelijk om die variatie mee te nemen in de kwantitatieve studie.

Uit de kwantitatieve analyse blijkt dat het persoonlijk risico in de portieksituatie voor personen die starten met vluchten op de bovenste bouwlagen wat hoger is dan het persoonlijk risico in de referentiesituatie in de scenario's waarin de deur gesloten wordt. Dit komt door de grotere loopafstand en daarmee langere blootstellingsduur in de portieksituatie in vergelijking met de referentie. Die nuance is niet gebleken uit de kwalitatieve analyse.

Het moment waarop de vluchtroute wordt betreden

Uit zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse blijkt dat het moment waarop de vluchtroute wordt betreden bepalend is voor de omstandigheden waaraan vluchtende personen worden blootgesteld. Die omstandigheden worden minder bedreigend naarmate de tijd vordert, waardoor het persoonlijk risico lager wordt. Dit is nader beschreven in paragraaf 2.4 en hoofdstuk 4.

Blootstellingsduur aan rook

Uit zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse blijkt dat de consequentie van een scenario een combinatie is van de blootstellingsduur aan rook en de omstandigheden in de vluchtroute. De blootstellingsduur wordt bepaald door de loopafstand door de rook en de snelheid waarmee wordt voortbewogen. Uit zowel de kwantitatieve als kwalitatieve analyse blijkt dat de verschillen waar het gaat om blootstellingsduur tussen de referentie en de varianten met een enkele vluchtroute groot zijn. Dit is met name het geval, omdat de loopafstanden verschillen. In alle gevallen zal de loopsnelheid beperkt zijn als gevolg van een beperkte zichtlengte in de vluchtroute.

De aanwezigheid van redundantie in de vluchtroute

Uit zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse blijkt dat het positieve effect van een eventuele tweede vluchtroute (zoals aanwezig in de referentie) een beperktere loopafstand en dus blootstellingsduur aan rook is. Uit de kwalitatieve analyse blijkt daarnaast dat een bijkomend positief effect is dat er bij een tweede vluchtroute niet langs de mogelijk openstaande toegangsdeur van de woning waarin de brand zich bevindt hoeft worden gevlucht. Uit de kwantitatieve analyse blijkt dat positieve effect voor de referentiesituatie beperkt te zijn, omdat er in scenario's waarin de woningtoegangsdeur open blijft staan nooit veilig kan worden gevlucht, ook niet als er een kortere vluchtroute beschikbaar is.

Het positieve effect van redundantie wat betreft vluchtroutes blijkt volgens de kwantitatieve analyse beperkt te zijn. Die conclusie is echter gebaseerd op een specifieke uitgangspositie; er is niet gevarieerd voor wat betreft de brand, het moment waarop de deur wordt geopend en hoe lang deze open blijft staan. Andere keuzes daaromtrent leiden mogelijk tot een andere conclusie.

6.2 Oplossingsrichtingen

Om het persoonlijk risico in situaties met een enkele vluchtroute te verlagen, kunnen brandveiligheidsvoorzieningen worden getroffen die ingrijpen op de aspecten die zijn beschreven in paragraaf 6.1. Daarbij is uitgegaan van het scenario met een brand in een woning. De oplossingsrichtingen zijn in lijn met paragraaf 4.4 uit het vooronderzoek getypeerd (Brandweeracademie, 2022):

Beperking enkele vluchtroute of extra maatregelen

“Het belangrijkste doel hierbij dient te zijn om de wet- en regelgeving omtrent het toepassen van een enkele vluchtroute weer aan te laten aansluiten op de huidige praktijk met veranderende omstandigheden. Hierbij kan gedacht worden aan de volgende opties. Deze opties gelden zowel voor nieuw te bouwen bouwwerken als voor bestaande bouwwerken:

- 1. Toepassing enkele vluchtroute beperken**
De rechtstreekse eisen voor de verschillende verschijningsvormen worden aangepast, zodat ze weer aansluiten op de huidige praktijk.
- 2. Extra maatregelen voor toepassing enkele vluchtroute**
Er worden extra eisen geïntroduceerd die rekening houden met de veranderde omstandigheden, zodat weer voldaan wordt aan de uitgangspunten voor een enkele vluchtroute.” (Brandweeracademie, 2022, p. 46)

Bij de uitwerking van de oplossingsrichtingen is aangegeven of het gaat om een *aanpassing* of *aanvulling* op de huidige bouwregelgeving. In de volgende paragrafen wordt kort ingegaan op het werkingsprincipe van de volgende oplossingsrichtingen, opgenomen in willekeurige volgorde:

- > verhogen betrouwbaarheid zelfsluitend mechanisme
- > beperken loopafstand in de enkele vluchtroute en/of maximaal aantal bouwlagen
- > automatische brandbestrijdingsinstallatie
- > drukvereffening
- > rookbeheersingsinstallatie in de vluchtroute
- > redding door de brandweer als tweede vluchtroute.

Daarbij wordt opgemerkt dat voornoemde oplossingsrichtingen niet alleen kunnen worden gebruikt om het persoonlijk risico in de varianten met een enkele vluchtroute te verlagen, maar dat ze ook dat risico kunnen verlagen in de referentiesituatie.

6.2.1 Verhogen betrouwbaarheid zelfsluitende deur

Werkingsprincipe en risicobeperking

Uit zowel de kwalitatieve als kwantitatieve analyse blijkt dat het na ontvluchting sluiten van de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt bepalend is voor het persoonlijk risico in de vluchtroute. Het verhogen van de betrouwbaarheid van de zelfsluitendheid van de deur resulteert in een verlaging van de waarschijnlijkheid van scenario's met een hoge consequentie en dus in een verlaging van het persoonlijk risico. Het verhogen van de betrouwbaarheid kan op meerdere manieren, bijvoorbeeld:

- > *Verbetering van betrouwbaarheid mechanisme*: het zelfsluitendheidsmechanisme op de deur intrinsiek betrouwbaarder maken resulteert in een hogere kans dat de deur sluit, nadat deze geopend is. Het betrouwbaarder maken van het mechanisme kan bijvoorbeeld door de aansturing ervan niet alleen vanuit de woning te laten verlopen, maar ook vanuit het trappenhuis. Dit is beschreven in het rapport *Verschillen Bouwbesluit 2012 en Besluit bouwwerken leefomgeving* (van der Graaf et al., 2022, p. 36).
- > *Redundant uitvoeren van brand- en rookscheidingen*: door een extra brand- en rookscheiding (met zelfsluitende deur) aan te brengen tussen de woning en het trappenhuis, wordt de waarschijnlijkheid verkleind dat een van de deuren open blijft staan gedurende het vluchten.

Het is de verwachting dat de verlaging van de kans op nadelige consequenties ervoor zorgt dat het persoonlijk risico in de enkele vluchtroute gelijk of lager is dan in de referentiesituatie.

Gevoeligheid voor gebruikersinvloeden

Door een brandveiligheidsvoorziening redundant uit te voeren, wordt deze ook minder gevoelig voor gebruikersinvloeden zoals het onklaar maken van de voorziening.

Implementatie in regelgeving, beheer en onderhoud

Het doorvoeren van een verbetering van de betrouwbaarheid van het zelfsluitendheidsmechanisme of het redundant uitvoeren van brand- en rookscheidingen vereist een *aanvulling* op de bouwregelgeving.

Bekeken vanuit een praktisch oogpunt kunnen het beheer en onderhoud van brandveiligheidsvoorzieningen (in de particuliere omgeving (de woning) lastig zijn. De onderhoudspartij is daarvoor aangewezen op medewerking van de bewoners. Daarnaast kan het opnemen van rookdetectie in een door particulieren gedeeld trappenhuis resulteren in onduidelijkheden wat betreft beheer; het is dan immers niet altijd duidelijk wie verantwoordelijk is voor de staat van de installatie.

6.2.2 Beperken loopafstand in de enkele vluchtroute en/of maximaal aantal bouwlagen

Werkingsprincipe en risicobeperking

Het beperken van de loopafstand in de enkele vluchtroute of het beperken van het maximaal aantal bouwlagen in de portieksituatie resulteert in een kortere blootstellingsduur aan rook. De blootstellingsduur bepaalt samen met de omstandigheden in de vluchtroute de gevolgen van brand; het beperken van de loopafstand resulteert daarom vaak in minder hoge consequenties en daarom in een lager persoonlijk risico.

Het beperken van de maximale loopafstand leidt logischerwijs tot een kleiner volume van de vluchtroute waarin rook zich kan verspreiden. Uit de kwantitatieve analyse is gebleken dat het kleinere rookvolume leidt tot hogere temperaturen en gasconcentraties waaraan vluchtende personen worden blootgesteld. Het beperken van de loopafstand of het maximaal aantal bouwlagen leidt dus niet altijd tot een lager persoonlijk risico.

Hoewel een beperking van de loopafstand en/of het beperken van het aantal bouwlagen dus niet altijd leidt tot een beperking van het persoonlijke (individuele) risico, kunnen er vanwege de kleinere

vluchtroute wel minder woningen op uitkomen. Er worden daarom minder personen blootgesteld aan de omstandigheden in de vluchtroute, waardoor het *groepsrisico* (zie paragraaf 2.1.3) wel afneemt.

Met de afname van het groepsrisico in het achterhoofd is het de verwachting dat het beperken van het aantal bouwlagen (en dus woningen) dat gebruikmaakt van de vluchtroute ervoor zorgt dat het persoonlijk risico ten minste gelijk is of lager wordt dan in de referentiesituatie het geval is.

Implementatie in regelgeving, beheer en onderhoud

Het beperken van de loopafstand in de vluchtroute of het maximaal aantal bouwlagen vereist een *aanpassing* van de bouwregelgeving. Deze oplossingsrichting heeft geen consequenties voor beheer en onderhoud, omdat ze geen brandveiligheidsvoorziening is, maar zich direct uit in het bouwkundige ontwerp.

6.2.3 Automatische brandbeheersingsinstallatie

Werkingsprincipe en risicobeperking

Een automatische brandbeheersingsinstallatie zoals een sprinkler wordt aangebracht in de woningen. Een brandbeheersingsinstallatie zorgt voor een beperking van de brandontwikkeling en het brandvermogen, koelt de omgeving en beperkt de ontwikkeling van verbrandingsproducten zoals roet en CO. Door de beperking in het brandvermogen en de koelende werking wordt de drukontwikkeling in de brandruimte positief beïnvloed, waardoor er minder rookverspreiding naar naastgelegen ruimten plaatsvindt. De effecten van een automatische brandbeheersingsinstallatie zijn reeds onderzocht in de rapporten *Rookverspreiding in woongebouwen* en *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* (Brandweeracademie, 2020; van Liempd et al., 2022).

De meeste brandblussystemen worden geactiveerd op het moment dat het hittegevoelige element in een van de koppen van het systeem springt. Daardoor opent de sprinklerkop en begint bluswater te stromen. De brand wordt zo lokaal bestreden.

De beperktere rookverspreiding beïnvloedt samen met de beperktere productie van producten als roet en CO de omstandigheden in de vluchtroute positief. Die omstandigheden bepalen samen met de blootstellingsduur de gevolgen van een scenario. Een automatische brandbestrijdingsinstallatie verlaagt op die manier de consequenties van de scenario's. Dit zorgt voor een verlaging van het persoonlijk risico in de enkele vluchtroute. Het is de verwachting dat die verlaging ervoor zorgt dat het persoonlijk risico in de enkele vluchtroute lager is dan in de referentiesituatie waarin geen sprinklerinstallatie aanwezig is.

Naast de positieve effecten van een automatische brandbeheersingsinstallatie op de persoonlijke veiligheid in de vluchtroute, heeft de installatie meer positieve effecten op de brandveiligheid van een woongebouw. Zo wordt de thermische belasting van de bouwconstructie en brandscheidingen beperkt, en wordt de kans dat deze bezwijken kleiner. Daarnaast wordt de brandschade in de brandruimte beperkt en wordt de kans verhoogd om veilig te kunnen vluchten uit de woning waarin de brand zich bevindt.

Implementatie in regelgeving, beheer en onderhoud

Het doorvoeren van een verplichting tot een automatische brandbeheersingsinstallatie in woningen die via een enkele vluchtroute vluchten vereist een *aanvulling* op de bouwregelgeving.

Bekeken vanuit een praktisch oogpunt kunnen het beheer en onderhoud van brandveiligheidsvoorzieningen in de particuliere omgeving (de woning) lastig zijn. De onderhoudspartij is daarvoor aangewezen op medewerking van de bewoners.

6.2.4 Drukvereffening

Werkingsprincipe en risicobeperking

Zoals beschreven in paragraaf 1.4 vindt rookverspreiding plaats onder invloed van drukverschillen. Drukvereffening zoals beschreven (door Van Liempd et al., (2022, p. 46) zorgt voor een beperktere drukontwikkeling in de brandruimte, waardoor het drukverschil tussen de woning en de vluchtroute kleiner wordt en er minder rookverspreiding naar die vluchtroute plaatsvindt. Daarvoor wordt in de woning voorzien in een drukontlasting in de zin van een mechanische ventilatievoorziening waardoor rook wordt afgevoerd. Zoals beschreven in het hiervoor genoemde onderzoek is het thans onduidelijk of de voorgestelde uitvoering in de praktijk dezelfde gevolgen heeft als theoretisch beredeneerd is. Om daar meer zekerheid over te krijgen, is nader onderzoek noodzakelijk.

Drukvereffening beïnvloedt de omstandigheden in de brandruimte zodanig dat er minder rookverspreiding plaatsvindt naar de vluchtroute. De omstandigheden in de vluchtroute worden daardoor positief beïnvloed, en daarmee eveneens de consequenties en het persoonlijk risico. Het is de verwachting dat de beperktere consequenties ervoor zorgen dat het persoonlijk risico in de enkele vluchtroute gelijk of lager is dan in de referentiesituatie, waarin geen drukvereffening is toegepast.

Implementatie in regelgeving, beheer en onderhoud

Het doorvoeren van een verplichting tot drukvereffening in woningen waaruit personen via een enkele vluchtroute moeten vluchten, vereist naast aanvullend onderzoek naar een juiste werking een *aanvulling* op de bouwregelgeving.

Bekeken vanuit een praktisch oogpunt kunnen het beheer en onderhoud van brandveiligheidsvoorzieningen in de particuliere omgeving (de woning) lastig zijn. De onderhoudspartij is daarvoor aangewezen op medewerking van de bewoners.

6.2.5 Rookbeheersingsinstallatie in de vluchtroute

Werkingsprincipe en risicobeperking

Een rookbeheersingsinstallatie zoals hier bedoeld zorgt voor ontroking of verdunning van de rook in de vluchtroute. In de meest gangbare systemen wordt rook boven in de vluchtroute afgevoerd door middel van natuurlijke rookluiken of mechanische ventilatoren en wordt onder in de vluchtroute verse lucht toegevoerd via daarvoor bedoelde openingen. Doordat rook wordt afgevoerd en schone lucht wordt toegevoerd, nemen de temperaturen en gasconcentraties in de vluchtroute af. Dit beïnvloedt de omstandigheden in de vluchtroute en daarmee de consequenties van een brand positief.

Natuurlijke en mechanische rookbeheersingsinstallaties

Een natuurlijke rookbeheersingsinstallatie werkt op basis van de thermiek van de rook. In een vluchtroute is die thermiek naar verwachting beperkt, waardoor een natuurlijke installatie mogelijk niet voldoende efficiënt werkt. Een mechanische installatie is minder afhankelijk van de thermiek van de rook en kan daarom naar verwachting beter het beoogde doel bereiken.

In scenario's waarin de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan, is het niet realistisch dat een rookbeheersingsinstallatie substantieel bijdraagt aan de persoonlijke veiligheid. In die gevallen is de hoeveelheid instromende rook door de deur zó groot, dat het waarschijnlijk is dat een systeem met zodanige omvang nodig is dat dit praktisch en technisch niet te realiseren is. Omdat in de scenario's waarin de deur wél sluit, veilig vluchten doorgaans mogelijk is, lijkt de risicoafname door de toepassing van een rookbeheersingsinstallatie beperkt. Het is daarom maar de vraag of het persoonlijk risico in de enkele vluchtroute zodanig wordt beïnvloed, dat dit vergelijkbaar wordt met de referentiesituatie.

Zichtlengte en een rookbeheersingsinstallatie

Uit de kwantitatieve studie blijkt dat veilig vluchten in de scenario's waarin de deur sluit vrijwel altijd mogelijk is. Hiervoor zijn alleen de temperatuur en gasconcentraties in de rook beoordeeld. Er is geen beoordeling uitgevoerd op basis van de zichtlengte in de vluchtroute. De zichtlengte kan echter wel degelijk relevant zijn (zie paragraaf 1.5). Een rookbeheersingsinstallatie zorgt in de scenario's waarin de deur sluit wel voor een verbetering van de zichtlengte. Als gevolg daarvan kunnen de vluchtefficiëntie en ook de loopsnelheid toenemen, waardoor de blootstellingsduur wat afneemt.

Implementatie in regelgeving, beheer en onderhoud

Het doorvoeren van een verplichting tot rookbeheersingsinstallatie in woningen waaruit personen via een enkele vluchtroute moeten vluchten, vereist een *aanvulling* op de bouwregelgeving. Hoewel afhankelijk van het ontwerp van de rookbeheersingsinstallatie, kan worden gesteld dat de primaire onderdelen daarvan zich bevinden in de vluchtroute. Daardoor kunnen beheer en onderhoud worden uitgevoerd zonder tussenkomst van particulieren.

6.2.6 Samenvattend

In onderstaande Tabel 6.1 zijn de oplossingsrichtingen en de aspecten waarop zij een positief effect hebben samenvattend weergegeven. Het aspect 'tijdstip waarop de vluchtroute betreden wordt' is niet opgenomen in de tabel, omdat er geen oplossingsrichtingen zijn geformuleerd die dat aspect positief beïnvloeden.

Tabel 6.1 Oplossingsrichtingen en de aspecten die zij positief beïnvloeden

Oplossingsrichting	Brand en omstandigheden in brandruimte	Sluiten woningtoegangsdeur	Omstandigheden in vluchtroute	Blootstellingsduur aan rook
Verhogen betrouwbaarheid zelfsluitende deur		X		
Beperken loopafstand / aantal bouwlagen				X
Brandbestrijdingsinstallatie	X		X	
Drukvereffening	X		X	
Rookbeheersingsinstallatie			X	?*

* Zie het blauwe kader met kop 'zichtlengte en rookbeheersingsinstallaties' in paragraaf 6.2.5.

Redding door brandweer als oplossingsrichting

In het vooronderzoek staat beschreven dat in de periode vóór 1992 (de invoering van het Bouwbesluit) redding door de brandweer vanaf de balkons werd gezien als een vluchtmogelijkheid. Vanaf de invoering van het Bouwbesluit in 1992 is die mogelijkheid losgelaten en moet een gebouw op zichzelf voldoende brandveilig zijn (Brandweeracademie, 2022, p. 9–11). Redding door de brandweer zou echter als mogelijkheid opnieuw kunnen worden overwogen als oplossingsrichting. Het verdisconteren van repressief optreden in de brandveiligheidsvoorzieningen in een gebouw is naar onze mening echter niet wenselijk. Personen worden immers in het gebouw pas gered na aankomst van de brandweer en de brandweer wordt afgeleid van de brandbestrijding. Bovendien sluit deze oplossingsrichting niet aan bij de algehele gedachte achter de bouwregelgeving dat personen in beginsel zelfstandig moeten kunnen vluchten.

6.3 Oplossingsrichtingen voor specifieke situaties met een enkele vluchtroute

In de volgende paragrafen is specifiek voor de portieksituatie en de situatie met het doodlopend einde beschreven welke oplossingsrichtingen (naar onze mening) het meest voor de hand liggen. Voor deze varianten geldt dat het persoonlijk risico op onderdelen afwijkt van de referentie en dat daarom aanpassingen aan de brandveiligheidsvoorzieningen kunnen worden overwogen. Uit de kwalitatieve analyse blijkt dat de variant met een veiligheidsvluchtroute op onderdelen een gelijk of lager persoonlijk risico heeft dan de referentie. Zodoende is niet nader ingegaan op die variant en zijn daarvoor geen oplossingsrichtingen gegeven.

In deze paragraaf wordt aandacht besteed aan oplossingsrichtingen voor de scenario's 'brand in een woning' (zie paragrafen 6.3.1 en 6.3.2) en 'brand in een ruimte grenzend aan de vluchtroute' (zie paragraaf 6.3.3). Voor het scenario 'brand in de vluchtroute' zijn geen oplossingsrichtingen geformuleerd. Met het verduidelijken van de voorschriften die gelden voor spullen in de vluchtroute in het Bbl (zie paragraaf 1.7.2), is dat scenario voldoende beperkt. Voorts kan men zich afvragen of het beperken van het persoonlijk risico door technische voorzieningen voor dit scenario realistisch is, omdat zelfs relatief kleine branden snel zullen resulteren in het onbruikbaar worden van de vluchtroute.

6.3.1 Oplossingsrichtingen voor de portieksituatie

Uit de kwalitatieve analyse blijkt in een portieksituatie als gevolg van met name de langere loopafstand en daarmee de blootstellingsduur, de rookverspreiding in het trappenhuis en het ontbreken van redundantie wat betreft vluchtroutes te resulteren in een hoger persoonlijk risico dan de referentiesituatie. Diezelfde conclusies blijken uit de kwantitatieve analyse. Er komen in de portieksituatie immers minder woningen uit op de vluchtroute dan bij de referentie.

Alle genoemde oplossingsrichtingen zijn geschikt om het persoonlijk risico te verlagen. Van de rookbeheersingsinstallatie in het portiektrappenhuis wordt zoals beschreven in paragraaf 6.2.5 echter slechts een beperkt positief effect verwacht. De meest voor de hand liggende oplossingsrichtingen, op grond van haalbaarheid, impact in de bouwpraktijk en beperking van het persoonlijk risico, zijn naar mening van de onderzoekers:

- > *Beperken aantal bouwlagen*: het beperken van het aantal bouwlagen zorgt ervoor dat de maximale loopafstand door het trappenhuis wordt beperkt. Daardoor neemt de blootstellingsduur af. Hoewel uit de kwantitatieve analyse blijkt dat dit niet per se resulteert in een afname van het persoonlijk risico, neemt het groepsrisico wel af. Zo zullen er bij drie en vier bouwlagen respectievelijk zes en acht woningen worden blootgesteld, in plaats van tien woning bij vijf bouwlagen.
- > *Verhogen betrouwbaarheid zelfsluitende deur*: het verhogen van de kans dat de deur van de woning waarin de brand zich bevindt sluit, nadat deze is geopend, zorgt voor een afname van het persoonlijk risico in het trappenhuis. Een voorbeeld hiervan is aansturing van het mechanisme door zowel een rookmelding in de woning als in het trappenhuis.

6.3.2 Oplossingsrichtingen voor het doodlopende einde

Uit de kwalitatieve analyse blijkt dat het doodlopende einde, zoals toegestaan binnen de kaders van de bouwregelgeving, op een aantal onderdelen afwijkt van de referentiesituatie. Er is geen sprake van redundantie wat betreft vluchten tot aan het moment dat het doodlopende einde verlaten is, waardoor de kans bestaat dat langs de openstaande deur van de brandwoning moet worden gevlucht. Daartegenover staat dat de loopafstand in het doodlopende eind kleiner is, waardoor de blootstellingsduur korter is.

Alleen in het geval dat het zelfsluitmechanisme weigert, moet vanwege het ontbreken van een tweede vluchtroute (redundantie) langs een woningtoegangsdeur worden gevlucht waaruit warmte en toxische rook stroomt. Bovendien is er vanwege het ontbreken van redundantie in de vluchtrichting een risico op blokkade van de vluchtroute, indien er brand is in de vluchtroute of in een aan die vluchtroute grenzende kleine ruimte zoals een meterkast.

De meest voor de hand liggende oplossingsrichting, op grond van haalbaarheid, impact in de bouwpraktijk en beperking van het persoonlijk risico, is naar de mening van de onderzoekers het betrouwbaarder uitvoeren van de zelfsluitende deur. Als deze aanpassing wordt doorgevoerd, kan naar de mening van de onderzoekers een verruiming van de huidige eisen worden overwogen, zoals in het blauwe kader hieronder is beschreven.

Beperken loopafstand in doodlopend einde tot 15 meter

De resultaten van de kwalitatieve analyse geven nieuwe inzichten in het persoonlijk risico in de situatie met het doodlopend einde. Sinds 2021 geldt volgens het Bouwbesluit 2012 de verplichting dat woningtoegangsdeuren van nieuw te bouwen woningen die grenzen aan een besloten vluchtroute zelfsluitend moeten zijn (alleen bij brand). Uit de kwalitatieve analyse blijkt echter dat bij een correct functionerende zelfsluitende deur de rookverspreiding naar het doodlopende einde dermate beperkt is dat veilig vluchten door dit doodlopende einde mogelijk is. Dit wordt onderstreept door de resultaten van de kwantitatieve analyse voor de referentiesituatie, die qua verwachte rookverspreiding lijkt op de gekozen situatie met een doodlopend einde. Alleen de redundantie in de vluchtroute ontbreekt, maar de risico's als gevolg hiervan zijn te beperken met de maatregelen die zijn genoemd in paragraaf 6.2.

Naar de mening van de onderzoekers kan worden overwogen om in het doodlopende einde een loopafstand van 15 meter toe te staan. De loopafstand van 15 meter komt ongeveer overeen met de langste loopafstand die bewoners in de referentiesituatie moeten afleggen, indien zij vanuit de woning vluchten die is gelegen aan het midden van de besloten vluchtroute. Aan het vergroten van de loopafstand zijn de volgende voorwaarden verbonden:

- > De betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur moet worden vergroot door het aanbrengen van rookmelders zowel aan de woningzijde als aan de zijde van de besloten vluchtroute (zie paragraaf 6.2.1)
- > Alle ruimten die rechtstreeks uitkomen op het doodlopende einde moeten hiervan brand- en rookwerend afgescheiden worden en worden voorzien van een zelfsluitende deur (zie paragraaf 6.3.3).

6.3.3 Aan de vluchtroute grenzende ruimten

Uit de kwalitatieve analyse blijkt dat een brand in een ruimte die grenst aan de vluchtroute en die niet brand- of rookwerend is uitgevoerd (zoals een meterkast) snel kan leiden tot het onbruikbaar worden van de vluchtroute. De kans op brand in zo'n ruimte is niet verwaarloosbaar klein door de aanwezigheid van brandbaar materiaal en ontstekingsbronnen. Om de gevolgen van zo'n brand te beperken, geven wij in overweging om voor ruimten die grenzen aan de vluchtroute, maar volgens het Bbl niet brand- of rookwerend hoeven te zijn uitgevoerd, alsnog een verplichting tot rook- en brandwering naar de vluchtroute op te nemen.

7 Conclusie

In dit hoofdstuk worden de onderzoeksvragen beantwoord, gebaseerd op de resultaten en analyse uit de voorgaande hoofdstukken. De verschillende deelvragen worden eerst beantwoord, gevolgd door de hoofdvraag.

7.1 Verduidelijking uitgangspunten enkele vluchtroute

In deze paragraaf worden de eerste drie deelvragen beantwoord.

7.1.1 Omstandigheden bruikbaarheid vluchtroute

Deelvraag 1

Onder welke omstandigheden mag nog verwacht worden dat personen kunnen vluchten in een besloten ruimte waardoor een vluchtroute voert?

In paragraaf 3.1 is beschreven dat vluchten door een vluchtroute veilig kan, als de omstandigheden in die vluchtroute dat mogelijk maken. Met 'omstandigheden' wordt in dit kader de mate van verontreiniging als gevolg van een eventuele brand bedoeld. Die verontreiniging wordt in de toegepaste brandveiligheidskunde doorgaans als volgt gekarakteriseerd:

- > **Zichtafname:** roetdeeltjes in rook werken verduisterend, waardoor de zichtlengte beperkt wordt. Door beperkt zicht is oriëntatie moeilijker en nemen de vluchtefficiëntie en loopsnelheid af. Daarnaast kan sterk beperkt zicht het menselijk gedrag tijdens het vluchten beïnvloeden.
- > **Blootstelling aan toxische en/of irriterende gassen:** het binnenkrijgen van toxische gassen kan nadelige gevolgen voor de gezondheid van vluchtende personen hebben. Voorbeelden van acute gevolgen van blootstelling aan (te) hoge concentraties zijn verlies van bewustzijn en uiteindelijk overlijden.
- > **Thermische blootstelling:** blootstelling aan hoge temperaturen kan leiden tot brandwonden en schade aan de luchtwegen.

Daarnaast is ook de blootstellingduur aan de rook relevant. Een kortere blootstelling leidt tot minder vergaande gevolgen dan een langere blootstelling aan dezelfde gasconcentratie of temperatuur. De blootstellingsduur wordt enerzijds bepaald door de lengte van de vluchtroute en anderzijds door de loopsnelheid. De loopsnelheid is, zoals hierboven beschreven, afhankelijk van de omstandigheden in de vluchtroute waardoor de blootstellingsduur ook door daardoor wordt bepaald. Vaak wordt als uitgangspunt genomen dat bij zichtlengten van 5-10 meter (voor reflecterende objecten) vaak gedurende langere periodes veilig kan worden gevluht, zonder dat er nadelige toxicologische of thermische gevolgen optreden.

Het volledig uitsluiten van rookverspreiding van een woning waarin een brand zich bevindt, is niet realistisch, zoals ook beschreven in paragraaf 1.4. Er zal daarom altijd enige vorm van blootstelling aan rook zijn.

7.1.2 Tijdsduur bruikbaarheid vluchtroute

Deelvraag 2

Wat betekent 'gedurende langere tijd door vluchtende personen kan worden gebruikt'?

In paragraaf 3.2 staat beschreven dat een vluchtroute gedurende een bepaalde tijdsduur veilig gebruikt moet kunnen worden. Het duurt immers enige tijd totdat alle aanwezigen het door brand bedreigde gebouw hebben verlaten. In het Bbl is voor nieuwbouw een tijdsduur aangenomen van 30 minuten waarin veilig gebruik van de vluchtroute mogelijk is.

De tijdsduur dat de vluchtroute van een woongebouw moet kunnen worden gebruikt, is lastig te voorspellen. Het moment dat de brand wordt opgemerkt, is sterk afhankelijk van de ernst van rookverspreiding. Ook alarmering door (uit de woning waarin zich de brand bevindt) vluchtende personen is van belang. Desondanks zijn er geen redenen om aan te nemen dat de in de bouwregelgeving aangenomen tijdsduur van 30 minuten onvoldoende is. Dit betekent, dat de zichtlengte niet minder moet worden dan 5 tot 10 meter.

De omstandigheden in de vluchtroute worden grotendeels bepaald door de kwaliteit van de scheidingsconstructie tussen de brand en de vluchtroute. Die kwaliteit wordt in de bouwregelgeving uitgedrukt in de brandwerendheid, rookdoorlatendheid en zelfsluitendheid van die scheiding. Ongeacht de kwaliteit van die scheiding, kan de kans op het onbruikbaar worden van de vluchtroute nooit helemaal worden weggenomen. Hoe groot die kans maximaal mag zijn, is nu niet gekwantificeerd in de bouwregelgeving. Door die maximale kans wel te kwantificeren, wordt inzichtelijk gemaakt dat, ook al voldoet een woongebouw aan de prestatie-eisen van Bbl, dit niet betekent dat 100 % gegarandeerd kan worden dat iedereen veilig kan vluchten.

Ten slotte wordt in het Bbl als uitgangspunt gehanteerd dat vluchtende personen met ingehouden adem vluchten en zich met een snelheid van 1 m/s voortbewegen. Deze uitgangspunten stroken niet met de literatuur; daarin staat namelijk aangegeven dat doorgaans wordt doorgeademd tijdens het vluchten en dat de loopsnelheid significant lager ligt (afhankelijk van de omstandigheden waar doorheen wordt gevluht). Om de uitgangspunten in de bouwregelgeving overeen te laten komen met de literatuur, is herziening van de uitgangspunten nodig.

7.1.3 Risico op brand in vluchtroute

Deelvraag 3

Wat wordt bedoeld met 'geen groot risico op het uitbreken en ontwikkelen van brand'?

In paragraaf 3.3 is beschreven dat uit eerder uitgevoerd onderzoek blijkt dat er in veel gevallen brandbare en/of brandgevaarlijke materialen worden gestald in vluchtroutes. Bovendien blijkt uit de casuïstiek dat branden in vluchtroutes met enige regelmaat voorkomen (Brandweeracademie, 2022). In het Bbl is daarom een verduidelijking van de

voorschriften voor brandbare materialen in vluchtroutes opgenomen (artikel 6.15a en 6.23a). Op basis daarvan is het risico op een brand in een vluchtroute voldoende beperkt. Een nadere aanpassing van de uitgangspunten is daarom niet noodzakelijk.

7.1.4 Herijking uitgangspunten regelgeving

De hiervoor behandelde conclusies zijn in paragraaf 3.4 samengebracht in een voorstel voor de herijking van de uitgangspunten in de bouwregelgeving voor gebouwen met een enkele vluchtroute.

7.2 Persoonlijk risico gebouwgebruikers

In deze paragraaf worden deelvraag vier tot en met zes beantwoord. Daartoe zijn een kwalitatieve en kwantitatieve risicoanalyse uitgevoerd. De risicoanalyses hebben een vergelijkend karakter. Dit betekent dat de uitkomsten als een relatieve vergelijking moeten worden gezien en geen inzicht geven in het daadwerkelijke persoonlijk risico.

7.2.1 Referentiesituatie (corridorontsluiting)

Deelvraag 4

Wat is het te verwachten persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van twee onafhankelijke vluchtroutes (referentiesituatie)?

Uit de kwalitatieve risicoanalyse blijkt in de referentiesituatie het volgende:

- > Het sluiten van de deur van de woning waarin de brand zich bevindt, is bepalend voor de consequentie van de brand. Als de deur gesloten wordt, nadat de bewoners gevlucht zijn, is veilig vluchten in veel gevallen nog mogelijk. Als die deur open blijft staan, is veilig vluchten vaak niet meer mogelijk.
- > De aanwezigheid van een tweede vluchtroute beperkt de potentiële loopafstand door de corridor, omdat vanaf elk punt in de corridor een korte en langere vluchtroute kan worden genomen. De maximale loopafstand bedraagt dan 15-18 meter (bezien vanaf het midden van de corridor). Een kortere loopafstand resulteert in een kortere blootstellingsduur, waardoor de mogelijke consequenties als gevolg van de blootstelling aan rook lager uitvallen. Door het beperkte zicht in de vluchtroute, is het aannemelijk dat de loopsnelheid sterk afneemt.
- > De aanwezigheid van een tweede vluchtroute zorgt voor de aanwezigheid van een mogelijke alternatieve vluchtroute, mocht een van de twee vluchtroutes geblokkeerd worden; er is sprake van 'redundante vluchtrichtingen'. Dit kan bijvoorbeeld het geval zijn als de deur van de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan. Er moet echter nog wel door dezelfde ruimte (de corridor) worden gevlucht. Als die corridor verontreinigd is met rook, is er alsnog sprake van blootstelling aan rook.
- > Als de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan, nadat de bewoners zijn gevlucht, is het maar de vraag of de redundante vluchtrichting noemenswaardige meerwaarde heeft. De omstandigheden in de vluchtroute zijn dan zodanig, dat veilig vluchten niet meer mogelijk is. Een beperktere blootstellingsduur als gevolg van de kortere vluchtroute is dan maar beperkt relevant.
- > De gevolgen van een brand in een kleinere ruimte grenzend aan de vluchtroute (bijvoorbeeld een meterruimte) en een brand in de vluchtroute zijn zodanig, dat kort na het ontstaan van de brand de vluchtroute niet meer bruikbaar is.

De kwantitatieve risicoanalyse bevestigt voornoemde. Daaruit blijkt daarnaast het volgende:

- > De gemiddelde risico-index in de referentiesituatie bedraagt 0,17.
- > De berekende risico-index voor personen die de vluchtroute betreden in het midden van de corridor is hoger (0,21) dan voor personen die de vluchtroute op het uiteinde betreden (0,17). De eerste groep draagt dus een hoger risico dan de tweede groep, met name door het ontbreken van een korte vluchtroute door de corridor.
- > De kans dat veilig kan worden gevlucht bedraagt 80 % (of: de betrouwbaarheid bedraagt 80 %). Die kans is gelijk aan de waarschijnlijkheid dat de deur sluit naar de woning waarin de brand zich bevindt.
- > Hoewel de aanwezigheid van een tweede vluchtroute positieve gevolgen heeft voor de berekende risico-index (zie het eerste punt), heeft deze tweede vluchtroute geen meerwaarde voor de kans dat veilig kan worden gevlucht (zie het tweede punt).

De resultaten van de kwantitatieve analyse lijken op het eerste gezicht tegenstrijdig: hoewel de aanwezigheid van een tweede vluchtroute wel positief werkt voor de risico-index, heeft deze geen gevolgen voor de kans dat veilig kan worden gevlucht. Dit komt door de wijze waarop zowel de risico-index is bepaald, als de kans dat veilig kan worden gevlucht. Zie hiervoor paragrafen 2.4.2 en 5.1.

7.2.2 Enkele vluchtroute

Deelvraag 5

Wat is het te verwachten persoonlijk risico van gebouwgebruikers bij aanwezigheid van een enkele vluchtroute?

In de kwalitatieve risicoanalyse zijn verschillende verschijningsvormen van een enkele vluchtroute bestudeerd. In de kwantitatieve risicoanalyse is specifiek een portieksituatie bekeken. In de volgende alinea's worden de conclusies van de analyses samengevat.

Uit de kwalitatieve risicoanalyse blijkt het volgende:

- > De rookverspreiding in de gevallen van een veiligheidsvluchtroute en een doodlopend eind zijn grofweg gelijk aan de referentiesituatie. Door de indeling van een portieksituatie is de verwachting dat de wijze waarop rook zich verspreidt en de eigenschappen van de rook afhangen van de bouwlaag waar de brand zich bevindt. Ook het volume van de vluchtroute is relevant.
- > De loopafstand door een portiektrappenhuis kan oplopen tot 40 meter, afhankelijk van het aantal bouwlagen. In een doodlopend eind is die loopafstand maximaal 5 meter, en in situatie met een veiligheidsvluchtroute grofweg 15-18 meter. In alle gevallen zal de loopsnelheid teruglopen door een afgenomen zichtlengte. Doordat in een portieksituatie over trappen moet worden gevlucht, is er in die situatie mogelijk sprake van een verhoogd struikelgevaar ten opzichte van de andere vormen met een enkele vluchtroute.
- > Er is in een portieksituatie geen sprake van een redundante vluchtrichting of vluchtroute. In een doodlopend einde is er pas vanaf het moment dat het doodlopende einde verlaten wordt sprake van een redundante vluchtrichting en pas sprake van een redundante vluchtroute op het moment dat een van de trappenhuisen wordt betreden. Qua redundantie lijkt een situatie met een veiligheidsvluchtroute op de referentiesituatie, met uitzondering van het feit dat deze geen redundante vluchtroute heeft. Er is enkel sprake van een redundante vluchtrichting in het eerste deel van de vluchtroute. De kans dat het

- trappenhuis van de veiligheidsvluchtroute wordt verontreinigd met rook, is echter wel kleiner dan in de referentiesituatie door de aanwezige buitenruimte voor het trappenhuis.
- > De gevolgen van een brand in een kleinere ruimte grenzend aan de vluchtroute en een brand in de vluchtroute zijn zodanig, dat kort na het ontstaan van de brand de vluchtroute niet meer bruikbaar is.

De resultaten voor de kwantitatieve risicoanalyse waarin een portieksituatie is bestudeerd, bevestigen de resultaten uit de kwalitatieve analyse. Daarnaast blijkt het volgende:

- > De gemiddelde risico-index in een portieksituatie met drie, vier en vijf bouwlagen is respectievelijk 0.18, 0.13 en 0.11. De gemiddelde risico-index neemt af in het geval van een hoger aantal bouwlagen, omdat dan de extremen door de uitmiddeling minder zwaar wegen⁸
- > De berekende risico-index voor personen die op de begane grond de vluchtroute betreden, is lager dan voor personen die de vluchtroute op de bovenste bouwlaag betreden. De eerste groep draagt dus een lager persoonlijk risico dan de tweede groep.
- > Afhankelijk van het aantal bouwlagen van het trappenhuis, hebben personen die starten met vluchten boven in het trappenhuis 13 % tot 20 % minder kans om veilig te vluchten vergeleken met mensen die starten met vluchten op de begane grond.
- > De kans dat veilig kan worden gevlucht, is afhankelijk van de bouwlaag waar vandaan wordt gevlucht en van de wijze waarop de rookverspreiding wordt verondersteld. Die kans bedraagt 76 % tot 80 % voor de bovenste bouwlagen van een portiektrappenhuis en 93 % tot 100 % voor de bovenste bouwlagen.
- > Het sluiten van de deur van de woning waarin de brand woedt, nadat bewoners zijn gevlucht, is ook in dit geval bepalend voor de kans dat veilig kan worden gevlucht. Met name personen op de hoger gelegen verdiepingen kunnen niet veilig vluchten als die deur open blijft staan, ongeacht de bouwlaag waarop de brand zich bevindt. Voor personen die starten met vluchten lager in het trappenhuis is die bouwlaag wel relevant.
- > Een lager trappenhuis resulteert niet per definitie in een lager persoonlijk risico. Hoewel niet expliciet beoordeeld, is het de verwachting dat het groepsrisico wel afneemt.

7.2.3 Vergelijking vluchtroutes

Deelvraag 6

Hoe verhoudt zich het te verwachten veiligheidsniveau in een enkele vluchtroute zich tot het te verwachten veiligheidsniveau met twee vluchtroutes?

In de kwalitatieve risicoanalyse zijn verschillende verschijningsvormen van een enkele vluchtroute vergeleken met de referentiesituatie. In de kwantitatieve risicoanalyse is specifiek een portieksituatie vergeleken met de referentiesituatie. In de volgende alinea's zijn de conclusies van de analyses samengevat.

Uit de kwalitatieve vergelijking blijkt het volgende:

- > Een situatie met een portiektrappenhuis leidt op verschillende aspecten tot een hoger persoonlijk risico dan de referentiesituatie (rookverspreiding, loopafstand, -richting, blootstellingsduur en redundantie). Daarnaast zijn er (iets) minder woningen aangewezen op de vluchtroute in vergelijking met de referentie.

⁸ Zie paragraaf 5.2.4.

- > Een situatie met een *doodlopend einde* kent op onderdelen een hoger persoonlijk risico (vanwege het ontbreken van redundantie van de vluchtroute) en op onderdelen juist een lager persoonlijk risico (beperkte loopafstand, -richting en blootstellingsduur) dan de referentiesituatie. Voor wat betreft het aspect 'rookverspreiding' is het doodlopend einde vergelijkbaar met de referentie. Daarnaast zijn er minder woningen aangewezen op de vluchtroute dan in de referentiesituatie.
- > Een situatie met een *veiligheidsvluchtroute* leidt op één aspect tot een hoger persoonlijk risico dan de referentiesituatie: het ontbreken van een redundante vluchtroute in het trappenhuis zelf. Daarbij wordt wel opgemerkt dat de kans dat die vluchtroute onbruikbaar wordt bij een woningbrand, kleiner is dan in de referentiesituatie. Op de andere aspecten leidt de veiligheidsvluchtroute tot een lager persoonlijk risico (aantal woningen) of vergelijkbaar persoonlijk risico (rookverspreiding en loopafstand, -richting en blootstellingsduur).
- > Zowel in het geval van de referentiesituatie als de verschillende vormen van een enkele vluchtroute zal een brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute (bijvoorbeeld een meterruimte) of een brand in de vluchtroute resulteren in het onbruikbaar worden van de vluchtroute.

Uit de kwantitatieve risicoanalyse blijkt het volgende:

- > De risico-index van een portieksituatie is gemiddeld genomen over de hoogte van het trappenhuis lager dan de risico-index van de referentie. De spreiding van de risico-index over de verschillende bouwlagen is echter (veel) groter dan in de referentiesituatie.
- > Als een beoordeling wordt uitgevoerd voor de specifieke bouwlagen van een portiektrappenhuis, blijkt dat de bovenste bouwlagen een hogere risico-index hebben dan de referentie (29 % tot 59 % hoger, afhankelijk van het aantal bouwlagen van het portiektrappenhuis). De woningen op de begane grond van een portiektrappenhuis hebben een lagere risico-index (59 % tot 88 % lager) dan de referentie, vanwege de kortere loopafstand en beperktere blootstelling.
- > Desondanks is de waarschijnlijkheid dat veilig kan worden gevlucht niet veel lager in een portiektrappenhuis dan in de referentiesituatie. In een portieksituatie is het daarentegen wel zo dat als in een brandscenario niet veilig kan worden gevlucht, de consequentie van dat brandscenario hoger is dan in de referentiesituatie.

7.3 Oplossingsrichtingen

Deelvraag 7

Wat zijn oplossingsrichtingen om de wet- en regelgeving omtrent het toepassen van een enkele vluchtroute weer aan te laten sluiten op de huidige praktijk met veranderende omstandigheden?

In hoofdstuk 6 zijn op basis van de resultaten van de risicoanalyses verschillende oplossingsrichtingen geformuleerd, die tot doel hebben het persoonlijk risico van situaties met een enkele vluchtroute te verlagen, zodat dit gelijk wordt aan of lager dan de referentiesituatie. De volgende oplossingsrichtingen zijn beschouwd:

1. verhogen van de betrouwbaarheid zelfsluitende deur tussen de woning en de vluchtroute
2. beperken van de loopafstand en/of het aantal bouwlagen in de enkele vluchtroute
3. automatische brandbeheersingsinstallatie
4. drukvereffening
5. rookbeheersingsinstallatie in de vluchtroute.

Om het persoonlijk risico in een portieksituatie te verkleinen, kan worden overwogen om het maximaal aantal bouwlagen dat gebruikmaakt van de vluchtroute te verlagen of de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur tussen de woning en de vluchtroute betrouwbaarder uit te voeren. Voor een doodlopend einde kan, als de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur wordt verhoogd, de maximale loopafstand in dat doodlopend einde worden verhoogd tot 15 meter.

Ten slotte kan, om de consequenties van een brand in een kleine ruimte grenzend aan de vluchtroute te beperken, worden overwogen om die ruimte brand- en rookwerend af te scheiden van de vluchtroute. Met het invoeren van artikel 6.15a in het Bbl is het risico van een brand in de vluchtroute (in ieder geval juridisch) verlaagd.

7.4 Beantwoording hoofdvraag

De hoofdvraag

Hoe kan de enkele vluchtroute in woongebouwen worden herijkt en vertaald naar oplossingsrichtingen voor de bouwregelgeving?

In dit onderzoek is een voorstel voor een herijking van de enkele vluchtroute gedaan.

- > De omstandigheden waarin veilig kan worden gevlucht door vluchtroutes en de tijdsduur dat die vluchtroutes moeten kunnen worden gebruikt na het ontstaan van de brand zijn gedefinieerd. Met name de zichtlengte, de temperatuur en de concentratie toxische gassen in de vluchtroute zijn relevant. Voor de tijdsduur wordt een periode van 30 minuten voldoende geacht. De definities zijn vervolgens gebruikt om de uitgangspunten bij vluchtroutes uit gebouwen te herijken.
- > Middels risicoanalyses is een vergelijking gemaakt tussen een referentie (een corridorsituatie) en verschillende vormen van enkele vluchtroutes. Uit die analyses blijkt dat met name in portieksituaties sprake is van een hoger persoonlijk risico dan in de referentie. In de andere bestudeerde verschijningsvormen van een enkele vluchtroute is dat persoonlijk risico beperkt hoger (doodlopend einde) of minimaal gelijk (veiligheidsvluchtroute) aan de referentie.
- > Op basis van de uitkomsten van de risicoanalyses zijn oplossingsvoorstellen gedaan om het persoonlijk risico in enkele vluchtroutes te verlagen. Daaruit blijkt dat het beperken van het maximaal aantal bouwlagen in een portiektrappenhuis en het betrouwbaarder uitvoeren van de brand- en rookscheidingen tussen de woningen en het trappenhuis de meest geschikte oplossingen zijn om het persoonlijk risico in overeenstemming te brengen met de referentiesituatie. De loopafstand in een doodlopend einde kan worden vergroot naar 15 meter, mits de betrouwbaarheid van de zelfsluitende deur wordt verhoogd. Ten slotte wordt aanbevolen om kleine ruimten die grenzen aan de (enkele) vluchtroute zoals meterruimten brand- en rookwerend uit te voeren.

8 Discussie

Dit hoofdstuk bevat een beschouwing van het uitgevoerde onderzoek. Hierin worden onder andere de beperkingen van de gebruikte (reken)methode beschreven. Tevens zijn voorstellen voor nader onderzoek beschreven.

8.1 Algemeen

Kwetsbaarheid gebouwgebruikers

In dit onderzoek is ervan uitgegaan dat de bewoners van de woningen bij brand gemiddeld zelfredzaam zijn: de algemene doelgroep. Er is geen rekening gehouden met eventuele doelgroepen met een verhoogde kwetsbaarheid voor de gevolgen van brand. Het is echter wel aannemelijk dat de bewoners van de beoordeelde bouwtypen een uiteenlopende kwetsbaarheid hebben voor die gevolgen. In de onderzoeken *Rookverspreiding in woongebouwen* en *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* (Brandweeracademie, 2020b; van Liempd et al., 2022) is wel rekening gehouden met een verhoogde kwetsbaarheid: daaruit blijkt dat personen met een hogere kwetsbaarheid meer risico lopen dan personen die onder de 'algemene doelgroep' vallen.

Risicoacceptatie

In deze studie is het brandveiligheidsrisico van situaties met een enkele vluchtroute vergeleken met een referentiesituatie: een corridorontsluiting. In die vergelijking is de corridorontsluiting tot maatlat (of grenswaarde) aangehouden. Uit een beoordeling van de betrouwbaarheid van de referentie blijkt uit eerder onderzoek een betrouwbaarheid van 71 % voor de algemene doelgroep (van Liempd et al., 2022). Uit dit onderzoek blijkt een betrouwbaarheid van 80 %. De kans dat niet veilig kan worden gevlucht bedraagt dan 20 % tot 29 %. Een maatschappelijk debat hierover kan helpen om te bepalen of deze betrouwbaarheid voldoende wordt gevonden.

Gekozen referentie en varianten met een enkele vluchtroute

In dit onderzoek zijn keuzes gemaakt voor wat betreft de aan te houden referentiesituatie en varianten met een enkele vluchtroute. Die keuze is gemaakt op basis van een inschatting van de onderzoekers; zij zijn van mening dat de gekozen varianten een weerspiegeling zijn van de gangbare bouwpraktijk. Er zijn echter meer varianten met een enkele vluchtroute denkbaar binnen de bouwregelgeving. Andere varianten of een andere referentiesituatie leiden mogelijk tot andere conclusies.

Vluchtgedrag

In dit onderzoek is als uitgangspunt genomen dat alle personen de met rook gevulde vluchtroute betreden. Uit de literatuur blijkt dat dit niet altijd het geval is (zie paragraaf 1.7.1). Er zijn immers situaties denkbaar waarin personen besluiten niet door een met rook gevulde ruimte te vluchten, of zelfs omdraaien tijdens het vluchten en terugkeren naar de woning. In dat geval zit die persoon 'vast' in de woning. Mogelijk kunnen personen enige tijd veilig

verblijven in de woning, totdat de situatie is veranderd of ze gered worden.⁹ Dit is echter geen onderdeel van dit onderzoek, omdat uitgegaan is van vluchten uit de woning als vergelijking tussen situatie met een enkele vluchtroute en een referentie met twee vluchtroutes.

8.2 Kwantitatieve risicoanalyse

Individueel risico versus groepsrisico

In dit onderzoek is het brandveiligheidsrisico beoordeeld aan de hand van een risico-index. Die index is een sommatie van de deelrisico's per scenario in de beoordeelde situatie, die zijn bepaald voor personen die aanwezig zijn op een specifieke locatie (wonen op een bepaalde locatie). Het is een weergave van het individuele risico. In de beoordeelde situaties worden er echter meer personen tegelijk blootgesteld aan de gevolgen van brand. Een beoordeling van het groepsrisico is in dit geval eigenlijk noodzakelijk om te beoordelen of het risico acceptabel is. Het ontbreekt momenteel echter aan een methode die kan worden gebruikt bij het beoordelen van het groepsrisico in gebouwen. Een dergelijke methode moet nog worden ontwikkeld.

Aangenomen rookverspreiding

De extrapolatie van de meetgegevens naar ruimten met andere geometrische verhoudingen is beschreven in paragraaf 2.4.2. De wijze waarop de gegevens zijn geëxtrapoléerd is eenvoudig van aard; er wordt voorbijgegaan aan veel (complexe) fysische verschijnselen zoals verschillen in het mengen van rook en omgevingslucht, warmteoverdracht en drukverschillen. Ook is uitgegaan van een uniformiteit van de gasconcentraties en temperaturen over het rookvolume. Dit is een vereenvoudiging van de werkelijkheid die met name dicht bij de brandhaard, nabij openingen waaruit rook stroomt (zoals een openstaande deur) en in turbulente rookvolumes niet altijd realistisch is. Vooral de twee laatstgenoemde aspecten zijn in dit onderzoek relevant; de rookverspreiding zal hierdoor in werkelijkheid afwijken van hetgeen in dit onderzoek is aangenomen.

Om met meer nauwkeurigheid iets te kunnen zeggen over de rookverspreiding in trappenhuizen kunnen rookverspreidingssimulaties worden uitgevoerd. In dit geval zouden Computational Fluid Dynamics-simulaties (CFD) het beste bij de situatie passen, mede vanwege de complexere vorm van een (portiek)trappenhuis. CFD-simulaties zijn arbeidsintensief en voor het uitvoeren ervan moeten veel uitgangspunten worden gekozen, die alle de onzekerheid van het onderzoek vergroten. Vanwege het vergelijkende en grove karakter van de kwantitatieve analyse is daarom gekozen om geen CFD-simulaties uit te voeren.

Wat ten slotte van belang is, is dat vluchtroutes in nieuw te bouwen woongebouwen voorzien moeten zijn van enige vorm van ventilatie. Die ventilatie kan de rookverspreiding in de vluchtroute beïnvloeden. Met die ventilatie is in dit onderzoek geen rekening gehouden.

Uitgangspositie metingen

In het kwantitatieve deel van dit onderzoek zijn de consequenties van een brand gebaseerd op de meetresultaten uit het onderzoek *Rookverspreiding in woongebouwen*

⁹ Veilig verblijven in de woning is onderzocht in het onderzoek *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* (van Liempd et al., 2022).

(Brandweeracademie, 2020b). In dat onderzoek zijn specifieke keuzes gemaakt wat betreft de uitgangspositie die de rookverspreiding beïnvloeden:

- > Er is uitgegaan van een bank als brandobject. Andere brandobjecten zijn niet in ogenschouw genomen, maar kunnen wel afwijkende resultaten opleveren.
- > Gevelopeningen blijven gedurende de gehele brandduur gesloten. Bij het bezwijken van gevelopeningen kan de brand zich mogelijk heviger ontwikkelen door de zuurstof die door de openingen getransporteerd wordt. Anderzijds loopt de druk in de brandruimte in dat geval maar beperkt op, waardoor minder rookverspreiding optreedt.
- > De deur tussen de woning waarin de brand zich bevindt, wordt 5 minuten na het ontsteken van de brand geopend. Dit is een conservatieve benadering van de realiteit.
- > Diezelfde deur blijft openstaan of wordt 30 seconden na het openen gesloten. Het is aannemelijk dat die tijdsduur in werkelijkheid korter is.
- > De deur van een van de andere appartementen die aan de vluchtroute liggen, is gedurende de gehele brandduur geopend. Hierdoor kan er ongehinderd rook dat appartement instromen. Dit appartement fungeert als het ware als een extra buffer voor rook. Dit is waarschijnlijk niet altijd het geval.

Deze uitgangspositie is grotendeel bepalend voor de consequenties. Een andere uitgangspositie leidt mogelijk tot andere conclusies.

Kans op brand

De kans op brand is in de kwantitatieve studie op één gezet (er is brand), omdat dit het uitgangspunt is dat ten de grondslag aan de regelgeving ligt en er maar beperkt informatie voorhanden is omtrent de daadwerkelijke ontstaanskans van brand. Het nader kwantificeren van de kans op brand leidt mogelijk tot andere inzichten, met name omdat die kans gerelateerd is aan de omvang van het bouwwerk (hoe groter het bouwwerk, hoe groter de kans op brand). Om dit te beoordelen, is nader onderzoek nodig.

Redundante vluchtroutes

Over de mate van redundantie in de referentiesituatie is in het rapport *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid* het volgende gesteld:

“Bedacht moet worden dat redundantie in de referentiesituatie alleen aanwezig is voor de verticale vluchtroutes, omdat deze brand- en rookwerend moeten zijn afgescheiden. Voor de ‘horizontale’ vluchtroute (corridor) geldt dat vanaf de woningtoegangsdeuren weliswaar in twee richtingen moet kunnen worden gevlucht, maar dat er tussen de vluchtroutes in dit horizontale gedeelte geen redundantie aanwezig is. Hooguit is er sprake van een semi-redundantie vanwege de mogelijkheid om in twee richtingen te vluchten” (van Liempd et al., 2022, p. 114).

De mate van redundantie is in dat onderzoek niet meetbaar gemaakt. In dit onderzoek is dat voor de referentie deels gebeurd, doordat er in de vluchtroute de keuze is voor een korte en langere vluchtroute. Een ander positief effect van de aanwezigheid van een tweede vluchtroute is dat niet langs de deur van de woning waarin de brand zich bevindt gevlucht hoeft te worden. Met name in het geval van scenario's waarin die deur open blijft staan, is dat positieve effect relevant. Dat effect is niet gekwantificeerd. Anderzijds blijkt dat dat positieve effect beperkt is, omdat in de gevallen waarin de deur naar de woning waarin de brand zich bevindt open blijft staan, veilig vluchten door de corridor in vrijwel geen van de gevallen nog mogelijk is. Het is dus maar de vraag of een gedetailleerder onderzoek naar het redundante effect in de corridor andere resultaten oplevert.

8.3 Voorstellen voor vervolgonderzoek

Een aantal aspecten uit dit onderzoek verdienen nader onderzoek, omdat er momenteel veel onzekerheid over bestaat of er geen duidelijke kaders voor zijn. Die aspecten worden in deze paragraaf kort beschreven.

- > *Risicoacceptatie*: in dit onderzoek is de corridorsituatie gebruikt als referentie waarmee de verschillende vormen van een enkele vluchtroute zijn vergeleken. De keuze voor de corridor als referentie is onderbouwd in paragraaf 2.2.2. Het is echter maar de vraag of de corridorsituatie een goede weergave is van het risico dat door de maatschappij wordt geaccepteerd. Uit eerder onderzoek (van Liempd et al., 2022) blijkt dat de betrouwbaarheid van die corridorsituatie 71 % is, terwijl uit dit onderzoek een betrouwbaarheid van 80 % blijkt. Dit betekent, dat er een kans van 20 % - 29 % bestaat dat niet veilig kan worden gevluht. Het is maar de vraag of dat een acceptabel risico is. Om daarover duidelijkheid te verschaffen, is aanvullend onderzoek nodig.
- > *Groepsrisico*: in de risicoanalyses in dit onderzoek worden er meerdere personen of groepen personen blootgesteld aan de gevolgen van een brand. Het louter beoordelen van het persoonlijk (of individueel) risico is dan eigenlijk onvoldoende om een volledige risicoanalyse te doen. Ook een beoordeling van het groepsrisico is nodig om een uitspraak over het risico in een enkele vluchtroute te kunnen doen. Het ontbreekt echter aan een goed beoordelingskader en grenswaarden om die beoordeling uit te voeren. Daarvoor is nader onderzoek nodig.
- > *Ontstaanskans brand*: in het kwantitatieve deel van dit onderzoek is de ontstaanskans op brand op 1 gesteld. Dit betekent, dat het risico gegeven een brand wordt beoordeeld. Hiermee wordt echter voorbijgegaan aan het feit dat de kans op brand vaak wordt weergegeven als een functie van de omvang van een gebouw. Zo is de kans op brand in een portiektrappenhuis met drie bouwlagen kleiner dan in een trappenhuis met vijf bouwlagen. Er zijn op dit moment onvoldoende betrouwbare data voorhanden omtrent de ontstaanskans van brand om die mee te laten wegen in de risicoanalyses. Ook hiervoor is aanvullend onderzoek noodzakelijk.
- > *Drukvereffening*: zowel in dit onderzoek als in het onderzoek van (van Liempd et al., (2022) is drukvereffening via een ventilatiesysteem in de brandruimte als oplossingsrichting aangedragen. De technische werking van drukvereffening is echter nog onvoldoende duidelijk om ook daadwerkelijk te kunnen stellen dat dit juist werkt. Dit zou middels verder onderzoek moeten worden vastgesteld.

Literatuurlijst

- ATGB. (2021). *Toegestane brandduur bij 'traveling local carfire.'*
- Boverket. (2013). *The Swedish National Board of Housing, Building and Planning's general recommendations on the analytical design of a building's fire protection, BBRAD.*
- Brandweeracademie. (2018). *10 jaar fatale woningbranden onderzocht.*
- Brandweeracademie. (2020a). *Reddingen bij brand 2016-2018.*
- Brandweeracademie. (2020b). *Rookverspreiding in woongebouwen. Hoofdrapport van de praktijkexperimenten in een woongebouw met in pandige gangen.* IFV.
<https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20200916-BA-Rookverspreiding-in-woongebouwen-hoofdrapport.pdf>
- Brandweeracademie. (2021a). *Vluchtveiligheid van woongebouwen.* IFV. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/02/20211201-BA-Vluchtveiligheid-van-woongebouwen.pdf>
- Brandweeracademie. (2021b). *Vluchtveiligheid van woongebouwen.*
- Brandweeracademie. (2022). *Vooronderzoek naar enkele vluchtroute in woongebouwen.* Instituut Fysieke Veiligheid.
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2017). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren.*
- Brandweeracademie, & Brandweer Nederland. (2019). *Casuïstiek uit brandonderzoek, trends om van te leren 2.*
- British Standards Institution. (2019). *PD 7974-7 (2019) - Application of fire safety engineering principles to the design of buildings.*
- Garrett, J. (1999). *Design for escape from fire.*
- Hellendoorn, D. M., Berghuis, M. I., van Overveld, M., de Witte, H. L., & van der Graaf, P. J. (2015). *Verbeelding bouwbesluit 2012 brandveiligheid.*
- ISO. (2018). *NEN-ISO 23932-1.* ISO. <https://www.iso.org/standard/63933.html>
- Kuligowski, E. D. (2009). The Process of Human Behavior in Fires. *National Institute of Standard and Technology*, 1632, 15.
- Merci, B., & Beji, T. (2016). *Fluid Mechanics Aspects of Fire and Smoke Dynamics in Enclosures.* CRC Press/Balkema.
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2014). *Brandveiligheid bij een Woonfunctie voor zorg.* <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2022). *Verzamelwijziging Bbl diverse onderwerpen 15 december 2022.*
https://www.internetconsultatie.nl/verzamelwijzigingbb12022_15_12/b1
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2023). *Bouwbesluit 2012.* Bouwbesluit 2012. <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012>
- Onderzoeksraad voor Veiligheid. (2021). *Fatale flatbrand in Arnhem Lessen voor brandveiligheid.* <https://www.onderzoeksraad.nl/nl/page/16175/fatale-flatbrand-in-arnhem---lessen-voor-brandveiligheid>
- 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). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0>
- SFPE. (2019). *SFPE Guide to Human Behavior in Fire.*

- SFPE. (2023). *SFPE Guide to Fire Risk Assessment* (2nd editio). SFPE.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-17700-2>
- van Calis, P. W., & Coppens, G. (2009). *Achtergronden bij de voorschriften voor ontvluchting*.
- van der Graaf, J., Leene, M., & Ebus, J. (2023). *Leidraad brandveilig beheer van woongebouwen*.
- van der Graaf, J., Mul, J., & Kleinheerenbrink, J. (2022). *Verschillen Bouwbesluit 2012 en Besluit bouwwerken leefomgeving Analyse brandveiligheidsvoorschriften*.
- van Liempd, R., de Witte, L., Karemaker, M., van Herpen, R., & Jansen, V. (2022). *Rookverspreiding en persoonlijke veiligheid*. NIPV. <https://nipv.nl/wp-content/uploads/2022/07/20220701-NIPV-Rookverspreiding-en-persoonlijke-veiligheid.pdf>
- 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. *Human Behaviour in Fire 2015: Proceedings of the 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire, September*.
<http://www.worldcat.org/title/human-behaviour-in-fire-6th-international-symposium-28th-30th-september-2015-downing-college-cambridge-uk/oclc/952541954>

Bijlage 1: Consequentie- klassen per scenario

Referentiesituatie

Consequentie	Numerieke consequentie [-]	Scenario's
Geen blootstelling	0,015	1, 3-6
Beperkt, niet gezondheidsbedreigend	0,065	2
Potentieel gezondheidsbedreigend	0,2	-
Gezondheidsbedreigend, potentieel immobiel	0,4	10
Immobiel, potentieel lethaal	1	7-9, 11, 12

Portieksituatie 3 bouwlagen

Consequentie (numerieke consequentie)	Scenario's		
	1.	2.	3.
Rookverspreidingsscenario	1.	2.	3.
Geen blootstelling (0,015)	1-6, 13-16, 18-20, 25-28, 31-34	1-6, 13-16, 18, 25, 26, 31, 32	1-6
Beperkt, niet gezondheidsbedreigend (0,065)	5,17	5, 17, 27, 28	
Potentieel gezondheidsbedreigend (0,2)	8,30	8, 20, 29, 30	8
Gezondheidsbedreigend, potentieel immobiel (0,4)		19, 22	7, 10
Immobiel, potentieel lethaal (1)	7,9-12, 21-24, 29, 35, 36	7, 9-12, 21, 23, 24, 33-36	9, 11, 12

Portieksituatie 4 bouwlagen

Consequentie (numerieke consequentie)	Scenario's		
	4.	5.	6.
Rookverspreidingsscenario			
Geen blootstelling (0,015)	1- 8, 17-22, 24- 26, 33- 36, 41-44, 49-54, 57-62	1-8, 17-22, 25, 33-38, 40-42, 49-54, 56-60	1-8
Beperkt, niet gezondheidsbedreigend (0,065)	23, 37, 38	23, 24, 26, 39,55	
Potentieel gezondheidsbedreigend (0,2)	9, 10, 28, 39, 40,56	9, 10, 28, 44	9, 10, 12
Gezondheidsbedreigend, potentieel immobiel (0,4)	12	12, 27, 43	14
Immobiel, potentieel lethaal (1)	11, 13-16, 27, 29-32, 45-48, 55, 63, 64	11, 13-16, 29-32, 45- 48, 61-64	11, 13, 15, 16

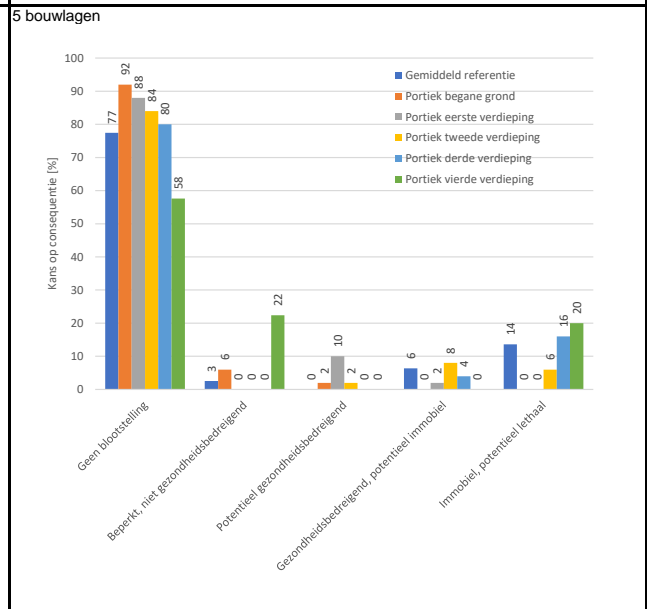
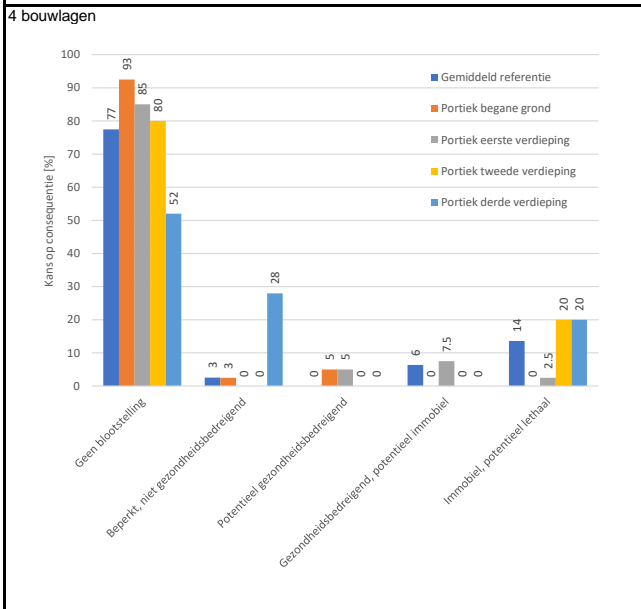
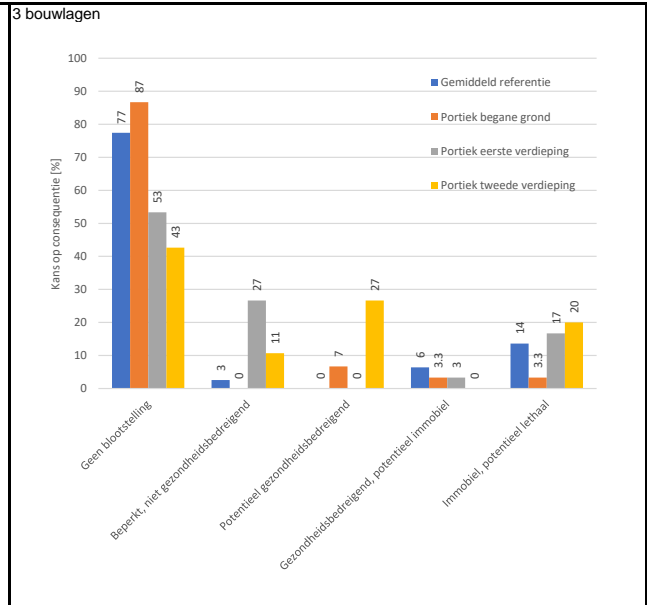
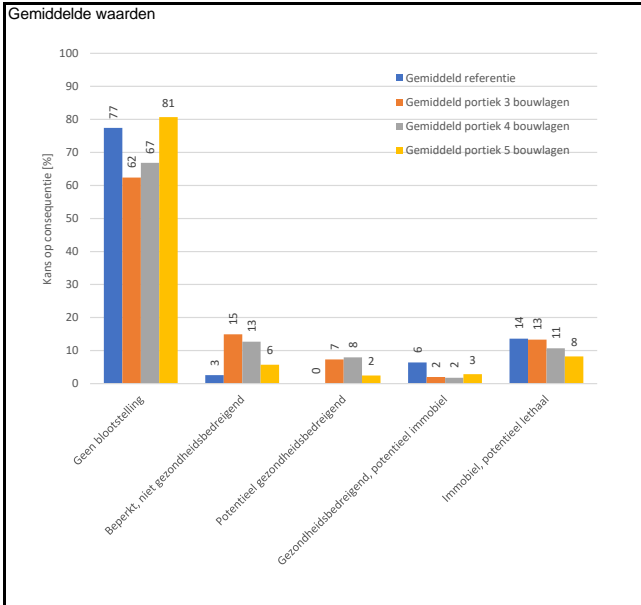
Portieksituatie 5 bouwlagen

Consequentie (numerieke consequentie)	Scenario's		
	7.	8.	9.
Rookverspreidingsscenario			
Geen blootstelling (0,015)	1-8, 10, 21-32, 41-48, 50-54, 61-68, 70-76, 81-88, 91-98	1-10, 21-30, 41-48, 51, 52, 61-68, 70-74, 81- 88, 90-96	1-10
Beperkt, niet gezondheidsbedreigend (0,065)	12, 49, 69	12, 31, 32, 49, 50, 69, 89	12
Potentieel gezondheidsbedreigend (0,2)	11, 14, 33, 34, 90	11, 14, 33, 34, 53, 54,76	11, 14, 16
Gezondheidsbedreigend, potentieel immobiel (0,4)	13, 16, 18, 36	13, 16, 18, 36, 38, 56,75,	13, 18
Immobiel, potentieel lethaal (1)	15, 17,19, 20, 35, 37- 40, 55, 57-60, 77-80, 89, 99, 100	15, 17, 19, 20, 35, 37, 39, 40, 55, 57-60, 77- 80, 97-100	15, 17, 19, 20

Bijlage 2: Rekenresultaten rookverspreidingsscenario's

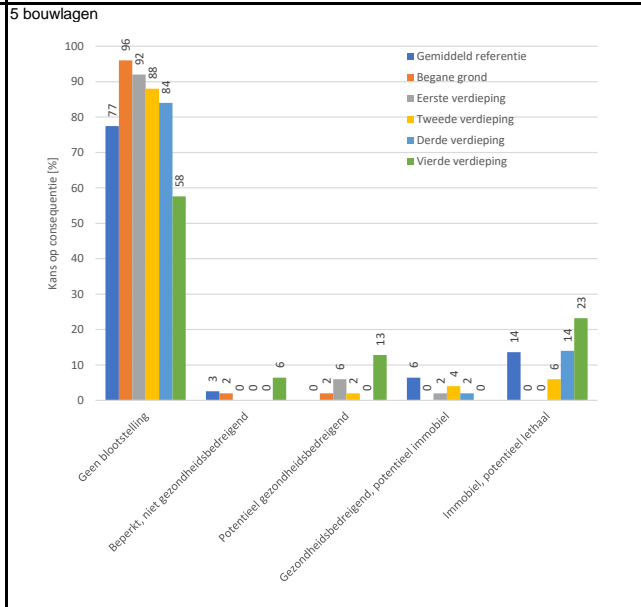
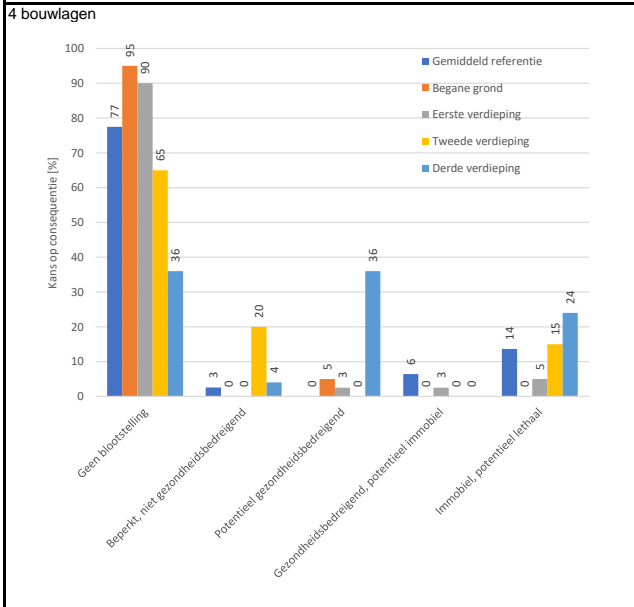
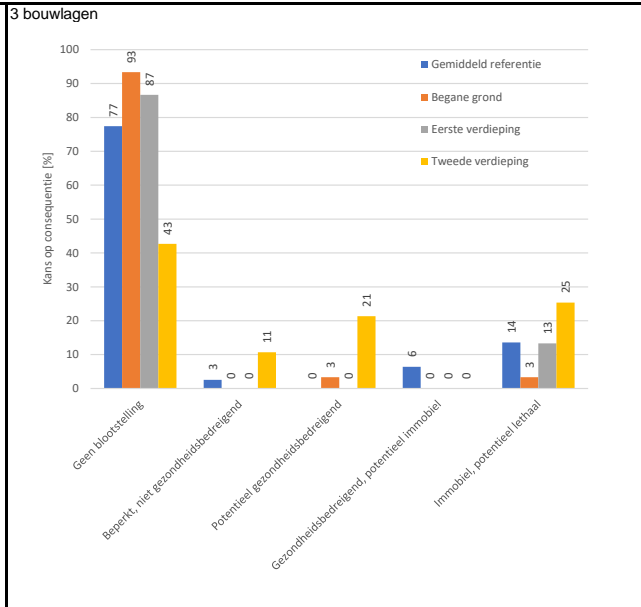
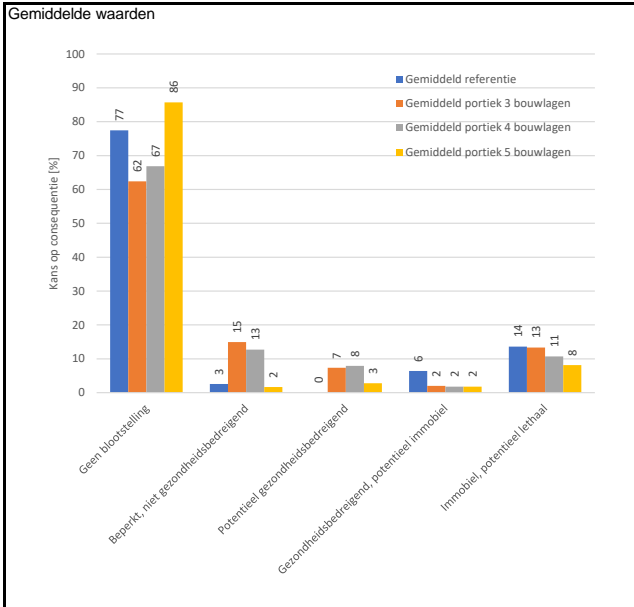
Beschrijving Bijlage 2 - Specificatie rekenresultaten gebeurtenisbomen
 Vergelijking referentie - portiek
 Datum 15-11-2023
 Status Definitief

Uitgezakte rooklaag



Beschrijving Bijlage 2 - Specificatie rekenresultaten gebeurtenisbomen
 Vergelijking referentie - portiek
 Datum 15-11-2023
 Status Definitief

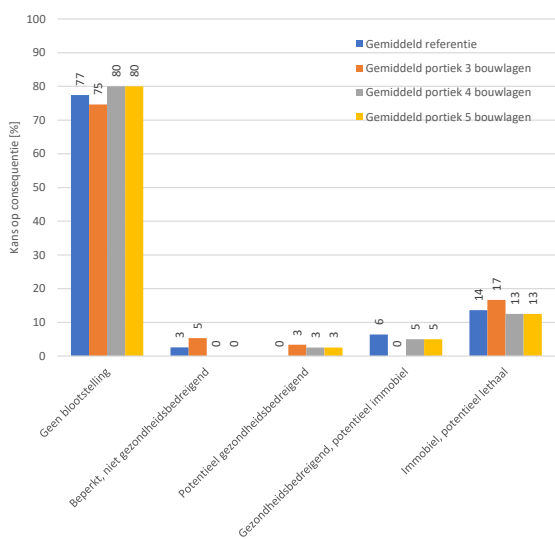
Stratificatie



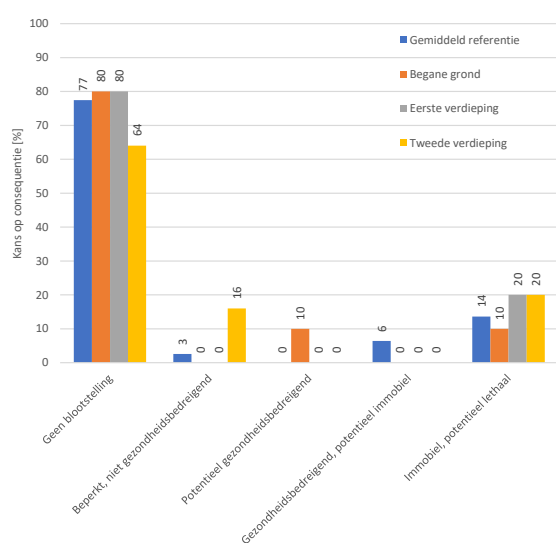
Beschrijving Bijlage 2 - Specificatie rekenresultaten gebeurtenisbomen
 Vergelijking referentie - portiek
 Datum 15-11-2023
 Status Definitief

Uniform

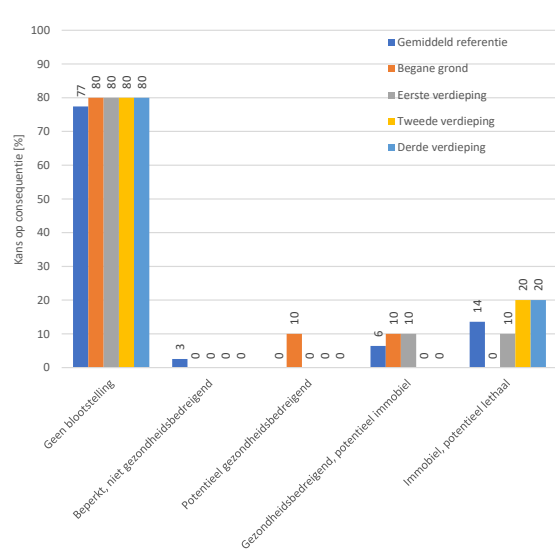
Gemiddeld



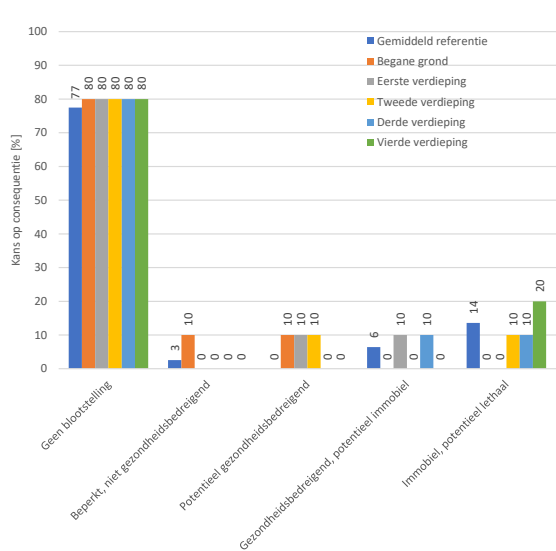
Drie bouwlagen



Vier bouwlagen



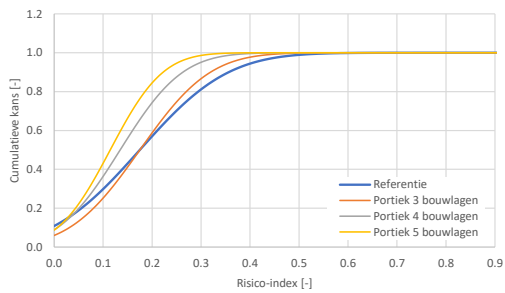
Vijf bouwlagen



Bijlage 3: Rekenresultaten gevoeligheidsanalyse

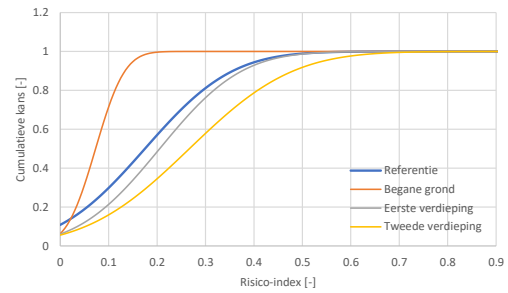
Beschrijving Bijlage 3 - Rekenresultaten gevoeligheidsanalyse
 Vergelijking referentie-portiek
 Datum 15-11-2023
 Status Definitief

Risico-index



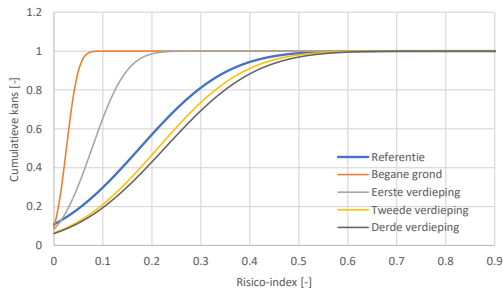
	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
3 bouwlagen	0.18	0.26
4 bouwlagen	0.13	0.21
5 bouwlagen	0.11	0.18

Specificatie 3 bouwlagen



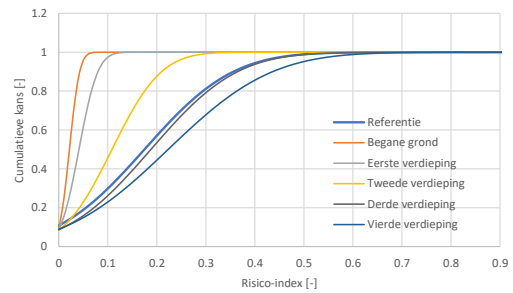
	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Begane grond	0.07	0.11
Eerste verdieping	0.21	0.31
Tweede verdieping	0.27	0.4

Specificatie 4 bouwlagen



	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Begane grond	0.03	0.04
Eerste verdieping	0.08	0.12
Tweede verdieping	0.21	0.32
Derde verdieping	0.23	0.34

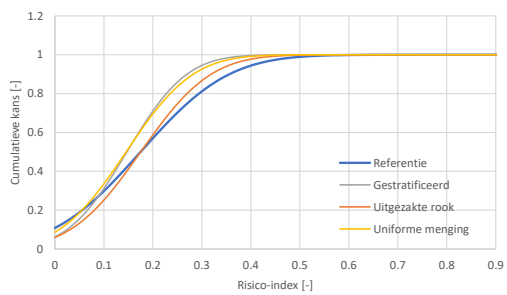
Specificatie 5 bouwlagen



	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Begane grond	0.02	0.03
Eerste verdieping	0.04	0.06
Tweede verdieping	0.11	0.17
Derde verdieping	0.19	0.3
Vierde verdieping	0.22	0.36

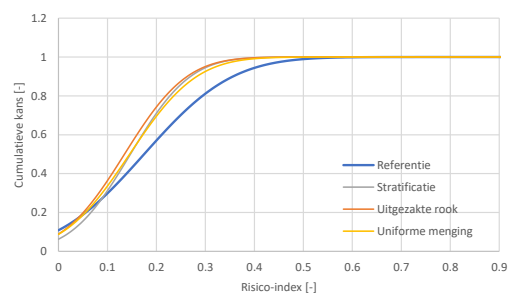
Beschrijving	Bijlage 3 - Rekenresultaten gevoeligheidsanalyse Vergelijking referentie-portiek rookverspreidingsscenario's
Datum	15-11-2023
Status	Definitief

Risico-index rookverspreidingsscenario's portiek 3 bouwlagen



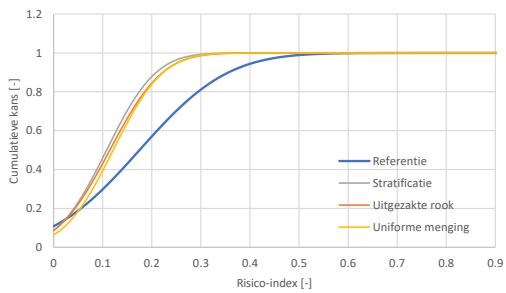
	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Gestratificeerd	0.15	0.22
Uitgezakte rook	0.18	0.26
Uniforme menging	0.15	0.23

Risico-index rookverspreidingsscenario's portiek 4 bouwlagen



	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Gestratificeerd	0.14	0.22
Uitgezakte rook	0.13	0.21
Uniforme menging	0.14	0.23

Risico-index rookverspreidingsscenario's portiek 5 bouwlagen



	gemiddelde	80-percentiel
Referentie	0.17	0.29
Gestratificeerd	0.11	0.17
Uitgezakte rook	0.11	0.18
Uniforme menging	0.12	0.18